الفيزياء

وزارة التربية والتعليم
قطاع المناهج والتوجيه
الإدارة العامة للمناهج

للصف الثالث الثانوي

حقوق الطبع محفوظة لوزارة التربية والتعليم
١٤٣٥هـ / ٢٠١٤م

وزارة التربية والتعليم
قطاع المناهج والتوجيه
الإدارة العامة للمناهج

الفيزياء

للصف الثالث الثانوي

فريق التأليف

أ. د/ داود عبد الملك الحدابي / رئيساً
أ / عمر فضل بافضل / منسقاً

أ.د . عمر صالح بابقي
د . هزاع عبده الحميدي
أ . جميل أسعد محمد
أ . أم السعد محمد عبد الحي
أ . محفوظ محمد سلام
أ . رمضان سالم النجار

الأخراج الفني

الرسم : محمد حسين الذماري
التصميم : خالد أحمد العلفي
التعديلات : جلال سلطان
بسام أحمد العامر

التدقيق الفني :حامد عبدالعالم الشيباني

المصدر: قانون رقم (٣٦) لسنة ٢٠٠٦م بشأن السلام الجمهوري ونشيد الدولة الوطني للجمهورية اليمنية

أعضاء اللجنة العليا للمناهج

أ. د. عبدالرزاق يحيى الأشول.

د. عبدالله عبده الحامدي.
د/ صالح ناصر الصوفي.
أ.د/ محمد عبدالله الصوفي.
أ/ عبدالكريم محمد الجنداري.
د/ عبدالله علي أبو حورية.
د/ عبدالله لملس.
أ/ منصور علي مقبل.
أ/ أحمد عبدالله أحمد.
أ.د/ محمد سرحان سعيد المخلافي.
أ.د/ محمد حاتم المخلافي.
أ/ علي حسين الحيمي.
د/ أحمد علي المعمري.
أ.د/ صالح عوض عرم.
د/ إبراهيم محمد الحوثي.
د/ شكيب محمد باجرش.
أ.د/ داوود عبدالملك الحدابي.
أ/ محمد هادي طواف.
أ.د/ أنيس أحمد عبدالله طائع.
أ/ محمد عبدالله زبارة.
أ/ عبدالله علي إسماعيل.
د/ عبدالله سلطان الصلاحي.

قررت اللجنة العليا للمناهج طباعة هذا الكتاب .

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

في إطار تنفيذ التوجهات الرامية للاهتمام بنوعية التعليم وتحسين مخرجاته تلبية للاحتياجات ووفقاً للمتطلبات الوطنية.

فقد حرصت وزارة التربية والتعليم في إطار توجهاتها الإستراتيجية لتطوير التعليم الأساسي والثانوي على إعطاء أولوية استثنائية لتطوير المناهج الدراسية، كونها جوهر العملية التعليمية وعملية ديناميكية تتسم بالتجديد والتغيير المستمرين لاستيعاب التطورات المتسارعة التي تسود عالم اليوم في جميع المجالات.

ومن هذا المنطلق يأتي إصدار هذا الكتاب في طبعته المعدلة ضمن سلسلة الكتب الدراسية التي تم تعديلها وتنقيحها في عدد من صفوف المرحلتين الأساسية والثانوية لتحسين وتجويد الكتاب المدرسي شكلاً ومضموناً، لتحقيق الأهداف المرجوة منه، اعتماداً على العديد من المصادر أهمها: الملاحظات الميدانية، والمراجعات المكتبية لتلافي أوجه القصور، وتحديث المعلومات وبمايتناسب مع قدرات المتعلم ومستواه العمري، وتحقيق الترابط بين المواد الدراسية المقررة، فضلاً عن إعادة تصميم الكتاب فنياً وجعله عنصراً مشوقاً وجذاباً للمتعلم وخصوصاً تلاميذ الصفوف الأولى من مرحلة التعليم الأساسي.

ويعد هذا الإنجاز خطوة أولى ضمن مشروعنا التطويري المستمر للمناهج الدراسية ستتبعها خطوات أكثر شمولية في الأعوام القادمة، وقد تم تنفيذ ذلك بفضل الجهود الكبيرة التي بذلها مجموعة من ذوي الخبرة والاختصاص في وزارة التربية والتعليم والجامعات من الذين أنضجتهم التجربة وصقلهم الميدان برعاية كاملة من قيادة الوزارة والجهات المختصة فيها.

ونؤكد أن وزارة التربية والتعليم لن تتوانى عن السير بخطى حثيثة ومدروسة لتحقيق أهدافها الرامية إلى تنوير الجيل وتسليحه بالعلم وبناء شخصيته المتزنة والمتكاملة القادرة على الإسهام الفاعل في بناء الوطن اليمني الحديث والتعامل الإيجابي مع كافة التطورات العصرية المتسارعة والمتغيرات المحلية والإقليمية والدولية.

أ.د. عبدالرزاق يحيى الأشول

وزير التربية والتعليم

رئيس اللجنة العليا للمناهج

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على أشرف المرسلين وعلى آله وصحبه أجمعين.. وبعد.

فهذا هو كتاب الفيزياء للصف الثالث الثانوي بعد أن قدمنا للطالب كتابي الصف الأول والصف الثاني لهذه المادة ، والذي تم تأليفه بعد جهد كبير ، وبعد تراكم خبرات جيدة لدينا في عملية التأليف ، مستفيدين مما تم تأليفه من قبل في هذه المادة ؛ حيث نتوقع من هذا الكتاب أن يلبي طموحاتنا الكبيرة التي نتمنى أن يتسلح بها الجيل الجديد خاصة وأن التطورات في هذا المجال متسارعة ومتلاحقة.

إن علم الفيزياء الذي يهتم بدراسة الطبيعة من حولنا وما ينتج عنها من ظواهر بسبب تحولات المادة والطاقة، ودراسة قوانين هذه التحولات وتفسيرها يهدف للعمل على تسخيرها لصالح الإنسان، ويشكل بالنسبة للعلوم الأخرى مصدراً أساسياً للمعرفة ومجالاً هاماً للتطبيق العملي.

وقد احتوى كتاب الفيزياء لهذا الصف على تسع وحدات مختلفة شملت المجالات الأساسية لعلم الفيزياء والتي تعتبر استكمالاً لما ورد للصفين السابقين له ، وبشكل أكثر عمقاً بما يضمن تحقيق خطوات في التطوير لمواكبة التحولات السريعة في العلوم المختلفة ، والتي تتطلب تطوير أدوات التعليم والتعلم واستخدام الأساليب التربوية الحديثة المشجعة لروح البحث والإبداع عند كل من المدرس والطالب ، واستخدام تكنولوجيا التعلم الحديثة.

في الوحدة الأولى سيدرس الطالب كمية التحرك والمقذوفات وهو موضوع جديد ؛ حيث سيتعرف على المفاهيم المختلفة المتعلقة بهذه الوحدة مثل الصاروخ ذاتي الدفع ، والقمر الصناعي، وسرعة الإفلات من الجاذبية، ومامعنى كمية التحرك الزاوي ... الخ. كما سيدرس مفهوم التصادم وقوانينه في بعد وفي بعدين، والعلاقة كمية التحرك الزاوي والسرعة الزاوية .

أما الوحدة الثانية فهي تشمل دوائر التيار المتردد، وسيدرس الطالب فيها التيار المتردد وأنواعه وأكثرها استخداماً والفرق بين التيار المستمر والتيار المتردد ، وفكرة صناعة المولدات الكهربائية لتوليد التيار الكهربائي المتردد. وكذا وظائف بعض الدوائر الكهربائية المهتزة ، والعلاقات المختلفة في عملية توصيل المكثفات على التوالي وعلى التوازي في دوائر التيار المتردد. إلى جانب بعض التطبيقات والأنشطة المتعلقة بمفاهيم هذه الوحدة.

أما الوحدتين الثالثة والرابعة والخاصتين بالإلكترونيات والأجهزة الإلكترونية فسيدرس الطالب فيهما أشباه الموصلات والوصلة الثنائية والترانزستور .. الخ. كما سيتعرف على تركيب كل من بلورة شبه الموصل بنوعيها المانحة والمستقبلة، كما سيقارن بين التوصيل الأمامي والخلفي للوصلة الثنائية واستخدام الترانزستور في التكبير وأثر أشباه الموصلات في تطوير الصناعات الإلكترونية والتطوير التكنولوجي، والعمليات المختلفة للانبعاث الإلكتروني والتفريغ الكهربائي خلال الغازات. كما سيتعرف الطالب على مراحل عمليات الإرسال والإستقبال الإذاعي والتلفازي والمقارنة بينهما وكيف يعمل مكبر الصوت

الديناميكي في جهاز الاستقبال الإذاعي إلى آخر ذلك من المفاهيم الخاصة بالإلكترونيات والأجهزة الإلكترونية.

وفي الوحدة الخامسة المتعلقة بالفيزياء الذرية سيدرس الطالب المقصود بالمفاهيم الآتية: الطيف المتصل، والطيف الخطي وخطوط الامتصاص، والأطياف لذرة الهيدروجين، وكذا الجسم الأسود ومبدأ بلانك في تكميم طاقة الإشعاع. وفرضيات ونماذج تومسون وراذرفورد وبوهر وعيوبها ومبرراتها. إلى جانب التمارين المتعلقة بهذه المواضيع.

أما الوحدة السادسة (الإشعاع والمادة) وفيها سيتعرف على المفاهيم الأساسية المتصلة بهذا الموضوع مثل الظاهرة الكهروضوئية والأشعة السينية والطيف الخطي والطيف المتصل للأشعة السينية . كما سيتعرف الطالب أيضاً على تركيب ليزر الياقوت وكيف يعمل وبعض المجالات والاستخدامات في الحياة العملية كما سيقوم بحل بعض المسائل الحسابية المتعلقة بمفاهيم هذه الوحدة.

وفي الوحدة السابعة (الفيزياء النووية) سيدرس الطالب المفاهيم الآتية: النشاط الإشعاعي الطبيعي ، التفاعل النووي والتحليل الإشعاعي والتفاعل المتسلسل ، وطاقة الربط النووية. إلى جانب ذلك سيتعرف الطالب على طبيعة خواص كل من أشعة ألفا وبيتا وجاما ومخاطر التفاعلات النووية على البيئة.

وفي الوحدة الثامنة الخاصة بالطاقة الشمسية سيدرس الطالب المفاهيم المختلفة ومنها الطاقة المتجددة والطاقة غير المتجددة، والإشعاع المباشر والإشعاع غير المباشر، والطيف الشمسي وطبيعة الطاقة الشمسية والفرق بين الطيف الشمسي المرئي والطيف غير المرئي، كما سيتعرف في هذه الوحدة على بعض التطبيقات لاستغلال الطاقة الشمسية.

أما الوحدة التاسعة والأخيرة من هذا الكتاب فهي تختص بدراسة أحد فروع الفيزياء وهو الفيزياء الكونية؛ حيث سيتعرف الطالب على المفاهيم الآتية: الكون، المجرة، النجم، العملاق الأحمر ، القزم الأبيض، النجم الساطع، والثقب الأسود. إلى آخرتلك المفاهيم التي تختص بها هذه الوحدة. كما سيدرس نظريات نشوء الكون والفرق بين السديم والمجرة ومراحل نشوء وتطور النجوم وتقدير درجة حرارة سطح النجم من خلال لونه.

وكل ما نرجوه أن تضيف هذه المعلومات إلى ما تم دراسته الشيء الجديد للطالب وتشجعه على الاستمرار في تطوير مفاهيمه وتوسع مداركه في مجال علم الفيزياء وفروعه المختلفة.

نأمل من الإخوة والأخوات الأساتذة والموجهين في الميدان ألا يبخلوا علينا بآرائهم وملاحظاتهم حول مادة الكتاب حتى نستفيد من ذلك في تطويرها ،،

والله نسأل أن يوفقنا جميعاً لما فيه خير أمتنا.

المؤلفون

المحتويات

الموضـــــوع	الصفحة
الوحدة الأولى : كمية التحرك والمقذوفات	٩
التصادم في بعدين	١٠
الصواريخ ذاتية الدفع	١٤
سرعة الإفلات من الجاذبية	١٧
حركة الأقمار الصناعية حول الأرض	١٩
كمية التحرك الزاوي	٢٢
حركة المقذوفات	٢٣
تقويم الوحدة	٢٧
الوحدة الثانية : التيار المتردد (المتناوب)	٢٩
التيار المتردد.	٣٠
الأميتر الحراري.	٣٧
تطبيقات قانون أوم في دوائر التيار المتردد.	٣٩
دائرة مكثف يتصل بمصدر تيار متردد.	٤٠
المفاعلة السعوية للمكثف.	٤٣
ملف حثي متصل بدائرة مصدر تيار متردد	٤٥
المفاعلة الحثية.	٤٦
دائرة مقاومة أومية وملف حثي ومكثف متصلة معاً على التوالي بمصدر تيار كهربائي متردد	٤٧
دائرة الرنين.	٥١
الدائرة المهتزة	٥٢
المفاعلة الحثية للتيار المتردد في عدة ملفات متصلة معاً	٥٤
تقديم الوحدة.	٥٨
الوحدة الثالثة : الإلكترونيات	٦١
أشباه الموصلات	٦٢
الوصلة الثنائية	٦٧
استخدام الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد	٧١
الترانزستور	٧٢
استخدامات الترانزستور	٧٤
تقويم الوحدة	٨١

الموضـــــوع	الصفحة
الوحدة الرابعة : الأجهزة الإلكترونية	٨٦
التوصيل الكهربائي في الغازات	٨٨
أنبوبة أشعة الكاثود	٩٠
كاشف الذبذبات	٩١
الرادار	٩٣
تشغيل محطة الرادار	٩٥
تركيب جهاز الإرسال الإذاعي	٩٦
تركيب جهاز الاستقبال الإذاعي	٩٨
التلفاز	١٠٠
عملية إرسال الصور تلفازياً	١٠٢
تقويم الوحدة	١٠٨
الوحدة الخامسة : الفيزياء الذرية	١١٥
نظرية دالتون الذرية	١١٦
إثارة العناصر الكيميائية	١١٧
طيف المصادر الضوئية	١١٨
طيف ذرة الهيدروجين	١٢٠
نموذج رذر فورد	١٢٢
إشعاع الجسم الأسود	١٢٤
مبدأ بلانك في تكميم الطاقة	١٢٥
نظرية بوهر لذرة الهيدروجين	١٢٦
مخطط مستوى الطاقة	١٣٢
تقويم الوحدة	١٤٣
الوحدة السادسة : الإشعاع والمادة	١٤٥
الظاهرة الكهروضوئية	١٤٦
الخلية الكهروضوئية	١٤٧
تجربة مليكان لدراسة الظاهرة الكهروضوئية	١٤٨
تفسير إنشتين (النظريه الكمية)	١٥٣
استخدامات الخلية الكهروضوئية	١٥٧

الموضـــــوع	الصفحة
الأشعة السينية	١٥٨
الليزر	١٦٤
جهاز ليزر الياقوت	١٦٨
تقويم الوحدة	١٧٢
الوحدة السابعة : الفيزياء النووية	١٧٤
تركيب النواة	١٧٥
النشاط الإشعاعي	١٧٦
التحلل الإشعاعي وعمر النصف	١٨٠
طاقة الربط النووية	١٨١
التفاعل المتسلسل	١٨٢
المفاعلات النووية السلمية	١٨٣
تقويم الوحدة	١٨٤
الوحدة الثامنة : الطاقة الشمسية	١٨٦
أعظم مصدر للطاقة	١٨٨
أنواع الإشعاعات الشمسية	١٩٠
تطبيقات لاستغلال الطاقة الشمسية في الحياة	١٩٣
توليد الطاقة الحرارية	١٩٤
توليد الطاقة الكهربائية	١٩٥
تقويم الوحدة	١٩٨
الوحدة التاسعة : الفيزياء الكونية	١٩٩
الكون	٢٠٠
الكون الممتد	٢٠٢
المجرات	٢٠٣
النجوم	٢٠٥
نشوء وتطور النجوم	٢٠٦
المسافات بين النجوم	٢٠٩
تقويم الوحدة	٢١١
قوائم المصطلحات	٢١٢

الوحدة الأولى

كميـــة التحـــرك والمقذوفات
Momentum and Projectiles

صورة لمكوك الفضاء الأمريكي قبل انطلاقه بثواني إلى الفضاء وتظهر غازات مصحوبة بضوء تنطلق من مؤخرة السفينة (المكوك)

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يعرّف المفاهيم الآتية :
الصاروخ ذاتي الدفع ، القمر الصناعي ، سرعة الإفلات من الجاذبية ، كمية التحرك الزاوي ، بقاء كمية التحرك الزاوي وحركة المقذوفات .

٢- يفرق بين مفهوم التصادم في بعد ومفهوم التصادم في بعدين .

٣- يستنتج قانون التصادم في بعدين .

٤- يحسب سرعة القمر الصناعي اللازمة لاستمراره في مداره .

٥- يوضح المقصود بالصواريخ ذاتية الدفع وفيما تستخدم .

٦- يبين معنى مفهوم سرعة الإفلات من عجلة الجاذبية الأرضية .

٧- يذكر العلاقة بين عزم القصور الذاتي الدوراني والسرعة الزاوية .

٨- يفرق بين نوعي الحركة التي تتحرك بها المقذوفات

٩- يحل المسائل ذات العلاقة في هذه الوحدة .

كمية التحرك : Momentum

درسنا في الصف العاشر مفهوم كمية التحرك الخطي (كت) لجسم متحرك كتلته (ك) وسرعته (ع) فوجدنا أن كمية التحرك الخطي للجسم تساوي كتلة الجسم في سرعته أي إن كمية التحرك (كت) = ك × ع .

كما عرفنا أن كمية تحرك أي جسم تكون كمية متجهة ويكون اتجاهها باتجاه سرعة الجسم المتحرك . وتظل كمية التحرك لجسم ثابتة طالما ظلت سرعة الجسم وكتلته ثابتتين، وتتغير تبعاً لتغير الكتلة أوالسرعة أوكليهما، كما أنها تنتقل من جسم إلى آخر

كما درسنا أيضاً مبدأ حفظ كمية التحرك الخطي الذي ينص على أن :

« كمية التحرك الكلية للأجسام المتصادمة قبل التصادم تساوي كمية التحرك الكلية لها بعد التصادم » .

التصادم في بُعدين Two - Dimensional Collisions

من دراستنا أيضاً لمفهوم كمية التحرك الخطي في الصف العاشر عرفنا مفهوم التصادمات ، وأن التصادم نوعان هما :

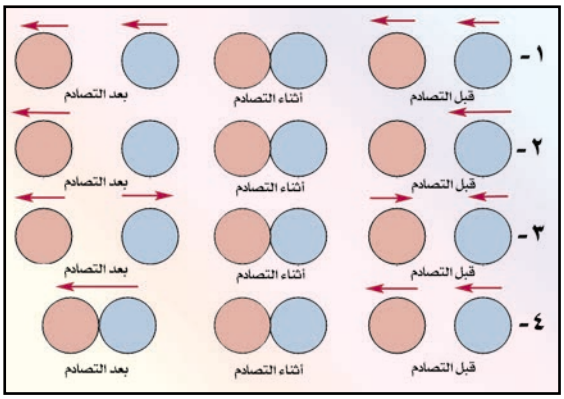
- التصادم المرن Elastic Collision : وفيه تكون مجموع الطاقة الحركية للأجسام المتصادمة قبل التصادم مساوية لمجموع الطاقة الحركية لها بعد التصادم .
- التصادم غير المرن : Inelastic Collision : وفيه تكون الطاقة الحركية للأجسام المتصادمة بعد التصادم أقل من طاقتها الحركية قبل التصادم، وفي كلا الحالتين ينطبق قانون حفظ كمية التحرك ويكون على النحو الآتي :

« مجموع كمية التحرك للأجسام المتصادمة قبل التصادم = مجموع كمية التحرك لها بعد التصادم »

- وفي هذه الوحدة سندرس التصادم في بُعدين .
- ما التصادم في بُعدين ؟

لأحظ النماذج في الشكل (١) :

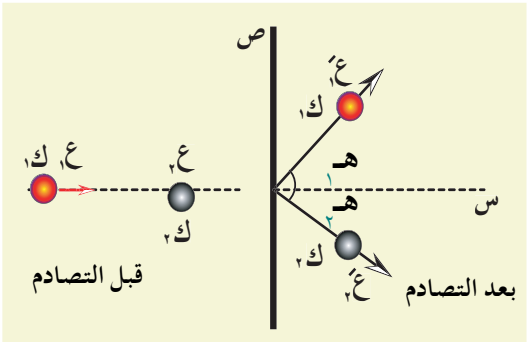
- صف التصادم الحادث بين



شكل (١)

الكرتين في كل حالة؟ إن الأشكال السابقة تدل على أن الكرتين بعد أن تتصادما تسيران في خط مستقيم واحد قبل التصادم وبعده ويعرف هذا النمط من التصادم بالتصادم ذي البعد الواحد .

والآن انظر الشكل (٢) : من الملاحظ أن الكرتين اصطدمتا وابتعدتا عن بعضهما في اتجاهين مختلفين بحيث تصنعان زاويتين هـ١ ، هـ٢ مع اتجاه خط الحركة الابتدائي (محور السينات)، وإن هذا النمط من التصادم يسمى بالتصادم ذي البعدين .



شكل (٢)

دعنا نعتبر أن الكرة الأولى كتلتها (ك١) وسرعتها (ع١) تسير قبل اصطدامها مباشرة في خط مستقيم واصطدمت بكرة ساكنة كتلتها(ك٢) وسرعتها (ع٢)، وبعد التصادم مباشرة تتحرك الكرة الأولى بسرعة (ع١َ) في اتجاه يصنع زاوية (هـ١) مع محور السينات ، أما الكرة الثانية فتتحرك بسرعة (ع٢َ) وتصنع زاوية (هـ٢) مع المحور نفسه .

وبتطبيق قانون حفظ كمية التحرك مرتين، مرة على المحور السيني ، ومرة على المحور الصادي، قبل وبعد التصادم نجد الآتي :

أولاً : على المحور السيني :

∵ مجموع كمية تحرك الكرتين قبل التصادم = مجموع كمية تحرك الكرتين بعد التصادم .

∴ ك١ ع١ + ك٢ ع٢ = ك١ ع١َ جتا هـ١ + ك٢ ع٢َ جتا هـ٢ .

وحيث أن ع٢ = صفر (لأن الكرة الثانية كانت في حالة سكون)

∴ ك١ ع١ + صفر = ك١ ع١َ جتا هـ١ + ك٢ ع٢َ جتا هـ٢

∴ ك١ ع١ = ك١ ع١َ جتا هـ١ + ك٢ ع٢َ جتا هـ٢ ..... (١)

ثانياً : على المحور الصادي :

وحيث أنه لاتوجد حركة على المحور الصادي قبل التصادم فإن :-

صفر = ك١ ع١َ جا هـ١ – ك٢ ع٢َ جاهـ٢ ومنها ك١ ع١َ جا هـ١ = ك٢ ع٢َ جا هـ٢ ..... (٢)

ملاحظة : العلاقتين (١) ، (٢) حالة خاصة في التصادم في بعدين.

مثال : (١)

كرتان متساويتان في الكتلة وكتلة كل منهما ١ر٠ كجم . تتحرك الأولى بسرعة ١م/ث نحو الكرة الثانية الساكنة . وبعد التصادم تحركتا في مسارين متعامدين بحيث صنعت الكرة الأولى زاوية مقدارها (هـ$_{١}$ = ٣٠°) والكرة الثانية صنعت زاوية مقدارها (هـ$_{٢}$ = ٦٠°) . أحسب سرعة كل من الكرتين بعد التصادم .

الحل :

المعطيات : ك$_{١}$ = ك$_{٢}$ =١ر٠كجم ، ع$_{١}$ = ١ م /ث ، ع$_{٢}$ = صفر ،

هـ$_{١}$ = ٣٠° ، هـ$_{٢}$ = ٦٠° ، عَ$_{١}$ = ؟ ، عَ$_{٢}$ = ؟

أولاً : كمية التحرك في اتجاه محور السينات .

∵ ك$_{١}$ع$_{١}$ + ك$_{٢}$ع$_{٢}$ = ك$_{١}$ عَ$_{١}$ جتا هـ$_{١}$ + ك$_{٢}$ عَ$_{٢}$ جتا هـ$_{٢}$

∴ ١ر٠ × ١ + ١ر٠ × صفر = ١ر٠ × عَ$_{١}$ جتا٣٠° + ١ر٠ × عَ$_{٢}$ جتا٦٠° (بالقسمة على ١ر٠)

∴ ١ = $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ عَ$_{١}$ + $\frac{١}{٢}$ عَ$_{٢}$ (بالضرب × ٢)

∴ $\sqrt{٣}$ عَ$_{١}$ + عَ$_{٢}$ = ٢ .....(١)

ثانياً : كمية التحرك في اتجاه محور الصادات

∵ صفر = ك$_{٢}$ عَ$_{٢}$ جاهـ$_{٢}$ – ك$_{١}$ عَ$_{١}$ جاهـ$_{١}$

∴ صفر = ١ر٠ عَ$_{٢}$ جا ٦٠° – ١ر٠عَ$_{١}$ جا ٣٠° (بالقسمة على ١ر٠)

∴ صفر = $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ عَ$_{٢}$ – $\frac{١}{٢}$ عَ$_{١}$ (بالضرب × ٢)

∴ $\sqrt{٣}$ عَ$_{٢}$ – عَ$_{١}$ = ٠ .....(٢)

وبحل المعادلتين (١) ، (٢) آنياً كالتالي :

من المعادلة (٢) نجد أن : عَ$_{١}$ = $\sqrt{٣}$ عَ$_{٢}$ .....(٣)

بالتعويض من المعادلة (٣) في المعادلة (١) نجد أن :

$\therefore \sqrt{٣}\,(\sqrt{٣}\,ع_٢) + ع_٢ = ٢$

$\therefore ٣ع_٢ + ع_٢ = ٢$

$\therefore ٤ع_٢ = ٢$ ومنها $ع_٢ = \frac{١}{٢}$ م/ث

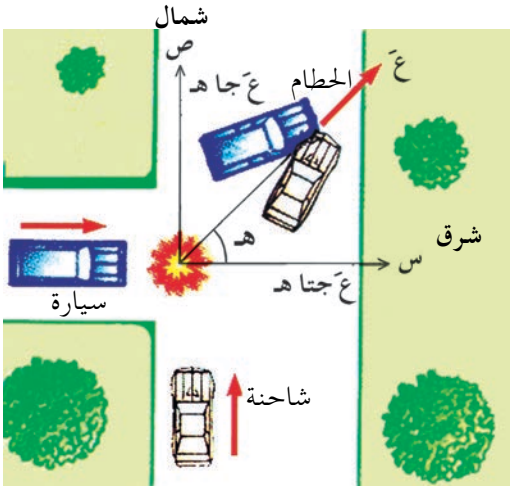
وبالتعويض في المعادلة (٣) عن قيمة $ع_٢$ نجد أن :

$ع_١ = \sqrt{٣} \times \frac{١}{٢} = \frac{\sqrt{٣}}{٢}$ م/ث

مثال : (٢)

سيارة كتلتها ١٥٠٠ كجم تسير في اتجاه الشرق بسرعة ٢٥ م/ث. اصطدمت في التقاطع بسيارة أخرى (شاحنه) كتلتها ٢٥٠٠ كجم تسير نحو الشمال بسرعة ٢٠ م/ث. كما هو موضح بالشكل (٣).

أوجد مقدار السرعة($ع$) والزاوية (هـ)مع إتجاه الشرق للحطام بعد التصادم باعتبار أن التصادم غير مرن.



شكل (٣)

الحل :

$ك_١ = ١٥٠٠$ كجم، $ع_١ = ٢٥$ م/ث ، $ك_٢ = ٢٥٠٠$ كجم ، $ع_٢ = ٢٠$م/ث .

إذا اخترنا الشرق كاتجاه موجب لمحور السينات والشمال كاتجاه موجب لمحور الصادات نلاحظ قبل التصادم أن الجسم الذي له كمية تحرك في اتجاه محورالسينات هو السيارة الصغيرة فقط.

$\therefore ك_١ ع_١ = ١٥٠٠$ كجم $\times ٢٥$م/ث ..... (١)

وحيث إن التصادم غير مرن فإن الحطام سيتحرك صانعاً زاوية (هـ) مع محور السينات وسرعة ($ع$) بعد التصادم.

$\therefore$ كمية التحرك الكلية في اتجاه محور السينات بعد التصادم هي :

$(ك_١ + ك_٢)\, ع$ جتاهـ $= (١٥٠٠ + ٢٥٠٠)\, ع$ جتاهـ ..... (٢)

من (١) ، (٢)

∴ ٣,٧٥ × ١٠^٤ = ٤٠٠٠ عَ جتاهـ .....(٣)

بالمثل كمية التحرك للنظام ككل في اتجاه محور الصادات هو

ك٢ ع٢ = ٤٠٠٠ عَ جا هـ

(٢٥٠٠ × ٢٠) = ٤٠٠٠ عَ جاهـ .....(٤)

وبقسمة (٤) على (٣)

∴ $\frac{٥ \times ١٠^{٤}}{٣,٧٥ \times ١٠^{٤}} = \frac{٤٠٠٠ \text{ عَ جاهـ}}{٤٠٠٠ \text{ عَ جتاهـ}}$

١,٣٣ = ظاهـ

∴ هـ = ٥٣,١°

بالتعويض في المعادلة (٤)

∴ ٥ × ١٠^٤ = ٤٠٠٠ عَ حا ٥٣,١°

∴ عَ = ١٥,٦ م / ث

الصواريخ ذاتية الدفع : Rockets Propulsion

ظل ارتياد الفضاء هاجساً يراود العلماء لقرون عديدة حتى جاء يوم ٤ أكتوبر عام ١٩٥٧م حين أطلق الإتحاد السوفيتي أول قمر صناعي سمي (سبوتنيك ١) ، وفي ٣ نوفمبر من نفس العام ١٩٥٧م أطلق قمراً آخر سمي (سبوتنيك ٢) ، وكان يحمل أول كائن حي يدور حول الأرض هو الكلبة لايكا .

أما الولايات المتحدة الأمريكية فكان أول إطلاق قمر صناعي لها في يناير ١٩٥٨م سمي المستكشف (Discovery) .

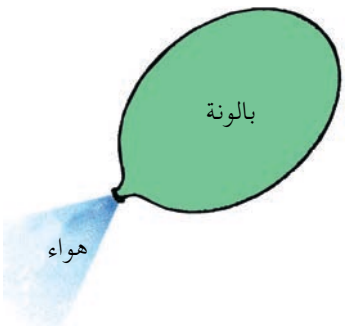
ولم يتوقف الاستكشاف عند القمر فقط بل واصل الإنسان ارتياده للفضاء، ووصلت مركباته إلى المريخ منذ سنوات، وفي العام ١٩٦٩م هبط الأمريكيان أرمسترونج وأدوين الدرين على سطح القمر.

والسؤال الأن هو كيف تُحمل الأقمار الصناعية إلى الفضاء الخارجي؟ إن من يحمل الأقمار الصناعية وغيرها من المسابر هي الصواريخ ذاتية الدفع أو النفث الذي يمكنها التحرر من الجاذبية الأرضية . . وتعمل الصواريخ ذاتية الدفع طبقاً لقانون حفظ كمية التحرك الخطي باستمادها قوة دفعها من رد الفعل الناتج من انطلاق كمية كبيرة من الغازات عالية السرعة من مؤخرة الصاروخ تتولد من احتراق الوقود في محرك الصاروخ كما هو موضح بالشكل(٤) ولمعرفة فكرة عمل الصواريخ ذاتية الدفع نحتاج إلى إجراء النشاط الأتي :

شكل (٤)

نشاط (١)

- احضر بالونة مطاطية ثم انفخها لتمتلئ بالهواء .
- اترك البالونة بعد نفخها حرة الحركة، شكل(٥) .
- ماذا تلاحظ ؟
- في أي اتجاه تحركت البالونة مقارنة باتجاه الهواء الخارج منها ؟
- على أي مبداء تحركت البالونة ؟

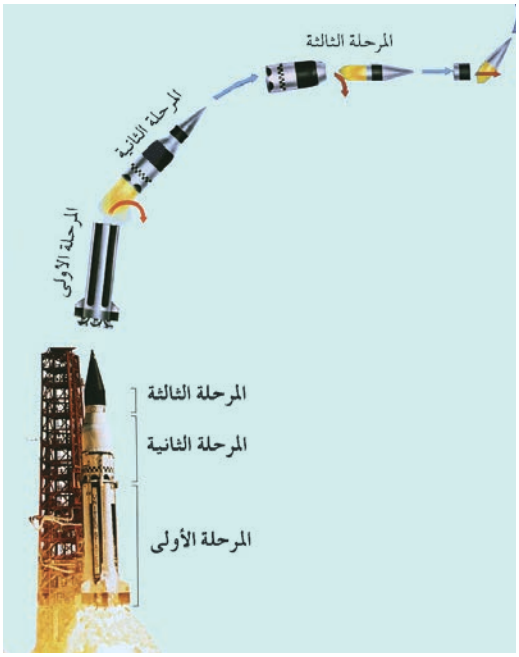


شكل (٥)

إذن يندفع الصاروخ بقوة رد الفعل في اتجاه يعاكس اتجاه حركة الغازات وطبقاً لقانون نيوتن الثالث (الفعل ورد الفعل) فإن جزيئات الغاز في هذه العملية تبذل قوة دفع الى الأمام ونتيجة لذلك تتولد قوة رد فعل تؤثر على محرك الصاروخ دافعة الصاروخ الى الأمام وصولاً إلى حيث ينعدم الهواء، وتحدث قوة الفعل ورد الفعل داخل المحرك النفاث نفسه ولاتؤثر على السفينة

اي قوة خارجية وبالتالي فإن الصاروخ يعمل بطريقة أفضل في الفضاء الخارجي في حالة انعدام الهواء الجوي.

والصواريخ التي استخدمت في اطلاق الأقمار الصناعية التي تدور حول الأرض تعمل على مراحل حيث تشتعل كل مرحلة من المراحل لتقوم بدورها لمدة دقائق معينة أثناء صعوده، ثم تنفصل وتبدأ المرحلة التي تليها بالاشتعال لتؤدي دورها في دفع الصاروخ أنظر الشكل (٦). ولحساب كمية التحرك للصاروخ نطبق قانون حفظ كمية التحرك كما يلي :



شكل (٦)

التغير في كمية التحرك للصاروخ = التغير في كمية تحرك الغازات بالاتجاه المعاكس إي أن :

Δ كت للصاروخ = – Δ كت للغازات ..... (١)

وحيث أن : دفع محرك الصاروخ = Δ كت للصاروخ، دفع الغازات = Δ كت للغازات

∴ دفع محرك الصاروخ = – (دفع الغازات) ..... (٢)

ومن تعريف الدفع بأنه يساوي حصل ضرب القوة المؤثرة في زمن تأثيرها أي أن :

الدفع = ق × Δ ز

∴ $ق_{محرك} \times Δ ز = Δ كت_{غازات}$

حيث $ق_{محرك}$ هي قوة دفع محرك الصاروخ ، Δ ز هي الفترة الزمنية بين لحظة احتراق الغازات وبدء حركة الصاروخ.

مثال : (٣)

صاروخ يقذف غازات ساخنة من محركه بمعدل ١٣٠٠ كجم في الثانية وكانت سرعة حركة جزيئات الغازات بالنسبة للصاروخ ٥٠ × $١٠^{٣}$ م/ث . أحسب

أ – قوة دفع محرك الصاروخ ؟

ب – التغير في كمية تحرك الصاروخ خلال الثانية الأولى من بدء حركته .

الحـل :

ك$_{١}$ للغاز = ١٣٠٠ كيلو جرام، Δز = ١ ثانية، ع$_{١}$ للغازات= – ٥×١٠^{٤} م/ث، لأن السرعة لأسفل، ك$_{٢}$ للصاروخ = ١٠^{٤} كجم، ق = ؟؟ ، كت٢ = ؟؟

أ) دفع الصاروخ = – دفع الغازات

ق$_{محرك}$ × Δ ز = – Δ كت للغازات

ق$_{محرك}$ × ١ = – ك$_{١}$ ع$_{١}$ = – ١٣٠٠ × (– ٥×١٠^{٤})

∴ ق$_{محرك}$ = ٦٥ × ١٠^{٦} نيوتن .

ب) Δ كت للصاروخ = – Δ كت للغازات

∴ Δ كت للصاروخ = – ك$_{١}$ × ع$_{١}$

= – ١٣٠٠ × (– ٥×١٠^{٤})

∴ Δ كت للصاروخ = ٦٥ × ١٠^{٦} كجم.م/ث أو (نيوتن . ث) .

سرعة الإفلات من الجاذبية : Escape Velocity From Gravity

عندما نتحدث عن وضع جسم يدور حول الأرض باستخدام صاروخ ذاتي الدفع (نفثي) ، فإن هناك شيئين اثنين يجب أن نضعهما في الاعتبار وهما سرعة واتجاه الصاروخ. وللوصول إلى مدار حول الأرض فإن ذلك يتطلب إطلاق صاروخ بشكل أفقي وليس بشكل رأسي وبسرعة ٨كم/ث تقريباً لأن هذه السرعة ستمكن الجسم المحمول على الصاروخ من الخروج من مقاومة الهواء ويدور في مدار حول الأرض.

أما اذا أردنا للجسم أن يفلت من نطاق الجاذبية فلا بد من إعطائه سرعة رأسية عند إنطلاقه مباشرة تسمى سرعة الإفلات ، وهي تساوي ١١,٢كم /ث، وفي هذه السرعة يمكن إطلاق الجسم بشكل رأسي وينبغي أن تكون طاقة الحركة للجسم مساوية لطاقة الوضع له بعد الانطلاق مباشرة أو تزيد قليلاً ، وهذه الطاقة تساوي ٦٢ مليون جول لكل كيلو جرام منطلق وإذا أعطي الصاروخ الحامل للجسم سرعة أكبر من ١١,٢ م/ث فإن الجسم سوف يفلت من الجاذبية الأرضية ولن يعود ثانية،

وكلما ابتعدنا خارجاً فإن طاقة وضع الجسم تزداد إلى حد معين بينما تقل طاقة الحركة له ، وبعد فترة زمنية من صعوده تقل كل من طاقة وضعه وطاقة حركته وبالتالي فإن حركة الجسم تقل رويداً رويداً ولكنها لا تصل الى الصفر.

والجدول الآتي يمثل سرعة الإفلات من كل كوكب من كواكب المجموعة الشمسية.

الجسم	سرعة الإفلات من الجسم (كم/ث)
الشمس	٤٢,٢ (من سطح الشمس)
المشتري	٦٠,٢
زحل	٣٦
نبتون	٢٤,٩
أورانوس	٢٢,٣
الأرض	١١,٢
الزهرة	١٠,٤
المريخ	٥
عطارد	٤,٣
القمر	٢,٤

ويمكن حساب سرعة الإفلات كما يلي :

بما أنه ينبغي أن تكون طاقة الحركة للصاروخ عند الانطلاق مساوية لطاقة الوضع له بالنسبة لمركز الأرض.

∴ $\frac{1}{2}$ ك ع^2 (طاقة الحركة) = ك ء نق (طاقة الوضع) .

حيث (ك) كتلة الجسم (الصاروخ) ، (ء) عجلة الجاذبية الأرضية ، و(نق) نصف قطر الأرض .

$$\therefore ع^2 = \frac{2 \text{ ك ء نق}}{\text{ك}} = 2 \text{ ء نق}$$

$$\therefore ع = \sqrt{2 \text{ ء نق}}$$

مثال : (٤)

أوجد سرعة الإفلات لصاروخ من الأرض إذا علمت أن عجلة الجاذبية الأرضية ٩,٨ م/ث^2.

الحل : ء = ٩,٨ م/ث^2 ، نق للأرض = ٦,٣٦ × ١٠^6 متر

$$\therefore ع = \sqrt{2 \text{ ء نق}}$$

$$\therefore ع = \sqrt{2 \times 9,8 \times 6,36 \times 10^6} = 11,2 \text{ كم/ث}$$

حركة الأقمار الصناعية حول الأرض The Orbiting Motion of Satellites

القمر الصناعي عبارة عن جسم يدور حول جسم آخر تماماً كالأقمار التي هي عبارة عن توابع طبيعية للكواكب. ويوجد الآن أكثر من ألف قمر صناعي تدور حول الأرض والمجهزة بأجهزة علمية لاستكشاف الفضاء.

ويوجد عدة أغراض للأقمار الصناعية فهناك أقمار لدراسة الطقس تقوم بارسال معلومات إلى الأرض عن الطقس والتوقعات، وأخرى تعمل على نقل الرسائل وأخبار التلفزيون، وأقمار تقوم بدراسة سطح الأرض، ومنها مايستخدم في التجسس.

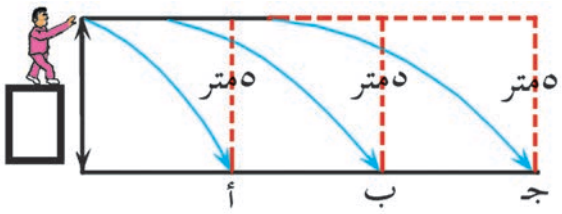
وهناك سفن ومسابير فضائية غير مأهولة أرسلت لدراسة القمر وكواكب المجموعة الشمسية الأخرى .

وللتعرف على حركة الأقمار الصناعية التي تحمل بالصواريخ ذاتية الدفع لتضعها في مدارها المخصص لها. قم بالنشاط الآتي:

نشاط (٢)

انظر الى الشكل الأتي :

افرض أن شخصاً قذف حجراً بسرعة معينة فإن الحجر سيتحرك لمسافة معينة ثم يسقط في موضع على الأرض بسبب الجاذبية الأرضية وليكن النقطة (أ) شكل (٧).



شكل (٧)

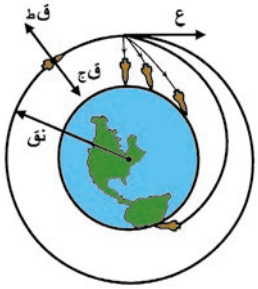
– ماذا لو رمى الحجر بسرعة أكبر. أين سيسقط ؟

حتماً سيسقط في نقطة أبعد من النقطة السابقة ولتكن النقطه(ب) .

ولنفرض أن الحجر بعد ثانية واحدة سقط سقوطاً حراً مسافة ٥ م تحت الخط المتقطع عند النقطة (أ)، فإن الحجر في القذفة الثانية سيسقط سقوطاً حراً مسافة ٥ أمتار من أعلى بالرغم من أن المسافة الأفقية ستكون أكبر من المسافة الأولى . وهكذا فإن الحجر يسلك ممراً منحنيا ليصل الى الأرض وفي كل مرة تزداد المسافة الأفقية التي يقطعها قبل أن يصل الي سطح الأرض.

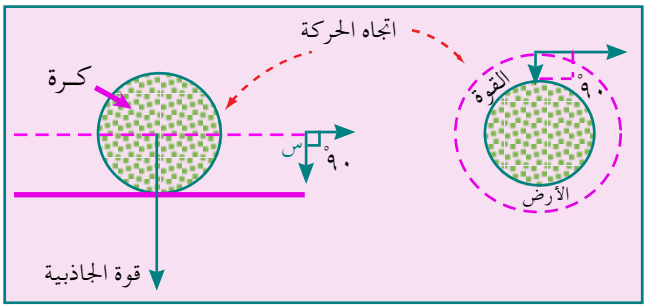
وبمقارنة رمي الحجر بقذف القمر الصناعي، فسنجد أن القمر إذا قذف بسرعة أفقية فإن المدى الذي سيقطعه أفقياً سيعتمد على مقدار السرعة التي إذا وصلت الى القيمة المناسبة فإن القمر سيدور حول الأرض في مسار دائري ذي نصف قطر ثابت وسرعة ثابتة انظر الشكل (٨)، والسرعة اللازمة لدوران القمر حول الأرض هي ٨كم/ ث .

وتوضع الأقمار الصناعية على ارتفاع ١٥٠ كيلو متر من سطح الأرض حتى تصبح بعيدة عن مقاومة الهواء الجوي إذ إن مقاومة الهواء عند هذه السرعة الهائلة ٨كم/ث، يمكن أن تحوِّل الحديد إلى سائل ومن الخطأ أن يقال إن القمر يوضع خارج نطاق الجاذبية ليتمكن من الدوران إذ إن الجاذبية الأرضية لا تنعدم .



شكل (٨)

ويدور القمر الصناعي في مسار دائري وبسرعة دوران لاتتأثر بالجاذبية بالرغم من وجودها، ويمكن فهم ذلك بمقارنة دوران القمر الصناعي في مسار دائري بكرة تتدحرج في ممر. أنظر الشكل (٩) .



شكل (٩)

إن الجاذبية لا تؤثر في سرعة الكرة لأنها تعمل رأسياً وليس إلى الأمام أو الخلف وبالتالي فإن الجاذبية تكون عمودية على اتجاه حركة الكرة .

وبالنسبة للقمر الصناعي عندما يسير في المسار الدائري حول الأرض فإنه دائماً يتحرك في اتجاه عمودي على اتجاه قوة الجاذبية الأرضية ولايتحرك في اتجاهها وبالتالي فإن مقدار سرعته لا يتأثر بقوة الجاذبية بل يتأثر اتجاه سرعته فقط، ومن ثم فإن القمر يتحرك عمودياً على اتجاه قوة الجاذبية ويتحرك موازياً لسطح الأرض وبسرعة ثابتة . وكلما كان مدار القمر الصناعي قريب من سطح الأرض زادت سرعته . وأقرب قمر صناعي لسطح الأرض يحتاج إلى ٩٠ دقيقة ليكمل دورة كاملة حول الأرض .

حساب سرعة القمر الصناعي اللازمة لاستمراره في مداره

لكي يدور القمر الصناعي حول الأرض في مدار ثابت لا بد له من توازن قوة جذب الأرض له مع قوة الطرد المركزية الناشئة عن دورانه .

∴ قوة الجذب المركزي (ق$_{ج}$) = ج $\frac{ك_{أرض} \times ك_{قمر}}{نق^{٢}}$ ..... (١)

حيث (نق) نصف قطر المدار و (ج) ثابت الجذب العام (٦,٦٧ × ١٠$^{-١١}$ × نيوتن م^{٢} / كجم^{٢})

علماً بأن : نق = نق$_{أرض}$ + الإرتفاع فوق سطح الأرض (ل)

∴ القوة الطاردة المركزية للقمر (ق$_{ط}$) = ك$_{قمر}$ × $\frac{ع^{٢}}{نق}$ .....(٢)

حيث (ع) هي السرعة المدارية للقمر . وحيث أن قوة الجذب المركزي للقمر تساوي قوة الطرد المركزي له إذاً من المعادلة (١) ، (٢) نجد أن :

$$ع = \sqrt{\frac{ج \ ك_{أرض}}{نق}}$$

– على ماذا تعتمد السرعة المدارية ؟

مثال : (٥)

قمر صناعي يدور حول الأرض على ارتفاع ٢٠٠ كيلو متر فوق سطح الأرض . احسب السرعة المدارية للقمر إذا كان نصف قطر الأرض ٦٤٠٠ كيلو متر وكتلة الأرض ٦ × ١٠^{٢٤} كيلو جرام .

الحل :

ج = ٦,٦٧ × ١٠$^{-١١}$ نيوتن م^{٢} / كجم^{٢} ، نق = ٢٠٠ كيلو متر + ٦٤٠٠ كيلو متر ، نق = ٦٦٠٠ كيلو متر = ٦,٦ × ١٠^{٦} م ، ك$_{أرض}$ = ٦ × ١٠^{٢٤} كيلو جرام .

∵ $ع = \sqrt{\frac{ج \ ك_{أرض}}{نق}}$

∴ $ع = \sqrt{٦,٦٧ \times ١٠^{-١١} \times \frac{٦ \times ١٠^{٢٤}}{٦,٦ \times ١٠^{٦}}}$ = ٧٧٨٦,٩ م / ث

كمية التحرك الزاوي : Angular Momentum

عرفت مما سبق كمية التحرك الخطي وهنا ستتعرف على كمية التحرك الزاوي التي لا تختلف كثيراً عن كمية التحرك الخطي . فبدلاً من دراسة الجسم وهو يتحرك في حركة خطية سندرسه وهو في حالة حركة دورانية . وحيث إن كمية التحرك الخطي كمية متجهة ولها مقدار واتجاه فإن كمية التحرك الزاوي كمية متجهة ولها مقدار واتجاه .

وبما أن كمية التحرك الخطي تُعطى بالعلاقة ك ع فإن كمية التحرك الزواي تعطى بالعلاقة ωI ؛ أي إن كمية التحرك الزاوي = ωI حيث I عزم القصور الذاتي ويساوي (ك نق^{٢})، ω السرعة الزاوية وتساوي $\frac{ع}{نق}$ وبهذا تعرف كمية التحرك الزاوي بأنها عبارة عن حاصل ضرب عزم القصور الذاتي الدوراني في السرعة الزاوية وتساوي (ك ع × نق) .حيث (ك) هي كتلة الجسم و(ع) سرعته الخطية و(نق)نصف قطر الدوران .

وكما أن خاصية القصور الذاتي هي عبارة عن مقاومة الجسم للتغير في حالة الحركة الخطية، فإن القصور الذاتي الدوراني هو عبارة عن مقاومة الجسم لعزم القوة التي تحاول إحداث تغيير في حالة حركة الجسم الدورانية .

أما السرعة الزواية – كما عرفت – فهي معدل تغيير الإزاحة الزاوية بالنسبة للزمن .

قانون حفظ كمية التحرك الزاوي : Conservation of Angular Momentum

يصاغ قانون حفظ كمية التحرك الزاوي كالأتي :

تظل كمية التحرك الزاوي لجسم ثابتة مالم تؤثر عليها عزوم دوران خارجية . هذا يعني أنه بدون عزم خارجي فإن حاصل ضرب عزم القصور الدوراني في السرعة الزاوية عند أية لحظة يظل ثابتاً .

لتوضيح هذا المبدأ قم بالنشاط الآتي :

نشاط (٣)

حاول أن تحصل على الجهاز الموضح في شكل (١٠) وقم بتدوير العجلة حول محورها .

- بماذا تشعر عند إدارت العجلة ؟
- استمر في تدويرها بقوة وحاول إيقافها .
- هل من السهل إيقافها ؟

لا شك أنك ستلحظ أنه من الصعب إدارتها في الحالة الأولى، وفي الحالة الثانية ستجد صعوبة في إيقاف العجلة.

وهذا يوضح خاصية القصور الذاتي الزاوي أو الدوراني ، إذاً الجسم يحاول مقاومة أي تغيير لحالته الدورانية حول محوره لأن معظم الكتلة تتركز في الإطار البعيد عن مركز الدوران.

شكل (١٠) يوضح خاصية القصور الذاتي الدوراني.

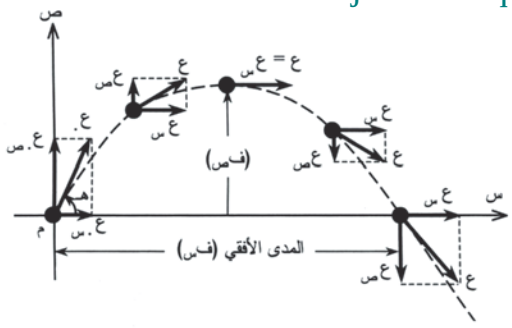
وهذا المبدأ ذو أهمية كبيرة لدوران الأرض حول الشمس، إذ يظل محور دوران الأرض ثابتاً بالنسبة للكون المحيط، وكذلك ذو أهمية كبيرة لدوران الكواكب حيث تستطيع أن تتنبأ مثلاً متى سيحدث خسوف للقمر وفي أي مكان سيكون على سطح الأرض .

حركة المقذوفات Projectiles Motion

هي حركة الأجسام المقذوفة في مستوى رأسي تحت تأثير عجلة الجاذبية الأرضية عند قذف جسم لأعلى سطح الأرض باتجاه يميل مع المحور الأفقي بزاوية (هـ). وسنتناول دراسة هذه الحركة فقط على المحورين السيني والصادي ، ونقطة الأصل للمحورين (م) نقطة تقاطعهما وهي النقطة التي يقذف منها الجسم كما يوضحه الشكل (١١).

معادلات حركة المقذوف : Projectiles Equations

نفترض أننا قذفنا جسماً بسرعة ابتدائية (ع.) وتصنع مع الاتجاه الأفقي زاوية(هـ) وهي زاوية القذف، ويبين الشكل (١١) حركة المقذوف بعد عملية قذفه.



شكل (١١)

وفي مثل هذه الحركة للأجسام فإننا نحلل سرعة المقذوف الإبتدائية (ع$_{.}$) إلى مركبتين:
الأولى على المحور الأفقي (على المحور السيني) ونرمز لها بالرمز (ع$_{.س}$).
والثانيةعلى المحور الرأسي(على المحور الصادي) ونرمز لها بالرمز (ع$_{.ص}$) والمركبتين كما يأتي:

الأولى: (ع$_{.س}$) = ع$_{.}$ **جتا هـ** (وهي مركبة السرعة الإبتدائية للمقذوف على المحور الأفقي)

الثانية:(ع$_{.ص}$) = ع$_{.}$ **جا هـ** (وهي مركبة السرعة الإبتدائية للمقذوف على المحور الرأسي)

إذاً حركة المقذوفات هي محصلة حركتين مستقلتين في وقت واحد وهما:

١- حركة في الإتجاه الأفقي (توازي المحور السيني) وتكون بسرعة ثابتة (العجلة تساوي الصفر) ومعادلات الحركة لها كما يلي:

ع$_{س}$ = ع$_{.س}$ = ع$_{.}$ جتاهـ ..... (١) ف$_{س}$ = (ع$_{.}$ جتاهـ) ز .....(٢)

حيث (ع$_{.س}$) السرعة الابتدائية الموازية للمحور السيني، (ف$_{س}$) هي المسافة التي قطعها الجسم المقذوف في الإتجاه الأفقي حتى يصل إلى نقطة الهدف بعد قذفه من نقطة القذف (م).

٢- حركة في الاتجاه الرأسي (توازي المحور الصادي)، وتكون العجلة التي يتحرك بها المقذوف في هذه الحالة مساوية لعجلة الجاذبية الأرضية (ء) = ٩٫٨ م/ث^{٢}، وسرعتها الابتدائية مقدارها (ع$_{.}$ جاهـ).

معادلات حركة الجسم المقذوف في هذه الحالة هي نفس معادلات حركة السقوط الحر ، ولكن نستبدل الرموز في معادلات الحركة الأخيرة بمركبات السرعة الابتدائية (ع$_{.}$) على المحورين كما يأتي:

ع$_{.ص}$ = ع$_{.}$ جاهـ

ع$_{ص}$ = (ع$_{.}$ جاهـ) + ء ز

ف$_{ص}$ = (ع$_{.}$ جاهـ) ز + $\frac{١}{٢}$ ء ز^{٢}

ع$^{٢}_{ص}$ = (ع$_{.}$ جاهـ)^{٢} + ٢ ء ف$_{ص}$

ملحوظة هامة :

يتحرك الجسم المقذوف في الهواء تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية، أي بتأثير وزنه فقط مع إهمال مقاومة الهواء لصغرها. والعجلة التي يتحرك بها الجسم المقذوف على المحور الأفقي (جـ$_{س}$) = صفر، لعدم وجود قوة مؤثرة على المقذوف في الإتجاه الأفقي إذا أهملنا مقاومة الهواء وحسب قانون نيوتن الأول يتحرك المقذوف في هذه الحالة بسرعة منتظمة (ثابتة)، والمركبة الأفقية لهذه السرعة تساوي

ع$_{.س}$ = ع$_{.}$ جتاهـ [السرعة الابتدائية للجسم المقذوف (ع$_{.}$)].

أما الحركة الرأسية للمقذوف فتخضع لتأثير قوة الجاذبية الأرضية وتكون سرعتها(ع$_{س}$) متغيرة، وتنعدم عندما يصل الجسم المقذوف إلى أقصى ارتفاع من سطح الأرض.

وسرعة الجسم المقذوف عند أية لحظة (ع$_{ح}$)هي محصلة السرعتين المتعامدتين الأفقية الثابتة ع$_{.س}$ = ع$_{.}$ جتا هـ ، والرأسية المتغيرة ع$_{ص}$ = ع$_{.}$ جا هـ + ء ز . وتعطى بالعلاقة التالية :

$$ع_{ح} = \sqrt{ع_{س}^{٢} + ع_{ص}^{٢}}$$

ملاحظة : تأخذ عجلة الجاذبية الأرضية إشارة سالبة عند ما يكون القذف نحو الأعلى وتأخذ إشارة موجبة عندما يكون القذف نحو الأسفل .

مثال : (٦)

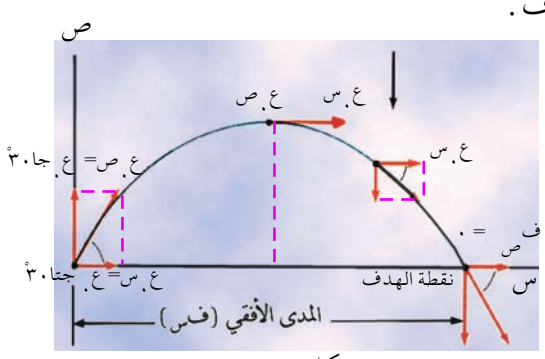
قذف جسم بسرعة ابتدائية مقدارها ١٢ م/ث في اتجاه يصنع زاوية ٣٠° مع المستوى الأفقي احسب ما يأتي : (اعتبر عجلة الجاذبية ١٠ م/ث^{٢}) .

أ – أقصى ارتفاع يصل إليه الجسم المقذوف.

ب – الزمن المستغرق لوصول المقذوف إلى أقصى إرتفاع (الذروة) .

جـ – المسافة الأفقية التي يقطعها الجسم المقذوف إلى الهدف (المدى الأفقي) .

د – السرعة المحصلة للمقذوف بعد ثانية من قذفه .



شكل (١٢)

الحـل:

أ – عندما يصل المقذوف إلى أقصى إرتفاع فإن ع$_{ص}$ = ٠

∵ ع$_{ص}^{٢}$ = (ع. جاهـ)^{٢} + ٢ ء ف$_{ص}$

∴ ٠ = (١٢ × $\frac{١}{٢}$)^{٢} + ٢(−١٠) ف$_{ص}$ = ٣٦ − ٢٠ ف$_{ص}$

∴ ٢٠ ف$_{ص}$ = ٣٦ ومنها ف$_{ص}$ = ١٫٨ متر

ب– الزمن اللازم لوصول الجسم لأقصى ارتفاع، يحسب من العلاقة:

ع$_{ص}$ = (ع. جاهـ) + ء ز ، وبالتعويض حيث ع$_{ص}$ = صفراً.

٠ = ١٢ × $\frac{١}{٢}$ + (−١٠) × ز ∴ ١٠ ز = ٦ ومنها ز = ٠٫٦ ثانية،

جـ– عندما يصل المقذوف إلى الهدف فإن ف$_{ص}$ = صفر ، وبتطبيق العلاقة

ف$_{ص}$ = (ع. جاهـ) ز + $\frac{١}{٢}$ ء ز^{٢}

∴ ٠ = (١٢ × $\frac{١}{٢}$) ز + $\frac{١}{٢}$ (−١٠) ز^{٢} = ٦ ز − ٥ ز^{٢} (بالقسمة على ز)

∴ ٦ − ٥ ز = ٠ ومنها ٥ ز = ٦

∴ ز = $\frac{٦}{٥}$ ثانية = ١٫٢ ثانية. وهو الزمن الذي استغرقه الجسم من بداية قذفه وحتى عودته إلى سطح الأرض. وهو يعادل ضعف الزمن الذي استغرقه الجسم للوصول إلى أقصى ارتفاع.

∴ المدى الأفقي (ف$_{س}$) = (ع. جتا هـ) × ز = ١٢ × $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ × ١٫٢

= ٧٫٢ × $\sqrt{٣}$ متراً = ١٢٫٥ متراً

د– سرعة الجسم المحصلة بعد مرور ثانية من قذفه:

∵ ع$_{ص}$ = (ع. جاهـ) + ء ز حيث ع$_{ص}$ هي مركبة السرعة على محور الصادات.

∴ ع$_{ص}$ = ١٢ × $\frac{١}{٢}$ − ١٠ × ١ = ٦ − ١٠ = −٤ م/ث

∵ ع$_{س}$ = ع. جتا هـ = ١٢ × $\frac{\sqrt{٣}}{٢}$ = ٦ $\sqrt{٣}$ م/ث

ثم نوجد سرعة الجسم ككل بعد ثانية بالتعويض في القانون:

ع$_{ح}$ = $\sqrt{ع_{س}^{٢} + ع_{ص}^{٢}}$ = $\sqrt{(٦\sqrt{٣})^{٢} + (-٤)^{٢}}$ = $\sqrt{١٠٨ + ١٦}$ = $\sqrt{١٢٤}$ = ١١٫١٤ م/ث

تقويم الوحدة

السؤال الأول :

ضع علامة (✔) أمام الفقرة الصحيحة وعلامة (X) أمام الفقرة الخطأ فيما يأتي :

أ – تظل الطاقة الحركية لأي تصادم ثابتة . ( )

ب– تعمل الصواريخ ذاتية الدفع وفق مبدأ حفظ كمية التحرك . ( )

جـ – تعمل البالونة المنفوخة والمتروكة حرة ومفتوحة بمبدأ الفعل ورد الفعل ( )

د – مبدأ الفعل ورد الفعل لاينطبق خارج الغلاف الجوي للأرض . ( )

هـ – ٨كم /ث هي سرعة افلات الأجسام من الجاذبية الأرضية . ( )

و – في حالة افلات الجسم من الجاذبية الأرضية فإن طاقته الحركية تقل عن طاقة الوضع . ( )

ز – تزدادالسرعةالمدارية للقمر الصناعي في حالة قربه من الأرض . ( )

ح – يسير القمر الصناعي موازياً لجاذبية الأرض . ( )

ط– تعتمد السرعة المدارية للقمر الصناعي على نصف قطر مداره . ( )

ي– كمية التحرك الزاوي كمية متجهة . ( )

ك– السرعة الزاوية لجسم = $\frac{\text{كمية التحرك الزاوي}}{\text{عزم القصور الذاتي الدوراني}}$ ( )

ل– تظل كمية التحرك الزاوي لجسم ثابتة مالم تؤثر عليها عزوم دوران خارجية . ( )

السؤال الثاني :

إذا كانت كمية التحرك لصاروخ٥ X ١٠^{٨} كجم . م/ث ،
وكانت سرعته ٥ X ١٠^{٣} م/ث . فما كتلته ؟

السؤال الثالث :

إذا كانت سرعة الإفلات لصاروخ من الجاذبية الأرضية هي ١١٫٢كم/ث
وكانت عجلة الجاذبية الأرضية ٩٫٨ م/ث^{٢} فما مقدار نصف قطر الأرض؟

السؤال الرابع :

يتحرك جزيء غاز بسرعة ١٥٠م/ث نحو جزيء غاز آخر ساكن (فرضاً) ومساوٍ له في الكتلة . وبعد التصادم تحرك الجزيء الأول في إتجاه يصنع زاوية مقدارها ٣٠° مع خط حركته الإبتدائية ومتعامداً مع إتجاه حركة الجزيء الثاني .

احسب مقدار سرعتي الجزيئين بعد التصادم .

السؤال الخامس:

عربة كتلتها ٥ طن تتحرك بسرعة ٣٦ كم / ساعة في اتجاه الشرق تصادمت مع عربه آخرى كتلتها ٤ طن وتتحرك بسرعة ٧٢ كم / ساعة في اتجاه الشمال إذا التصقت العربتان وتحركتا معاً كحطام بعد التصادم فأحسب مايلي :

أ – السرعة التي يتحرك بها الحطام بعد التصادم مباشرة .

ب – الزاوية التي يصنعها مع اتجاه الشرق .

جـ – الطاقة الحركية المفقودة أثناء التصادم .

السؤال السادس:

أحسب الإرتفاع فوق سطح الأرض لقمر صناعي يتحرك في مسار دائري بسرعة مدارية مقدارها ٤ كم/ث .

السؤال السابع:

أطلق مدفع قذيفة بسرعة إبتدائية مقدارها ٢٠٠√٢ م/ث باتجاه يصنع زاوية مقدارها ٤٥° مع الاتجاه الأفقي . بإهمال مقاومة الهواء واعتبار عجلة الجاذبية الأرضية تساوي ١٠ م/ث^{٢} ، أوجد :

أ – ذروة القذف

ب – المدى الأفقي

جـ – سرعة القذيفة الكلية بعد مرور ٣٥ ثانية من لحظة القذف .

د – إرتفاع القذيفة بعد مرور ٣٥ ثانية من لحظة القذف .

السؤال الثامن:

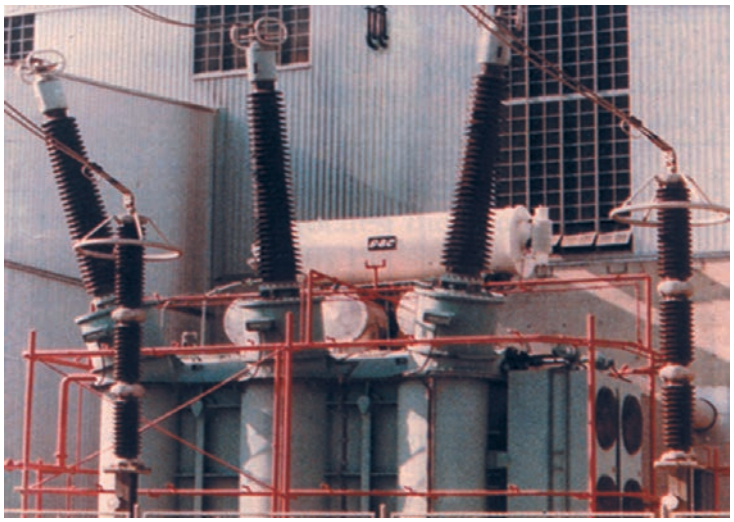
مقذوف ذروة قذفة ٤٠ متر ومداه الأفقي ١٦٠√٣ متر ، احسب :

أ – الزاوية التي قذف بها

ب – سرعته الإبتدائية .

الوحدة الثانية

التيـــار المتـــردد (المتناوب)
Alternating Current



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يتعرف على التيار المتردد وأنواعه وأكثر الأنواع استخداماً .
٢- يقارن بين التيار المستمر والتيار المتردد .
٣- يوضح فكرة صناعة المولدات الكهربائية لتوليد تيار كهربائي متردد .
٤- يحل تطبيقات ومسائل على العلاقات الرياضية الواردة في الوحدة .
٥- يعرِّف بعض المفاهيم ذات العلاقة بالتيار المتردد .
٦- يتعرف على مكونات جهاز الأميتر الحراري وخصائص عملها .
٧- يفسر فرق الطور بين شدة التيار المتردد وفرق الجهد للدائرة المحتوية على مكثف وملف ومقاومة .
٨- يحدد وظائف بعض الدوائر الكهربائية المهتزة الواردة في الوحدة .
٩- يستنتج العلاقات في حالة توصيل المكثفات والملفات على التوالي والتوازي في دوائر التيار المتردد .
١٠-يجرى بعض الأنشطة لتوضيح تطبيقات قانون أوم في دوائر التيار المتردد.

درست في الصفوف السابقة التيار الكهربائي المستمر (D.C) ومصادره ودوائره الكهربائية وكذلك تأثيراته المختلفة .

وفي هذا الصف سندرس النوع الآخر من أنواع التيار الكهربائي، وهو التيار الكهربائي المتردد (A.C) .

يستخدم التيار المتردد في جميع وسائل حياة الإنسان مثل تشغيل المصانع والأجهزة الحديثة، وإضاءة المنازل والشوارع العامة ، ويسهم في التقدم الحضاري والتكنولوجي، والعلمي .

فماذا يعني التيار الكهربائي المتردد ؟ وما أنواعه ؟

التيار المتردد

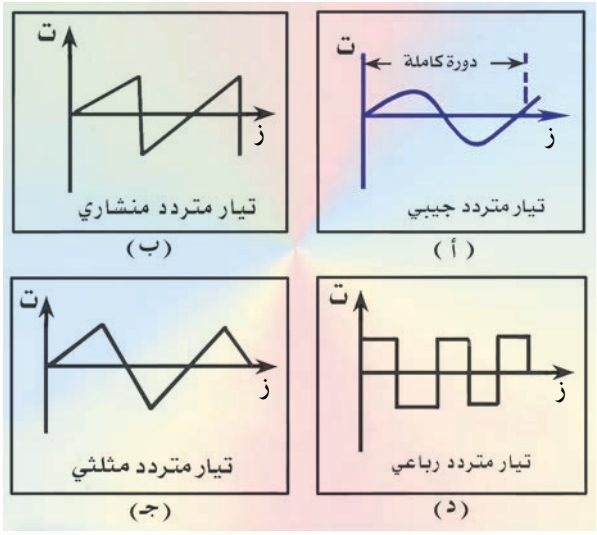
هو التيار الذي تتغير شدته واتجاهه مع الزمن ، وهو عدة أنواع نذكر منها :

التيار المتردد الجيبي، التيار المتردد المنشاري، التيار المتردد المثلثي والتيار المتردد الرباعي والشكل (١) أ ، ب ، جـ ، د يوضح هذه الأنواع .

التيار المتردد الجيبي

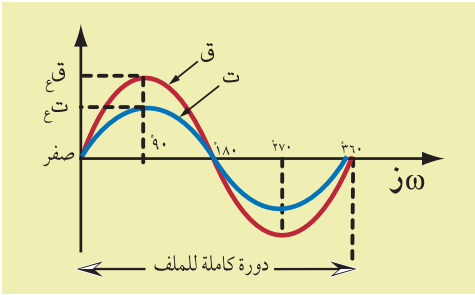
هو الشائع استخداماً في حياتنا وسندرسه في هذه الوحدة، ويعرف بأنه: تيار كهربائي متغير الشدة لحظياً ومتغير الأتجاه في كل نصف دورة من دورات ملف مولده .

أو هو التيار الذي يسرى في موصل بصورة موجيه جيبية تتغير خلالها القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية الناتجة عن دوران ملف المولد له من الصفر إلى نهاية عظمى ، وتهبط هذه



شكل (١)

القيمة إلى الصفر خلال نصف الدورة الأول من دورات ملف مولده ، ثم ينعكس اتجاهه من قيمة موجبة إلى قيمة سالبة وتزداد شدته في هذه الحالة من الصفر إلى نهاية عظمى سالبة ، ثم تقل بعد ذلك إلى الصفر خلال نصف الدورة الثاني لملف مولده،



شكل (٢) يوضح المنحني الجيبي للتيار المتردد والقوة الدافعة خلال دورة كاملة لملف مولده (الدينامو)

ويتكرر ذلك بنفس الطريقة السابقة في كل دورة كاملة من دورات ملف المولد، والشكل (٢) يوضح منحنى تغير شدة التيار المتردد خلال دورة كاملة لملف مولده ويطلق على هذا المنحنى المنحنى الجيبي لأن شدة التيار المتردد أو القوة الدافعة الكهربائية له واتجاهه يتغيران تبعاً لدالة جيب الزاوية .

مميزات التيار المتردد

يتميز التيار المتردد عن التيار المستمر بما يلي :

١- يمكن رفع أو خفض قوته الدافعة الكهربائية باستخدام المحولات بحسب حاجة الإنسان لاستخدامه .

٢- يمكن نقله من محطات توليده إلى أماكن استخدامه عبر الأسلاك ولمسافات بعيدة دون فقد نسبة كبيرة من طاقته أثناء انتقالها .

٣- تكاليف نقله منخفضة .

٤- يمكن تحويله بطرق معينة إلى تيار مستمر لاستخدامه في عمليات الطلاء والتحليل الكهربائي وغيرها .

٥- أجهزة الحصول عليه أرخص ثمناً .

٦- يمر في الدوائر التي بها مكثفات بينما لا يمر التيار المستمر فيها إلا للحظات .

- فيم يتفق كل من التيار المتردد ، والتيار المستمر ؟

يجب عليك الاعتماد على معلوماتك السابقة للإجابة على السؤال السابق ، ثم قدم الإجابة إلى مدرسك للتأكد من صحتها .

– كيف تمكن الإنسان من الحصول على التيار الكهربائي المتردد؟

– وما الفكرة النظرية التي تمت على أساسها صناعة المولدات الخاصة بتوليده؟

للإجابة على التساؤلات السابقة قم بإجراء النشاط التالي :

نشاط (١)

احضر مغناطيساً على شكل حدوة الفرس أو حرف (U)، ذا قطبين قويين، ثم سلكاً متوسط السمك من النحاس، وجلفانومتر حساس، وسلك توصيل. قم بتنفيذ الخطوات الآتية:

١– ضع المغناطيس على سطح منضدة خشبية.

٢– صل طرفي سلك النحاس السميك بالجلفانومتر الحساس بواسطة أسلاك توصيل كما يوضحه الشكل (٣).

٣– امسك السلك بيدك وحركه إلى الأعلى وإلى أسفل بين القطبين بسرعة معينة، ثم لاحظ مؤشر الجلفانومتر.

٤– أوقف حركة السلك بين قطبي المغناطيس. ولاحظ ما يحدث لمؤشر الجلفانومتر الحساس؟

شكل (٣): مغناطيس على شكل حذوة الفرس لتوليد التيار الكهربائي

– ماذا تستنتج من الملاحظات السابقة ؟

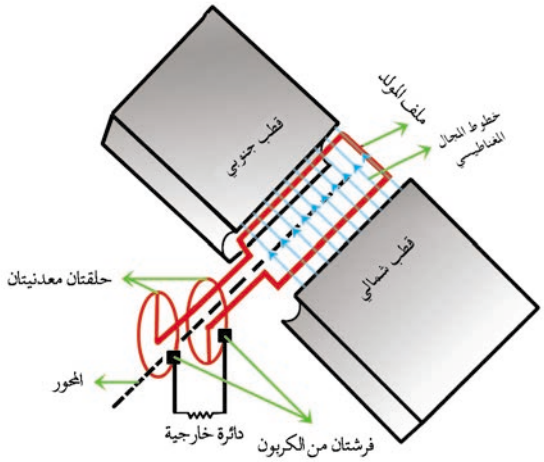
– هل يمكن أن نطبق فكرة النشاط في صناعة جهاز يولد تيار كهربائياً متردداً ؟

مولد التيار المتردد (دينامو) : (Electric Generator (Dynamo

يمكننا أن نرى من خلال النشاط أنه يمكن صناعة جهاز يولد التيار المتردد والمسمى « بالدينامو » أو مولد التيار المتردد المستخدم في المحطات المركزية والشكل (٤) يبين أبسط صورة لتركيبه .

كيف يعمل الدينامو لتوليد (ق . د . ك) المترددة؟

نفترض أن ملف المولد الموضح بالشكل (٤) يتكون من لفة واحدة، وأنه بدأ الدوران عندما كان مستواه عمودياً على إتجاه خطوط كثافة الفيض المغناطيسي(ب) .



شكل (٤) تركيب المولد الكهربائي في أبسط صورة

فإذا دار الملف بسرعة زاوية منتظمة (ω) فإن الزاوية التي يقطعها الملف بعد مرور زمن مقداره (ز) ثانية = ω ز، وأن الفيض المغناطيسي(ϕ) الذي يخترق الملف في هذا الوضع هو :

ϕ = س × ب جتا ωز ..... (١) .

حيث المقدار (ب جتا ω ز) هو مركبة كثافة الفيض المغناطيسي (ب) العمودية على مستوى ملف المولد، (س) مساحة أحد وجهي الملف مقاسة بالمتر المربع .

ونتيجة لتغير الفيض المغناطيسي خلال الملف عند دورانه تتولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية تعطى بالعلاقة التالية :

$$ق = - \frac{\text{ء } \phi}{\text{ء ز}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

والإشارة السالبة تعني أن القوة الدافعة المتولدة تولد فيضاً مغناطيسياً يضاد التغير في الفيض المغناطيسي المولد لها .

وبالتعويض عن قيمة (ϕ) في العلاقة (٢) من العلاقة (١) تصبح العلاقة (٢) كما يلي :

$$ق = - \frac{\text{ء } (\text{س ب جتا } \omega \text{ ز})}{\text{ء ز}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

وعندما نقوم باستخراج الاشتقاق التفاضلي للعلاقة السابقة تصبح :

ق = س ب ω جا ω ز ..... (٤)

تستخدم العلاقة (٤) لحساب القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة في الملف عندما يكون عدد لفاته لفة واحدة ، لكن عندما يكون الملف مكون من عدد (ن) من اللفات فإن العلاقة (٤) تكتب على الصورة :

ق = ن ب س ω جا ω ز ..... (٥)

عندما تكون قيمة جيب زاوية دوران الملف (جا ω ز) تساوي واحد (ω ز= ٩٠°) حيث جا ٩٠° = ١ . فإن القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية (ق) تكون نهاية عظمى وتحسب من العلاقة : ق = ن ب س ω ..... (٦)

ع

حيث (ق) هي النهاية العظمى للقوة الدافعة الكهربائية التأثيرية المتولدة في ملف المولد . إذاً يمكن حساب القوة الدافعة الكهربائية التأثيرية عند أية لحظة من العلاقة :

ق = ق جا ω ز ..... (٧)

ع

ويعتمد مقدار القوة الدافعة التأثيرية اللحظية على كل من : السرعة الزاوية لدوران الملف (ω) ، وكثافة الفيض المغناطيسي (ب) ، ومساحة أحد وجهي الملف (س) ، عدد لفات الملف (ن)، والزواية (ω ز) بين متجه كثافة الفيض المغناطيسي (ب) والمتجه العمودي على مستوى الملف .

وطبقاً للعلاقة (٧) فإن القوة الدافعة التأثيرية المتولدة تتغير طبقا لتغير جيب الزاوية خلال دورة كاملة لملف المولد كما هو موضح في المنحنى الجيبي المبين بالشكل

نشاط (٢)

١- عندما تكون زاوية دوران الملف (ω ز) = صفراً فما قيمة (ق . د . ك) عند هذه الحالة؟

٢- عندما تزداد قيمة مقدار الزاوية (ω ز) إلى أن تصبح قيمتها = ٩٠° فما قيمة القوة الدافعة الكهربائية في هذه الحالة ؟

٣- عندما تصبح زاوية دوران الملف = ١٨٠° فهل قيمة (ق . د . ك) المتولدة تزداد أم تقل ؟ ومامقدارها عند هذه اللحظة ؟

٤- إذا اصبحت قيمة زاوية دوران الملف (ω ز) = ٢٧٠°، فهل تزداد قيمة (ق . د . ك) المتولدة عند هذه اللحظة أم تقل ؟ وما قيمتها ؟

٥- إذا استكمل ملف المولد دورة كاملة وصنع زاوية مقدارها = ٣٦٠° فهل قيمة (ق ٠ د ٠ ك) المتولدة تزداد أم تقل ؟ وما قيمتها عند هذه اللحظة ؟

* عليك الاعتماد على العلاقة (٦) والشكل (٢) الممثل للمنحنى الجيبي للتيار المتردد . أجب عن الأسئلة السابقة الواردة في النشاط ، وقدمها لمدرسك للتأكد من صحة الإجابة .

من خلال إجابتك الصحيحة للأسئلة السابقة فإن القيم الواردة في الأسئلة الخمسة السابقة تتكرر في كل دورة من دورات ملف المولد ، ونتيجة لذلك تتغير شدة واتجاه التيار الكهربائي المتولد وكذلك تتغير قيمة واتجاه القوة الدافعة الكهربائية بنفس الكيفية .

مفاهيم متعلقة بالتيار المتردد

- **الذبذبة الكاملة للتيار المتردد :**

هي التغير الذي يحدث للتيار المتردد خلال دورة كاملة لملف الدينامو المولدة له .

- **زمن الذبذبة الكاملة للتيار المتردد (الزمن الدوري) :**

هو الزمن اللازم لحدوث دورة كاملة لملف الدينامو أو حدوث ذبذبة كاملة للتيار المتردد .

التردد (f) Frequency

هو عدد الذبذبات التي يحدثها التيار المتردد في الثانية الواحدة ، ويساوي نفس عدد دورات الملف المولد له في الثانية الواحدة . أي أن :

$$\text{التردد } (f) = \frac{\text{عدد الدورات}}{\text{الزمن بالثواني}}$$

ويرتبط التردد بالسرعة الزاوية (ω) من خلال العلاقة :

$$\omega = ٢\pi f \quad \text{ومنها} \quad f = \frac{\omega}{٢\pi}$$ ووحدة قياسه هي دورة / ثانية أو هيرتز (Hz)

مثال (١)

ملف مولد تيار كهربائي متردد على شكل مستطيل طوله ٥٠ سم ، وعرضه ٢٠ سم ، يتكون من ١٠٠ لفة ملفوفة على التوالي ، يدور حول محور مواز لطوله بمعدل ٣٠٠ دورة في الدقيقة في مجال مغناطيسي منتظم كثافة فيضه ٠,٧ تسلا ، احسب النهاية العظمى للقوة الدافعة الكهربائية المتولدة بين طرفيه .

الحل : ∵ ق$_ع$ = ب س ω للفة الواحدة .

∴ ق$_ع$ = ن (ب س ω) بالتعويض عن القيم المعطاة في المثال فإن :

$$ق_ع = ١٠٠ (٠,٧ \times ٠,٥ \times ٠,٢ \times ٢ \times \frac{٢٢}{٧} \times \frac{٣٠٠}{٦٠})$$

$$= ١٠٠ (٧ \times ٥ \times ٢ \times \frac{٤٤}{٧} \times \frac{٣٠}{٦} \times ١٠^{-٣})$$

$$= ١٠٠ \times ٤٤٠ \times ٥ \times ١٠^{-٣} = ٢٢٠ \text{ فولت} .$$

القيمة الفعالة للتيار المتردد : Root Mean Square (Effective) Value

عرفت سابقاً أن التيار المتردد هو عبارة عن تيار كهربائي متغير الشدة والإتجاه وليس له شدة ثابتة كما في التيار المستمر ، والسؤال الذي نطرحه هو :

* – كيف يمكن تقدير قيمة شدة التيار المتردد ؟ وما اسم الجهاز المستخدم لقياسه ؟

مر عليك سؤال سابق وهو : فيم يتفق كل من التيار المتردد والتيار المستمر ؟ ولاشك أنك أجبت عليه كما يلي :

يتفقان في توليد طاقة حرارية عند مرور كل منهما في الموصلات الكهربائية .

* – ما المقصود بالقيمة الفعالة للتيار المتردد ؟

عند مرور التيار المتردد في موصل فإنه يولد طاقة حرارية فيه وكذلك إذا مر تيار مستمر في نفس الموصل، ولنفس الزمن الذي استغرقه مرور التيار المتردد فإنه يولد طاقة حرارية في الموصل .

وعندما تتساوى الطاقة الحرارية التي يولدها تيار متردد في زمن معين، والطاقة الحرارية التي يولدها تيار مستمر عند مروره في نفس الموصل ولنفس الزمن، فإن شدة التيار المستمر المار في الموصل هي ما نسميها (القيمة الفعالة للتيار المتردد) .

تعريف القيمة الفعالة للتيار المتردد : تقدر بشدة تيار مستمر يولد نفس الطاقة الحرارية التي يولدها التيار المتردد عند مرورهما في نفس الموصل ولنفس الزمن .

وعلى ضوء ماسبق فقد تم تصميم جهاز لقياس شدة التيار المتردد يعتمد على توليد الطاقة الحرارية المتولدة فيه عند مرور تيار متردد في دائرته ويطلق على هذا الجهاز (الأميتر الحراري) أو (الأميتر ذو السلك الحراري) Hot Wire Ammeter.

حساب القيمة الفعالة للتيار المتردد :

وبعد إجراء عدة تجارب عملية ، وعمليات حسابية وجد أن :

$$\text{القيمة الفعالة للتيار المتردد} = \frac{\text{النهاية العظمى لشدته}}{\sqrt{٢}}$$

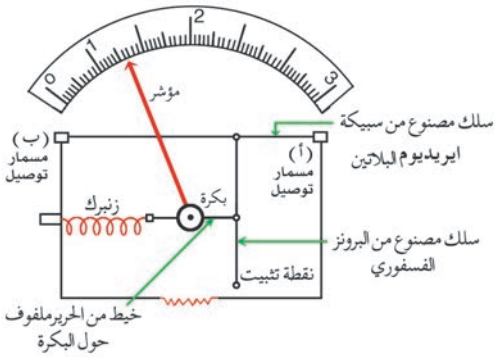
$$= ٠٫٧٠٧ \times \text{النهاية العظمى لشدته}$$

وبنفس الطريقة يمكن حساب القيمة الفعالة للقوة الدافعة الكهربائية للتيار المتردد

$$ق_{\text{فعالة}} = \frac{ق_ع}{\sqrt{٢}} = ٠٫٧٠٧ \times ق_ع$$

الأميتر الحراري : Hot Wire Ammeter

تمكن علماء الفيزياء من تطبيق فكرة التأثير الحراري للتيار الكهربائي في صناعة جهاز يقيس شدة التيار المتردد والمستمر ، وهذا الجهاز يسمى الأميتر الحراري ، وتركيبه يوضحه الشكل (٥) .



شكل (٥) تركيب الأميتر الحراري

شرح عمله :

عند مرور التيار المتردد المراد قياس قيمته الفعالة في السلك (أ ب) فإن السلك يسخن وترتفع درجة حرارته ويتمدد فيتحرك خيط الحرير المشدود حلول البكرةفي اتجاه الزمبرك ، وتدور البكرة تبعاً لذلك ، وبنفس الوقت يدور معها المؤشر المثبت عليها ببطء إلى أن يستقر وذلك عندما يتوقف تمدد سلك الأميتر

أي عندما تتساوى كمية الحرارة المتولدة فيه والمفقوده منه في الهواء المحيط به وعندها تدل قراءة المؤشر على القيمة الفعالة لشدة التيار المتردد .

❖ ملحوظـــة :

أمكن معايرة تدريج الأميتر الحراري بمقارنته بأميتر ذو ملف متحرك عندما يوصلا معاً على التوالي بمصدر تيار مستمر ونعين قراءات الأميتر ذوالملف المتحرك ونسجلها أمام مؤشر الأميتر الحراري .

عيوب الأميتر الحراري :

أ – يتحرك مؤشره ببطء حتى يثبت على التدريج ، كما أنه يعود إلى تدريج الصفر ببطء بعد فتح الدائرة الكهربائية وانقطاع مرور التيار فيه .

ب – تأثر سلك إيريديوم البلاتيني بحرارة الجو المحيط به ارتفاعاً وانخفاضاً ، وهذا يسبب خطأً في قراءة الأميتر ، أي إنه لايعطي القراءة الصحيحة للقيمة الفعالة لشدة التيار المتردد المراد قياسها .

كيفية التخلص من العيوب السابقة في الأميتر الحراري ؟

يمكن التخلص من العيب الثاني (ب) وذلك عن طريق شد سلك إيريديوم البلاتين على لوحة من مادة لها نفس معامل تمدده، مع عزله عنها بمادة عازلة .

نشاط (٣)

حاول مشاهدة تدريج الأميتر الحراري إن وجد في مختبر المدرسة أو استعن بمهندس كهربائي لذلك إذا أمكن لك .

لاحظ المسافات المدونة على لوحة التدريج ثم أجب عما يأتي :

* هل مسافات التدريج متساوية أم غير متساوية ؟
* لماذا يزداد اتساعها كلما زادت قيمة شدة التيار المدونة على تدريج الأميتر الحراري؟

حاول أن تجيب عن الأسئلة السابقة ، واستعن بمدرسك لتصحيح إجابتك .

تطبيقات قانون أوم في دوائر التيار المتردد

دوائر التيار المتردد : A.C. Circuits

درست في السنوات الماضية التيار المستمر وبعض دوائر التيار المستمر وعرفت ماذا يحدث للتيار المستمر عند توصيل مكثف إلى مصدر قوة دافعة مستمرة .

وهنا سنتناول بعض دوائر التيار المتردد، ولدراسة بعض هذه الدوائر عليك القيام بتنفيذ النشاط التالي :

نشاط (٥)

أحضر مكثفاً كهربائياً ذا سعة محدودة ولتكن ١٠٠٠ ميكروفاراد ومصباح كهربائي صغير يعمل على فرق جهد حوالي ٣ ڤولت، وبطارية قوتها الدافعة ما بين (٣–٦) ڤولت، وأميتر حراري، ومفتاح كهربائي، وقاعدة مصباح، وأسلاك توصيل .

قم بالخطوات الآتية :

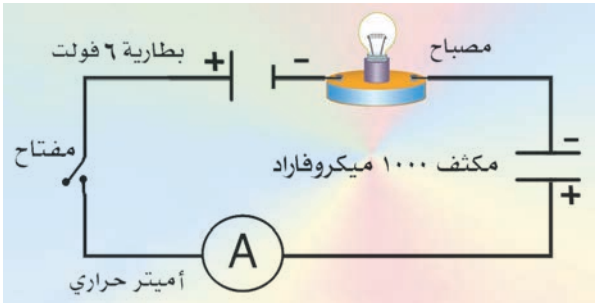
١– صل الأدوات السابقة معاً على التوالي كما يوضحه الشكل (٦) .

٢– أقفل الدائرة الكهربائية بواسطة المفتاح .

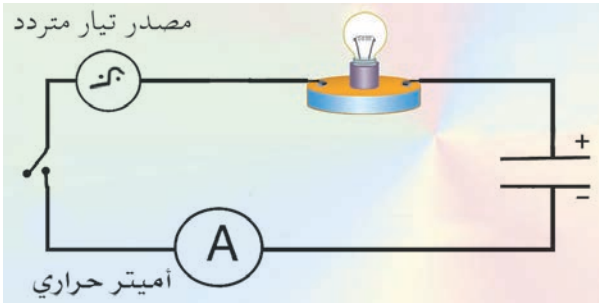
لاحظ إضاءة المصباح . هل سيضيئ المصباح الكهربائي ؟ فسر ذلك .

لا يضيئ المصباح لأن التيار المستمر لن يمر في الدائرة الكهربائية إلاّ لفترة زمنية قصيرة جداً، وهي مدة شحن المكثف، وبعد ذلك يتوقف مروره .

وهذه الفترة القصيرة جداً ليست كافية لتسخين فتيل المصباح حتى يضيئ .



شكل (٦)



شكل (٧)

٣- استبدل البطارية السابقة بمصدر تيار متردد ولتكن قوته الدافعة من (٣-٦) فولت، كما في الشكل (٧) ثم أقفل الدائرة بواسطة المفتاح، ولاحظ ما يحدث للمصباح. لا شك أنه سيضيء، ما سبب ذلك؟

من خلال النشاط نستنتج أن التيار المتردد يمر من أحد لوحي المكثف الكهربائي إلى اللوح الآخر المتصل بالدائرة مع مصدر التيار المتردد على التوالي في الدائرة الخارجية فقط، ولا يمر عبر المكثف نفسه، وكذلك لا يمر التيارالمستمر خلال لوحي المكثف لوجود مادة عازلة بينهما.

دائرة مكثف متصل بصدر تيار متردد :

يوضح الشكل (٨) دائرة مكثف سعته (سع) وصل بمصدر تيار كهربائي متردد. ففي النصف الأول لدورة التيار المتردد يشحن المكثف حتى يصل فرق الجهد بين لوحيه إلى قيمة عظمى (جـ = جـ ع) وتكون الشحنات (س) عليه أعلى ما يمكن، وعند ذلك يتوقف الشحن وينعدم التيار في الدائرة (ت = صفر). وعندها تبدأ القوة الدافعة الكهربية (ق) للمصدر بالهبوط، ويبدأ جهد المكثف بالانخفاض ويقوم المكثف بتفريغ شحنته حتى يصل معدل التفريغ (أي التيار) إلى قيمته العظمى (ت = ت ع) عندها يكون المكثف مفرغاً تماماً من الشحنات وينعدم فرق الجهد بين لوحيه (جـ = صفر).

شكل (٨)

وفي النصف الثاني لدورة التيار المتردد يسري التيار في الاتجاه المعاكس ويشحن المكثف مرة أخرى، ولكن بشحنات مضادة على لوحيه حتى يصل فرق الجهد بينهما إلى قيمة عظمى سالبة (جـ = - جـ ع) وتكون الشحنات (س) عليه أعلى ما يمكن، وعند ذلك يتوقف الشحن وينعدم التيار في الدائرة (ت = صفر). ثم يبدأ جهد المكثف بالانخفاض مرة أخرى ويقوم المكثف بتفريغ شحنته حتى يصل التيار إلى قيمة عظمى سالبة (ت = - ت ع) عندها يكون المكثف مفرغاً تماماً من الشحنات وفرق الجهد بين لوحيه صفراً (جـ = صفر)، وذلك عند انتهاء النصف الثاني لدورة التيار المتردد.

ويتكرر ما حدث في الدورة الأولى في كل دورة من دورات التيار المتردد فإذا كان تردد التيار كما في اليمن ٥٠ هيرتز فإن شحن وتفريغ المكثف يتكرر ١٠٠ مره في كل ثانية. ويوضح الشكل (٩) المنحنيات البيانية لكل من: الشحنة الكهربائية (سـ) وفرق الجهد الكهربائي بين لوحي المكثف (جـ) وشدة التيار الكهربائي (ت) المار في دائرة المكثف.

علاقة زاوية الطور بين فرق الجهد وشدة التيار في دائرة المكثف.

يلاحظ مماسبق أن التيار المتردد يمر في الدائرة السابقة بين قطبي المصدر وبين لوحي المكثف المتصل مع المصدر الكهربائي المتردد، وتتناسب شدة التيار المتردد التي تمر في أية لحظة تناسباً طردياً مع معدل التغير في شحنة المكثف أو جهده.

وتحسب الشحنة الكهربائية المتراكمة على لوحي المكثف عند أية لحظة زمنية

من العلاقة : $سـ = سع \times جـ_{ل}$ ..... (١)

حيث فرق الجهد $(جـ_{ل}) = جـ_{ع} \times جا(\omega ز)$ ..... (٢)

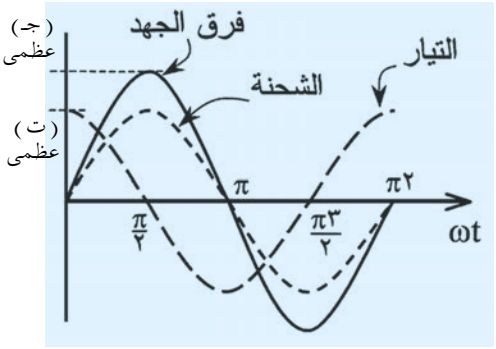
ومن العلاقتين (١ ، ٢) فإن: $سـ = سع \times جـ_{ع} \times جا(\omega ز)$ ..... (٣)

وعند اشتقاق طرفي العلاقة (٣)

بالنسبة للزمن (ز) فإنها تصبح :

$$\frac{د سـ}{د ز} = سع \times \frac{د(جـ_{ع} \times جا \omega ز)}{د ز}$$

$$\frac{د سـ}{د ز} = سع جـ_{ع} \times \omega \times جتا \omega ز \quad ... (٤)$$



شكل (٩)

وحيث أن : $\frac{د سـ}{د ز}$ عند أية لحظة تمثل

شدة التيار الكهربائي اللحظي ($ت_{ل}$) المار في الدائرة الكهربائية.

$$\therefore \frac{د سـ}{د ز} = ت_{ل} = \omega سع جـ_{ع} \times جتا \omega ز \quad ..... (٥)$$

وتكون أعلى قيمة للتيار عندما تكون قيمة جتا $\omega ز = ١$ (أي إن $\omega ز =$ صفر)

وعند التعويض عن هذه القيمة في العلاقة (٥) تصبح العلاقة كما يلي :

$ت_ع = \omega$ سع $جـ_ع$ ..... (٦)

ومن هذه العلاقة يمكن حساب شدة التيار العظمى المار في الدائرة .

وعند تعويض العلاقة (٦) في العلاقة (٥) يمكن كتابة العلاقة (٥) بالصورة التالية : $ت_ل = ت_ع$ X جتا ωز ..... (٧)

ومن هذه العلاقة يمكن حساب شدة التيار الكهربائي عند أية لحظة . وبتعويض العلاقة المثلثية جتاωز = جا(ωز + $\frac{\pi}{٢}$) في العلاقة (٧) نجد أن :

$ت_ل = ت_ع$ X جا (ωز + $\frac{\pi}{٢}$) ..... (٨)

وإذا قارنا بين المعادلة (٢ ، ٧) نجد أن الجهد اللحظي بين طرفي المكثف دالة في جيب الزاوية (ωز) بينما التيار اللحظي المار في دائرة المكثف دالة في جيب تمام الزاوية (ωز) .

وهذ يدل أن منحنى التيار يتقدم على منحنى الجهد بزاوية طور ثابته قيمتها $\frac{\pi}{٢}$

وهذا ماتوضحه ايضاً المعادلة (٨،٢) والشكل (٩) .

نشاط (٦)

العلاقة بين شدة التيار وسعة المكثف

لدراسة العلاقة بين تيارات الشحن والتفريغ في المكثف، نعيد تكرار تنفيذ خطوات النشاط السابق ، ولكن بتغيير المكثف السابق بمكثف آخر سعته أقل ولتكن ١٠٠ ميكروفاراد بدلاً من ١٠٠٠ ميكروفاراد .

ونوصل المكثف بمصدر تيار متردد كما سبق، ونغلق الدائرة الكهربائية، ثم نلاحظ ضوء المصباح .

* ماذا سيحدث لإضاءة المصباح من حيث شدة الإضاءة ، أو ضعفها ؟

يلاحظ أن إضاءة المصباح تقل عن الإضاءة السابقة عندما كانت سعة المكثف كبيرة (١٠٠٠) ميكروفاراد في النشاط السابق .

* ماذا نستنتج من ذلك ؟

تيار الشحن والتفريغ للمكثف تقل عندما تقل سعة المكثف وتزداد عندما تزداد سعة المكثف ، وهذا يثبت أنه كلما زادت سعة المكثف فإن قدرته على تمرير التيار المتردد تزداد، وأنه كلما قلت سعة المكثف تقل قدرته على تمرير التيار

المتردد بسبب زيادة مقاومته .

وهذه المقاومة التي يبديها المكثف لمرور التيار الكهربائي المتردد نتيجة لسعته نسميها : « المفاعلة السعوية » .

المفاعلة السعوية للمكثف Capacitive Reactance

ما المقصود بالمفاعلة السعوية للمكثف ؟

هي الممانعة التي يلقاها التيار الكهربائي المتردد عند مروره في مكثف نتيجة لسعته .

هل هناك فرق بين المفاعلة السعوية وبين المقاومة الأومية؟ بيِّن الفرق بينهما .

المفاعلة السعوية للمكثف لا تحوّل أي جزء من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية، وإنما تخزن الطاقة الكهربائية في المكثف في المجال الكهربي له . بينما المقاومة الأومية تحول جزءاً من الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية .

حساب المفاعلة السعوية لمكثف :

يمكن استنتاج علاقة رياضية لحساب المفاعلة السعوية لمكثف وذلك كنسبة أعلى قيمة لفرق الجهد (جـ ع) بين لوحي المكثف إلى أعلى قيمة لشدة التيار المار في الدائرة (ت ع) أي إن :

$$م_{سع} = \frac{جـ_ع}{ت_ع} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

وبالتعويض عن قيمة (ت ع) من العلاقة (٦) السابقة في هذه العلاقة، فإن :

$$\therefore م_{سع} = \frac{جـ_ع}{\omega سع \, جـ_ع} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٢)$$

حيث (م سع) المفاعلة السعوية للمكثف

$$\therefore م_{سع} = \frac{١}{\omega سع} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (٣)$$

وبما أن $\omega = ٢ \pi f$ حيث (f) تردد مصدر التيار الكهربائى المتردد .

وبالتعويض في العلاقة (٤) فإن : $م_{سع} = \frac{١}{٢ \pi f سع}$ ..... (٤) .

فإذا كانت (ω) مقاسة بوحدة (راديان / ث) ، والسعة مقاسة بوحدة الفاراد، فإن المفاعلة السعوية (م سع) تقاس بوحدة الأوم .

والعلاقة (٤) نستخدمها لحساب المفاعلة السعوية للمكثف الكهربائي في دوائر التيار المتردد.

مثال (٢) مكثف سعته ٧ × ١٠$^{-٦}$ فاراد متصل بمصدر تيار تردده (٥٠) هيرتز. احسب المفاعلة السعوية التي يلقاها التيار المتردد عند مروره في دائرة المكثف.

الحل :

∵ م سع $= \frac{١}{٢\pi f \text{ سع}} = \frac{١ \times ٧ \times ١٠^{٦}}{٢ \times ٢٢ \times ٧ \times ٥٠} = \frac{١٠^{٦}}{٤٤ \times ٥٠} = \frac{١٠^{٦}}{٢٢٠٠} = \frac{١٠^{٤}}{٢٢} =$ ٤٥٤,٥ أوم

مثال (٣) مكثف سعته ١٤ ميكروفاراد وصل بمصدر تيار كهربائي جهده (٢٥٠ فولت وترددهـ ٥٠ ذ/ث « Hz ») . احسب شدة التيار المار فيه .

الحل : سع = ١٤ ميكروفاراد ، f = ٥٠ ذ/ث ، جـ = ٢٥٠ فولت

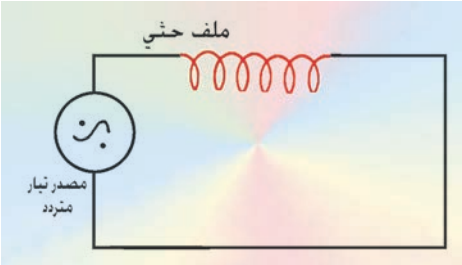
∴ م سع $= \frac{١}{٢\pi f \text{ سع}} = \frac{١ \times ٧ \times ١٠^{٦}}{٢ \times ٢٢ \times ٥٠ \times ١٤}$

م سع $= \frac{١٠^{٦}}{٤٤ \times ١٠٠} = \frac{١٠^{٤}}{٤٤}$ أوم .

ت $= \frac{\text{جـ}}{\text{م سع}} = \frac{٢٥٠ \times ٤٤}{١٠^{٤}} = \frac{١١٠٠٠}{١٠٠٠٠} =$ ١,١ أمبير

ملف حثي متصل بدائرة مصدر تيار متردد Induction Coil in (AC) Circuits

إذا وصل ملف حثي، ومقاومته الأومية مهملة، بمصدر تيار متردد كما في شكل (١٠) فمر به تيار كهربائي متردد شدته اللحظية (ت) أمبير ، تتغير قيمته مع مرور الزمن (ز) طبقاً للعلاقة الآتية :



شكل (١٠)

$$ت_{ل} = ت_{ع} \times جا\ \omega\ ز \quad .....(١)$$

يولد هذا التيار المتردد في الملف مجالاً مغناطيسياً متغيراً مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية متردد تعاكس القوة الدافعة الكهربائية للمصدر، وتحسب عند أية لحظة من العلاقة :

$$ق.د.ك = - \text{حث} \frac{\Delta ت_{ل}}{\Delta ز} \quad .....(٢)$$

حيث (حث) يرمز إلى معامل الحث الذاتي للملف ويقاس بوحدة الهنري والإشارة السالبة تدل على أن (ق.د.ك) المتولدة في الملف تعاكس القوة الدافعة لمصدر التيار المتردد (ق) .

وبفرض أن الملف مهمل المقاومة الأومية فإن القوة الدافعة المتولدة بالحث الذاتي (ق.د.ك) تساوي في المقدار وتضاد في الاتجاه القوة الدافعة للمصدر (ق) .

$$\therefore ق = - (ق.د.ك) \quad .....(٣)$$

ومن هذه العلاقة فإن قيمة (ق) تصبح كما يلي :

$$ق = \text{حث} \frac{\Delta ت_{ل}}{\Delta ز} \quad .....(٤)$$

وبالتعويض عن قيمة ($ت_{ل}$) من العلاقة (١) تصبح كمايلي :

$$ق = جـ_{ل} = \text{حث} \frac{\Delta (ت_{ع} \times جا\ \omega\ ز)}{\Delta ز} \quad .....(٥)$$

حيث ($جـ_{ل}$) هو الجهد اللحظي للمصدر. وعند اشتقاق(٥) نجد أن :

$$جـ_{ل} = \text{حث}\ \omega\ ت_{ع} \times جتا\ \omega\ ز \quad .....(٦)$$

وإذا أصبحت قيمة جتا ω ز = ١ ، فإن فرق الجهد (جـ) تصبح قيمته عظمى (جـ ع) والعلاقة (٦) تكتب كما يلي :

جـ ع = ω حث ت ع ..... (٧)

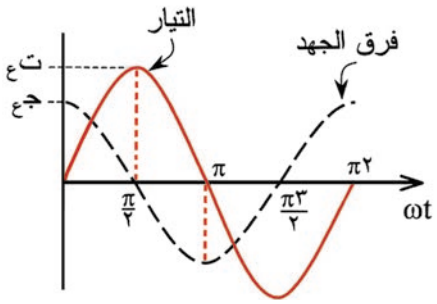
ومن العلاقتان (٦ ، ٧) تصبحان كما يلي :

جـ = جـ ع × جتا ω ز ..... (٨) ؛ حيث (جـ) الجهد عند أية لحظة .

ويمكن وضع هذه العلاقة على هذه الصورة

جـ = جـ ع × جا (ω ز + $\frac{\pi}{٢}$) ..... (٩)

حيث جتا ω ز = جا (ω ز + $\frac{\pi}{٢}$) ويلاحظ من هذه العلاقة أن التغير في الجهد يتبع دالة جيب التمام بينما التغير في التيار يتبع دالة الجيب . وبذلك يكون هناك فرق في زاوية الطور بين شدة التيار وفرق الجهد في دائرة الملف المتصل بمصدر تيار متردد مقداره يساوي ($\frac{\pi}{٢}$) راديان = ٩٠°، في أية لحظة، بحيث يتقدم الجهد عن التيار بزاوية طور قدرها ٩٠° كما يبينه الشكل (١١) .



شكل (١١)

المفاعلة الحثية :

مرور التيار الكهربائي المتردد في دائرة الملف الحثي يؤدي إلى تغير الفيض المغناطيسي خلال الملف مع الزمن مما يؤدي إلى تولد قوة دافعة كهربائية تأثيرية عكسية تمانع مرور التيار المتردد في الملف، وهذه الممانعة التي تعيق مرور التيار في الملف تسمى « المفاعلة الحثية » ويرمزلها بالرمز م حث وتقاس بوحدة الأوم . وتختلف عن المقاومة الأومية في أنها لاتستنفد طاقة كهربائية كما في حالة المقاومة الأومية ولكنها تخزن الطاقة الكهربائية على شكل طاقة مغناطيسية في المجال مغناطيسي المتولد داخل الملف .

حساب المفاعلة الحثية (م حث) :

أمكن وضع صيغة رياضية للمفاعلة الحثية (م حث) وهي كنسبة بين (جـ ع) فرق الجهد بين طرفي الملف إلى (ت ع) شدة التيار المار فيه ويمكن كتابة هذه الصيغة كمايلي :

م حث = $\frac{\text{جـ ع}}{\text{ت ع}}$ ..... (١)

وبتعويض (جـ$_{ع}$ = ω حث ت$_{ع}$) من العلاقة (٧) في العلاقة (١) فإن :

$$\text{م حث} = \frac{\omega \text{حث ت}_{ع}}{\text{ت}_{ع}} = \omega \text{ حث} \qquad \ldots\ldots\ldots (٢)$$

وللعلم أن (ω) السرعة الزاوية = ٢ π f حيث (f) تردد مصدر التيار المتردد

∴ م حث = ٢ π f حث (أوم) ..... (٣)

نشاط (٧)

لاحظ العلاقة (٣) السابقة المستخدمة لتعيين المفاعلة الحثية، ثم أجب عن الآتي :

١ – مانوع التناسب بين المفاعلة الحثية وكل من: تردد مصدر التيار المتردد ومعامل الحث الذاتي للملف؟

٢ – اشرح المنحنيات في الرسم البياني الموضح في شكل (١٢) بالنسبة لزاوية الطور لكل منهما، ثم قَدِّم إجابتك لمدرسك.

مثال (٤) وصل ملف حثي بمصدر تيار متردد تردده (٥٠) هيرتز والحث الذاتي للملف ٠٫٧ هنري. فإذا كانت القيمة العظمى لشدة التيار المار في الدائرة هي ٢٫٢ أمبير. احسب القوة الدافعة العظمى لمصدر التيار المتردد.

الحل : ∵ م$_{حث}$ = ٢ π f حث

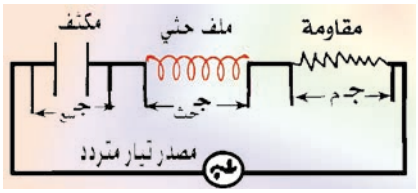
∴ م$_{حث}$ = ٢ × $\frac{٢٢}{٧}$ × ٥٠ × ٠٫٧ = $\frac{٤٤ \times ٥}{١٠}$ = ٢٢٠ أوم

وبما إن : م$_{حث}$ = $\frac{\text{ق}_{ع}}{\text{ت}_{ع}}$

∴ ق$_{ع}$ = ت$_{ع}$ × م$_{حث}$ = ٢٫٢ × ٢٢٠ = ٤٨٤ فولت.

دائرة مقاومة أومية وملف حثي ومكثف متصلة معاً على التوالي بمصدر تيار كهربائي متردد :

في الشكل (١٢) وصلت مقاومة أومية (م) وملف حثي ، ومكثف كهربائي بمصدر تيار متردد على التوالي ، وهذه الدائرة تعاني من مقاومة للتيار ناتجة من أسلاك التوصيل والمقاومة الأومية بالإضافة إلى المفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية نتيجة لوجود الملف الحثي والمكثف،



شكل (١٢)

ويطلق على مكافئ المفاعلة الحثية للملف، والمفاعلة السعوية للمكثف والمقاومة الأومية اسم المعاوقة Impedance ويرمز لها بالرمز (م$_{ق}$) وتقاس بوحدة الأوم.

حساب المعاوقة لدائرة مترددة موصل معها (م ، م$_{حث}$ ، م$_{سع}$) على التوالي :

نفترض أننا وصلنا مع مصدر تيار متردد مقاومة أومية وملفاً حثياً ومكثفاً على التوالي كما يوضحه الشكل السابق ، وجهد المصدر المتردد يتغير جيبياً مع الزمن وأن الجهد اللحظي يعطى بالعلاقة :

جـ$_{ل}$ = جـ$_{ع}$ × جا ωز ..... (١) .

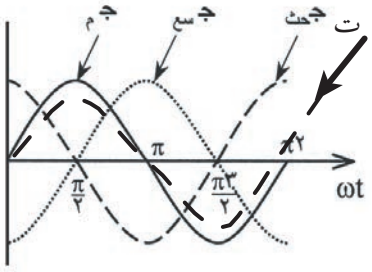
والذي يساوي مجموع فروق الجهد اللحظية بين طرفي كل من م ، م$_{حث}$ ، م$_{سع}$ أي إن :

جـ$_{ل}$ = جـ$_{ل م}$ + جـ$_{لحث}$ + جـ$_{ل سع}$ ..... (٢) .

بينما التيار المار في أية لحظة بهذه العناصر الثلاثة يساوي تيار المصدر لأن العناصر الثلاثة متصلة على التوالي مع مصدر التيار المتردد.

وفرق الجهد بين أطراف العناصر الثلاثة السابقة المتصلة في الدائرة على التوالي تختلف في زاوية الطور كما يأتي :

فرق الجهد بين طرفي المقاومة (جـ$_{م}$) متفق في الطور مع شدة التيار المار في المقاومة (ت$_{ع}$)، وفرق الجهد بين طرفي الملف الحثي (جـ$_{حث}$) يسبق شدة التيار المار في الملف الحثي (ت$_{حث}$) بزاوية طور قدارها ($\frac{\pi}{٢}$) راديان أي ٩٠°، وفرق الجهد بين لوحي المكثف (جـ$_{سع}$) يتأخر عن التيار المار به (ت$_{ع}$) بزاوية طور قدرها ($\frac{\pi}{٢}$) راديان أي (٩٠°) كما يوضحه الشكل (١٣) .



شكل (١٣)

ومن الرسم البياني الموضح بالشكل السابق يمكن استخدام العلاقة الطورية وكتابة فروق الجهد لكل من طرفي المقاومة والملف الحثي وطرفي المكثف كما يلي :

$جـ_{ل م} = ت_{ع} \times م$ جا ωز $= جـ_{ع م}$ جا ω ز ..... (٣)

$جـ_{ل حث} = ت_{ع} \times م_{حث}$ جا (ωز + $\frac{\pi}{٢}$) $= جـ_{ع حث} \times$ جتا (ωز) ...(٤)

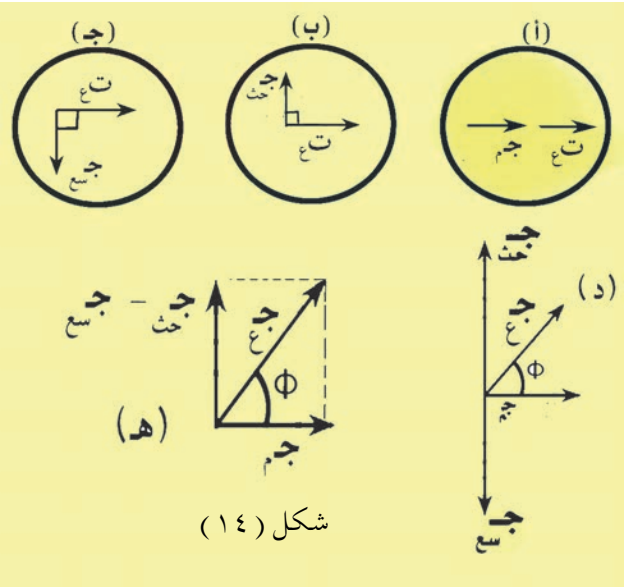
$جـ_{ل سع} = ت_{ع} \times م_{سع}$ جا (ωز – $\frac{\pi}{٢}$) $= - جـ_{ع سع} \times$ جتا (ωز) .....(٥)

حيث ($جـ_{ع م}$ ، $جـ_{ع حث}$، $جـ_{ع سع}$) هي رموز الجهود العظمى بين طرفي كل من المقاومة الأومية، والملف الحثي والمكثف، المتصلة معاً على التوالى بالدائرة المترددة وتحسب من العلاقات التالية :

$جـ_{ع م} = ت_{ع} \times م$

$جـ_{ع حث} = ت_{ع} \times م_{حث}$

$جـ_{ع سع} = ت_{ع} \times م_{سع}$



شكل (١٤)

بما أن التيار المتردد المار خلال المكونات الثلاثة السابقة في الدائرة هونفس تيار المصدر المتردد في أية لحظة من الزمن ومن الممكن رسم مخطط أطوار العناصر الثلاثة السابقة مجتمعة كما يوضحة شكل (١٤) في (أ، ب، جـ)، والشكل الكلي (د) يمثل محصلة المتجهات الدوارة لكل من :

($جـ_{م}$ ، $جـ_{حث}$، $جـ_{سع}$) والذي يكون مساوياً لمتجه دوار طوله يساوي القيمة العظمى لجهد مصدر الدائرة المتردد ($جـ_{ع}$) ويصنع زاوية طور (Φ) مع المتجه الدوار ($ت_{ع}$) . والمتجهين ($جـ_{ع حث}$ ، $جـ_{ع سع}$) باتجاهين متعاكسين وعلى نفس الخط ومن السهل حساب($جـ_{ع حث} - جـ_{ع سع}$)العمودي على المتجه ($جـ_{ع م}$)كما في شكل (١٤هـ)

ومن الرسم السابق : نجد أن :

$$جـ_{ع} = \sqrt{(جـ_{ع\,م})^{٢} + (جـ_{ع\,حث} - جـ_{ع\,سع})^{٢}}$$

$$= \sqrt{(ت_{ع} \times م)^{٢} + (ت_{ع} \times م_{حث} - ت_{ع} \times م_{سع})^{٢}}$$

$$= ت_{ع} \sqrt{م^{٢} + (م_{حث} - م_{سع})^{٢}}$$

ونجد أن $ت_{ع} = \dfrac{جـ_{ع}}{\sqrt{م^{٢} + (م_{حث} - م_{سع})^{٢}}}$

والعناصر الثلاثة (المقاومة، الملف الحثي والمكثف) المتصلة بالدائرة الكهربائية المترددة تعيق وتمانع مرور التيار المتردد ومكافئ المقاومة الأومية والمفاعلة الحثية والمفاعلة السعوية تسمى المعاوقة Impedance وتحسب من العلاقة :

$$م_{ق} = \sqrt{م^{٢} + (م_{حث} - م_{سع})^{٢}}$$

ويكتب قانون أوم لهذه الدائرة على الصورة : $جـ_{ع} = ت_{ع} \times م_{ق}$

حساب زاوية الطور (ϕ) بين شدة التيار وفرق جهد المصدر المتردد :

من الشكل (١٤هـ) تحسب قيمة زاوية الطور (ϕ) من العلاقة التالية :

$$ظا\phi = \frac{جـ_{ع\,حث} - جـ_{ع\,سع}}{جـ_{ع\,م}} \quad أو \quad ظا\phi = \frac{م_{حث} - م_{سع}}{م}$$

❖ - ملحوظة (١) :

عند تمثيل الجهد والتيار بمتجه دوار في دوائر التيار المتردد :

نفترض أن القيمة العظمى لفرق الجهد (جـ ع) والزاوية (ϕ) هي زاوية فرق الطور بين الجهد والتيار حيث :

١- إذا كان ϕ = صفراً ، هذا يعني أن الجهد والتيار يتفقان في الطور كما في دائرة المقاومة الأومية .

٢- إذا كان ϕ > صفرا ، هذا يعني أن الجهد متقدم عن التيار بالزاوية (ϕ) كما في دائرة الملف الحثي .

٣- إذا كان ϕ < صفر، فيعني أن الجهد متأخراً عن التيار بالزاوية (ϕ) كما في دائرة المكثف .

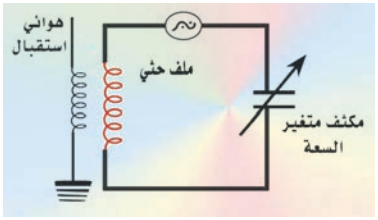
❖ – ملحوظة (٢) :

– إذا كانت م حث > م سع تكون زاوية الطور موجبة ويكون التيار لاحقاً للجهد والتاثير العام للدائرة تأثير حثي .

– إذا كانت م سع > م حث تكون زاوية الطور سالبة ويكون التيار سابقاً للجهد والتاثير العام للدائرة تاثير سعوي .

– إذا كانت م سع = م حث تكون زاوية الطور صفراً ويكون التيار والجهد في نفس الطور وتكون قيمة المعاوقة مساوية للمقاومة (م) ويسمى هذا شرط الرنين .

دائرة الرنين : Tunning Circuit



شكل (١٥)

تتكون دائرة الرنين كما يوضحة الشكل (١٥) .

عند التحكم في الممانعة (المفاعلة) الحثية (م حث) للملف الحثي ، والممانعة السعوية (م سع) للمكثف، بحيث تتساوى كل منهما أي إن :

م حث = م سع . فإن تاثير إحداهما يلاشى تاثير الآخرى وعند هذه الحالة يتفق فرق الجهد مع التيار في الطور وتكون الدائرة في حالة رنين كهربائي، ولايعاني التيار أي مفاعلة من الملف والمكثف سوى أنه يعاني فقط من المقاومة الأومية للأسلاك في الدائرة.

وفي هذه الحالة تكون قيمة المعاوقة الكلية للدائرة = المقاومة الأومية . ويمر في الدائرة أكبر تيار ويحسب من العلاقة :

ت ع = $\frac{\text{جـ}_{\text{ع}}}{\text{م}}$ وقيمة التيار تكون أكبر ما يمكن، والتردد عندها يسمى « بتردد الرنين » ويرمز له بالرمز (f_o) . Resonant Frequency .

ويحسب كالتالي : ∵ م حث = م سع عند الرنين ..... (١) .

و ∵ م حث = ٢ π f_o حث ..... (٢) .

، م سع = $\frac{١}{٢ \pi f_o \text{ سع}}$ ..... (٣) .

∴ بالتعويض من (٢ ، ٣) في العلاقة (١) نحصل على :

٢ π f_o حث = $\frac{١}{٢ \pi f_o \text{ سع}}$ بضرب الوسطين في الطرفين لهذه العلاقة .

فإن : ٤ π^{٢} $f_o^{٢}$ حث سع = ١ ومنها f_o = $\frac{١}{٢ \pi \sqrt{\text{حث سع}}}$ .... (٤)

العلاقة (٤) تستخدم لحساب تردد الرنين بمعرفة سع المكثف ومعامل الحث الذاتي للملف . فيم تستخدم دائرة الرنين في الحياة ؟ كيف يتم ذلك ؟

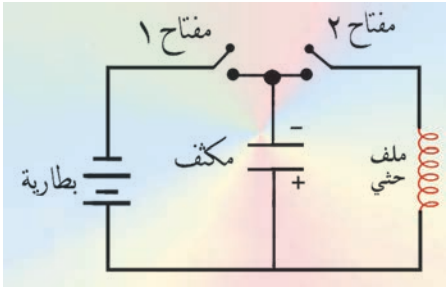
تستخدم لاستقبال موجات البث الإذاعي والتلفزيوني والاتصالات اللاسلكية، وذلك بوضع ملف دائرة الرنين في مجال ملف آخر متصل بهوائي الاستقبال(كما في الشكل السابق) الذي يحمل تيارات ذات ترددات مختلفة ومتعددة وبسبب تصادم الموجات اللاسلكية بهوائي الاستقبال للمحطات الإذاعية يلتقط ملف الدائرة التردد المتفق مع تردد الرنين لها .

نشاط (٨)

اكتب موضوعاً علمياً عن كيفية التقاط دائرة الرنين لموجات المحطات الإذاعية المختلفة المنتشرة في السماء وبالذات المحطة المراد سماعها من بين المحطات العديدة، بحيث لا يزيد الموضوع عن ستة أسطر ، وقم بنشره في الصحيفة الحائطية العلمية للمدرسة .

الدائرة المهتزة Oscillating Circuit

تتركب كما يوضحه الشكل (١٦)، وتستخدم في توليد الموجات اللاسلكية حيث يتم شحن المكثف وذلك بغلق الدائرة بالمفتاح (١) وفتح المفتاح (٢) حتى يصبح فرق الجهد بين لوحيه مساوياً لجهد البطارية وبعد فتح المفتاح (١) وغلق المفتاح (٢) فإن المكثف سيتم تفريغ شحنته ونقلها إلى الملف الحثي على شكل تيار ترتفع قيمته لحد معين ، وتتلاشى بعد فترة من مرور الزمن وعندما يفرغ المكثف شحنته كاملة يصبح فرق الجهد بين لوحيه مساوياً صفراً . وتختزن الطاقة الكهربية في الملف على شكل طاقة مغناطيسية في المجال المغناطيسي للملف ، وهذا المجال يولد تياراً كهربائياً تأثيرياً ذاتياً في الملف الحثي، يقوم بشحن المكثف بعكس الشحنات السابقة التي كانت مستقرة على لوحيه، ثم تفرغ الشحنات مرة أخرى من المكثف إلى الملف ويتولد مجال مغناطيسي يكون عكس المجال السابق في ملف الحث ، وتتكرر هذه العملية بين الملف الحثي والمكثف وهذه العملية تولد ذبذبات كهرومغناطيسية عالية التردد ، ولكن بعد فترة تتوقف هذه



شكل (١٦)

الذبذبات بسبب تحول الطاقة الكهربائية إلى طاقة حرارية في أسلاك التوصيل والمقاومة الأومية للملف، ولكن إذا شحن المكثف مرة أخرى يتم تكرار العمليات السابقة لتوليد ذبذبات كهرومغناطيسية تنتشر في الفضاء بسرعة الضوء.

العوامل المؤثرة في تردد الدائرة المهتزة

علينا أن نتعرف على العوامل التي تؤثر في تردد الدائرة المهتزة وذلك من العلاقة التالية:

$$f = \frac{١}{٢\pi \sqrt{\text{حث سع}}} \quad \ldots\ldots (١)$$

حيث (f) تردد الموجات الكهرومغناطيسية المتولدة في الدائرة ، ويمكن استنتاج العوامل المؤثرة في تردد الدائرة المهتزة من العلاقة السابقة وهذه العوامل هي سعة المكثف (سع) ومعامل الحث الذاتي (حث) للملف الحثي كما يلاحظ من العلاقة السابقة حيث إن التردد (f) يتناسب عكسياً مع الجذر التربيعي لكل من سعة المكثف (سع) ومعامل الحث الذاتي للملف (حث). ويتوقف معامل الحث الذاتي للملف على طول الملف (ل) متر، وعدد لفاته (ن) لفة ومساحة مقطعه (س) ونوع المادة الموضوعة في قلب الملف أي أن :

$$\text{حث} = \frac{\mu \times \text{ن}^{٢} \times \text{س}}{\text{ل}} \quad \ldots\ldots (٢)$$

حيث (μ) هو معامل النفاذية المغناطيسية لقلب الملف ويساوي للهواء $٤\pi \times ١٠^{-٧}$ ويبر/أمبير.متر، ولمعرفة العلاقة التي تربط بين التردد والخواص الفيزيائية للملف نعوض عن قيمة (حث) في العلاقة (١) من العلاقة (٢) نجد أن :

$$f = \frac{\sqrt{\text{ل}}}{٢\pi \text{ن} \sqrt{\mu \times \text{س} \times \text{سع}}} \quad \ldots\ldots (٣)$$

ومن هذه العلاقة يمكن معرفة تردد الموجات الكهرومغناطيسية المتولده بدلالة طول الملف، عدد لفاته، مساحة مقطعة وسعة المكثف. وتستخدم هذه الدائرة في بعض أجهزة الإرسال اللاسلكية.

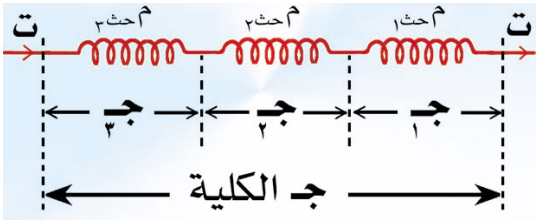
وهناك أنواع من الموجات منها ما يسمى بالموجات المكيفة السعة (A. M.) (Amplitude Modulation) ، ومنها مايسمى بالموجات المكيفة التردد (F. M.) (Frequency Modulation) وهذه الرموز يمكن ملاحظتها على اجهزة الاستقبال الإذاعي المذياع (الراديو) .

المفاعلة الحثية للتيار المتردد في عدة ملفات متصلة معاً :

أولاً : على التوالي :

عند توصيل عدة ملفات حثية في دائرة كهربائيةعلى التوالي كما يوضحه الشكل

(١٧) فإن المفاعلة الحثية الكلية لها = مجموع المفاعلة الحثية لكل ملف على حدة كما في حالة المقاومات الأومية أي أن :



شكل (١٧)

المفاعلة الحثية الكلية = م حث١ + م حث٢ + م حث٣ + ...

م حث الكلية = ٢ π f حث١ + ٢ π f حث٢ + ٢ π f حث٣ + ...

= ٢ π f [حث١ + حث٢ + حث٣ + ...]

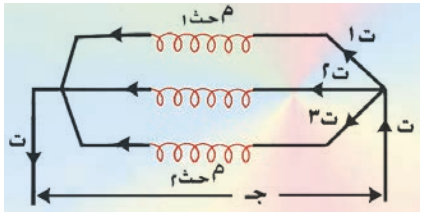
∴ م حث الكلية = ٢π f × حث الكلية .

حيث : حث الكلية = حث١ + حث٢ + حث٣ + ...

ثانياً : على التوازي :

توصل كما في الشكل (١٨) وينطبق على المفاعلة الكلية لها ما ينطبق على المقاومات الأومية التي درستها في السنوات الماضية أي إن :

$$\frac{1}{\text{المفاعلة الكلية الحثية}} = \frac{1}{\text{م حث١}} + \frac{1}{\text{م حث٢}} + \frac{1}{\text{م حث٣}} + \cdots$$



شكل (١٨)

ومنها : م حث الكلية = ٢π f × حث الكلية

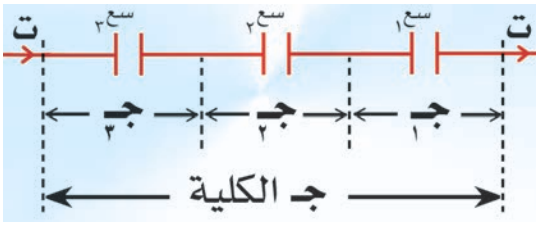
حيث : $\frac{1}{\text{حث الكلية}} = \frac{1}{\text{م حث١}} + \frac{1}{\text{م حث٢}} + \frac{1}{\text{م حث٣}} + \cdots$

نشاط (٧)

استنتج العلاقة الرياضية لحساب المفاعلة الحثية الكلية لعدة ملفات متصلة معاً على التوازي كما هو موضح في الشكل (١٩) .

المفاعلة السعوية الكلية للتيار المتردد في المكثفا ت المتصلة معاً :

أولاً : على التوالي :



شكل (١٩)

نفترض أننا وصلنا ثلاثة مكثفات سعاتها (سع١، سع٢، سع٣) على التوالي بدائرة كهربائية كما يوضحه الشكل (١٩) ، وعند توصيل قطبي مصدر جهد متردد بطرفي الدائرة يمر تيار متساوي في جميع المكثفات، ولذلك تشحن جميعها بشحنات متساوية وليكن مقدار هذه الشحنة (س) كولوم .

ونفترض أن فروق الجهود بين طرفي كل مكثف هي (جـ١ ، جـ٢ ، جـ٣) فولت فإن (جـ) الكلية لها = جـ١ + جـ٢ + جـ٣ .....(١)

∵ جـ = $\frac{س}{سع}$ .....(٢) نعوض عن قيمة كل جهد لكل منها في العلاقة (١)

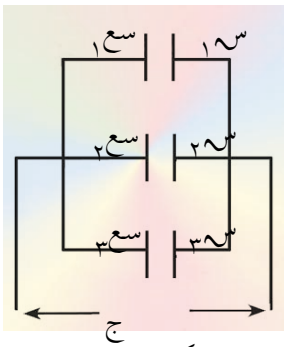
(جـ) كلية = $\frac{س}{سع_1} + \frac{س}{سع_2} + \frac{س}{سع_3} + ...$ (٣)

$\frac{ش}{سع_{ك}}$ = ش ($\frac{١}{سع_1} + \frac{١}{سع_2} + \frac{١}{سع_3} + ...$) ، فإن هذه العلاقة تصبح

$\frac{١}{سع_{ك}} = \frac{١}{سع_1} + \frac{١}{سع_2} + \frac{١}{سع_3} + ...$ (٤) ،

وهذه العلاقة توضح السعة الكلية للمكثفات المتصلة معاً على التوالي في دائرة كهربائية وتحسب المفاعلة السعوية الكلية من العلاقة :

م سع الكلية = $\frac{١}{٢ \pi f \times \text{السعة الكلية}} = \frac{١}{٢ \pi f \text{ سع}_{ك}}$



شكل (٢٠)

ثانياً : على التوازي :

نفترض أننا وصلنا المكثفات الثلاثة السابقة في دائرة كهربائية مترددة على التوازي مصدر جهدها (جـ) فولت كما يبينه الشكل (٢٠) ، وأن هذه المكثفات تشحن بواسطة المصدر المتردد

بشحنات ($س_1$ ، $س_2$ ، $س_3$).

وفي هذه الحالة فإنه يمكننا حساب السعة الكلية في حالة توصيلها على التوازي كما يلي :

($س_ك$) الشحنة الكلية = $س_1 + س_2 + س_3$ ..... (٥)

ومماسبق فإن : $س = سع \times جـ$ ..... (٦)

نعوض العلاقة (٦) في العلاقة (٥) نجد أن :

$س_ك = جـ سع_1 + جـ سع_2 + جـ سع_3$ ..... (٧)

ولأن الجهد متساوي بين ألواح المكثفات الثلاثة ويساوي جهد المصدر (جـ)، نعوض العلاقة (٥) بالعلاقة (٧) تنتج العلاقة الآتية :

$سع_ك \ جـ = جـ (سع_1 + سع_2 + سع_3 + ...)$

$سع_ك$ = السعة الكلية = $سع_1 + سع_2 + سع_3 + ...$ ..... (٨)

ومن العلاقة (٨) يمكن حساب السعة الكلية للمكثفات المتصلة معاً على التوازي بمصدر تيار جهد متردد .

ويمكن حساب المفاعلة السعوية في حالات توصيل عدة مكثفات معاً على التوالي أو التوازي بإيجاد السعة الكلية ($سع_ك$) أولاً لهذه المكثفات مستخدمين العلاقة (٤) أو (٨) حسب توصيل المكثفات، ثم نعوض عنها في المعادلة الآتية :

$م_{سع\ الكلية} = \frac{١}{٢\ \pi\ f \times السعة\ الكلية} = \frac{١}{٢\ \pi\ f\ سع_ك}$ ..... (٩)

مثال (٥) :

ثلاثة مكثفات سعاتها (٢٠ ، ٤٠ ، ٦٠) ميكروفاراد وصلت بمصدر تيار متردد جهده (٢٠٠) فولت وتردده (٣٥ هيرتز) احسب شدة التيار في حالة توصيلها :

١- على التوالي ٢- على التوازي .

الحل :

❖ - **ملحوظة :** يمكن استخدام قانون أوم عند الحالة اللحظية :

أولاً : في حالة التوصيل على التوالي :

$\frac{١}{سع_{ك}} = \frac{١}{سع_{١}} + \frac{١}{سع_{٢}} + \frac{١}{سع_{٣}}$ بالتعويض عن القيم المعطاة في المثال :

$\frac{١}{سع_{ك}} = (\frac{١}{٢٠} + \frac{١}{٤٠} + \frac{١}{٦٠}) = \frac{٦ + ٣ + ٢}{١٢٠} = \frac{١١}{١٢٠}$ (ميكروفاراد)$^{-١}$

∴ سع$_{ك}$ $= \frac{١٢٠}{١١}$ ميكروفاراد $= \frac{١٢٠}{١١} \times ١٠^{-٦}$ فاراد

ولكن المفاعلة السعوية الكلية $= \frac{١}{٢\pi f \text{ سع}_{ك}}$ بالتعويض نجد أن :

المفاعلة السعوية الكلية $= \frac{١٠٠٠٠٠٠}{٢٤٠٠} = \frac{١٠٠٠٠}{٢٤}$ أوم

∴ ت $= \frac{\text{جـ}}{\text{م}_{\text{سع}_{ك}}} = \frac{٢٠٠ \times ٢٤}{١٠٠٠٠} =$ ٠٫٤٨ أمبير

ثانياً : في حالة التوصيل على التوازي :

سع$_{ك}$ = ٢٠ + ٤٠ + ٦٠ = ١٢٠ ميكروفاراد . = ١٢ × ١٠$^{-٥}$فاراد .

المفاعلة السعوية الكلية $= \frac{١ \times ١٠^{٥} \times ٧}{٧ \times ٣٥ \times ٢٢ \times ٢} = \frac{١ \times ١٠^{٥}}{٤٤ \times ١٢ \times ٥}$ أوم.

م$_{\text{سع}_{ك}}$ $= \frac{١٠^{٥}}{٦٠ \times ٤٤} = \frac{١٠٠٠٠}{٢٦٤}$ أوم .

∴ ت $= \frac{\text{جـ}}{\text{م}_{\text{سع}}} = \frac{٢٠٠ \times ٢٦٤}{١٠٠٠٠} =$ ٥٫٢٨ أمبير.

تقويم الوحدة

١ – أكمل الفراغات بماينا سبها من كلمات في الفقرات الآتيه :

أ) التيار المتردد ..... هو التيار الأكثر استخداماً في الحياة .

ب) يتميز التيار الكهربائي المتردد عن التيار المستمر في :

..... .

جـ) يتفق كل من التيار المتردد والتيار المستمر عند مرورهما في الموصلات الكهربائية في توليد طاقة ..... .

د) التغير الذي يحدث للتيار المتردد خلال دورة كاملة لملف مولده يسمى.....

٢ – ضع علامة (✔) أمام الفقرة الصحيحة، وعلامة (X) أمام الفقرة الخطأ فيما يأتي :

أ – عند توصيل مكثف ومصباح في دائرة كهربائية مترددة فإن المصباح يضئ.( )

ب – إذا وصل مصباح مع مكثف في بطارية فان المصباح يضئ . ( )

جـ – عندما تكون إضاءة مصباح شديدة متصل مع مكثف على التوالي لمصدر تيار متردد فهذا يدل على أن السعة الكهربائية للمكثف كبيرة. ( )

د– يمكن حساب شدة التيار المتردد المار في دائرة مكثف عند أية لحظة من العلاقة $ت_{ل} = ت_{ع} \times جتا\ \omega_{ز}$. ( )

هـ – المقاومة الأومية تستنفد من التيار المار بها جزءاً على شكل مجال مغناطيسي بينما المكثف أو الملف يستنفد منه جزءاً على شكل حرارة. ( )

و – الجهد المتردد بين لوحي مكثف والتيار المار فيه مختلفان في الطور ويتقدم التيار عن الجهد بزاوية مقدارها $\frac{\pi}{٢}$ راديان. ( )

ز – يلقى التيار المتردد عند مروره في مكثف إعاقة في تحركه هذه إلاعاقة تسمى مقاومة أو ميه. ( )

٣ – أختر الإجابة الصحيحة للفقرات الآتية من بين الأقواس :

أ) عند مرور التيار المتردد في مقاومة أومية فإن هذه المقاومة...

(تستنفد جزءاً من طاقة التيار المتردد – لاتستنفد طاقة منه – لاشئ مما ذكر)

ب– إذا كانت سعة مكثف ٧ × ١٠$^{-٦}$ فاراد وكان طرفاه متصلين بمصدر تيار متردد تردده (٥٠ هيرتز) فإن المفاعلة السعوية للمكثف تكون قيمتها . . .

($\frac{١٠^{٣}}{٢٢}$ ، $\frac{١٠^{٤}}{٢٢}$ ، $\frac{١٠^{٥}}{٢٢}$ ، $\frac{١٠^{٦}}{٢٢}$) أوم

جـ– وصل مكثف سعته ١٤ ميكروفاراد بمصدر تيار متردد تردده(٥٠هيرتز)، وجهد مقداره ٢٥٠ فولت فإن شدة التيار المار به تساوي . . .

(١,١ ، ١,٢ ، ١,٣ ، ١,٥) أمبير .

د – عند مرور تيار متردد في ملف حثي فإن الملف يولد (ق.د.ك) تأثيرية اتجاهها يكون في اتجاه . . . . (القوة المولدة لها – معاكس لاتجاه القوة المولدة لها – كل ما ذكر صحيح)

هـ – يمكن حساب الجهد الكهربائي المتردد بين طرفي ملف حثي عند أية لحظة من العلاقة

(جـ$_{ع}$ = م$_{اجث}$ ت$_{ع}$ ، جـ$_{ل}$ = جـ$_{ع}$ جتاωز ، جـ$_{ل}$ = – حث $\frac{\text{ﻫ ت}}{\text{ﻫ ز}}$)

و – تنشأ المفاعلة الحثية لملف حثي يمر به تيار متردد بسبب . . . (حثه الذاتي – المقاومة الأومية له – شكل الملف) . .

ز – يمكن حساب المفاعلة السعوية لمكثف متصل بمصدر تيار متردد من العلاقة (٢ π f سع ، ٤π f سع ، $\frac{١}{٢ \pi f \text{ سع}}$) .

ح– يحدث الرنين الكهربائي في دائرة الرنين عندما تكون قيمة . . . . . .

(م سع < م حث ، م سع > م حث ، م سع = م حث) .

ط– وصل ملف حثي ومكثف على التوالي بمصدر تيار متردد وفي حالة مرور التيار المتردد فإن فرق الجهد المتردد بين طرفي الملف الحثي يسبق شدة التيار المار في الملف الحثي بزاوية مقدارها . . . . ($\frac{\pi}{٣}$ ، $\frac{\pi}{٤}$ ، $\frac{\pi}{٢}$ ، π) راديان .

ي– يمكن حساب قيمة فرق الجهد العظمى لدائرة مترددة متصل معها على التوالي ملف حثي ومكثف ومقاومة أومية من العلاقة . . . . . .

جـ$_{ع}$ = (جـ$_{حث}$ – جـ$_{سع}$) ، (ت$_{ع}$ = $\frac{\text{جـ}_{ع}}{\text{م}}$) ، (جـ$_{ع}$ = ت$_{ع}$ × م$_{اق}$)

ك – يمكن تعيين قيمة زاوية الطور ϕ بين شدة التيار المتردد وفرق الجهد لدائرة متصل معها على التوالي مكثف وملف حثي ومقاومة أومية من العلاقة : . . . .

[$\frac{(م_{حث} - م_{سع})}{م}$ ، $\frac{(جـ_ع)}{(ت_ع)}$ ، (ت ع × م جا ω ز)]

ل – مكثف سعته الكهربائية ٢٠ ميكروفاراد، فإذا وصل بمصدر تيار متردد تردده (٢٥ هيرتز) تكون قيمة مفاعلته السعوية مساوية لـ (٣١٦ ، ٣١٨ ، ٣٢٠) أوم .

م – إذا كان الحث الذاتي لملف ٠,٠٥ هنرى فإن مفاعلته الحثية عندما يمر به تيار تردده ٢٥ هيرتز تساوي . . . . (٧,٨٥ ، ٦,٨٥ ، ٥,٨٥) أوم .

ن – ملف حثي مفاعلته الحثية ٨٥ أوم ، ومكثف مفاعلته السعوية ٦٠ أوم ومقاومة أومية مقدارها ٢٠ أوم ، وصلت جميعها على التوالي بدائرة تيار متردد ، فإن المعاوقة المكافئة لهذه الدائرة تساوي . . . (٣٠ ، ٢٩ ، ٣٢ ، ٣١) أوم تقريباً .

٤– عرِّف كلاً مما يلي :

المفاعلة الحثية / المفاعلة السعوية / المعاوقة / الرنين / التيار المتردد .

٥– ملف تأثيري له مقاومة أومية مقدارها ١٠ أوم ومعامل حثه الذاتي ٠,١ هنري وصل على التوالي مع مكثف سعته ١٠٠ ميكروفاراد ومصدر للتيار المتردد جهده الفعال (٢٥٠) فولت وتردده ($\frac{٢٠٠}{\pi}$) هيرتز احسب :

أ– الشدة الفعالة للتيار ب– فرق الجهد الفعال بين طرفي الملف .

٦– ملف حثه الذاتي ١ هنري ، وصل على التوالي مع مقاومة مقدارها ٣٠٠ أوم ومصدر تيار متردد قوته الدافعة ٢٠٠ فولت وتردده (٢٠٠ هيرتز) .

احسب فرق الجهد بين طرفي كل من الملف والمقاومة .

٧– دائرة كهربائية تتكون من مقاومة مقدارها ١٥ أوم ، وملف مفاعلته الحثية ٢٠ أوم وصّلا على التو الي بمصدر للتيار المتردد فرق الجهد الفعال بين طرفيه ١٥٠ فولت ، وتردده ٦٠ هيرتز . احسب ما يأتي :

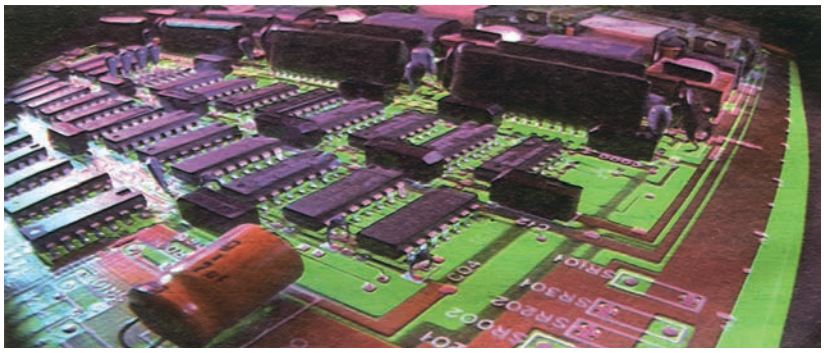
أ) القيمة الفعالة لشدة التيار المار في الدائرة .

ب) سعة المكثف اللازم إدخاله في الدائرة على التوالي حتى تتفق شدة التيار المتردد وفرق الجهد في زاوية الطور .

جـ) شدة التيار الفعال المار في الدائرة بعد إدخال المكثف .

الوحدة الثالثة

الإلكترونيات
Electronics



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

- يُعرِّف : أشباه الموصلات (النقية وغير النقية) ، الوصلة الثنائية ، الترانزستور .
- يذكر أهم خاصية من خصائص أشباه الموصلات .
- يصف تركيب كل من : بلورة شبه الموصل غير النقي بنوعيها، البلورة المانحة والبلورة المستقبلة، والوصلة الثنائية، والترانزستور – مستعيناً بالرسومات التوضيحية.
- يقارن بين كل من التوصيل الأمامي والتوصيل الخلفي (العكسي) للوصلة الثنائية.
- يقارن بين كل من الوصلة الثنائية والترانزستور من حيث التركيب والغرض .
- يوضح مستعيناً بالرسم التخطيطي المبسط وبالبيانات ما يأتي :
- استخدام الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد .
- طريقة الحصول على دايود الأنديوم – جرمانيوم
- استخدام الترانزستور في التكبير بالطريقتين ، طريقة القاعدة المشتركة وطريقة الباعث المشترك .
- يفسر قدرة أشباه الموصلات غير النقية على توصيل التيار الكهربائي .
- يبيِّن أثر أشباه الموصلات في تطوير الصناعات الإلكترونية والتطور التكنولوجي .
- يقدر جهود العلماء في الابتكارات والاختراعات والاكتشافات العلمية المتعلقة بمجال علم الإلكترونيات .

إن المتتبع للصناعات الإلكترونية، يلاحظ التطورات المتسارعة والمصحوبة بالتقنية عالية الجودة، فقد ازداد الاعتماد على الدوائر الكهربائية المتكاملة أكثر من الاعتماد على الدوائر الكهربائية المنفصلة، وظهر اتباع أسلوب جديد في صناعة الدوائر الكهربائية وهو أسلوب تقارب الأجزاء للدوائر الكهربائية في الأجهزة الإلكترونية الحديثة، مما أدى إلى تناقص أحجام الأجهزة الإلكترونية، بحيث أصبح من الممكن وضع بعضها في جسم الإنسان. إن هذا يعود إلى صناعة الوصلات الثنائية والترانزستورات، والدوائر المتكاملة (IC) التي تدخل في صناعتها مواد تسمى أشباه الموصلات.

فما المقصود بأشباه الموصلات؟ وما خصائصها؟ وما أنواعها ؟

قبل أن نتكلم عن أشباه الموصلات... لا بد من التعرف على تقسيم المواد من حيث توصيلها للتيار الكهربائي...

إن المواد تنقسم من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى ثلاثة أنواع هي :

- مواد غير موصلة، وذلك لامتلاكها عدداً كبيراً من الإلكترونات حرة الحركة (إلكترونات طليقة) وتسمى بالموصلات Conductors ومعظمها من الفلزات مثل، النحاس والفضة والألومنيوم، وغيرها من الفلزات والمعادن.
- مواد غير موصلة، وذلك لعدم احتوائها إلا على عدد قليل جداً من الإلكترونات حرة الحركة، بسبب ارتباطها الوثيق بذراتها وتسمى بالمواد العازلة Insula-tors مثل الخشب والمطاط، والجلد المدبوغ ، والزجاج، والخزف الصيني (البورسلين) وغير ذلك.
- مواد تتميز بأن خاصية التوصيل الكهربائي لها تقع بين تلك للموصلات والمواد العازلة وتسمى هذه المواد بأشباه الموصلات Semiconductors.

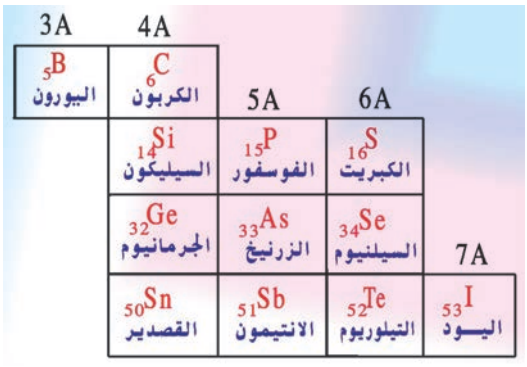
أشباه الموصلات : Semiconductors

يوجد نوعان من أشباه الموصلات هما : أشباه موصلات نقية ، أشباه موصلات غير نقية .

أولاً - أشباه الموصلات النقية : Pure Semiconductors

انظر إلى الشكل (١) .. الذي يضم عدداً من العناصر الكيميائية :

- حدد موقع هذه العناصر في الجدول الدوري .
- إلى أيٍ من المجموعات في الجدول الدوري تنتمي هذه العناصر ؟
- ما تكافؤات العناصر التي تحتل كلاً من المجموعات الثالثة والرابعة والخامسة ؟
- ما الخصائص العامة لهذه العناصر ؟



الشكل (١)

إن أغلب العناصر التي تبدو في الشكل (١) تعد من أشباه الموصلات . وإن الجرمانيوم، والسيليكون، هي العناصر الأكثر انتشاراً والأكثر معرفةً ، ودراسةً لخصائصها من قبل العلماء.

وأهم ما يميز أشباه الموصلات أن قدرتها على توصيل الكهرباء تزداد بارتفاع درجة حرارتها وتقل بانخفاض درجة حرارتها حتى أنها تكون عازلة تماماً عند درجة الصفر المطلق (صفر كلفن) .

ولكي تزداد معرفتنا بخصائص أشباه الموصلات ، ينبغي علينا دراسة التركيب البلوري لبلورات هذه المواد .

التركيب البلوري لأشباه الموصلات النقية :

Pure Semiconductors Crystal Structure

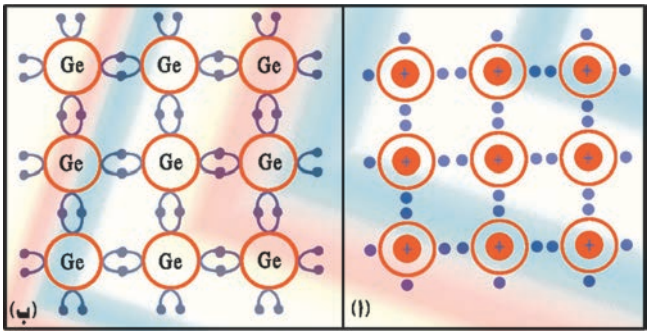
لكي تتعرف على التركيب البلوري لأشباه الموصلات النقية ، لاحظ الرسمين (أ) و (ب) في الشكل (٢) الذي يبين التركيب البلوري ، لبلورة الجرمانيوم .

كيف تترتب أو تنتظم ذرات الجرمانيوم في بلورته ؟

من المعروف أن الجرمانيوم والسيليكون من العناصر التي تنتمي إلى المجموعة الرابعة الأساسية في الجدول الدوري ، لذلك فهما من العناصر التي تكافؤها رباعي أي إن مستوى الطاقة الأخير (الخارجي) لذراتها يحتوى على أربعة إلكترونات .

فعندما تنتظم ذرات الجرمانيوم أو السيليكون لتكوين بلورته فإن كل ذرة من ذراته ترتبط مع أربع ذرات مجاورة بروابط تساهمية ، بحيث تصبح كل ذرة محاطة بثمانية

إلكترونات، انظر إلى الشكل (٢)، وهذه الإلكترونات شديدة التماسك بذراتها إلى حد قد يصعب معه فك هذا التماسك، لذلك يُعد الجرمانيوم وكذلك السيليكون أقل توصيلاً للتيار الكهربائي في الظروف الاعتيادية.



الشكل (٢)

ما الظروف التي تجعل أشباه الموصلات النقية جيدة التوصيل للتيار الكهربائي؟

كما ذكرنا من قبل، أن كل ذرة في بلورة الجرمانيوم أو السيليكون ترتبط مع أربع ذرات مجاورة لها بروابط تساهمية، بحيث تصبح كل ذرة محاطة بثمانية إلكترونات (أي محاطة بأربع روابط تساهمية). انظر الشكل (٢).

وفي درجات الحرارة المنخفضة يصعب كسر هذه الروابط، وبالتالي يصعب تحرير إلكترونات الروابط التساهمية في البلورة، وتكون المقاومة الكهربائية لكل من بلورة الجرمانيوم، أو بلورة السيليكون كبيرة إلى حدٍ ما، وتكون في هذه الحالة رديئة التوصيل للكهرباء ، أما عند رفع درجة حرارة البلورة ، فتصبح الطاقة الحرارية التي تكتسبها إلى حد ما كافية لكسر بعض الروابط، فتتحرر بعض الإلكترونات، وعندئذٍ تصبح بلورة الجرمانيوم أو بلورة السيليكون جيدة التوصيل للكهرباء، حيث تكون المقاومة الكهربائية للبلورة عندئذٍ صغيرة.

ثانياً - أشباه الموصلات غير النقية : Impure Semiconductors :

يقصد بأشباه الموصلات غير النقية، بأنها أشباه موصلات نقية مطعمة بنسبة ضئيلة من أحد عناصر المجموعة الخامسة (عناصر تكافؤها خماسي) مثل عنصر الفوسفور (P) أو الزرنيخ (As)، أو الانتيمون (Sb)، أو من أحد عناصر المجموعة الثالثة (عناصر تكافؤها ثلاثي) مثل عنصر البورون (B) أو عنصر الألومنيوم (Al) أو الانديوم (In) أو عنصر الجاليوم (Ga). وفي هذه الحالة تسمى كل من عناصر

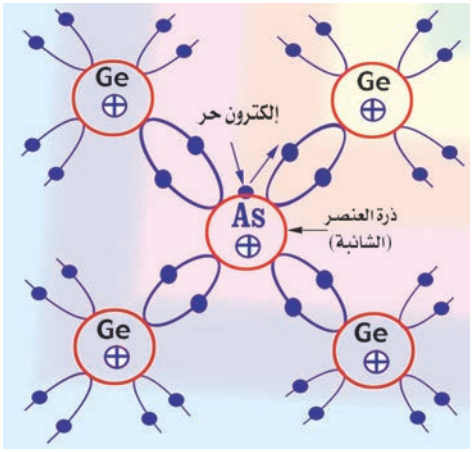
المجموعة الخامسة وعناصر المجموعة الثالثة شوائب، ويمكن لهذه الشوائب أن تلعب دوراً هاماً في إضافة خصائص مميزة لأشباه الموصلات منها الحصول على نوعين من أشباه الموصلات غير النقية هما شبه موصل غير نقي من النوع السالب وشبه موصل غير نقي من النوع الموجب، وبذلك تزداد قدرة أشباه الموصلات على توصيل التيار الكهربائي كما سيأتي شرحه.

النوع الأول: شبه موصل من النوع السالب (الشائبة المانحة للإلكترونات) (Donor Impurity) : N-Type Semiconductor

لاحظ الشكل(٣)الذي يبين التركيب البلوري لشبه موصل من النوع السالب . . . ثم سمِّ العنصر (الشائبة) الذي طُعمت به هذه البلورة.

- كم عدد الإلكترونات الموجودة في مستوى طاقته الأخير (مستوى التكافؤ) .
- وما تكافؤه؟

وجد انه عند تطعيم بعض ذرات الجرمانيوم (Ge) رباعية التكافؤ، بذرات من عنصر خماسي التكافؤ مثل الزرنيخ (As)، فإن كل ذرة من ذرات الزرنيخ تسهم بأربعة إلكترونات من إلكتروناتها الخمسة لترتبط مع أربع ذرات من ذرات الجرمانيوم المحيط بها ، بينما يظل الإلكترون الخامس غير مشارك في هذا الترابط [انظر إلى الشكل(٣)]، ويترتب على ذلك أن يكون الإلكترون الخامس ضعيف الارتباط بذرات الزرنيخ ، ولا يتطلب تحريره منها سوى قدر ضئيل جداً من الطاقة، وهذا يجعل بلورة الجرمانيوم المطعمة بشائبة الزرنيخ محتوية على نسبة لا بأس بها من الإلكترونات الحرة التي تتجول في البلورة من موضع إلى آخر، ومن ثم تصبح موصلة للكهرباء بدرجة أكبر، وحاملات الشحنة الحرة في هذه البلورة هي الإلكترونات، ولهذا يرجع سبب تسمية بلورة هذا النوع بالبلورة السالبة (N- Type) من كلمة (Negative).



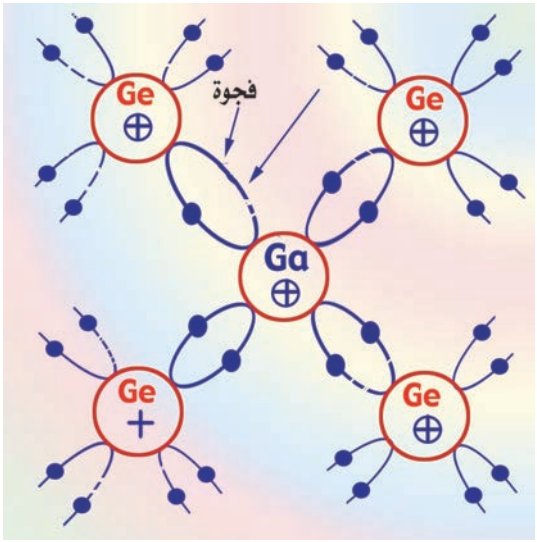
الشكل (٣)

النوع الثاني : شبه موصل من النوع الموجب (الشائبة المستقبلة للإلكترونات)
(Acceptor Impurity) (P-Type Semiconductor)

لاحظ الشكل(٤) الذي يبين التركيب البلوري لشبه موصل من النوع الموجب . . . ثم سمِّ العنصر (الشائبة) الذي طُعمت به هذه البلورة .

- كم عدد الإلكترونات الموجودة في مستوى طاقته الأخير (مستوى التكافؤ) .
- ما تكافؤ عنصر الشائبة؟

لقد وجد أنه عند تطعيم بلورة الجرمانيوم بشائبة ثلاثية التكافؤ مثل عنصر الجاليوم (Ga) أي عند استبدال بعض ذرات بلورة الجرمانيوم رباعية التكافؤ، بذرات من عنصر ثلاثي التكافؤ، مثل الجاليوم (Ga)، فإن ذرة الجاليوم ينقصها إلكترون لتكوين الرابطة التساهمية الرابعة (أي تكون ذرة الجاليوم مرتبطة بثلاث ذرات فقط من الذرات الأربع المحيطة بها من ذرات الجرمانيوم وتظل رابطتها بذرة الجرمانيوم الرابعة رابطة غير مكتملة . . انظر إلى الشكل(٤) . وتسمى هذه الرابطة غير المكتملة (فجوة) Hole . هذه الفجوة تسمح بانتقال إلكترون إليها من رابطة أخرى، فتصبح الفجوة رابطة مكتملة، بينما تصبح الرابطة التي جاء منها الإلكترون رابطة غير مكتملة أي تظهر فجوة جديدة، ينتقل إليها إلكترون من رابطة أخرى . وتتكرر هذه العملية، فتبدو الفجوات وكأنها تتجول في البلورة من موضع لآخر، ومن ثم تصبح بلورة الجرمانيوم المطعمة بذرات الجاليوم (كشائبة)، موصلة للكهرباء بدرجة أكبر، وحاملات الشحنة في هذه البلورة هي الفجوات Holes . ولأن الفجوة ينقصها إلكترون أي شحنة سالبة، فهي تكافئ شحنة موجبة مقدارها يساوي مقدار شحنة الإلكترون، لهذا يسمى هذا النوع بالبلورة الموجبة P - Type (Positive).



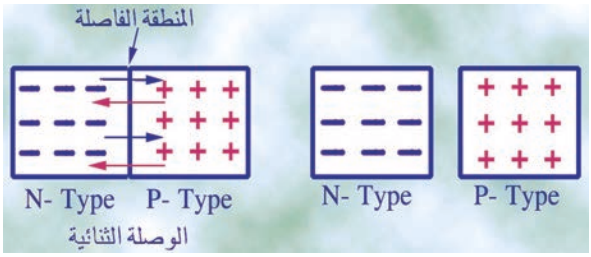
الشكل (٤)

إن من شأن هذه الخصائص التي تمتلكها أشباه الموصلات أن جعلتها تفتح آفاقاً واسعة في الصناعات الإلكترونية مثل صناعة الوصلة الثنائية والترانزستور.

فماذا يقصد بالوصلة الثنائية ؟

الوصلة الثنائية P-N Junction

استعن بالشكل (٥) في وصف ما ينتج عن التحام بلورة من النوع الموجب (P- Type) مع بلورة من النوع السالب (N- Type).

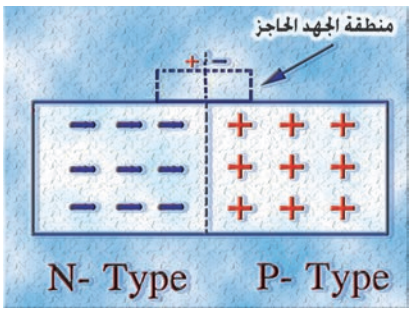


الشكل (٥)

– من أي البلورتين تنتقل الإلكترونات الحرة إلى البلورة الاخرى.

لقد وجد أنه من الممكن تكوين بلورة واحدة من مادة شبه موصلة تشتمل على منطقتين متجاورتين إحداهما من النوع السالب (N- Type) والأخرى من النوع الموجب (P- Type)، وتعرف نقطة الاتصال، أو المعبر، بين المنطقتين المتجاورتين باسم الوصلة الثنائية P-N Junction . انظر إلى الشكل (٥) الذي يتبين من خلاله، أن بعض إلكترونات المنطقة السالبة تتحرك عبر الوصلة لتملأ بعض الفجوات في المنطقة الموجبة وتتكون نتيجة لذلك منطقة صغيرة على جانبي المنطقة الفاصلة سمكها تقريباً (٢) ميكرون تسمى منطقة الجهد الحاجز Potential Barrier . أنظر الشكل (٦) .

كيف تنشأ منطقة الجهد الحاجز؟ من المعروف أنه قبل التحام البلورتين تكون البلورة السالبة والبلورة الموجبة متعادلة كهربائياً، وبعد التحامهما ونتيجة لفقد بعض الإلكترونات من البلورة السالبة، واكتساب البلورة الموجبة لتلك الإلكترونات تصبح البلورة السالبة ذات جهد موجب والبلورة الموجبة ذات جهد سالب وينشأ

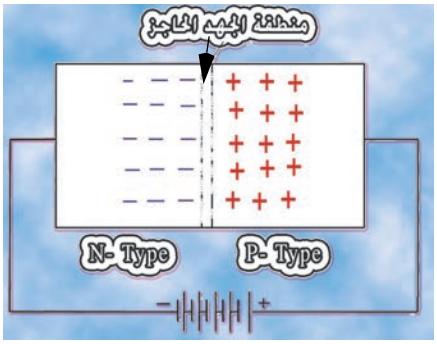


الشكل (٦)

نتيجة لذلك فرق جهد في المنطقة القريبة من التلامس يتزايد تدريجياً حتى يصل إلى حد معين – يكفى لمنع عبور المزيد من الإلكترونات من البلورة السالبة إلى البلورة الموجبة وهذا الفرق في الجهد يسمى الجهد الحاجز (أو جهد الحاجز الداخلي) Internal Potential Barrier وتكون قيمته بين (٠,١ – ١ فولت) وقيمته عملياً بالنسبة للجرمانيوم تساوي ٠,٣ فولت، وللسيليكون ٠,٧ فولت في درجة الحرارة الاعتيادية، ويتغير مقدار فرق الجهد هذا بتغير درجة الحرارة ونسبة الشوائب المضافة .

ونتيجة لاختلاف اتجاه حركة الإلكترونات عن اتجاه حركة الفجوات الموجبة، يمر تيار كهربائي في الوصلة الثنائية في هذه الحالة ولكنه تيار ضعيف.

مرور التيار الكهربائي عبر الوصلة الثنائية:
Flow of Electric Current Across P-N Junction



الشكل (٧)

انظر إلى الشكل (٧) الذي يبين توصيل الوصلة الثنائية بمصدر للتيار الكهربائي (بطارية) بحيث يتصل القطب السالب للبطارية بالبلورة السالبة والقطب الموجب للبطارية بالبلورة الموجبة. في هذه الحالة هل زادت منطقة الجهد الحاجز أم قلت عن المنطقة المعينة في الشكل(٦)؟ ما سبب ذلك؟

انظر إلى الشكل (٨) الذي يبين توصيل الوصلة الثنائية بمصدر التيار الكهربائي (بطارية) بحيث يتصل القطب السالب للبطارية بالبلورة الموجبة والقطب الموجب للبطارية بالبلورة السالبة.

في هذه الحالة، هل زادت منطقة الجهد الحاجز أم إنها قلت عن المنطقة المعينة الموضحة في الشكل(٦) ؟

لاحظ أنه في أي من هاتين الطريقتين، فإن الوصلة الثنائية لا تسمح للتيار الكهربائي بالمرور خلالها إلا إذا أمكن التغلب على الجهد الحاجز لها. ففي أية حالة من هاتين الحالتين يمر التيار الكهربائي عبر الوصلة الثنائية بشكل أكبر؟

إذا أرجعت النظر إلى الشكلين (٧) و (٨) ستجد :

أن دمج الوصلة الثنائية في الدوائر الكهربائية يتم بإحدى الطريقتين الآتيتين :

أولاً : طريقة التوصيل الأمامي Forward-bias conditions in a P.N junction

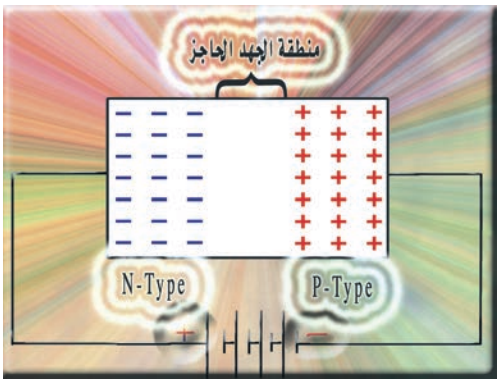
كما يبدو في الشكل (٧)، في هذه الطريقة : توصل البلورة السالبة N- Type بالطرف (بالقطب) السالب للدائرة الكهربائية وتوصل البلورة الموجبة P- Type بالطرف (بالقطب) الموجب للدائرة الكهربائية .

في حالة التوصيل الأمامي تتحرك الفجوات الموجبة بعيداً عن القطب الموجب للبطارية (أو القطب الموجب للدائرة الكهربائية) تحت تأثير الضغط الكهربائي الناتج عن التنافر بين الفجوات الموجبة والقطب الموجب للبطارية أو الطرف الموجب للدائرة الكهربائية مقتربة من المنطقة الفاصلة، كما تتحرك الإلكترونات الحرة بعيداً عن القطب السالب للبطارية (أو القطب السالب للدائرة الكهربائية) تحت تأثير الضغط الكهربائي الناتج عن التنافر بين الإلكترونات الحرة سالبة الشحنة والقطب السالب للبطارية أو الطرف السالب للدائرة الكهربائية، وبالتالي يقل الجهد الحاجز. أنظر الشكل (٧). ونتيجة لذلك تعبر بعض الإلكترونات المنطقة الفاصلة لتملأ الفجوات في البلورة الموجبة فيمر في الوصلة الثنائية تيار كهربائي كبير نسبياً يمثل الفرق بين التيار الناشئ عن حاملات الشحنة السائدة ، والتيار الناشئ عن حاملات الشحنة غير السائدة (الشحنات السائدة في البلورة السالبة هي الإلكترونات والشحنات غير السائدة هي الفجوات أما في البلورة الموجبة فالشحنات السائدة هي الفجوات والشحنات غير السائدة هي الإلكترونات) .

ويعمل القطب السالب للبطارية على إمداد البلورة السالبة بمزيد من الإلكترونات ليعوض النقص في البلورة السالبة، ويعمل القطب الموجب للبطارية على جذب الزائد من الإلكترونات في البلورة الموجبة، وهكذا يمر في الوصلة الثنائية تيار كهربائي (يسمى تياراً أمامياً) .

ثانياً : طريقة التوصيل الخلفي (العكسي)
Reverse - bias conditions in P-N Junction

كما يبدو في الشكل (٨) . . توصل البلورة السالبة بالطرف (بالقطب) الموجب للدائرة الكهربائية وتوصل البلورة الموجبة بالطرف (بالقطب) السالب للدائرة الكهربائية .



الشكل (٨)

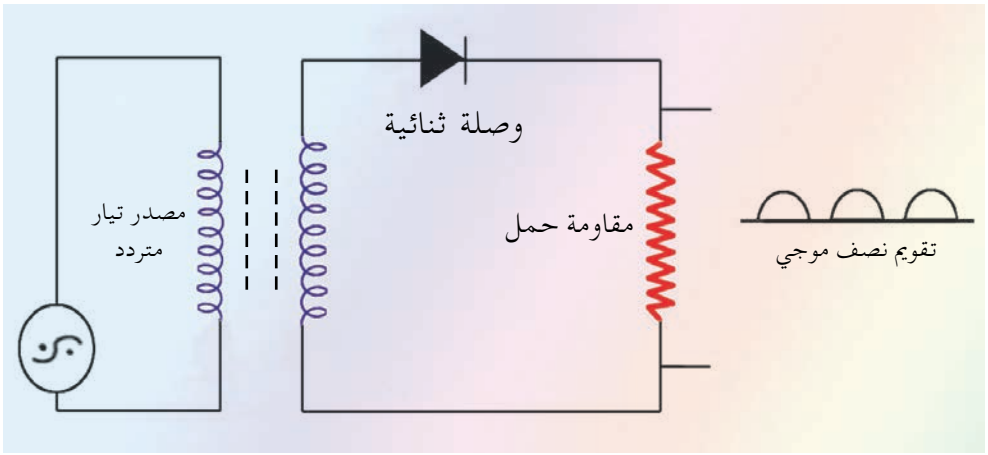
وفي حالة التوصيل الخلفي تتحرك الفجوات الموجبة نحو القطب السالب للبطارية (أو الطرف السالب للدائرة الكهربائية) بسبب التجاذب، وتتحرك الإلكترونات نحو القطب الموجب للبطارية (أو الطرف الموجب للدائرة الكهربائية) بسبب التجاذب، ويزداد تبعاً لذلك الجهد الحاجز (انظر الشكل ٨)، فلا يمر في دائرة الوصلة الثنائية سوى تيار ضعيف جداً من حاملات الشحنة غير السائدة، وقد لا يمر تيار كهربائي .

ولكي تتعرف على شكل وحجم واستخدام الوصلة الثنائية . . . **نفذ النشاط الآتي :**

- قم بزيارة إلى أقرب ورشة متخصصة لتصليح الأجهزة الإلكترونية . . ثم قابل المهندس أو الفني المتخصص .
- أطلب منه أن يُريك أو يعرض عليك أنواعاً مختلفة من الوصلات الثنائية .
- لاحظ أشكالها وحجومها .
- أطلب منه أن يوضح لك كيفية توصيل الوصلة الثنائية في الدوائر الكهربائية في الأجهزة الإلكترونية وأن يوضح لك استخداماتها أو ما الغرض منها، أو ما عملها في الدوائر الكهربائية .

استخدام الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد P-N Junction As Rectifier

مما ورد سابقاً يتبين أن مقاومة الوصلة الثنائية للتيار الكهربائي في اتجاه معين تكون صغيرة نسبياً، بينما تكون مقاومتها لهذا التيار الكهربائي في الاتجاه المعاكس أكبر ما يمكن، أي إن الوصلة الثنائية تسمح فقط لأنصاف الذبذبات بالمرور عندما يكون جهد البلورة الموجبة موجباً وجهد البلورة السالبة سالباً. هذه الخاصية التي تمتلكها الوصلة الثنائية، تجعلها تستخدم في تقويم التيار المتردد، والشكل (٩) يوضح دائرة كهربائية تستخدم فيها الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد، وهذا التقويم هو تقويم نصف موجي غير مكتمل حيث لا تسمح الوصلة الثنائية بمرور أنصاف الذبذبات التي في الاتجاه المضاد أو المعاكس.



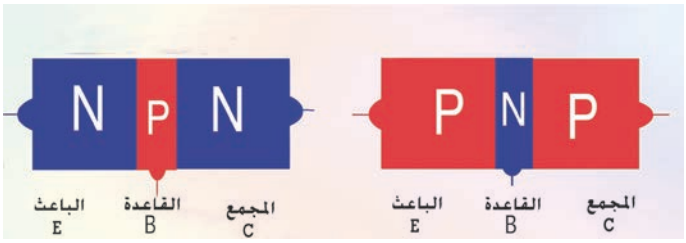
الشكل (٩)

ومن الموصلات الثنائية المعروفة، ثنائية الجرمانيوم وثنائية السيليكون.

الترانزستور Transistor

الشكل (١٠) يبين رسماً توضيحياً لتركيب الترانزستور في أبسط صوره كما يبين نوعيه . معتمداً على هذا الشكل، صف تركيب الترانزستور وحدد نوعيه .

سمِّ البلورات التي يتكون منها كل نوع من أنواعه . إن الترانزستور في أبسط صوره عبارة عن ثلاث بلورات متلاصقة من مادة شبه موصلة مثل الجرمانيوم أو السيليكون وهي من نوع (P)، (N) تعالج بطريقة معينة بحيث يكون الجزء الأوسط (البلورة الوسطى) من النوع المخالف للبلورتين الطرفيتين لذلك يتكون نوعان من الترانزستور هما النوع (P–N–P) والنوع (N–P–N)، ويطلق على الترانزستور أحياناً اسم وصلة الساندويش Sandwich Junction، وقد اخترع الترانزستور العالمان الأمريكيان براتينيان وباردين عام ١٩٤٨م .



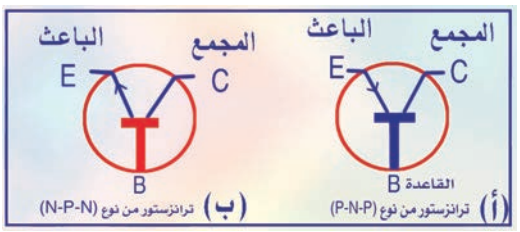
الشكل (١٠)

وتسمى البلورة الوسطى القاعدة (B) Base، وتسمى إحدى البلورتين الطرفيتين الباعث (E) Emitter وهي البلورة التي تتحرك منها الإلكترونات الحرة أو الفجوات الموجبة باتجاه القاعدة، والبلورة الطرفيه الاخرى التي تجذب الإلكترونات أو الفجوات إليها تسمى المجمع (C) Collector .

وتسمى هذه البلورات الثلاث أقطاب (أو أطراف) التوصيل في الترانزستور وللتمييز بين أقطاب الترانزستور، تكون القاعدة أقرب إلى الباعث منها إلى المجمع أو توضع دائرة ملونة عند طرف المجمع – كما يكون سمك بلورة القاعدة صغيراً جداً، ونسبة الشوائب فيها قليلة جداً بالنسبة لشوائب الباعث وشوائب المجمع ، أما نسبة الشوائب في بلورة الباعث فتكون أكبر كثيراً من نسبة الشوائب في بلورة المجمع .

الرموز الاصطلاحية للترانزستور

الرمز الاصطلاحي للترانزستور من النوع (P–N–P) يوضحه الشكل (١٢ – أ)، والرمز الاصطلاحي للترانزستور من النوع (N–P–N) يوضحه الشكل (١١ – ب) .

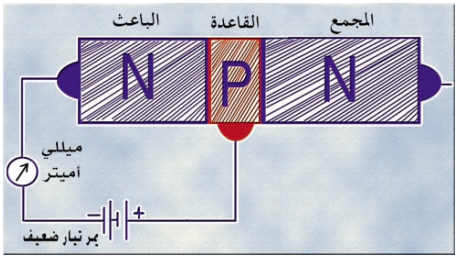


الشكل (١١)

والسهم في الرسمين يبين اتجاه التيار الكهربائي الاصطلاحي وهو يمثل اتجاه الفجوات الموجبة ويوضع السهم دائماً على الباعث ويشير دائماً نحو البلورة السالبة ففي الرسم (١١– أ) يكون اتجاه التيار الإصطلاحي من الباعث إلى القاعدة وفي الرسم (١١–ب) يكون اتجاه التيار من القاعدة إلى الباعث .

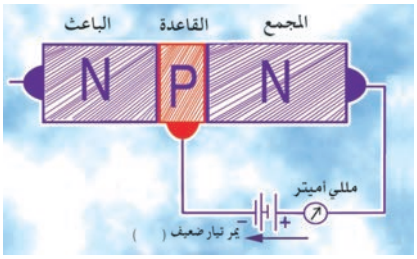
مرور التيار الكهربائي في الترانزستور :
Electric current flow across the transistor

– إذا وصلنا بطارية ومللي أميتر (أوجلفانومتر) بين البلورة الموجبة (القاعدة) وإحدى البلورتين السالبتين، ولتكن بلورة الباعث هي السالبة كما في الشكل(١٢) بحيث يكون التوصيل أمامياً، فإن تياراً كهربائياً ضعيفاً نسبياً يمر بالرغم من أن التوصيل أمامي . . ما السبب في ذلك؟ . إن السبب في ذلك هو أن البلورة الموجبة (القاعدة) تقع عند الجهد الموجب للباعث، وبالتالي يتكون عدد كبير من الفجوات في القاعدة . وهذا يجعل إلكترونات البلورة السالبة (الباعث)، تتمكن من عبور الوصلة لملء فجوات القاعدة .



الشكل (١٢)

– إذا وصلنا بطارية ومللي أميتر (أو جلفانومتر) بين البلورة الموجبة (القاعدة) والبلورة السالبة الأخرى (المجمع)، بحيث يكون التوصيل خلفياً، كما هو مبين في الشكل (١٣) فإن تياراً كهربائياً ضعيفاً أيضاً يمر والسبب في ذلك هو التوصيل الخلفي .



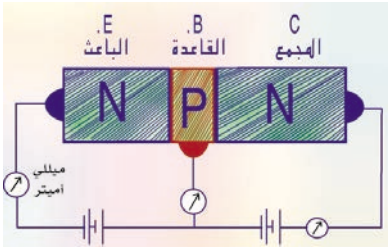
الشكل (١٣)

ويتميز المجمع (C) بكبر مساحة سطحه وقلة الشوائب فيه بالنسبة للباعث، بينما يتميز الباعث (E) بصغر مساحة سطحه ووفرة الشوائب فيه . في هذه الحالة (أو الطريقة) القطب الموجب للبطارية يجذب نحوه إلكترونات المجمع ويمنعها من الانتقال عبر الوصلة، كما أن القطب السالب للبطارية يجذب نحوه الفجوات الموجبة للقاعدة، وبذلك لا يمر سوى تيار كهربائي ضعيف عبر الوصلة وقد لا يمر .

– إذا وصلنا القاعدة بالباعث توصيلاً أمامياً ووصلنا القاعدة بالمجمع توصيلاً خلفياً

مع توصيل مللي أميتر (أو جلفا نومتر) بكل من الباعث والقاعدة والمجمع كما في الشكل (١٤) فماذا يلاحظ؟

- يلاحظ من خلال المللي أميتر أن الجزء الأكبر من تيار الباعث يمر في المجمع وما تبقى يمر في القاعدة . . . ما السبب في ذلك؟



الشكل (١٤)

إن السبب في ذلك هو أن اتصال بطارية الباعث وبطارية المجمع اتصال توالي، مما يسبب فرق جهد كبير وبالتالي مجالاً كهربائياً شديداً بين الباعث والمجمع وينتج عن ذلك مرور عدد كبير من الإلكترونات من الباعث إلى المجمع ثم إلى الدائرة الخارجية.

بالرغم من أن كلاً من الباعث والمجمع مزود ببطارية خاصة به، فإن تيار الباعث يتحكم في تيار المجمع . . لذلك يسمى تيار الباعث بالتيار الحاكم أما تيار المجمع فيسمى بالتيار المحكوم. لتوضيح ذلك :

- افترض أن تيار الباعث $ت_E$ = ٢٠ مللي أمبير فإن تيار المجمع $ت_C$ = ١٩ مللي أمبير وبالتالي يكون وبحسب قانون كيرشوف تيار القاعدة $ت_B = ت_E - ت_C$ = ٢٠ − ١٩ = ١ مللي أمبير.

مثال إذا كان تيار القاعدة يساوي (٥) مللي أمبير وتيار المجمع يساوي (٩٥) مللي أمبير فكم يكون مقدار تيار الباعث في هذا الترانزستور؟

الحل : تيار الباعث = تيار المجمع + تيار القاعدة.

$ت_E = ت_C + ت_B$

∴ ($ت_E$) = ٩٥ + ٥ = ١٠٠ مللي أمبير.

ويمكن تطبيق نفس السلوك السابق للترانزستور NPN على الترانزستور PNP حيث يتم بهذه الحالة توصيل قطبي البطاريتين عكس ما هو مبين للترانزستور NPN مع الأخذ بالاعتبار أن الشحنات الناقلة للتيار هي الفجوات بدلاً من الإلكترونات، وتستخدم هنا أيضاً نفس العلاقة السابقة في حساب $ت_E$ ، $ت_B$ ، $ت_C$.

استخدامات الترانزستور :

كانت معظم الأجهزة والدوائر الكهربائية تعتمد في تركيبها وعملها بشكل أساسي

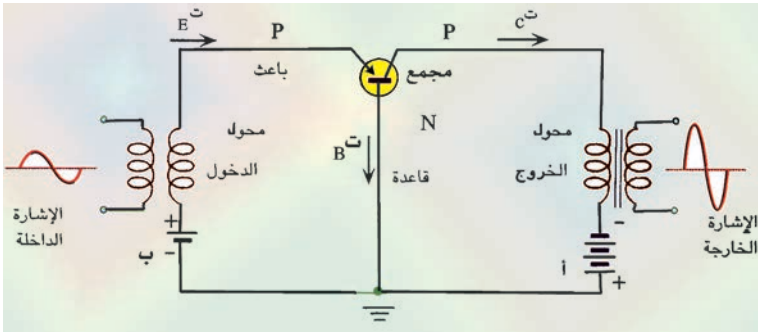
على الصمامات، إلا أنه منذُ الخمسينيات، ظهرت نزعة راسخة لاستبدال الصمامات بالترانزستور، الذي يدخل الآن في صناعة الأجهزة الإلكترونية الحديثة – فهو يقوم بعمل الصمام الثلاثي بل ويفوقه في عمليات تقويم التيار وتكبيره وتوليد الموجات اللاسلكية والإشارات الكهربائية وفي أجهزة الكشف عنها. إضافة لتميزه عن الصمام الثلاثي بصغر حجمه، وخفة وزنه، وصلابته، وعدم احتياجه إلى تيار تسخين، وقدرته العالية، ويحتاج إلى جهد كهربائي صغير حتى يعمل، ويعمل لفترة زمنية طويلة قبل تلفه.

الترانزستور كمكبر (كمضخم) Transistor As Amplifier

في كثير من التطبيقات الإلكترونية تكون الإشارة الكهربائية (القدرة، أو التيار، أو الجهد) ضعيفة جداً وغير نافعة، لذلك لا بد من تكبيرها.. فكيف تجري عملية التكبير هذه؟ إنها تجري بثلاث طرق مختلفة هي: التكبير بطريقة القاعدة المشتركة، والتكبير بطريقة الباعث المشترك والتكبير بطريقة المجمع المشترك، وسنستعرض الطريقتين الأوليين فقط:

طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة:
Common Base Amplificatioin Process

انظر إلى الشكل (١٥) الذي يمثل دائرة يستخدم فيها الترانزستور من نوع (P-N-P)، كمكبر بطريقة القاعدة المشتركة، فإذا أدخلت إشارة كهربائية صغيرة (أي قدرة كهربائية أو جهد أو تيار كهربائي صغير) في دائرة الباعث أمكن الحصول على قدرة كبيرة أو جهد كبير أو تيار كبير، على الرغم من كون تيار المجمع أقل من تيار الباعث حيث تحدث عملية التكبير في هذه الطريقة نتيجة لكون مقاومة الخروج أكبر من مقاومة الدخول، ويتم الحصول على المقاومة الصغيرة لتيار الباعث، وذلك بجعل اتصال (الباعث – القاعدة) اتصالاً أمامياً



الشكل (١٥)

فيقل بذلك المجال الكهربائي عبر هذا الاتصال أي يقلل المجال الكهربائي في دائرة (الباعث – القاعدة)، بينما يتم الحصول على مقاومة كبيرة (عالية) لتيار المجمع وذلك بجعل اتصال (المجمع – القاعدة) اتصالاً خلفياً (عكسياً)، فيزداد بذلك المجال الكهربائي عبر هذا الاتصال، أي يزداد المجال الكهربائي في دائرة (المجمع – القاعدة) ونتيجة لذلك تكون القدرة والجهد في دائرة المجمع أكبر من القدرة والجهد في دائرة الباعث وعليه فإن :

$$\text{معامل تكبير القدرة} = \frac{\text{قدرة المجمع (القدرة الخارجة)}}{\text{قدرة الباعث (القدرة الداخلة)}}$$

$$= \frac{ت_c^2 \times \text{مقاومة المجمع}}{ت_E^2 \times \text{مقاومة الباعث}}$$

$$\text{معامل تكبير الجهد} = \frac{\text{جهد المجمع (الجهد الخارج)}}{\text{جهد الباعث (الجهد الداخل)}} = \frac{\text{مقاومة المجمع}}{\text{مقاومة الباعث}}$$

حيث تيار المجمع = تيار الباعث تقريباً

ملاحظة : إن طريقة القاعدة المشتركة تستخدم لتكبير الجهد بصورة رئيسية وتكبير القدرة ولكن بمقدار أقل من تكبير الجهد .

مثال في دائرة القاعدة المشتركة كان تيار الباعث ($ت_E$) يساوي (٥٥) ميكروأمبير، وتيار المجمع (٥٠) ميكروأمبير، كما كانت مقاومة دائرة الباعث ($م_E$) تساوي (١٠) أوم، ومقاومة دائرة المجمع ($م_c$) تساوي (٥٠) كيلو أوم، أحسب .

(١) معامل تكبير فرق الجهد (٢) معامل تكبير القدرة

الحل :

١) ∵ معامل تكبير فرق الجهد $= \frac{\text{فرق جهد المجمع (جـ}_c\text{)}}{\text{فرق جهد الباعث (جـ}_E\text{)}}$

∴ معامل تكبير فرق الجهد $= \frac{ت_c \times م_c}{ت_E \times م_E}$

$= \frac{١٠ \times ٥٠ \times ١٠^{-٦} \times ١٠٠٠ \text{ فولت}}{٥٥ \times ١٠^{-٦} \times ١٠} = \frac{٥٠٠٠٠}{١١}$

∴ معامل تكبير فرق الجهد = ٤٥٤٥,٤

٢) ∵ معامل تكبير القدرة = $\frac{\text{قدرة المجمع}}{\text{قدرة الباعث}}$

∵ القدرة = جـ X ت أو القدرة = ت^{٢} X م .

∴ معامل تكبير القدرة = $\frac{\text{جـ}_{c} \times \text{ت}^{c}}{\text{جـ}_{E} \times \text{ت}^{E}}$ = $\frac{١٠\times٥٠\times١٠٠٠\times٥٠\times٠\times١٠^{-٦}\times٥٠}{١٠\times٥٥\times١٠\times١٠^{-٦}\times٥٥}$

∴ معامل تكبير القدرة = $\frac{٥٠٠٠٠٠}{١٢١}$ = ٤١٣٢,٢

من مزايا طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة ما يأتي :

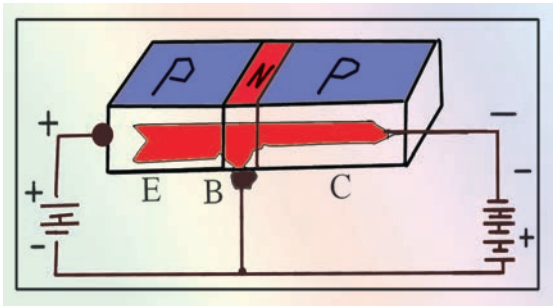
- يكون معامل تكبير التيار ($\frac{\text{(ت خروج)}}{\text{(ت دخول)}}$) أقل من الواحد الصحيح بمقدار قليل، لأن تيار المجمع أصغر بقليل من تيار الباعث .
- يكون معامل تكبير الجهد ($\frac{\text{(جـ خروج)}}{\text{(جـ دخول)}}$) عالياً .
- يكون معامل تكبير القدرة أي (تكبير الجهد X تكبير التيار) والذي يساوي ($\frac{\text{(قدرة خروج)}}{\text{(قدرة دخول)}}$) أقل من مقدار معامل تكبير الجهد .
- تيار المجمع يتغير باتجاه تيار الباعث نفسه . . وهذا هو السبب الذي يجعل الإشارة الكهربائية الخارجة والإشارة الكهربائية الداخلة في الطور نفسه (أي في طور واحد) .
- مقاومة (أو معاوقة) دائرة الباعث صغيرة (وذلك بسبب التوصيل الأمامي) ومعاوقة دائرة المجمع كبيرة (وذلك بسبب التوصيل الخلفي) .

ما السبب في مرور الجزء الأكبر من تيار الباعث باتجاه المجمع بدلاً من مروره باتجاه القاعدة في ترانزستور من نوع (P–N–P) ؟

إن السبب يرجع إلى :

- اتصال القطب السالب للبطارية (أ) بالمجمع (P)، فيجذب الفجوات الموجبة نحوه، والقطب الموجب للبطارية (ب) يتصل بالباعث (P) فيحدث تنافر بين الفجوات الموجبة في الباعث والقطب الموجب، فتندفع مبتعدة نحو المجمع أكثر من اندفاعها نحو القاعدة .
- نسبة الشوائب في القاعدة صغيرة جداً، فيكون عدد الإلكترونات الحرة فيها قليلاً، وتتحد

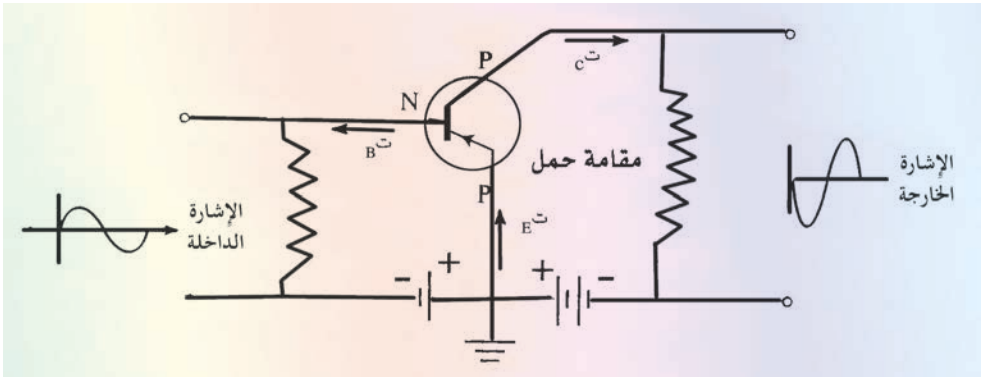
هذه الإلكترونات مع عدد مساوٍ لها من الفجوات الموجبة التي تعبر وصلة (الباعث – القاعدة) بعدد كبير جداً، أما ما تبقي من هذه الفجوات (وهو عدد كبير) فإنه يندفع باتجاه المجمع، انظر إلى الشكل (١٦) .



الشكل (١٦)

– صغر المقاومة باتجاه (الباعث – المجمع) يسمح بمرور عدد كبير من الفجوات الموجبة إلى المجمع لكبر مساحته ، وكبر المقاومة باتجاه القاعدة يجعل عدداً قليلاً جداً من الفجوات الموجبة تتجه إلى القاعدة، وذلك بسبب صغر مساحة سطح القاعدة وقلة شوائبها .

طريقة التكبير بالباعث المشترك:
Common Emitter Amplificatioin Process



الشكل (١٧) دائرة الزانزستور PNP ذي الباعث المشترك

كما هو واضح من الشكل (١٧)، في هذه الطريقة يكون الباعث مشتركاً بين الإشارة الداخلة والإشارة الخارجة (القدرة أو الجهد أو التيار الكهربائي) والتي تكون مكبرة بالنسبة للإشارة الكهربائية الداخلة .

ومن مزايا هذه الطريقة ما يأتي :

– يكون معامل تكبير التيار $\left(\frac{\text{(ت خروج)}}{\text{(ت دخول)}}\right)$ عالياً لأن تيار المجمع أكبر بكثير من تيار القاعدة .

- يكون معامل تكبير الجهد ($\frac{\text{جـ خروج}}{\text{جـ دخول}}$) عالياً بسبب كبر المانعة (المقاومة) والتيار في دائرة المجمع.
- يكون معامل تكبير القدرة عالياً جداً، لأن تكبير القدرة = معامل تكبير الجهد X معامل تكبير التيار.
- ظهور فرق في زاوية الطور مقداره (١٨٠°) بين الإشارة الداخلة والإشارة الخارجة.

أن أغلب الدوائر شيوعاً في الاستخدام هي ذات الباعث المشترك لأنها الدائرة الوحيدة التي يكون فيهامعامل تكبير التيار عالياً وكذلك معامل تكبير الجهد عالٍ، لأن معامل تكبير القدرة عالٍ جداً، وهي الطريقة الوحيدة التي تعكس الطور.

جدول مقارنة بين طريقتي التكبير السابقين

الدائرة	معامل تكبير التيار (ت)	معامل تكبير الجهد (جـ)	معامل تكبير القدرة	مقاومة المدخل	مقاومة المخرج
ذات القاعدة المشتركة	أقل من واحد	عالٍ	متوسط	منخفضة	عالية
ذات الباعث المشترك	عالٍ	عالٍ	عالٍ جداً	منخفضة	عالية

فوائد استخدام الترانزستور في الصناعات الإلكترونية

إن دخول الترانزستور في الصناعات الإلكترونية أدى إلى ظهور أسلوب جديد في تقارب الأجزاء الرئيسية للدوائر الكهربائية، لتصبح هذه الدوائر صغيرة الحجم، إذ يمكن تركيبها على ألواح الدوائر المطبوعة، وبالتالي أصبحت الأجهزة الإلكترونية صغيرة الحجم.. كما سبب في تطوير الدوائر المتكاملة التي تقوم بوظائف معقدةً جداً على رقاقة سيليكون واحدة صغيرة جداً .

إن ازدياد الاعتماد على الدوائر المتكاملة أو الموحدة أو المدمجة (Integrated circuits) ساعد على تطور الصناعات الإلكترونية الحديثة مثل الإلكترونيات الطبية، بحيث جعلها صغيرة الحجم جداً يمكن زرعها في جسم الإنسان.

إن أكبر مجال لاستعمال الدوائر المتكاملة هو صناعة الحاسبات والساعات والصواريخ الموجهة، فهي أسرع بكثير من الدوائر المنفصلة (بسبب ملفات الحث المرتبطة بالدوائر المنفصلة)، وهناك فوائد أخرى توفرها الدوائر المتكاملة لمصنعي الحاسبات الإلكترونية والتلفاز، فهي تقلل مبالغ التجميع التي تصرف على الدوائر المنفصلة التي تحتاج إلى عمل يدوي، وتحتل حيزاً صغيراًجداً مقارنة بالأجهزة القديمة.

للاستزادة من المعلومات حول موضوع الترانزستورات نفذ الآتي :

- قم بزيارة إلى أقرب ورشة لصيانة الأجهزة الإلكترونية في منطقتك أو حيك.
- قابل المهندس أو الفني المتخصص، وأطلب منه ما يلي :
- أن يطلعك على . . . أشكال الترانزستورات وحجومها ، وكذلك الدوائر المتكاملة.
- أن يطلعك على بعض الدوائر الكهربائية التي يدخل الترانزستور في تركيبها، أي التي يستخدم فيها الترانزستور كجزء من الدائرة الكهربائية.
- أن يطلعك على بعض الرسومات التوضيحية لتلك الدوائر الكهربائية مبيناً كيفية إدماج الترانزستورات والوصلات الثنائية (الدايودات الثنائية) في هذه الدوائر.

تقويم الوحدة

س١ : اكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

أ – تسمى الروابط التي تربط بين ذرات بلورة الجرمانيوم بالروابط .....

ب– يُقصد بأشباه الموصلات غير النقية بأنها عبارة عن أشباه موصلات نقية مطعمة بنسبة ضئيلة من أحد عناصر المجموعة... أو عناصر المجموعة..... في الجدول الدوري.

جـ– أشباه الموصلات غير النقية نوعان هما : أشباه موصلات من النوع..... وأشباه موصلات من النوع.....

د – حاملات الشحنة الأساسية في البلورة من النوع N- Type هي.... بينما حاملات الشحنة الأساسية في البلورة من النوع P- Type هي.....

هـ– في طريقتي التوصيل الأمامي والخلفي (العكسي)، لا تسمح الوصلة الثنائية للتيار الكهربائي بالمرور خلالها إلا إذا أمكن التغلب على.... الحاجز .

و – إن الوصلة الثنائية تسمح فقط لأنصاف الذبذبات بالمرور عندما يكون جهد البلورة الموجبة..... وجهد البلورة السالبة..... وهذه الخاصية تجعل الوصلة الثنائية تستخدم في..... التيار المتردد.

ز – إن الأجهزة المصنوعة من أشباه الموصلات تمتلك..... عالية.....، ..... خدمة طويلة..

ح – تسمى البلورة الوسطى في الترانزستور باسم..... وتسمى إحدى البلورتين الطرفيتين باسم..... والأخرى باسم.....

ط – في الترانزستور تسمى البلورة التي تتحرك منها الإلكترونات الحرة أو الفجوات الموجبة باتجاه القاعدة باسم..... بينما تسمى البلورة التي تجذب أكبر عدد من الإلكترونات أو الفجوات إليها باسم.....

ي – يتميز المجمع في الترانزستور بكبر.... سطحه وقلة..... فيه، بالنسبة للباعث ويتميز الباعث بصغر.... سطحه ووفرة.....فيه نسبياً.

ك – يسمى تيار الباعث بالتيار.... أما تيار المجمع فيسمى بالتيار....

ل – توجد ثلاث طرق للتكبير يستخدم فيها الترانزستور كمكبر هي: طريقة.... ....، وطريقة.... ....، وطريقة.... .... .

م – إن حاصل قسمة القدرة الكهربائية للمجمع على القدرة الكهربائية للباعث يساوي... .

س٢ : ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ فيما يأتي :

أ – تزداد المقاومة الكهربائية لأشباه الموصلات عندما تنخفض درجة حرارتها وتقل عندما تزداد درجة حرارتها. ( )

ب – يتوقف نوع شبه الموصل غير النقي على تكافؤ العنصر (الشائبة) الذي يطعم به. ( )

جـ – تنتج الوصلة الثنائية عند التحام ثلاث بلورات من النوع P- Type. ( )

د – إضافة الشوائب إلى أشباه الموصلات النقية سواء من عناصر المجموعة الخامسة أو من عناصر المجموعة الثالثة يقلل من درجة توصيلها للتيار الكهربائي. ( )

هـ – التيار الكهربائي الذي يمر في الوصلة الثنائية عند دمجها في الدائرة الكهربائية بطريقة التوصيل الأمامي يكون مساوياً الفرق بين التيار الناشئ عن حاملات الشحنة السائدة والتيار الناشئ عن حاملات الشحنة غير السائدة. ( )

و – للتمييز بين أقطاب الترانزستور، تكون القاعدة أقرب إلى المجمع منها للباعث. ( )

ز – نلاحظ أنه عندما نوصل القاعدة والباعث في الترانزستور توصيلاً أمامياً فإن الجزء الأكبر من تيار الباعث يمر في القاعدة، وما تبقى منه يمر في المجمع. ( )

ح – يحتاج الترانزستور إلى جهد كهربائي صغير لكي يقوم بعمله. ( )

ط – معامل تكبير التيار في الترانزستور يساوي حاصل قسمة قيمة شدة تيار المجمع على قيمة شدة تيار الباعث. ( )

ي- يكون معامل تكبير التيار في طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة، أكبر قليلاً من الواحد الصحيح لأن تيار المجمع أكبر من تيار الباعث. ( )

س٣ : ضع دائرة حول الحرف (الرمز) الذي يدل على الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات الآتية :

١- إن المواد تنقسم من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى :
(أ) نوعين (ب) ثلاثة أنواع (جـ) أربعة أنواع (د) خمسة أنواع

٢- واحد فقط من العناصر الآتية، يُعد من أشباه الموصلات وهو . .
(أ) الماغنسيوم (ب) الألومنيوم (جـ) الصوديوم (د) السيليكون

٣- تكون أشباه الموصلات عازلة للكهرباء تماماً عند درجة حرارة .
(أ) ١٠٠ درجة مطلقة، (ب) ١٠٠ درجة مئوية، (جـ) الصفر المطلق، (د) الصفر المئوي .

٤- تنتج البلورة المانحة للإلكترونات عند تطعيم بلورة الجرمانيوم بعنصر تكافؤه .
(أ) خماسي (ب) رباعي (جـ) ثلاثي (د) ثنائي

٥- تنتج البلورة المستقبلة للإلكترونات، عند تطعيم بلورة الجرمانيوم بعنصر تكافؤه
(أ) ثنائي (ب) خماسي (جـ) رباعي (د) ثلاثي .

٦- إن الوصلة الثنائية تسمح فقط لأنصاف الذبذبات بالمرور عندما يكون جهد البلورة الموجبة :
(أ) موجباً وجهد البلورة السالبة سالباً .
(ب) سالباً وجهد البلورة السالبة سالباً .
(جـ) سالباً وجهد البلورة السالبة موجباً .
(د) موجباً وجهد البلورة السالبة موجباً .

٧- يكون سُمك بلورة القاعدة في الترانزستور :
(أ) صغيراً جداً ونسبة الشوائب كثيرة جداً .
(ب) صغيراً جداً ونسبة الشوائب قليلة جداً .
(جـ) كبيراً ونسبة الشوائب كثيرة جداً .
(د) كبيراً ونسبة الشوائب قليلة جداً .

٨- أحد هذه الرموز الآتية، هو رمز الترانزستور:

(أ) (ب) (جـ) (د)

٩- معامل تكبير التيار في طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة يكون .

(أ) عالياً (ب) متوسطاً (جـ) أقل من الواحد (د) منخفضاً

١٠- في طريقة التكبير بالباعث المشترك يكون فرق الطور بين الإشارة الداخلة والإشارة الخارجة مساوياً.

(أ) ٣٠° (ب) ٦٠° (جـ) ٩٠° (د) ١٨٠°

س٤ : عرف الآتي : أشباه الموصلات النقية، أشباه الموصلات غير النقية، الوصلة الثنائية، الجهد الحاجز، الترانزستور، معامل تكبير الترانزستور.

س٥ : علل لما يأتي :

أ - توصيلية أشباه الموصلات للتيار الكهربائي تزداد بارتفاع درجة حرارتها.

ب - في طريقة التوصيل الخلفي (العكس) للوصلة الثنائية، يمر تيار ضعيف وقد لا يمر.

جـ - تستخدم الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد.

د - في الترانزستور عند توصيل الباعث والقاعدة توصيلاً أمامياً، فإن تياراً كهربائياً ضعيفاً يمر بالرغم من أن التوصيل أمامي.

هـ - في الترانزستور، عند توصيل المجمع والقاعدة توصيلاً خلفياً (عكسياً)، يمر تيار ضعيف وقد لا يمر.

و - يسمى تيار الباعث بالتيار الحاكم ويسمى تيار المجمع بالتيار المحكوم.

ز - يفضل استخدام الترانزستور على الصمام الثلاثي في صناعة الأجهزة الإلكترونية.

ح - يكون معامل تكبير التيار في حالة التكبير بطريقة الباعث المشترك عالياً.

س٦ : قارن بين كل من:

(أ) البلورة (الشوائب) المانحة والبلورة (الشوائب) المستقبلة.

(ب) طريقة التوصيل الأمامي وطريقة التوصيل الخلفي (العكسي).

(ج) طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة، وطريقة التكبير بالباعث المشترك.

س٧ : ما الأسباب التي جعلت حجوم الأجهزة الإلكترونية تصغر كثيراً عما كانت عليه في السابق .

س٨ : في طريقة التكبير بالقاعدة المشتركة باستخدام ترانزستور من نوع(P–N–P)، وضح السبب الذي يجعل الجزء الأكبر من تيار الباعث يمر باتجاه المجمع بدلاً من مروره باتجاه القاعدة .

س٩ : مستعيناً بالرسم، اشرح طريقة تستخدم فيها الوصلة الثنائية في تقويم التيار المتردد .

س ١٠ : وضح كيف يتكون الجهد الحاجز في الوصلة الثنائية .

س ١١ : وضح بالرسم تركيب الترانزستور . . ونوعيه والرموز الفيزيائية لهما .

س ١٢ : ارسم دائرة كهربائية تحتوي على ترانزستور من نوع (P–N–P) بحيث يوصل الباعث بالقاعدة توصيلاً أمامياً، وتوصل القاعدة بالمجمع توصيلاً خلفياً (انعكاسياً) .

س١٣ : مقاومة دائرة الباعث في دائرة كهربائية ذات قاعدة مشتركة تساوي (٤٠) أوم ومقاومة دائرة المجمع (١٣٠) كيلو أوم، فإذا كان تيار المخرج يساوي (٤٠) ميكرو أمبير، وتيار المدخل يساوي (٥٠) ميكرو أمبير فاحسب :

أ – معامل تكبير التيار .

ب– معامل تكبير الجهد .

جـ– معامل تكبير القدرة .

س١٤ : في دائرة باعث مشترك، كان تيار القاعدة (١٠ ميكرو أمبير) وتيار المجمع (١) مللي أمبير، احسب معامل تكبير التيار، ومعامل تكبير القدرة، إذا علمت أن مقاومة مدخل الدائرة (١) كيلو أوم ومقاومة مخرجها (٢٥) كيلو أوم .

الوحدة الرابعة

الأجهزة الإلكترونية
Electronic Devices

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يُعرِّف الآتي : عملية الانبعاث الإلكتروني الثانوي، عملية الانبعاث الإلكتروني الحراري، التفريغ الكهربائي خلال الغازات، أشعة الكاثود، عمليتي الإرسال والاستقبال الإذاعي والتلفازي، المسح التلفازي.

٢- يصف مستعيناً بالرسم التوضيحي تركيب كل من : أنبوبة أشعة الكاثود، الأُسيلسكوب، الرادار، مكبر الصوت الديناميكي، الإيكونوسكوب، شبكة الإرسال وشبكة الاستقبال الإذاعي، شبكة الإرسال وشبكة الاستقبال التلفازي.

٣- يشرح مراحل عمليتي الإرسال والاستقبال الإذاعي والتلفازي.

٤- يقارن بين عمليتي الإرسال والاستقبال في التلفاز العادي والتلفاز الملون.

٥- يذكر استخدامات كل من : الاسيلسكوب، الرادار، والملفات الحارفة في أنبوبة أشعة الكاثود.

٦- يشرح عمل مكبر الصوت الديناميكي في جهاز الاستقبال الإذاعي

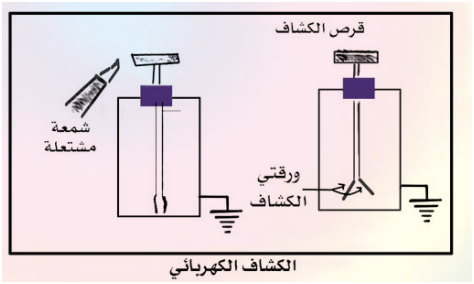
٧- يقدر جهود العلماء في مجال الصناعات الإلكترونية.

٨- يبين أثر الأجهزة الإلكترونية على تطور وتقدم البشرية، وفي تسهيل الحياة المعاصرة.

في هذه الوحدة سنستعرض بعضاً من الأجهزة الإلكترونية المستخدمة في الحياة مثل الرادار والراديو والتلفاز العادي والملون، والتي تُعد بعضاً من التطبيقات لما درسته في الوحدة السابقة مثل الوصلة الثنائية والترانزستور ودوائر التكبير الخاصة به، ولكن قبل التطرق إلى دراسة هذه الأجهزة الإلكترونية، يتحتم علينا إعطاء نبذة علمية عن التوصيل الكهربائي خلال الغازات (أي التفريغ الكهربائي في الغازات) .

لقد تعرفت من خلال دراستك للوحدة السابقة، أن هناك مواداً جيدة التوصيل للكهرباء ومواداً رديئة التوصيل للكهرباء وأن هناك مواداً لا تعد جيدة التوصيل وفي الوقت نفسه لا تُعد مواد رديئة التوصيل وهي أشباه الموصلات . بمعنى آخر، إن المواد صنفت من حيث توصيلها للتيار الكهربائي إلى ثلاثة أصناف . فإلى أي صنف من هذه التصنيفات تنتمي الغازات من حيث التوصيل الكهربائي ؟ للتعرف على ذلك نفذ النشاط الآتي :

نشاط (١)



شكل (١)

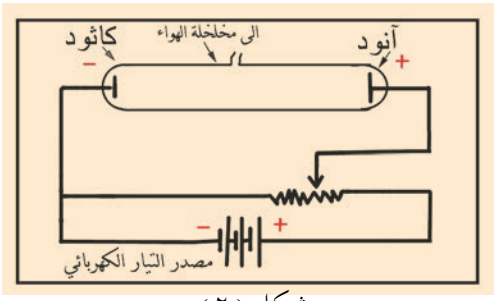
- احضر كشافاً كهربائياً واشحن قرصه بشحنات كهربائية (موجبة أو سالبة) متبعاً في ذلك ما تعلمته في الصفوف الدراسية السابقة .
- لاحظ ورقتي الكشاف – ماذا يحدث لهما؟ لماذا انفرجتا؟
- قرب من قرص الكشاف الكهربائي، شمعة مشتعلة، ولاحظ الورقتين . . ماذا يحدث لهما؟ علامَ يدل زوال انفراج الورقتين؟ شكل (١) .
- ماذا تستنتج من هذا النشاط؟

في الظروف الاعتيادية تكون ذرات أو جزيئات الغازات (الهواء المحيط بقرص الكشاف) متعادلة كهربائياً (أي متعادلة الشحنة) . لذلك تُعد الغازات مواداً عازلة كهربائياً في الظروف الاعتيادية، ولكن بسبب التسخين (وخاصة التسخين الشديد)، فإن قسماً من ذرات أو جزيئات الغازات، تتأين أي تتحلل إلى الكترونات وآيونات موجبة . . وأحياناً تتكون في الغازات المتأينة آيونات سالبة بسبب اكتساب الذرات المتعادلة للإلكترونات .

إن تأين الغازات وبالتالي قدرتها على التوصيل الكهربائي يُفسر بزيادة درجة الحرارة، فذرات أو جزيئات الغاز الساخنة تتحرك أسرع عند ارتفاع درجة حرارتها، وعند ذلك فإن عدداً من الجزيئات أو الذرات تبدأ بالحركة السريعة بشكل يجعل قسماً منها يتحلل إلى الكترونات وأيونات عند تصادمها مع الذرات أو الجزيئات الأخرى ويصبح الغاز بذلك موصلاً للكهرباء لوجود حاملات الشحنة(الإلكترونات والأيونات) .

التوصيل الكهربائي في الغازات Electric Conduction in Gases

عند دراسة التوصيل الكهربائي في الغازات تحت ضغوط منخفضة ومختلفة، نحتاج إلى أنبوبة زجاجية ذات قطبين معدنيين عند طرفيها يسمى أحدهما الآنود (المصعد) Anode وهو القطب الموجب والآخر يسمى الكاثود (المهبط) Cathode وهو القطب السالب، فعند تطبيق فرق جهد عالٍ حوالي (٥×١٠^{٤} فولت) بين طرفي الأنبوبة (بين قطبي الأنبوبة) وعندما يكون ضغط الغاز الذي فيها منخفضاً، فإن الغاز يصبح موصلاً للتيار الكهربائي، ويأخذ شكل ضياء متوهج يملأ الأنبوبة وقد يختفي، وذلك يعتمد على ضغط الغاز داخل الأنبوبة . أنظر الشكل (٢) .



شكل (٢)

في عام (١٨٠٨م) اكتشف العالم الألماني بلوكر بأنه عند ضغط منخفض مقداره (١٫٣ ×١٠$^{-٤}$ ضغط جوي) أي (١٫٣ ×١٠$^{-٤}$ بار) أي حوالي (٠٫١ ملم زئبق) تحدث ظاهرة جديدة في الأنبوبة وهي أن المهبط (الكاثود) يبعث بأشعة غير مرئية تسرى خلال الأنبوبة ، وبالرغم من أن هذه الأشعة غير مرئية إلاَّ أنه يستدل على وجودها بظهور وميض يميل إلى الزرقة عند اصطدام هذه الأشعة بجدار الأنبوبة أو بالآنود الموجب، سميت هذه الأشعة في البداية بالأشعة المهبطية استناداً إلى مصدرها، وقد سميت فيما بعد بالإلكترونات .

ماذا سيحدث داخل الأنبوبة إذا استمرت زيادة فرق الجهد بين قطبي الأنبوبة أكثر مما وصلت إليه؟ الذي سيحدث أن الطاقة الحركية للإلكترونات تزداد إلى حد معين على حساب شغل قوة المجال الكهربائي الناتج عن فرق الجهد بين القطبين، فإذا

اصطدمت هذه الإلكترونات بذرات الغاز الموجود في الأنبوبة، فإنه قد يحدث الآتي :

- إما أن تثار ذرات الغاز، وفي هذه الحالة تنتقل بعض الإلكترونات في الذرة إلى مستويات طاقة أعلى، وعند عودة الإلكترونات إلى مستوياتها الأصلية تشع طاقة على هيئة ضوء.
- أو أن ذرات الغاز تتأين، نتيجة ازدياد الطاقة الحركية للإلكترون عن مقدار معين، فعند حدوث التصادم بين الإلكترون وذرة الغاز المتعادلة يؤدي إلى تأينها، ونتيجة لذلك ينبعث إلكترونان بدلاً من الكترون واحد (الإلكترون الذي يصطدم بالذرة والإلكترون الذي يخرج أو ينطلق من الذرة نتيجة تأينها)، وهذان الإلكترونان سيحصلان على طاقة حركية بسبب المجال الكهربائي بين قطبي الأنبوبة، ولهذا فهما يستطيعان تأيين ذرات أخرى في طريق حركتهما.

ونتيجة لذلك، فإن عدد الجسيمات المشحونة (إلكترونات وأيونات موجبة) سيزداد بسرعة كبيرة، وبهذه الطريقة يحدث تأين الغاز. غير أنه لا يمكن تأمين استمرار التأين عن طريق تصادم الإلكترونات لوحدها، ففي الواقع تتحرك كل الإلكترونات الناشئة بهذا الشكل في اتجاه الآنود وتختفي، ولكي يستمر التأين يجب أن يستمر انبعاث إلكترونات من الكاثود، وظهور هذه الإلكترونات يفسره سببان :

الأول : الانبعاث الإلكتروني الثانوي : فأثناء حركة الأيونات الموجبة المتكونة نتيجة تصادم الإلكترونات مع الذرات المتعادلة باتجاه الكاثود، تكتسب تحت تأثير شدة المجال الكهربائي، طاقة حركية كبيرة، تمكنها من انتزاع إلكترونات من سطح الكاثود المعدني عند تصادمها معه، وتسمى هذه العملية بعملية الانبعاث الإلكتروني الثانوي.

الثاني : الانبعاث الإلكتروني الحراري، من المعروف أن الكاثود يمكنه أن يبعث إلكترونات عند تسخينه إلى درجة حرارة عالية، وتدعى هذه الإلكترونات إلكترونات حرارية، فعند حدوث التأين الذاتي للغاز في الأنبوبة يتم تسخين الكاثود بسبب اصطدام الأيونات الموجبة الناتجة عن التأين به، فإذا كانت طاقة الأيون الموجب صغيرة، فلا يحدث انبعاث إلكترونات من الكاثود (أي لا يحدث الانبعاث الإلكتروني الثانوي)، وإنما تحدث فقط عملية تسخين الكاثود فإذا زاد عدد هذه الأيونات الموجبة التي تصطدم بالكاثود فإنه سيسخن وبالتالي ستنبعث منه إلكترونات حرارية، ويستمر التفريغ أي مرور التيار الكهربائي في الغازات وهذا ما يسمى بالتفريغ الكهربائي في الغازات .

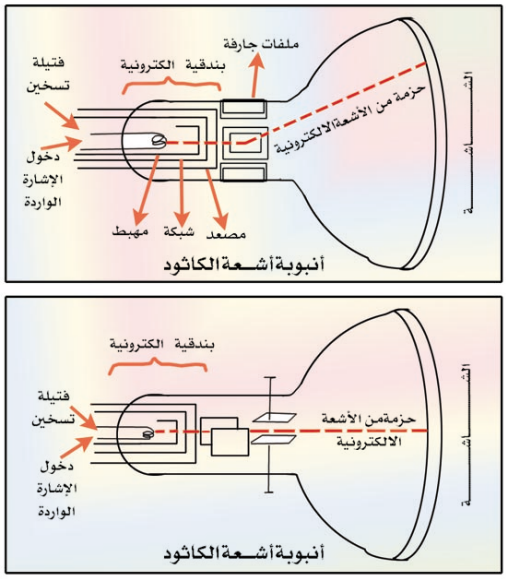
وتحدث أثناء عملية التأين للغازات عملية إعادة الاتحاد بين الإلكترونات والأيونات

الموجبة لتكوين ذرات متعادلة مرة أخرى ونتيجة لهذا تشع ذرات الغاز الطاقة التي اكتسبتها عند تأينها على شكل فوتونات (ضوء) وهذا هو سبب توهج أنبوبة التفريغ.

أنبوبة أشعة الكاثود Cathode Rays Tube

الشكل (٣) يبين أنبوبة أشعة الكاثود والأجزاء التي تتكون منها . . مم تتركب أنبوبة أشعة الكاثود كما تشاهدها في هذا الشكل؟

- من أي جزء من الأنبوبة تنطلق الإلكترونات؟
- ما فائدة الملفات أو الألواح الحارفة؟



شكل (٣)

تتركب أنبوبة أشعة الكاثود من أنبوبة زجاجية مفرغة تماماً من الهواء، ويحتوي الطرف الضيق لها على بندقية إلكترونات (Electrons Gun) ، انظر إلى الشكل (٣) ويُغطى طرفها المتسع بمادة فلوريسية مثل كبريتيد الخارصين (ZnS)، وهذا الطرف هو شاشة أنبوبة أشعة الكاثود، وتقوم بندقية الإلكترونات بإرسال أشعة إلكترونية تسقط على الشاشة محدثةً نقطة مضيئة عليها .

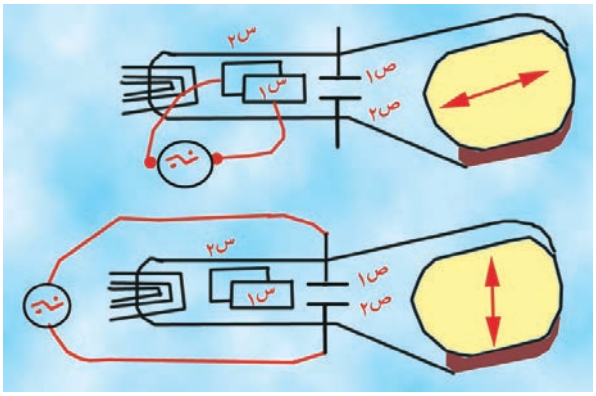
وتحتوي أنبوبة أشعة الكاثود على مجموعة حارفة قرب منتصفها . . تتكون هذه المجموعة الحارفة إما من زوجين من الملفات التي تولد مجالين مغناطيسيين متعامدين أو من زوجين من الألواح المعدنية التي تولد مجالين كهربائيين متعامدين.

عندما تطلق البندقية الإلكترونية الأشعة الإلكترونية (أشعة الكاثود) إلى الشاشة، ينتقل جزء من طاقة حركة الإلكترونات إلى المادة الفلوريسية التي على الشاشة، فتشع ضوءاً ذا لون معين يتوقف على نوع المادة الفلوريسية وعلى طاقة حركة الإلكترونات، فتظهر بذلك نقطة مضيئة لها لون معين، هذه النقطة تحدد موضع سقوط الأشعة الإلكترونية على الشاشة.

تعمل المجموعة الحارفة عن طريق المجالات التي تولدها على انحراف الأشعة الإلكترونية مما يسبب حركة النقطة المضيئة على الشاشة في اتجاه معين حسب الغرض من استخدام أنبوبة أشعة الكاثود، ويتوقف على اتجاه المجالات المؤثرة عليها، وتبعاً لذلك تتحرك النقطة المضيئة. وتبطن جوانب المخروط من الداخل طبقة من مستحلب الكربون تعمل على إعادة الإلكترونات الساقطة على الشاشة إلى الكاثود وبذلك تمنع تراكم الإلكترونات على الشاشة.

كاشف الذبذبات (الأسيلوسكوب) Oscilloscope

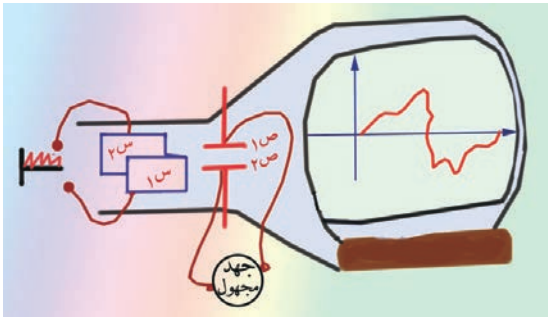
يتركب كاشف الذبذبات من أنبوبة أشعة الكاثود، المجموعة الحارفة فيها عبارة عن زوجين من الألواح المعدنية (س١، س٢) و (ص١، ص٢) يولدان مجالين كهربائيين متعامدين على بعضهما البعض وعلى مسار الشعاع الإلكتروني، انظر الشكل (٤).



شكل (٤)

فإذا وصل اللوحان الرأسيان (س١، س٢) بمصدر للتيار المتردد يتولد بينهما مجال كهربائي يتغير بانتظام في اتجاه أفقي، ويتغير المجال الكهربائي يميناً ويساراً، مما يجعل النقطة المضيئة على الشاشة تتحرك يميناً ويساراً في خط مستقيم أفقي، فإذا كان تردد التيار أكثر من (١٦ ذ/ث) (هرتز)، فإن عين المشاهد ترى خطاً مستقيماً أفقياً مضيئاً بسبب ظاهرة مداومة الرؤية للعين. أما إذا وصل اللوحان الأفقيان (ص١، ص٢) بمصدر للتيار المتردد فإنهما يولدان مجالاً كهربائياً في اتجاه رأسي، ويتغير اتجاه المجال الكهربائي هذا إلى أعلى وإلى أسفل، مما يجعل النقطة المضيئة على الشاشة تتحرك إلى أعلى وإلى أسفل في خط مستقيم رأسي.

كيف يقوم كاشف الذبذبات بعمله؟



شكل (٥)

عند تشغيل جهاز كاشف الذبذبات، يوصل اللوحان (س$_{١}$ ،س$_{٢}$) بمصدر تيار متردد يتغير جهده بصورة مشابهة لأسنان المنشار (انظر الشكل ٥)، وهو عبارة عن دائرة صمام إلكتروني خاص تسمى دائرة المسح. وتولد هذه الدائرة جهداً متردداً بحيث يزداد تدريجياً حتى يصل إلى نهاية عظمي ثم ينعدم فجأة ويتكرر ذلك بتردد معين، ونتيجة لمثل هذا الجهد المتردد تتحرك النقطة المضيئة من اليسار إلى اليمين على الشاشة في خط مستقيم أفقي ثم تختفي لتظهر مرة أخرى على يسار الشاشة لتكرر الحركة السابقة.

وعند توصيل الجهد المتردد المراد دراسته باللوحين (ص$_{١}$ ،ص$_{٢}$)، فإن النقطة المضيئة ترسم المنحنيات البيانية للجهد المتردد المراد دراسته. وتظهر هذه المنحنيات متحركة من اليسار إلى اليمين، وبتغيير تردد دائرة المسح فإننا نرى المنحنيات ساكنة على الشاشة عندما تساوي أو تضاعف تردد الجهد المراد دراسته مع تردد جهد أسنان المنشار، وتسكن المنحنيات لأن كل المنحنيات المعبرة عن الجهد المراد دراسته سوف تنطبق على بعضها البعض، لاحظ الشكل (٥). وبمعرفة تردد دائرة المسح يمكن لنا معرفة تردد الجهد المجهول المراد دراسته. كما أن شكل المنحنيات الناتجة تعطينا تصوراً لطبيعة الاهتزازات الكهربائية المسببة للجهد المجهول المراد دراسته، سواء كانت هذه الاهتزازات بسيطة أو مركبة.

وبما أن الجسيمات المهتزة هي الإلكترونات، وأن كتل الإلكترونات صغيرة جداً، فإن قصورها الذاتي صغير، لذلك تستطيع الإلكترونات أن تهتز بترددات عالية تقارب ترددات موجات اللاسلكي، كما أنها تستطيع أن تهتز بترددات منخفضة قد تصل إلى جزء من الهرتز .

الرادار Radar

الرادار كلمة مركبة من أوائل حروف الكلمات الآتية:

Radio Detection and Ranging فكلمتي Radio Detection تعني الكشف بالموجات الراديوية (أي بالموجات اللاسلكية) وكلمة (Ranging) تعني تحديد (أوتعيين) المدى، وبشكل عام فإن كلمة «الرادار» يقصد بها الكشف عن الأجسام، وتعيين بعدها وسرعتها واتجاهها بواسطة موجات لاسلكية قصيرة جداً.

ويستخدم الرادار في الكشف عن الأجسام الموجودة في الجو مثل الطائرات والصواريخ وفي تحديد ارتفاعها ومواضعها وسرعتها واتجاهها ليلاً ونهاراً، كما تستخدمه الطائرات والسفن للكشف عما قد يعترض طريقها ليلاً وفي حالة وجود الضباب، كما يستخدم في الكشف عن الغواصات والطربيدات في أعماق البحار والمحيطات.

إن أساس عمل الرادار يقوم على ظاهرة الاهتزاز الكهربائي (الموجات الكهرومغناطيسية) والحصول على صدى كهرومغناطسي، فهو يرسل حزمة من الموجات اللاسلكية (الموجات الكهرومغناطيسية) عالية التردد (يبلغ ترددها حوالي 10^6 هرتز).

وتحرك هذه الحزمة لتمسح المنطقة التي يحتمل تواجد الهدف فيها، حتى إذا قابلت هدفاً، فإنها تصطدم به وتنعكس مرتدة ليستقبلها جهاز معد لذلك، ويتصل هذا الجهاز بكاشف ذبذبات وظيفته تحديد ارتفاع الهدف واتجاهه وسرعته.

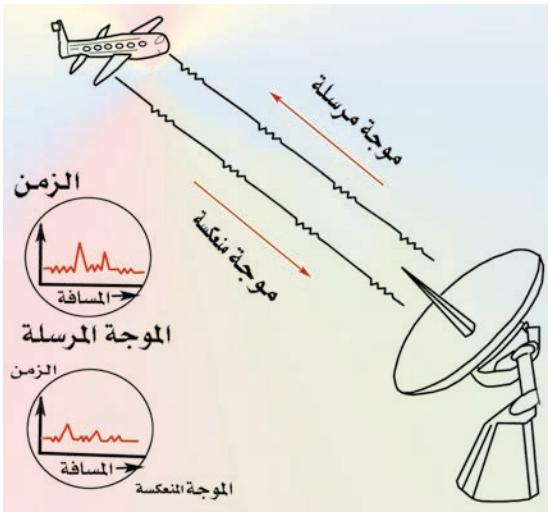
محطة الرادار (وحدة الرادار) Radar Station

تتكون محطة الرادار من الأجزاء الآتية:

مرسل ، ومستقبل ، وكاشف. أنظر الشكل (٦).

المرسل : عبارة عن جهاز كهربائي يولد تيارات متذبذبة عالية التردد متصلة بملف موضوع في بؤرة هوائي (صحن) على شكل قطع مكافئ سطحه عاكس.. يقوم بإرسال حزمة متوازية من الموجات اللاسلكية القصيرة (موجات كهرومغناطيسية). والهوائي (أو الصحن) قابل للحركة في اتجاهات مختلفة

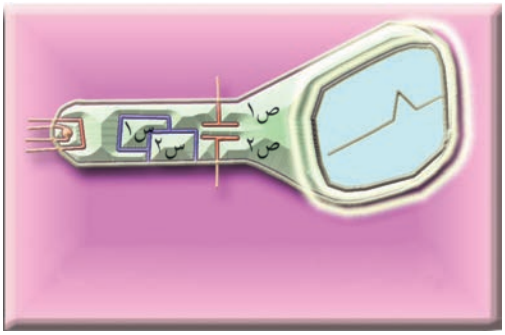
كي يمسح أوسع منطقة من الجو المحيط بالمحطة... فإذا صادفت هذه الموجات المُرسلة جسماً (مثلاً طائرة)، فإنها تصطدم به وتنعكس مرتدة إلى المحطة ليستقبلها المستقبل.



شكل (٦) محطة رادار

المستقبل : وهو عبارة عن هوائي (صحن) مشابه لهوائي المرسل، قابل للحركة في اتجاهات مختلفة، لاستقبال الموجات اللاسلكية المنعكسة، يقوم الهوائي (الصحن) باستقبال هذه الموجات المنعكسة (الصدى) وتجميعها وتركيزها في بؤرة الهوائي حيث يوجد موصل معدني (ملف معدني) يحول الموجات اللاسلكية إلى تيارات كهربائية تأثيرية مترددة لها نفس تردد الموجات المستقبلة أو المرتدة، ثم يتم تكبيرها، بواسطة جهاز تكبير ثم ترسل إلى الكاشف.

الكاشف : عبارة عن أنبوبة أشعة الكاثود تسمى (كينوسكوب) (Kinescope) بها مجموعة حارفة للشعاع الإلكتروني وتتكون هذه المجموعة من زوجين من الألواح المعدنية (س١، س٢)، (ص١، ص٢). ألواح أحد الزوجين وهما (س١، س٢) موضوعان رأسياً فإذا تولد بينهما مجال كهربائي فإنه يكون أفقياً ويحرف الشعاع الإلكتروني في الاتجاه الأفقي، ولوحا الزوج الآخر (ص١، ص٢) موضوعان بشكل أفقي فإذا تولد بينهما مجال كهربائي فإنه يكون رأسياً ويحرف الشعاع الإلكتروني في الاتجاه الرأسي انظر الشكل (٧).



شكل (٧): يوضح تركيب الكينوسكوب

تشغيل محطة الرادار

يمكن تلخيص خطوات تشغيل محطة الرادار في النقاط الآتية:

- يوصل اللوحان (س١ ،س٢)، في جهاز المستقبل بدائرة كهربائية تحدث بين اللوحين فرقاً في الجهد، يتغير بنظام معين، فينحرف الشعاع الإلكتروني أفقياً وتتحرك النقطة المضيئة على شاشة الكاشف – الذي يتصل بالمستقبل – أفقياً مثلاً من اليسار إلى اليمين بتردد معين .
- يرسل المرسل حزمة ضيقة من الموجات اللاسلكية القصيرة جداً (طولها الموجي قصير ، وترددها عالٍ)، فإذا قابلت الموجات المرسلة هدفاً (جسماً) فإنها تصطدم به وتنعكس مرتدة إلى المحطة ويستقبلها المستقبل، ويحدث فرق في الجهد بين اللوحين (ص١ ،ص٢)، فينحرف الشعاع الإلكتروني رأسياً وتتحرك النقطة المضيئة على شاشة الكاشف المتصل بالمستقبل رأسياً إلى أعلى محدثة قمة، انظر الشكل(٧).
- بواسطة التدريج الموجود على الشاشة يمكن تحديد الزمن الذي استغرقته الموجات المرسلة والموجات المنعكسة في قطع المسافة بين المحطة والهدف .
- وبمعرفة سرعة الموجات اللاسلكية في الهواء (الفراغ) وهي (٣×١٠^٨ م / ث) ويمكن حساب بُعد الهدف بالعلاقة الآتية:

بعد الهدف= سرعة الموجات × نصف زمن ذهاب وإياب الموجات

مثال إذا كان الزمن الكلي الذي تستغرقه موجة لاسلكية لمحطة الرادار للذهاب والإياب هو $\frac{٤}{٣٠}$ ثانية . فكم يكون بُعد الهدف عن المحطة مقدراً بالكيلومتر؟

الحل..

بعد الهدف = السرعة × نصف الزمن

بعد الهدف = $٣\times١٠^{٨} \times \frac{١}{٢} \times \frac{٤}{٣٠}$

بعد الهدف = ٢ × ١٠^٧ متر.

بعد الهدف = ٢ × ١٠^٤ كيلو متر

وللحصول على صورة واضحة، فإنه يراعى في المرسل أن تكون قدرته عالية، ويراعى في المستقبل تكبير التيارات المتولدة بالتأثير عن الموجات اللاسلكية المنعكسة وذلك قبل انتقالها إلى الكاشف .

إن أجهزة الرادار بعد تطويرها أصبحت متكاملة بحيث تعين بعد الهدف وتعطي سرعته واتجاهه مباشرة . . . كما أنها أصبحت تستخدم هوائياً واحداً يوصل بالمرسل والمستقبل على التبادل، فأمكن بذلك توفير الجهد والوقت المبذول في تحريك الهوائيين

إرسال واستقبال الموجات اللاسلكية (الموجات الراديوية)

أولاً : إرسال الموجات اللاسلكية : (الإرسال الإذاعي بالراديو) .

تحتاج عملية إرسال الموجات اللاسلكية إلى جهاز إرسال (جهاز إرسال إذاعي) .

فماذا يقصد بعملية إرسال الموجات اللاسلكية؟ ومم يتركب جهاز الإرسال الإذاعي (محطة الإذاعة)؟ وكيف تتم عملية الإرسال؟ لتتعرف على ذلك نفذ الآتي :

- قم بزيارة إلى أقرب محطة إذاعية محلية في منطقتك .
- قابل أحد المهندسين أو الفنيين في المحطة وأطلب منه أن يعرفك ما المقصود بعملية الإرسال الإذاعي، وأن يطلعك على تركيب الجهاز الذي يقوم بعملية الإرسال ويشرح لك مراحل عملية الإرسال الإذاعي مزوداً بالصور أو الرسومات التوضيحية .
- ارسم الرسومات التوضيحية في كراستك، ثم أكتب تقريراً علمياً مختصراً متضمناً المعلومات والمفاهيم العلمية التي حصلت عليها أثناء هذه الزيارة .

إن عملية إرسال الموجات اللاسلكية (الإرسال الإذاعي) هي عملية بث الأصوات (الموجات الصوتية) (Sound Waves) من محطة الإذاعة إلى الجو بعد تحويلها إلى إشارات (تيارات) كهربائية معبرة عن الموجات الصوتية (المسموعة) (Audio Waves) ومن ثم تحميلها على تيارات حمل عالية التردد (أي على موجات كهرومغناطيسية) تنتشر في الجو بسرعة الضوء وتحتاج هذه العملية إلى جهاز إرسال (أي تحتاج إلى محطة إرسال إذاعية) .

تركيب جهاز الإرسال الإذاعي:

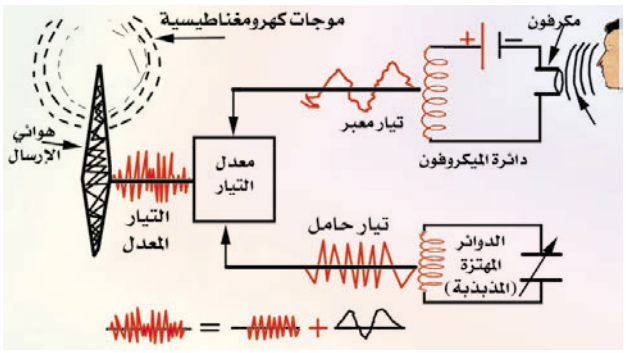
يتركب جهاز الإرسال الإذاعي في أبسط صوره من:

- **دائرة الميكروفون** Microphone Circuit : تتكون من مصدر للتيار الكهربائي المستمر وملف .
- **الدائرة المهتزة** Oscillatory Circuit : تتكون من مكثف متغير السعة وملف .
- **دائرة الهوائي** Antenna Circuit : تتكون من الهوائي وهو عبارة عن

أسلاك، ويتصل بمعدل التيار، انظر الشكل (٨).

مراحل عملية بث الموجات اللاسلكية (الموجات الراديوية) (عملية الإرسال الإذاعي) :

– يوجه صوت المتكلم (أو غيره من الأصوات) إلى الميكروفون المتصل بمصدر كهربائي لتيار مستمر، فيهتز غشاء الميكروفون وتتغير تبعاً لذلك شدة التيار المستمر المار زيادة ونقصاً وفقاً للموجات الصوتية التي تصل إلى الميكروفون ويصبح هذا التيار معبراً عن الصوت.



شكل (٨)

– تقوم الدائرة المهتزة (المذبذبة) بتوليد تيارات كهربائية عالية التردد (تسمى هذه التيارات الحاملة).

– عندما يصل كل من التيارات المعبرة عن الصوت والتيارات عالية التردد (التيارات الحاملة) إلى معدل التيار، كما يبدو في الشكل (٨)، تؤثر التيارات المعبرة عن الصوت في التيارات الحاملة عالية التردد (التذبذب)، فتغير من سعتها وينتج عن ذلك تيارات تسمى تيارات معدلة.

أي إن : تيار معبر عن الصوت + تيار حامل = تيار معدل.

– يتم بعد ذلك حث التيارات المعدلة إلى هوائي الإرسال الذي يقوم ببثها إلى الهواء الجوي في جميع الاتجاهات على شكل موجات كهرومغناطيسية.

ثانياً : استقبال الموجات اللاسلكية (الاستقبال الإذاعي) Radio Waves Reception

تحتاج عملية الاستقبال الإذاعي إلى جهاز استقبال (جهاز راديو)، فماذا يقصد بعملية الاستقبال الإذاعي؟ ومِمَّ يتركب جهاز الاستقبال الإذاعي؟ وكيف تتم عملية الاستقبال؟ لكي تتعرف على ذلك نفذ الآتي :

– قم بزيارة إلى أقرب ورشة متخصصة لصيانة الأجهزة الإلكترونية في منطقتك.

– قابل المهندس المتخصص، وأطلب منه أن يوضح لك الأجزاء الرئيسة التي يتركب منها جهاز الاستقبال الإذاعي (جهاز الراديو)، وأطلب منه أيضاً أن يوضح ذلك برسم تخطيطي مبسط.

- اطلب منه كذلك أن يشرح لك – باختصار– عملية الاستقبال الإذاعي (أي استقبال الأصوات الصادرة من محطة الإذاعة) بواسطة جهاز الراديو، وكذلك المراحل التي تمر بها هذه العملية حتى تسمع تلك الأصوات .

إن عملية الاستقبال الإذاعي : هي عملية استلام الموجات اللاسلكية (الراديوية) من قبل جهاز الاستقبال (جهاز الراديو) وتحويلها إلى تيارات كهربائية تأثيرية ومن ثم إلى موجات صوتية سمعية لها تردد وخصائص الصوت الموجه إلى الميكروفون .

تركيب جهاز الاستقبال الإذاعي (جهاز الراديو): Radio Structure

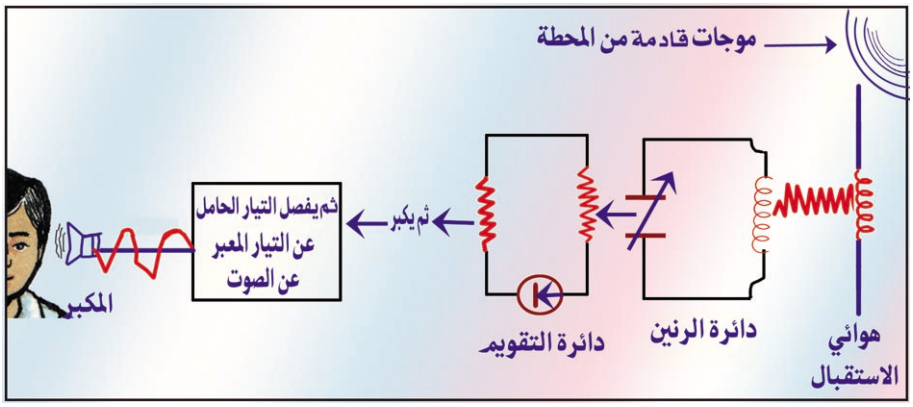
يتركب جهاز الراديو من الدوائر الرئيسية الآتية :

- **دائرة الهوائي** Antenna Circuit
- **دائرة الرنين (ضبط الموجه)** Tunning Circuit
- **دائرة السماعة** Audio Circuit

عملية استقبال الموجات اللاسلكية الراديوية (عملية الاستقبال الإذاعي) :

إن عملية الاستقبال الإذاعي (أي عملية استقبال الأصوات من محطة الإذاعة بواسطة جهاز الاستقبال الراديو) تتخلص في النقاط الآتية :

- عندما تصل الموجات اللاسلكية (الكهرومغناطيسية) التي تبثها المحطة إلى هوائي جهاز الاستقبال (Antenna)، فإن الهوائي يقوم بتحويلها إلى تيارات كهربائية تأثيرية مختلفة التردد .



شكل (٩) : عملية استقبال الموجات اللاسلكية الراديوية

- ثم تمرر هذه التيارات التأثيرية مختلفة التردد على دائرة الرنين، حيث يتم انتقاء تردد المحطة المراد سماعها، وذلك بتغير تردد دائرة الرنين حتى يتفق مع تردد موجات المحطة المطلوبة، وتسمى هذه العملية بعملية التوليف (Tunning) .
- يقوّم التيار الذي تسمح بمروره دائرة الرنين ويكبرَّ.
- يفصل التيار الحامل عن التيار المعبر عن الصوت .
- يمر التيار المعبر عن الصوت في السماعة، فيحدث صوتاً مشابه للصوت في استوديو محطة الإذاعة، أنظر إلى الشكل (٩) .

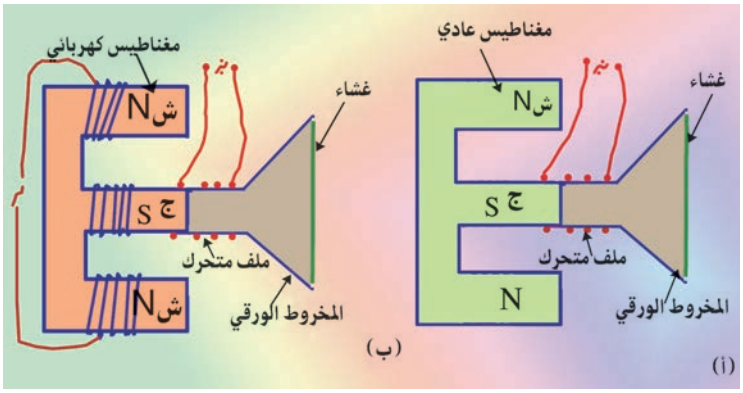
مكبر الصوت الديناميكي في الراديو

وهو السماعة المستخدمة لتكبير الصوت في الراديو .

- ممَّ يتركب؟ لكي تتعرف على تركيبه.. نفذ الآتي :
- قم بزيارة إلى أقرب ورشة فنية متخصصة في صيانة أجهزة الراديو واطلب من المختص أن يريك هذا المكبر . . . .
- تفحص شكله وتعرف على الأجزاء التي يتكون منها. ارسم واكتب تقريراً مختصراً عنه.

تركيب مكبر الصوت :

يتركب مكبر الصوت من ملف من سلك نحاسي معزول وملفوف حول إسطوانة صغيرة من الورق المقوى مثبتة عند رأس مخروط أجوف من الورق المقوى، وتثبت حافة قاعدةالمخروط في واجهة جهاز الراديو خلف جزء مثقب، بينما يقع الملف في فجوة إسطوانية بين قطبي مغناطيس عادي، أنظر الشكل (١٠– أ) أو بين



شكل (١٠) : تركيب مكبر الصوت

قطبي مغناطيس كهربائي، انظر الشكل (١٠ – ب) أقطابه دائرية الشكل (له قطب مركزي وقطب آخر حلقي يحيط بالمركزي) .

كيف تتم عملية تحويل التيار الكهربائي المعبر عن الصوت إلى موجات صوتية مسموعة ؟

عندما يمر التيار المعبر عن الصوت في ملف المكبر، فإن المجال المغناطيسي للملف يتغير وتتغير بذلك القوى المتبادلة بينه وبين المجال المغناطيسي الدائم فيهتز الملف (ويكون اتجاه الحركة « القوة » عمودياً على كل من اتجاه الفيض المغناطيسي واتجاه التيار) ويهتز المخروط الورقي تبعاً له . وبسبب كبر المخروط تهتز كمية كبيرة من جزيئات الهواء المحبوس بداخله، وتحدث موجات صوتية ذات شدة مناسبة ومشابهة للصوت المرسل من محطات الإذاعة .

ملاحظات:

- التيار المعبر عن الصوت لا يمكن أن يعطي موجات لاسلكية (موجات كهرومغناطيسية)، لأن ترددات الأصوات عادة صغيرة، لذلك يُحمل التيار المعبر عن الصوت على تيار حامل عالي التردد .
- تتوقف قدرة محطة الإذاعة على معدل الطاقة المصاحبة للموجات اللاسلكية (الراديوية) التي ترسلها، ولزيادة هذه الطاقة كي تغطي إذاعة المحطة مساحة واسعة يستخدم عدد من دوائر الترانزستور لتكبير التيار المعدل عدة مرات .
- لزيادة قدرة جهاز الاستقبال يستخدم عدد من دوائر الترانزستور حتى يمكن تكبير التيار المقوَّم إلى حد كبير.

التلفاز (التليفزيون) Television

كلمة التلفاز (التليفزيون) هي كلمةغير عربية جاءت من المقطعين Tele والذي يعني « بعد » أو « من بعد » و(Vision) وتعني الرؤية المباشرة للصور أو المناظر من بعد، ويتم ذلك عن طريق جهاز إرسال أو شبكة إرسال، واستقبال هذه الصور يتم بواسطة جهاز استقبال تلفازي . . . فماذا يقصد بعملية الإرسال التلفازي؟ وممّ تتركب

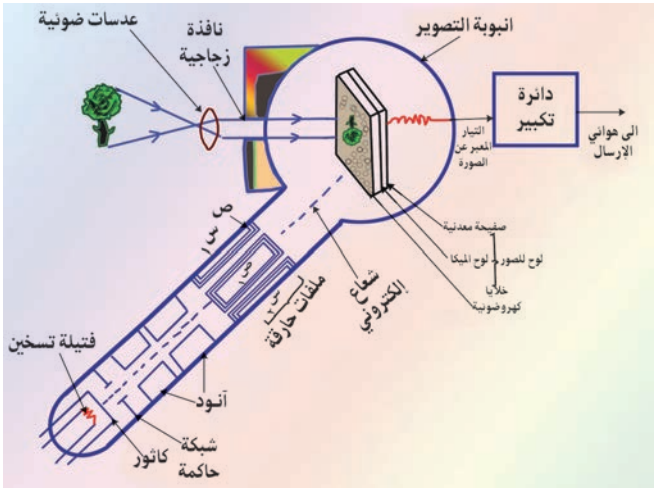
شبكة الإرسال التلفازي؟ وكيف تتم عملية الإرسال؟

تبدأ عملية الإرسال التلفازي، بأخذ صورة للمنظر أو المشهد المراد إرساله تلفزيونياً إلى مسافات بعيدة، وذلك بواسطة آلات (كاميرات) التصوير التلفازي ، ومن أنواع الكاميرات التلفزيونية الكاميرا التي تسمى الأيكونوسكوب Iconoscope، والتي تتكون من أربعة أجزاء أساسية (انظر الشكل « ١١ ») هي :

١ – أنبوبة التصوير: وهي عبارة عن أنبوبة مظلمة مخلخلة من الهواء لها نافذة زجاجية في مقدمتها مجموعة من العدسات .

٢ – لوح الصورة (أو لوح الإشارات)، ويوجد داخل أنبوبة التصوير، وتتكون من لوح رقيق جداً من الميكا Mica (الميكا مادة شبه زجاجية، يمكن أن تشطر إلى رقاقات وتستعمل عازلاً كهربائياً)، يغطي سطح لوح الميكا المقابل للعدسات عدة آلاف من الخلايا الكهروضوئية المعزولة بعضها عن بعض، وكل خلية عبارة عن حُبيبة صغيرة جداً من الفضة تغطيها طبقة من السيزيوم، إذا سقطت عليها أشعة ضوئية فإنها تبعث بإلكترونات، ويسمى اللوح بلوح الموزاييك (Mosaic) ويغطي السطح الآخر للوح الميكا Mica صفيحة معدنية رقيقة متصلة بمكبر تيار الصورة .

٣ – بندقية إلكترونية (Electrons Gun) :) عبارة عن إسطوانة ضيقة تحتوي في طرفها الخارجي على كاثود (مهبط) باعث للإلكترونات، وتحيط به شبكة حاكمة للتحكم في عدد وتركيز الإلكترونات المتجهة من الكاثود إلى لوح الصورة، ويوجد أمام الشبكة آنود (مصعد) يُحمَّل بجهد موجب (أي جهده موجب)، تزداد قيمة هذا الجهد من طرف الآنود القريب من الشبكة إلى طرفه القريب من لوح الصورة بالتدريج .



شكل (١١)

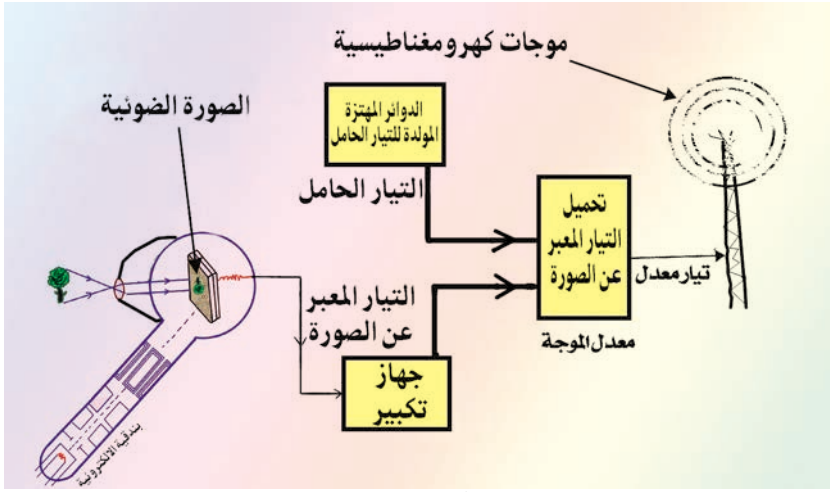
ووظيفة الأنود تركز وتسارع الإلكترونات نحو طبقة الخلايا الكهروضوئية كحزمة ضيقة جداً ومركزة تسمى الشعاع الإلكتروني Cathode Ray .

٤ – ملفات (أو ألواح) تحريك الشعاع الإلكتروني : وتسمى كذلك بالملفات الحارفة Deflection coils، وهي عبارة عن زوجين من الملفات (أو الألواح) المتعامدة (س١،س٢)، ومحورهما المشترك رأسي و (ص١،ص٢)، ومحورهما المشترك أفقي .

فإذا مرَّ في هذه الملفات تيار كهربائي يتولد عنه مجال مغناطيسي يعمل على تحريك الشعاع الإلكتروني بالكيفية المطلوبة لمسح لوح الصورة .

ويقصد بعملية الإرسال التلفازي بإنها عملية إرسال صور الأشياء المراد مشاهدتها بعد تحويل هذه الصور (من طاقة ضوئية) إلى طاقة كهربائية وتحميلها على موجات كهرومغناطيسية عالية التردد تنتشر في الهواء الجوي في جميع الاتجاهات، فكيف تتم عملية الإرسال؟

عملية إرسال الصور تلفازيا



شكل (١٢)

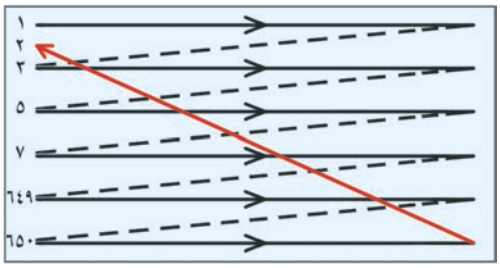
عند تصوير الشيء أو المنظر المراد إرسال صورته تلفازياً، يضاء هذا الشيء أو المنظر أو المشهد إضاءة شديدة فتقوم العدسات الموجودة في كاميرا التصوير بتكوين صورة ضوئية له على لوح الخلايا الكهروضوئية التي بدورها تثار ضوئياً وتبعث بعدد من الإلكترونات، وتختلف عدد الإلكترونات المنبعثة باختلاف كمية الضوء الساقط عليها، وعندئذٍ تشحن الخلايا بشحنات موجبة مساوية لما فقدته من إلكترونات، فتؤثر هذه الشحنات على الصفيحة المعدنية الموجودة على الوجه

الآخر للوح الميكا فتتكون عليها شحنات سالبة مساوية لعدد الشحنات الموجبة التي على الخلايا الكهروضوئية .

تطلق البندقية الإلكترونية الشعاع الإلكتروني على لوح الخلايا الكهروضوئية عند نقطة تسمى نقطة الاستكشاف حيث يمدها الشعاع الإلكتروني بشحنات سالبة عددها مساوٍ لعدد الإلكترونات التي فقدتها الخلايا نتيجة تكون الصورة الضوئية عليها، وبذلك تتعادل هذه الخلايا كهربائياً . ونتيجة لتعادل شحنات الخلايا، تتحرر الشحنات السالبة (الإلكترونات) التي على الصفيحة المعدنية، وتنطلق على هيئة نبضات كهربائية مختلفة التردد إلى جهاز التكبير وإلى باقي أجزاء جهاز الإرسال (شبكة الإرسال) .

عملية المسح التلفازي

كيف يقوم الشعاع الإلكتروني بعملية المسح التلفازي للصورة المكونة على لوح الخلايا الكهروضوئية؟ وما الدور الذي تقوم به الملفات الحارفة في عملية المسح هذه؟



شكل (١٣)

عندما يمر تيار كهربائي في الملفات الحارفة (س١،س٢) و (ص١،ص٢) تتولد مجالات مغناطيسية يمكن تغييرها بنظام معين بحيث يتحرك الشعاع الإلكتروني، وتتحرك نقطة الاستكشاف على لوح الخلايا ماسحة الخلايا الكهروضوئية صفاً صفاً ابتداءً من اليسار إلى اليمين (انظر الشكل« ١٣ »)، اي تبدأ بالصف الأول ثم الثاني ثم الثالث وهكذا حتى تصل إلى الصف رقم ٦٥٠، وتتم عليه مسح الصورة لجميع الصفوف للمرة الواحدة في زمن قدرة $\frac{١}{٢٥}$ من الثانية، وكلما تم مسح الصورة مرة تتكون صورة ضوئية جديدة على لوح الصورة بالطريقة السابقة نفسها .

ونتيجة لعمليات المسح تنطلق الإلكترونات من الصفيحة المعدنية، مكونة التيار المعبر عن الصورة الذي يمر إلى جهاز التعديل حيث يُحمل على التيار الحامل الذي تنتجه الدائرة المهتزة، وبالتالي يتكون ما يسمى بالتيار المعدل (التيار المعبر عن الصورة + التيار الحامل = التيار المعدل) الذي بدوره يتجه إلى هوائي الإرسال Antenna حيث تتحول التيارات المعدلة إلى موجات كهرومغناطيسية تنتشر في الهواء الجوي في جميع الاتجاهات (انظر الشكل « ١٢ ») .

الاستقبال التلفازي Television Waves Reception

تحتاج عملية الاستقبال التلفازي إلى جهاز استقبال (شبكة استقبال)، فماذا يقصد بعملية الاستقبال التلفازي؟ وممَّ يتركب جهاز الاستقبال؟ وكيف تتم عملية الاستقبال التلفازي؟ لكي تتعرف على ذلك نفذ الآتي :

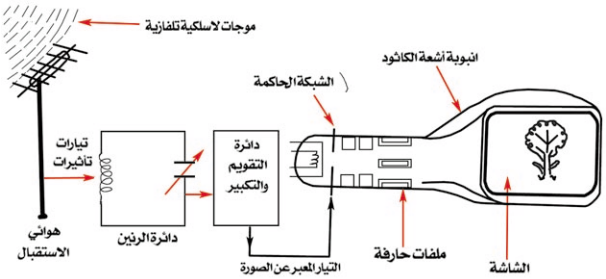
- قم بزيارة إلى أقرب ورشة إلكترونية متخصصة في صيانة الأجهزة الإلكترونية وبالذات أجهزة التلفاز .
- قابل المهندس أو الفني المتخصص، واطلب منه ما يأتي :
- أن يشرح لك – باختصار – كيفية استقبال الإرسال التلفازي بواسطة جهاز الاستقبال – مستعيناً في ذلك – برسم تخطيطي مبسط لمراحل الاستقبال التلفازي .
- أن يُريك كلاً من دائرة الرنين (دائرة التوليف) Tunning ودائرة التكبير والشاشة (أنبوبة أشعة الكاثود) وزوجي الملفات الحارفة المحيطة بأنبوبة الكاثود من الخارج .

تحذير : لا تفتح أي جهاز تلفاز : لأن في ذلك خطورة عليك – حيث تخزن أجهزة التلفاز شحنات كثيرة وفولتات عالية أثناء تشغيله وبعد غلقه]

يقصد بعملية الاستقبال التلفازي، بأنها عملية استلام الموجات الكهرومغناطيسية المرسلة من محطة الإرسال، وتحويلها إلى طاقة كهربائية ومن ثم تحويل هذه الطاقة الكهربائية إلى طاقة ضوئية (صورة ضوئية)، وذلك بواسطة شبكة الاستقبال التلفازي (جهاز الاستقبال) .

جهاز الاستقبال التلفازي (شبكة الاستقبال التلفازي) TV Receiver Set

يتركب جهاز الاستقبال التلفازي، كما هو موضح في الشكل (١٤) في أبسط صوره له من الأجزاء الأساسية الآتية :



شكل (١٤)

- دائرة هوائي الاستقبال .
- دائرة الرنين .
- دائرة التقويم والتكبير .
- أنبوبة أشعة الكاثود قاعدتها المخروطية تسمى الشاشة وتغطى الشاشة من الداخل

بمادة فلوريسية تومض (تضئ) عند سقوط الشعاع الإلكتروني عليها، وتحتوي أنبوبة أشعة الكاثود على فتيل، وشبكة حاكمة، وآنود وكاثود (قاذف إلكترونات) ويحيط بعنق أنبوبة أشعة الكاثود من الخارج زوجان من الملفات الحارفة أنظر الشكل (١٤) .

كيف تتم عملية الاستقبال التلفازي؟

عندما تسقط الموجات اللاسلكية التلفازية (الموجات الكهرومغناطيسية) الصادرة من محطات الإرسال المختلفة على هوائي الاستقبال تتولد فيه تيارات كهربائية تأثيرية مختلفة التردد، انظر الشكل (١٤)، ثم يتم توليف دائرة الرنين (ضبط الموجة) حتى يتفق ترددها مع تردد موجات المحطة التلفازية المراد مشاهدة برامجها، فيمر التيار الذي تولده موجات هذه المحطة دون غيرها من المحطات وتكون له صفات التيار الكهربائي في محطة الإرسال عدا شدته .

ثم يمر هذا التيار في دائرة التقويم والتكبير ثم يرسل إلى شبكة أنبوبة أشعة الكاثود فيتغير جهد الشبكة تبعاً لتغير شدة التيار ويتغير عدد الإلكترونات التي تصل إلى الآنود من الكاثود (قاذف الإلكترونات)، وتتغير شدة الشعاع الإلكتروني، وتتغير تبعاً لذلك شدة إضاءة الشاشة .

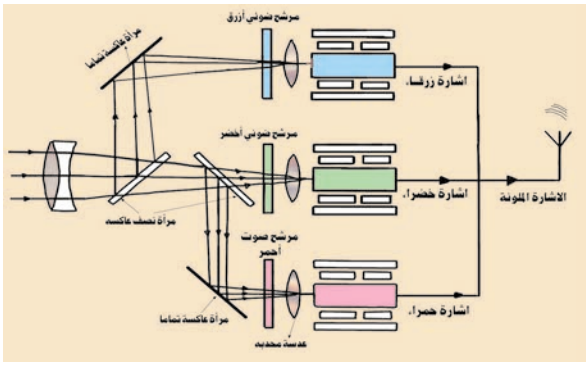
وتقوم الملفات الحارفة بتحريك الشعاع الإلكتروني بالكيفية نفسها التي يتحرك بها على لوح الخلايا الكهروضوئية في جهاز الإرسال، فيمسح الشاشة كاملة في زمن قدره $\frac{١}{٢٥}$ من الثانية، في كل مرة متحركاً من اليسار إلى اليمين ماراً على ٦٥٠ صفاً وتكون إضاءة كل نقطة على الشاشة متناسبة مع شدة استضاءتها في الصورة المتكونة على لوح الخلايا في جهاز الإرسال وبذلك تظهر على الشاشة (شاشة جهاز الاستقبال التلفاز) صورة مطابقة للصورة الأصلية في جهاز الارسال تماماً أنظر الشكل (١٤) .

والذي يجعل الصورة على شاشة جهاز الاستقبال تبدو غير متقطعة وحركة أجزائها طبيعية هو أنها تظهر على الشاشة بمعدل ٢٥ مرة في الثانية (بسبب ظاهرة مداومة الرؤية) . وللتخلص من الاهتزازات التي قد تعتري الصورة على الشاشة،جُعل الشعاع الإلكتروني في جهاز الإرسال يمسح الصفوف الفردية (١ ، ٣ ، ٥ ، ٧) أولاً ثم الصفوف الزوجية (٢ ، ٤ ، ٦ ، ٨ ، ..) في كل مرة يتم فيها مسح خلايا لوح الصورة في الكاميرا ، ويتم ارسال الصوت بموجة مصاحبة لموجات الصورة ، ويتم استقبالها بواسطة دوائر خاصة موجودة داخل جهاز الاستقبال التلفازي .

التلفاز الملون Coloured Television

في التلفاز الملون يتم إرسال الصور واستقبالها بالألوان الثلاثة الأساسية (أو الأولية) وهي الأحمر Red، والأخضر Green، والأزرق Blue ، كما يتم التصوير خلال مرشحات لهذه الألوان . انظر الشكل « ١٥ » .

إن الضوء المنعكس من الجسم أو المنظر المراد تصويره بواسطة كاميرا التلفاز الملون يحلل أو يقسم بواسطة مرشحات إلى ثلاثة ألوان أولية هي الأحمر، والأخضر والأزرق وتستخدم لذلك أنواع خاصة من المرايا والمرشحات (يقصد بالمرشح بأنه عبارة عن غشاء رقيق ملون لا يسمح بنفاذ الضوء من خلاله إلاَّ للضوء الذي يماثله في اللون)، ثم يرسل كل لون إلى أنبوبة مستقلة موجودة في كاميرا التصوير، ويتحول فيها كل مشهد مصور إلى ألوانه الأساسية (الأحمر، الأخضر، الأزرق)، حيث يشكل كل لون من هذه الألوان إشارة تلفازية مستقلة .



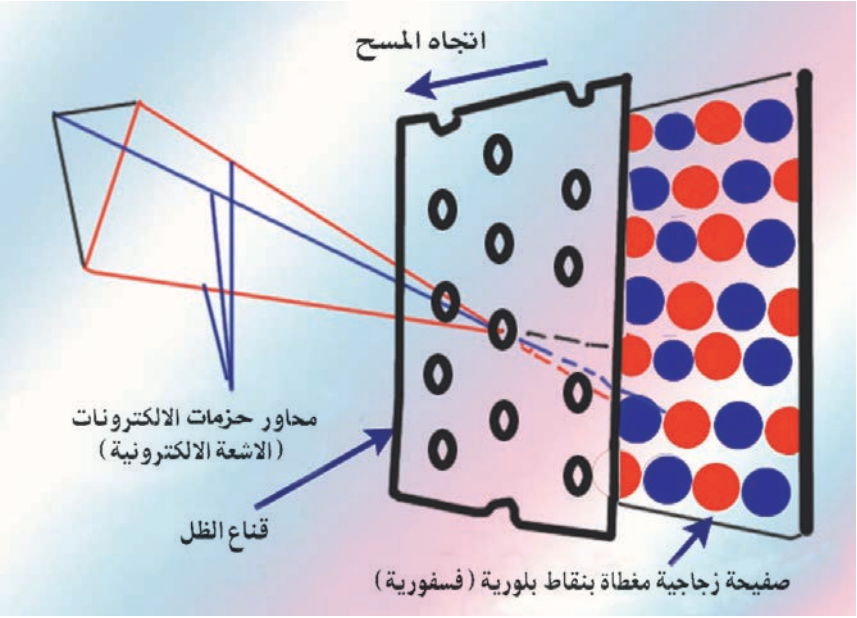
شكل (١٥)

بعد ذلك، ترسل هذه الإشارات (الموجات) إلى ثلاث بندقيات للإلكترونات (قاذفات الإلكترونات) أو مدافع إلكترونية موجودة في أنبوبة أشعة الكاثود التي في جهاز الاستقبال التلفازي، يعطي كل منها حزمة من الإلكترونات (شعاع إلكتروني)، تتجمع على لوحة فيها عدد كبير من الثقوب تسمى « قناع الظل » ويليها ستارة (لوحة) عليها عدد كبير أيضاً من النقاط الفلوريسية (الفوسفورية) يساوي عدد الثقوب على اللوحة متجمعة في ثلاث مجموعات مرتبة في ترتيب معين : انظر الشكل (١٦) .

فعندما تقوم الإلكترونات بتحفيز هذه النقاط، ترسل كل منها ضوءاً ملوناً بأحد الألوان الثلاثة المذكورة تختلف شدته باختلاف حزمة الإلكترونات (شدة الشعاع الإلكتروني) المسببة له .

وعندما تقوم حُزم الإلكترونات بمسح قناع الظل كله، فإنها تتفرق عبر كل ثقب

فتصطدم الحزمة الإلكترونية الحاملة لإشارة اللون الأحمر بالنقاط الفلوريسية (الفوسفورية) المصدرة للون الأحمر، وذلك ضمن عملية تركيز بؤري دقيق تتكرر بالنسبة لبقية الألوان (الأضواء الملونة)، ومع تغير شدة الشعاع الإلكتروني لكل حزمة، يتغير اللون التابع لها، الأمر الذي يولد من جديد جميع الألوان الأساسية للمشهد أو المنظر المصور والمرسل تلفازياً.



شكل (١٦)

تقويم الوحدة

س١) أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

- اكتشف العالم بلوكر بأنه عند ضغط منخفض مقداره حوالي ١,٣ X ١٠$^{-٤}$ ضغط جوي يبعث الكاثود الذي في أنبوبة التفريغ بأشعة غير مرئية تسرى خلال الأنبوبة وتسمى ..... أو .....
- عملية الانبعاث الإلكتروني الثانوي، هي عملية انبعاث ..... من سطح الكاثود عندما تصطدم به ..... الموجبة به ذات الطاقة الحركية العالية .
- من المعروف أن الكاثود يمكنه أن يبعث إلكترونات عند تسخينه إلى درجة عالية وتسمى هذه الإلكترونات بالإلكترونات .....
- يُغطى الطرف المتسع لأنبوبة أشعة الكاثود بمادة ..... مثل .....
- يتوقف لون الضوء الذي يشع على الشاشة على نوع المادة ..... وعلى ..... الإلكترونات .
- يتركب الاسيلوسكوب من .....
- إن أساس عمل الرادار يقوم على ظاهرة ..... الكهربائي والحصول على ..... كهرومغناطيسي .
- وظيفة كاشف الذبذبات في الرادار هي تحديد ..... و ..... وسرعة الهدف .
- إن عملية الإرسال الإذاعي، هي عملية بث ..... من محطة الإذاعة إلى الجو بعد تحويلها إلى ..... كهربائية .
- يتركب جهاز (أو شبكة) الإرسال الإذاعي من ..... و .... و .....
- تقوم الدائرة المهتزة بتوليد تيارات كهربائية عالية التردد تسمى بالتيارات .....
- يتم في هوائي الإرسال الإذاعي تحويل التيارات المعدلة إلى .....
- يتركب جهاز الاستقبال الإذاعي (الراديو) من. .... و ..... و .....

- عملية التوفيق بين تردد دائرة الرنين وتردد موجات المحطة المراد سماعها تسمى عملية.....
- تتوقف قدرة محطة الإذاعة على ..... المصاحبة للموجات اللاسلكية المرسلة.
- في كاميرا التلفاز، تطلق البندقية الإلكترونية الشعاع الإلكتروني على لوح الخلايا..... عند نقطة تسمى نقطة.....
- عند اختلاط التيار المعبر عن الصوت (أو الصورة) بالتيار الحامل ينتج تيار يسمى التيار.....
- إن الضوء المنعكس من الجسم ، أو المشهد المراد تصويره إلى كاميرا التلفاز الملون يتوزع إلى ثلاثة ألوان أساسية هي : ..... و .... و ..... وتستخدم لذلك أنواع خاصة من المرآيا و .... .
- إن الضوء في التلفاز الملون ينقسم إلى ثلاثة ألوان أساسية هي.....و.....و..... ويستخدم في ذلك أنواع خاصة من المرايا و.....
- في أنبوبة أشعة الكاثود الموجودة في جهاز الاستقبال التلفازي الملون تتجمع الأشعة الإلكترونية على لوحة فيها عدد كبير من الثقوب تسمى..... .

س٢) ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة ، وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ مما يأتي :

١- الأشعة المهبطية هي عبارة عن جسيمات ذات شحنة سالبة . ( )

٢- عند اصطدام الإلكترونات بكاثود أنبوبة التفريغ تنطلق منه أيونات موجبة . ( )

٣- يغطى الجدار الداخلي لشاشة أنبوبة أشعة الكاثود بمادة فلوريسية مثل كبريتيد الخارصين . ( )

٤- إذا وصل اللوحان الأفقيان في كاشف الذبذبات بمصدر للتيار المتردد فإنهما يولدان مجالاً كهربائياً في الاتجاه الرأسي مما يجعل النقطة المضيئة تتحرك رأسياً . ( )

٥ – الموجات التي يرسلها الرادار هي موجات لاسلكية منخفضة التردد. ( )

٦ – الكاشف في الرادار عبارة عن أنبوبة أشعة الكاثود تسمى الكينوسكوب . ( )

٧ – من الممكن تحديد بعد الهدف عن الرادار بالعلاقة (بعد الهدف = نصف السرعة X الزمن) . ( )

٨ – تقوم الدائرة المهتزة بتوليد التيارات الحاملة . ( )

٩ – عند اختلاط التيار المعبر عن الصوت مع التيار المعدل ينتج التيار الحامل . ( )

١٠– هوائي الارسال يقوم بتحويل الموجات اللاسلكية إلى تيارات كهربائية تأثيرية. ( )

١١– كاميرا التصوير التلفازي تسمى الأسيلوسكوب . ( )

١٢– الخلية الكهروضوئية في التلفاز عبارة عن حبيبة صغيرة من الفضة مغطاة بطبقة من السيزيوم . ( )

١٣– تبدأ عملية المسح التلفازي بتحرك الشعاع الإلكتروني من اليمين إلى اليسار . ( )

١٤– زمن مسح الصورة في التلفاز يساوي $\frac{١}{٢٥}$ من الثانية . ( )

١٥– تولد الملفات الحارفة مجالاً كهربائياً ، بينما تولد الالواح الحارفة مجالاً مغناطيسياً . ( )

١٦ – الذي يجعل الصورة على الشاشة في جهاز الاستقبال التلفازي تبدو غير متقطعة هو أنها تظهر على الشاشة بمعدل ٢٥ مرة في الثانية . ( )

١٧– الألوان الأساسية في التلفاز الملون هي الأسود والأبيض والأصفر . ( )

١٨– مرشح الألوان عبارة عن غشاء رقيق ملون لايسمح بنفاذ الضوء خلاله إلا للضوء الذي يماثله في اللون . ( )

س٣) اختر الإجابة الصحيحة لكل عبارة من العبارات الآتية :

١ – عند تسخين الكاثود إلى درجة حرارة عالية فإنه يبعث من سطحه :

أ) إلكترونات . ب) بروتونات .

جـ) نيترونات . د) بيزوترونات .

٢ – يغطى الطرف المتسع لأنبوبة أشعة الكاثود بمادة فلوريسية مثل كبريتيد :

أ) الهيدروجين . ب) الخارصين .

جـ) الالومنيوم . د) الحديد .

٣ – تتكون المجموعة الحارفة في أنبوبة أشعة الكاثود من ملفات عددها :

أ) ثمانية . ب) ستة .

جـ) أربعة . د) أثنين .

٤ – عندما تصطدم الإلكترونات المنطلقة من البندقية الإلكترونية بالشاشة تشع الشاشة ضوءاً ذا لون معين يعتمد :

أ) كتلة المادة الفلوريسية وكتلة الإلكترونات .

ب) حجم المادة الفلوريسة وحجم الإلكترونات .

جـ) سمك المادة الفلوريسية وشحنة الإلكترونات .

د) نوع المادة الفلوريسية وطاقة الإلكترونات .

٥ – تعني كلمة رادار الكشف عن الأجسام وتحديد بعدها وسرعتها واتجاهها بواسطة موجات لاسلكية :

أ) طويلة . ب) طويلة جداً .

جـ) قصيرة . د) قصيرة جداً .

٦ – تسمى كاميرا التلفاز :

أ) الكينوسكوب . ب) الأسيلوسكوب .

جـ) الايكونوسكوب . د) التليسكوب .

٧ – الدائرة التي تقوم بتحويل الموجات الصوتية إلى تيارات كهربائية معبرة عن الصوت هي دائرة :

أ) هوائي الإرسال . ب) الاهتزاز .

جـ) المكرفون . د) السماعة .

٨ – الدائرة التي تقوم بتحويل التيارات المعدلة إلى موجات لاسلكية هي دائرة:

أ) الرنين .　　ب) الاهتزاز .

جـ) هوائي الاستقبال .　　د) هوائي الإرسال .

٩ – الدائرة التي تقوم بتحويل الموجات اللاسلكية إلى تيارات كهربائية هي دائرة :

أ) الرنين .　　ب) الهوائي .

جـ) السماعة .　　د) المكرفون .

١٠– الدائرة التي تقوم بالتوليف هي دائرة :

أ) الرنين .　　ب) الاهتزاز .

جـ) السماعة .　　د) المكرفون .

١١– عمل الشاشة في التلفاز هو تحويل الطاقة :

أ) الضوئية إلى صوتية .　　ب) الصوتية إلى ضوئية .

جـ) الضوئية إلى كهربائية .　　د) الكهربائية إلى ضوئية .

١٢– التيار المعبر عن الصوت لا يعطي موجات لاسلكية لأن ترددات الأصوات:

أ) صغيرة .　　ب) متوسطة .

جـ) عالية .　　د) عادية جداً .

١٣– أحد الألوان التالية يعد من الألوان غير الأساسية وهو اللون :

أ) الأحمر .　　ب) الأخضر .

جـ) الأصفر .　　د) الأزرق .

١٤– إن الضوء في التلفاز الملون ينقسم إلى ثلاثة ألوان رئيسية وتستخدم لذلك أنواع خاصة من المرايا و ... :

أ) المجسمات .　　ب) المرشحات .

جـ) المقومات .　　د) المكبرات .

١٥– عدد قاذفات الإلكترونات في أنبوبة أشعة الكاثود الخاصة بالتلفاز الملون هو :

أ) قاذفة واحدة .　　ب) قاذفتان .

جـ) ثلاث قاذفات .　　د) أربع قاذفات .

١٦- تسمى اللوحة التي تتجمع عليها حزم الإلكترونات في التلفاز الملون :

أ) قناع الظل . ب) لوح الخلايا .

جـ) لوح الموزاييك . د) الشاشة .

س٤) عرف الآتي : الأشعة المهبطية، الانبعاث الإلكتروني الثانوي والحراري، التفريغ الكهربائي في الغازات، النقطة المضيئة، الأسيلوسكوب، دائرة المسح، التيار الحامل، التيار المعدل، أنبوبة التصوير التلفازي، المرشح الضوئي.

س٥) علل الآتي :

١ – الغازات الساخنة توصل التيار الكهربائي .

٢ – يغطى الطرف المتسع لأنبوبة أشعة الكاثود بمادة فلوريسية .

٣ – وجود ملفات أو ألواح حارفة في أنبوبة أشعة الكاثود .

٤ – يوجد ضمن مكونات شاشة أنبوبة أشعة الكاثود طبقة من مستحلب الكربون المتصل بالكاثود .

٥ – عندما تحرك النقطة المضيئة على الشاشة تبدو وكأنها خطاً مستقيماً مضيئاً .

٦ – تستطيع الإلكترونات أن تهتز بترددات عالية وترددات منخفضة .

٧ – شكل كل من المرسل والمستقبل في الرادار قطع مكافئ .

٨ – يستخدم في الرادار الحديث هوائي واحد يوصل بالمرسل والمستقبل .

٩ – تحمل التيارات الكهربائية المعبرة عن الصوت والصورة على تيارات حاملة.

١٠- التيار المعبر عن الصوت لايمكن أن يعطي موجات لاسلكية .

١١- تستخدم محطات الإذاعة عدداً من دوائر الترانزستور .

١٢- يستخدم في جهاز الاستقبال عدد من دوائر الترانزستور .

١٣- تغطى الخلايا الكهروضوئية بطبقة من السيزيوم .

١٤- في البندقية الإلكترونية يحاط الكاثود بشبكة حاكمة .

١٥- تبدو الصورة على شاشة جهاز الاستقبال التلفازي طبيعية .

١٦- في جهاز الارسال التلفازي يبدأ المسح أولاً بالصفوف الفردية ، ثم الزوجية .

١٧ – تحوي أنبوبة أشعة الكاثود في التلفاز ثلاثة مدافع إلكترونية .

س٦) اذكر وظيفة كل من: الأسيلوسكوب، الملف المعدني في مستقبل الرادار، الدائرة المهتزة، دائرة الرنين ، البندقية الإلكترونية، الشبكة الحاكمة، الشاشة، الشعاع الإلكتروني، المرشحات في التلفاز الملون .

س٧) صف مستعيناً بالرسم التوضيحي تركيب كل من :

١ – أنبوبة أشعة الكاثود .

٢ – الأسيلوسكوب .

٣ – محطة الرادار .

٤ – شبكة الإرسال الإذاعي والتلفازي .

٥ – شبكة الاستقبال الإذاعي والتلفازي .

٦ – مكبر الصوت الديناميكي .

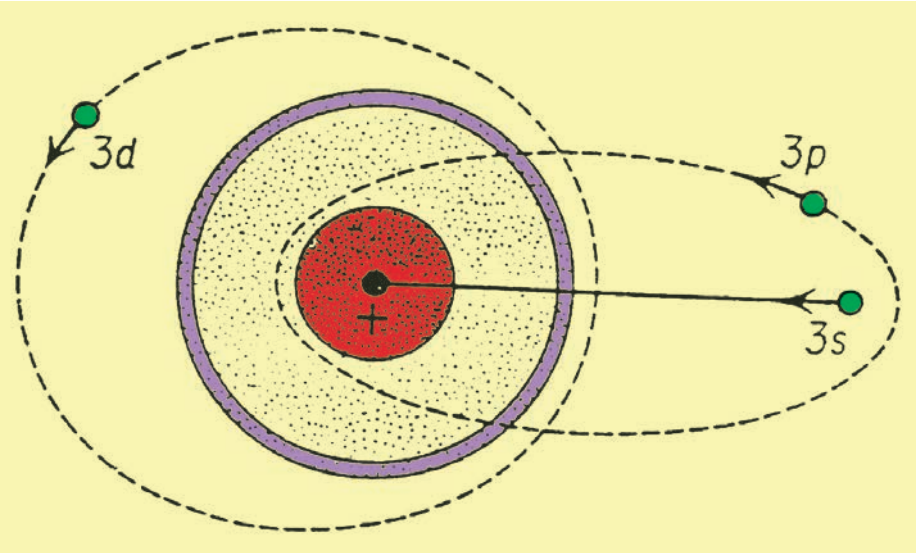
س٨) اشرح باختصار طريقة تشغيل الرادار .

س٩) صف مع الرسم المراحل التي تمر بها عملية الإرسال والاستقبال الإذاعي.

س١٠) صف مع الرسم المراحل التي تمر بها عملية الإرسال والاستقبال التلفازي .

الوحدة الخامسة

الفيزياء الذرية
Atomic Physics



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن:

١- يوضح ما المقصود بكل من: الطيف المتصل، والطيف الخطي، وخطوط الامتصاص، وسلاسل الأطياف لذره الهيدروجين، والجسم الأسود.

٢- يتعرف نماذج تومسون ورذرفورد وعيوبهما .

٣- يشرح مبدأ بلانك في تكميم طاقة الإشعاع .

٤- يشرح فرضيات بوهر ومبرراتها .

٥- يوضح نجاحات وإخفاقات نظرية بوهر .

٦- يحل التمارين المتعلقة بمواضيع هذه الوحدة .

لقد نمت وتطورت العلوم الفيزيائية التقليدية (الكلاسيكية) تطوراً كبيراً كعلم الميكانيكا والديناميكا الحرارية والكهرومغناطيسية منذُ زمن جاليلو ونيوتن حتى أواخر القرن التاسع عشر، واستطاعت بكفاءة عالية ولا تزال تفسر الظواهر الطبيعية للأنظمة العيانية(أي للأشياء التي في متناول حواسنا) .

أما معظم مجالات الفيزياء التي تطورت خلال القرن العشرين فتدعى الفيزياء الحديثة، كمجالات الفيزياء الذرية والنووية والنسبية وميكانيك الكم التي تفسر سلوك الجسيمات (الأنظمة) المجهريه كالإلكترونات والبروتونات، وغيرها من جسيمات عالم الصغائر ، وهو عالم لايرى ولايسمع وتفقد فيه الفيزياء التقليدية مفعولها عند محاولة تطبيقها على ظواهر هذا العالم . وتشكل هذه الوحدة مدخلاً لعلم الفيزياء الذرية .

نظرية دالتون الذرية (Dalton's Atomic Theory)

كانت الانطلاقة الأولى نحو فكرة الذرة من الملاحظات والتجارب الكيميائية التي نتج عنها مبدأ حفظ المادة (الذي استبدله فيما بعد اينشتين بمبدأ حفظ الطاقة) وقانون النسب المتضاعفة، واتحاد الحجوم، وعدد أفوجادرو ، وغيرها من القوانين الكيميائية . هذه القوانين أدت بالكيميائي الإنجليزي جون دالتون عام (١٨٠٣م) إلى إعلان أول نظرية ذرية تنص على أن : **المادة تتكون من ذرات غير قابلة للهدم أو الانقسام** .

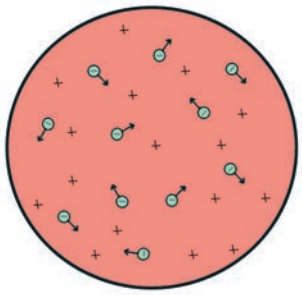
إلاَّ أن التجارب العديدة التي أجراها العلماء فيما بعد والاكتشافات الجديدة التي قادت إليها كاكتشاف الالكترونات ذات الشحنة السالبة والأيونات ذات الشحنة الموجبة وخصائصهما أظهرت بأن الإلكترون هو جزء من الذرة الأمر الذي أبطل الادعاء بأن الذرة لا يمكن تقسيمها، وبالتالي ألغي الشق الثاني من نظرية دالتون الذرية .

أول نموذج للذرة (نموذج تومسون) : The Thomson Model of the Atom

الحقائق العلمية التجريبية والمعلومات الجديدة في معرفة تركيب الذرة جعلت العالم الانجليزي جوزيف تومسون يتوصل إلى النتائج التالية (في غازالهيدروجين) .

١- الذرة متعادلة كهربائياً .
٢- الأيونات الموجبة لها تقريباً نفس كتلة الذرة .
٣- الإلكترونات السالبة أخف بكثير من الأيونات الموجبة .

هذه الملاحظات والحقائق العلمية أدت بالعالم تومسون إلى إعلان أول نموذج للذرة عام ١٩٠٤م، وينص على أن :


شكل (١)

«الذرة شبيهة بكرة مصمتة تتوزع بداخلها الشحنات الموجبة بانتظام وتتخللها الإلكترونات السالبة بحيث يكون مجموعها مساوياً للشحنة الموجبة».

وقد سمي هذا النموذج بفطيرة البرقوق، شكل(١)، ويمكن تصوره أيضاً كالبطيخة، المادة الحمراء فيها هي الشحنة الموجبة والبذور السوداء التي تتخللها هي الإلكترونات انظر الشكل (٢) .

شكل (٢)

وكان لهذا النموذج الذري آنذاك بعض المزايا ، منها أن تصور الذرة على أنها عبارة عن كرة صغيرة مصقولة مرنة كانت خاصية ضرورية لتفسير النظرية الحركية للغازات .

وقد عهد تومسون لأحد طلابه وهو (رذر فورد) أن يختبر صلاحية هذا النموذج . وقبل التعرف على عيوب (هذا النموذج) لا بد أن نتعرف أولاً على بعض المشاهدات التجريبية لبعض العناصر الكيميائية .

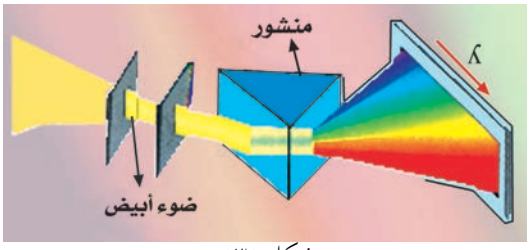
إثارة العناصر الكيميائية :

عندما يُقذف غاز العنصر في أنبوب الأشعة المهبطية بحزمة من الإلكترونات ذات طاقة معينة فإن ذراته قد تمتص جزءاً من طاقة الإلكترون أو كل طاقته نتيجة للتصادم . في هذه الحالة نقول إن ذرات العنصر قد أثيرت بطريقة الصدمة الإلكترونية .

وقد تُثار الذرة بطريقة امتصاص الإشعاع أو بطريقة التسخين . ثم ما يلبث العنصر المثار (أي ذراته المثارة) أن يعود تلقائياً إلى حالته الأولى وذلك بإطلاق الطاقة التي امتصها على شكل إشعاع ضوئي .

طيف المصادر الضوئية :

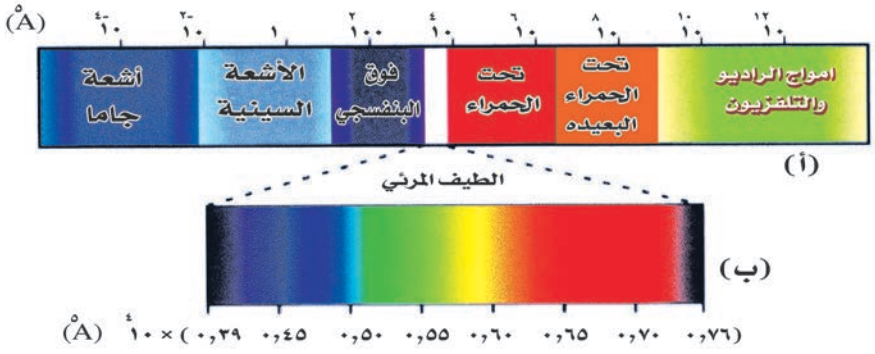
إن ضوء عدد كبير من المصادر الضوئية كالأنوار المتوهجة أو الشمس يمثل طيفاً متصلاً، أي يحوي جميع الأطوال الموجية بشكل مستمر (متصل)، ويتضح ذلك عندما نمرر حزمة ضوئية لمصدر ضوئي خلال منشورثلاثي فيحللها إلى ألوان الطيف الأساسية وهي (الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي)، كما هو مبين في الشكل (٣).



شكل (٣)

وفيما يتعلق بطيف الشمس فهو طيف متصل ويحتوى على جميع الأطوال الموجيه الضوئية المرئية وغير المرئية والجزء الأكبر منها غير مرئي ، انظر الشكل (٤ أ) . وقد لُوِّن لكي يسهل تصوره فهو يحتوي على الأشعة تحت الحمراء وفوق البنفسجية والأشعة السينية وأشعة جاما وأمواج الراديو والتلفزيون وغيرها من الأشعة ذات الأمواج الطويلة والقصيرة غير المرئية.

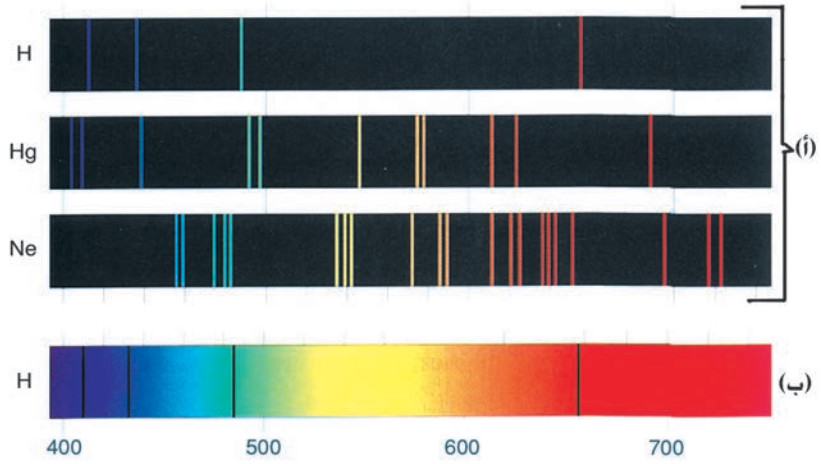
أما الجزء المرئي فهو جزء صغير جداً من الطيف الكلي للشمس ويمثله الشريط الأبيض الذي يتوسط الطيف . والشكل (٤ب) صورة مكبرة لهذا الجزء المرئي وهو عبارة عن مزيج من الألوان على شكل طيف متصل تتغير فيه الألوان تدريجياً من اللون الأحمر إلى اللون البنفسجي (ألوان قوس قزح) (شكل ٣) .



شكل (٤)

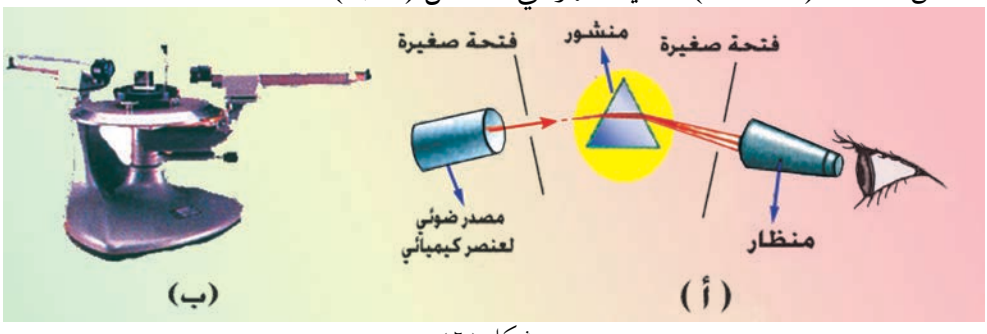
طيف العناصر الكيميائية :

هناك مصادر ضوئية أخرى أطيافها ذات مظاهر مختلفة، فالطيف الذي تشعه العناصر الكيميائية المثارة عبارة عن طيف خطي (غير متصل)، أي يحتوى على عدد محدود من الأطوال الموجية وأبسط هذه الأطياف طيف عنصر الهيدروجين. ويبين الشكل (٥ أ) أطياف الانبعاث الخطية لعناصر الهيدروجين (H) والزئبق (Hg) والنيون (Ne) للأطوال الموجية مقاسة بالنانو متر (حيث ١ نانومتر = $١٠^{-٩}$ متر) .



شكل (٥)

لقد أثبت العالم الألماني كيرتشوف عام ١٨٥٩ ، بأن العناصر الكيميائية عندما تثار بالتسخين تشع نفس الألوان (نفس الأطوال الموجية) التي تمتصها وأن لكل عنصر لون خاص يمتصه. وقد استخدمت هذه الخاصية في القرن التاسع عشر للكشف عن المعادن والتمييز بينها. ويبيَّن الشكل (٦أ) بأن الضوء المنبعث من عنصر كيميائي هو طيف خطى بعد تحليله عبر منشور ، ويتكون من ثلاثة خطوط أي من ثلاثة أطوال موجية في حالة هذا العنصر. وهذا الشكل هو مخطط للمبدأ الذي يقوم عليه جهاز مقياس الطيف (المطياف) الذي يظهر في الشكل (٦ب) .



شكل (٦)

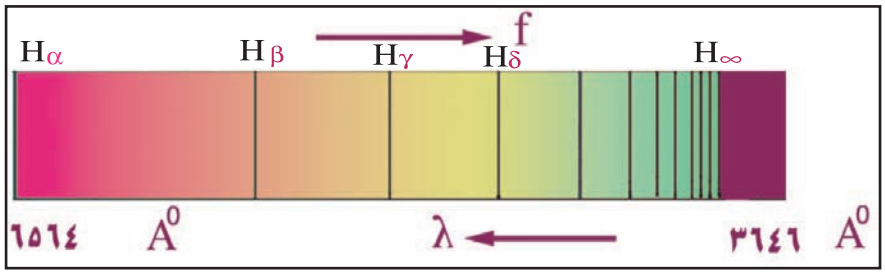
خطوط الامتصاص لذرة الهيدروجين :

لو مررنا حزمة من الضوء الأبيض على حجم من غاز الهيدروجين، ثم حللنا الضوء الذي اجتاز الهيدروجين بواسطة مقياس الطيف، نلاحظ أننا نتلقى نفس طيف الضوء الأبيض الذي أسقطناه على غاز الهيدروجين، ولكن ضمن سلسلة من خطوط داكنة. هذه الخطوط هي الأطوال الموجية التي امتصها غاز الهيدروجين ولذلك تسمى هذه الخطوط بخطوط طيف الامتصاص.

والأطوال الموجية لهذه الخطوط تنطبق تماماً مع الأطوال الموجية لخطوط الانبعاث لذرات الهيدروجين، انظر الشكل (٥ب) وقارنه بطيف الأنبعاث الخطي لعنصر الهيدروجين في الشكل (٥ أ) . إذن، ذرات غاز الهيدروجين لا تمتص من طيف الضوء الساقط عليها إلا أطوال موجية محددة بدقة وتدع الأطوال الموجية الأخرى تمر وما تلبث أن تشع نفس الأطوال الموجية التي امتصتها.

طيف ذرة الهيدروجين : The Hydrogen Spectrum

لقد أحدث الانبعاث الطيفي للعناصر الكيميائية قدراً كبيراً من المشاكل المختلفة، إذ وجد العلماء أن الطيف لأي عنصر يتألف من أطوال موجيه، توحي بانتظام وتناسق محددين بحيث يمكن أن تصنف في مجموعات سميت بسلاسل الأطياف. هذا الأمر جعل العلماء يجتهدون في صياغة النظريات حول البنية الداخلية للذرة. فبنظرة إلى طيف ذرة الهيدروجين نجد أن خطوطه تظهر في تراتيب معينة. إذن، فالسؤال ما هي الخصائص المميزة لهذه التراتيب المتناظرة المنتظمة؟ فالفرق في الأطوال الموجيه بين مختلف الخطوط يتناقص بسرعة كلما اتجهنا نحو الموجات الأقصر (انظر إلى الشكل (٧) الذي يمثل طيف ذرة الهيدروجين).



شكل (٧)

هذا الأمر جعل العلماء يفكرون بأنه من الممكن التعبير عن هذه الخطوط الطيفية بسلسلة من نوع السلاسل الجبرية أو الهندسية ولكن لسوء الحظ لم توجد أية سلسلة

من هذه السلاسل يمكن أن تعبر عن هذه الخطوط. وفي عام ١٨٨٥م نجح مدرس ثانوي سويسري يدعى (جوهن بالمر) بعد كثير من الجهد والدراسة أن يضع صيغة رياضية تجريبية يمكنها أن تحسب بدقة أطوال أمواج خطوط الطيف المرئي لذرة الهيدروجين المقاسة تجريبياً وهذه الصيغة هي :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢^{٢}} - \frac{١}{ن^{٢}} \right) \quad \ldots\ldots\ldots (١)$$

حيث (λ) هو الطول الموجى للخط الطيفي ومقلوبه ($\frac{١}{\lambda}$) يسمى العدد الموجي ووحدة قياسه هو مقلوب وحدة الطول، و (ن) عدد صحيح موجب يساوى ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ... ، ∞ و (R_H) ثابت يسمى ثابت (ريد بيرج)، تكريماً للعالم السويدي (جوهن ريدبيرج) الذي ساهم في تطوير صيغة بالمر وقيمته للهيدروجين R_H = ١٠٩٧٤٧,٥٨سم$^{-١}$ ووحدة قياسه هو مقلوب وحدة الطول . عندما ن = ٣، ٤، ٥ نحصل على الخط الأول والثاني والثالث على التوالي التي تظهر في الطيف المرئي لذرات الهيدروجين وهكذا فبإعطاء (ن) قيماً صحيحة (ن $\geq$ ٣) نحصل على جميع خطوط سلسلة الطيف المرئي لذرة الهيدروجين التي يرمزلها بالرموز :

H_α ، H_β ، H_γ ، H_δ ..... ، $H\infty$ على التوالي ، انظر الشكل (٧).

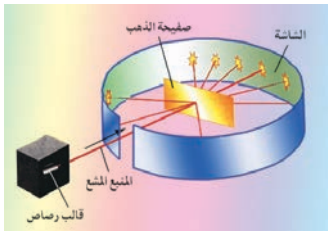
تلاحظ أنه كلما زادت قيمة (ن) تصبح هذه الخطوط، أي هذه الأطوال الموجية، متقاربة أكثر فأكثرمندمجة في النهاية في خط واحدعندما (ن = ∞) الذي يناظر الطول الموجي = ٣٦٤٦ Å (أنجستروم) (حيث Å = ١٠$^{-١٠}$ متر)، ويسمى هذا الطول الموجي بنهاية السلسلة. وقد سميت هذه السلسلة بسلسلة (بالمر) تكريماً للعالم الفيزيائي (بالمر) .

لم تستطع الفيزياء التقليدية تفسير الصيغة الرياضية (١) لهذه السلسلة وبقيت بدون تفسير نظري وظلت عبارة عن علاقة رياضية تجريبية لاتعطينا أية فكرة عن البنية الداخلية لذرة الهيدروجين. ولكن بلاشك قد تساهم في الإيحاء لإيجاد نموذج جديد للذرة أقرب إلى الحقيقة.

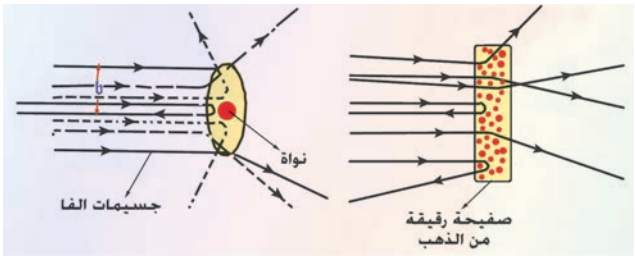
عيوب نموذج تومسون :

لم يستطع هذا النموذج تفسير الطيف الخطي المشاهد لسلسلة بالمر لذرة الهيدروجين، ولا تفسير تشتت جسيمات ألفا الساقطة على صفيحة معدنية رقيقة من الذهب.

ففي عام (١٩٠٩م) قام العالم البريطاني(رذ رفورد)بتجربته المشهورة وهي قذف صفيحة رقيقة جداً من الذهب سمكها ١٠$^{-٣}$م بحزمة من جسيمات ألفا (وقد عرفت فيما بعد بأنها آيونات الهيليوم الموجبة He^{++}) المنطلقة بطاقة عالية من مصدر مشع، كالراديوم، موضوع في قالب من الرصاص (لماذا من الرصاص؟) . هذه الجسيمات عند اصطدامها بالصفيحة تتشتت وتصطدم بشاشة إسطوانية مطلية بطبقة رقيقة من



شكل (٨)



شكل (٩)

كبريتيد الزنك (ZnS) لها خاصية الوميض عند اصطدام جسيمات ألفا بها، انظر الشكل (٨) .

في إطار نموذج تومسون الذري ، الذي يفترض أن الكتلة والشحنة للذرات تتوزع بشكل منتظم داخل حجم الذرة ، من المتوقع أن تعاني جسيمات ألفا انحرافاً مقداره حوالي ٠,٠١ من الدرجة إذا كان هذا الانحراف ناتجاً عن قوى التصادم بين جسيمات ألفا الموجبة والإلكترونات السالبة (لماذا ؟)، أما إذا كان الانحراف ناتجاً عن قوى التنافر الكهربائي بين شحنات ألفا الموجبة والشحنة الموجبة للذرة فإنه لا يمكن أن يتجاوز ٠,٠٢٥ من الدرجة.

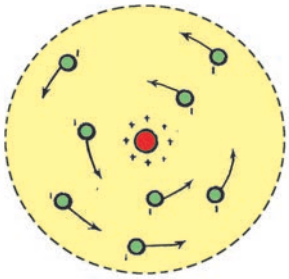
ولكن التجربة دلت على نتائج مدهشة ، إذ لوحظ أن معظم جسيمات ألفا تجتاز الصفيحة دون أن تقابل أي مانع في طريقها تصطدم به وأن عدداً قليلاً منها حوالي واحدة من بين(٨٠٠٠) جسيمة هي التي تتشتت ضمن زوايا أكبر من ٩٠° درجة وقد تصل إلى ١٨٠° درجة أي ترتد على نفسها، انظر الشكل (٩) .

نموذج (رذ رفورد) (Rutherford Nuclear Model of the Atom)

نتيجة للتجربة التي أجراها العالم البريطاني ايرنست رذ رفورد عام ١٩٠٩م والنتائج التي حصل عليها ، فقد تصور نموذجاً للذرة قادراً على أن يفسر هذه النتائج، إذْ فرض أن الشحنة الموجبة للذرة ومعظم كتلتها (لماذا لا تكون كل كتلتها ؟) تتركز

داخل حجم صغير جداً في مركز الذرة سماه النواة، وهذا يفسر ارتداد عدد قليل من جسيمات ألفا. وأن الإلكترونات ذات الشحنة السالبة تتوزع حول النواة في مدارات شبيهة بمدارات الكواكب السيارة في النظام الشمسي، بحيث تتعادل شحنتها السالبة مع الشحنة الموجبة للنواة. وبما أن حجم كتلة الإلكترون صغير جداً بالنسبة لأبعاد الذرة، فيمكن أن يعتبر معظم حجم الذرة المحيط بالنواة فراغاً، وهذا يفسر لماذا معظم جسيمات الفا الساقطة على الصفيحة الذهبية تجتازها دون أن تعاني من أي انحراف.

وهكذا فهذا النموذج وطدَّ نفسه وأصبح يعرف بالنظام النووي، والشكل (١٠) يبين صورة تخيلية تقريبية لهذا النموذج.



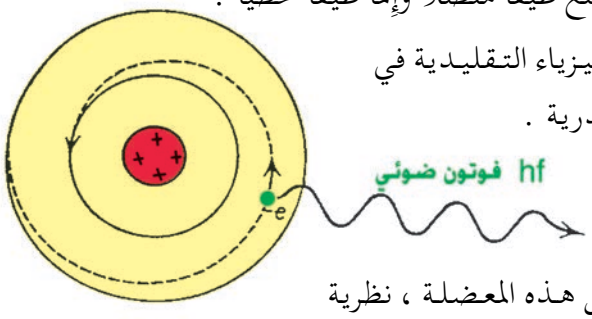
شكل (١٠)

عيوب نموذج (رذر فورد) :

وفقاً لهذا النموذج ، لايمكن أن تكون الذرة مستقرة من وجهة نظر الفيزياء الكلاسيكية ، لأنه إذا كان الإلكترون في ذرة الهيدروجين يتحرك حول النواة حركة دائرية فإن شحنته (e^{-}) تتعجل وبالتالي فإنها يجب أن تشع طاقة باستمرار بحسب ما تنص عليه النظرية الكهرومغنطيسية، أي إن ذرة الهيدروجين يجب أن تبعث طيفاً مستمراً (متصلاً). وفي هذه العملية الاشعاعية المستمرة لابد أن يفقد الإلكترون طاقته تدريجياً وفي النهاية ينهار ويسقط على النواة مندمجاً معها، انظر الشكل(١١) .

ولكن هذا مخالف للواقع ولم يحدث مثل هذا الاندماج . فذرة الهيدروجين ذرة مستقرة وأكثر من ذلك فهي لاتشع طيفاً متصلاً وإنما طيفاً خطياً .

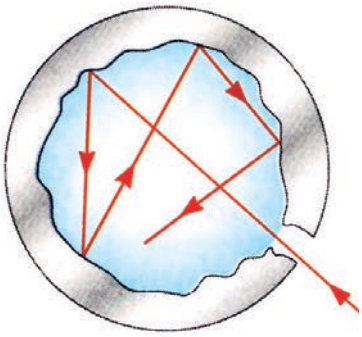
فهذا يعتبر عجزاً آخر للفيزياء التقليدية في عدم استطاعتها تفسيرالظواهر الذرية .



شكل (١١)

لذلك فنظرية (رذر فورد) هذه لا يمكن قبولها ، ولا بد من البحث عن نظرية أخرى تحل هذه المعضلة ، نظرية فذة جديدة لها من الجديد كما كان لنموذج (رذر فورد) نفسه حين وضع النموذج النووي للذرة . وهذا ما فعله بلانك حين افترض تكميم الطاقة الإشعاعية .

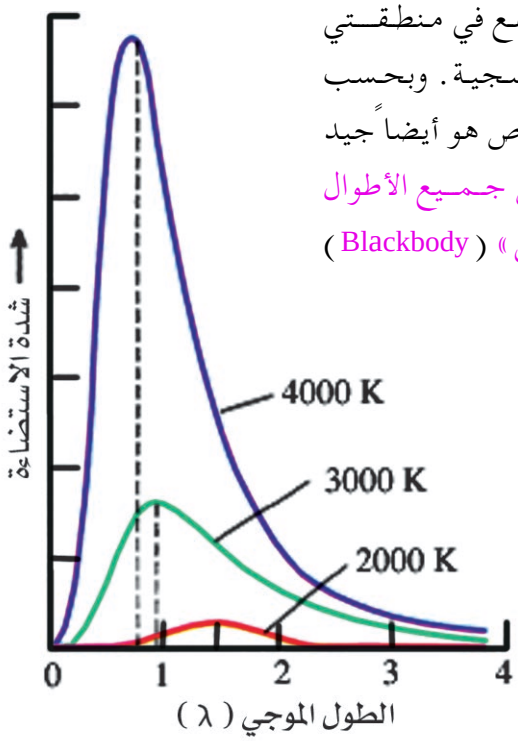
إشعاع الجسم الأسود Blackbody Radiation



شكل (١٢)

الجسم الساخن في أية درجة حرارة فوق درجة الصفر المطلق يبعث بإشعاع يدعى أحياناً الإشعاع الحراري . خواص هذا الإشعاع تعتمد على نوع مادة الجسم ودرجة حرارته . ففي درجة الحرارة المنخفضة ، تقع الأطوال الموجية المنبعثة للإشعاع الحراري بشكل رئيسي في منطقة الأمواج تحت الحمراء ، فهي لا ترى بالعين المجردة ،ولهذا يظهر الجسم في بداية التسخين معتماً .

وعندما تزداد حرارته يبدأ بالتوهج بلون يميل إلى الأحمر فالبرتقالي ، فالأخضر وعندما تصل درجة حرارته حداً معيناً يصبح توهج الجسم أبيض ، أي يصبح الجسم يشع أطوالاً موجية تقع في منطقة الطيف المرئي . وتدل الدراسة بأن طيف الإشعاع الحراري هو طيف متصل يحوى جميع الأطوال الموجية المختلفة، البعض منها لا يرى بالعين لأنها تقع في منطقتي الإشعاعات تحت الحمراء أو فوق البنفسجية . وبحسب قانون كيرتشوف، فالجسم جيد الامتصاص هو أيضاً جيد الإشعاع، ويسمى الجسم الذي يمتص جميع الأطوال الموجية أو يشعها « بالجسم الأسود المثالي » (Blackbody)



شكل (١٣)

وأفضل تمثيل للجسم الأسود المثالي هو تجويف صغير من أية مادة كأن يكون من مادة الحديد أو النحاس، فيه فتحة صغيرة، فأي إشعاع ساقط على هذه الفتحة يدخل التجويف وينعكس على جدرانه الداخلية انعكاسات متتالية إلى أن يتم امتصاصه كلياً . وعند تسخين جدران هذا التجويف من الخارج إلى درجة حرارة معينه ينبعث منها إشعاع حراري

يحوى جميع الأطوال الموجية، شكل (١٢) .

وقد دلت التجارب العملية بأن طاقة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود (ط) تتغير بتغير الطول الموجي (λ) ودرجة حرارة الجسم . ويمثل الشكل (١٣) المنحني التجريبي لطاقة إشعاع الجسم الأسود (ط) بدلالة الطول الموجي (λ) في درجات حرارة مختلفة .

مبدأ بلانك في تكميم الطاقة

(Planck's Principle of Quantiziation of Radiation)

بذل عدة علماء في نهاية القرن التاسع عشر الكثير من المحاولات لإيجاد صيغة رياضية نظرية انطلاقاً من المفاهيم التقليدية (الكلاسيكية) تعبر عن المنحنى التجريبي لطيف الجسم الأسود، ولكنهم فشلوا في ذلك . وفي خضم هذه المحاولات نجح ماكس بلانك في وضع علاقة رياضية تعبر تماماً عن طيف الجسم الأسود مستفيداً من المحاولات السابقة للعلماء في هذا المضمار . ثم حاول وضع الأسس النظرية لتفسير هذه العلاقة وذلك بأن تطلع إلى المشكلة باساليب عدة انطلاقاً من المفاهيم التقليدية دون ان يحالفه أي نجاح . لكنه طوّر فكرة عبقرية جديدة لا يمكن أن تستنتج بالأسلوب المنطقي من المعلومات التقليدية السائدة في تلك الفترة وكان ذلك عام (١٩٠٠م) . هذا التاريخ كان بالنسبة للفيزياء انعطافاً مهماً وثورة في الأفكار بحيث ارتبط به كل تطور لاحق في الفيزياء بشكل أو بآخر، وهو **تكميم طاقة الإشعاع** ، إذ افترض بلانك ما يأتي :

- ينبعث الإشعاع من الجسم الأسود الساخن نتيجة لاهتزازات جزيئات، أو ذرات سطحه ، وإن هذه المهتزات التي تكوِّن سطح الجسم الأسود لا تبعث الطاقة الإشعاعية بشكل متصل أي مستمر (كما كان يعتقد من قبل) وإنما على شكل كمات (أو زخات) ، أو مضاعفات صحيحة من هذه الكمات وكل زخه تدعى (كم) .
- إن الكم من الطاقة (ط) لا يمكن أن يأخذ أياً كان من القيم وإنما فقط قيماً معينة تعطى بالعلاقة : ط = ن hf ..... (٢)

حيث (ط) الطاقة المكممة و (ن) عدد صحيح موجب = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ...و (h)

ثابت سُميَّ فيما بعد ثابت بلانك تكريماً للعالم بلانك وقيمته = ٦,٦٢٥ X ١٠$^{-٣٤}$ (جول . ثانية) و (f) تردد الإشعاع المنبعث .

وقد لقيت نظرية بلانك نجاحاً عظيماً واستفاد منها فيما بعد إنيشتاين في تفسيره للظاهرة الكهروضوئية، وكذلك بوهر في وضع نظريته لذرة الهيدروجين التي ستكون موضوع درسنا التالي .

نظرية بوهر لذرة الهيدروجين (Bohr Theory of the Hydrogen Atom)

أعلن العالم الدينماركي بوهر في عام ١٩١٣م نظريته لذرة الهيدروجين والأيونات الشبيهة بالهيدروجين التي لها إلكترون واحد مثل ذرة الهيليوم أحادي التأين He^{+} أو ذرة الليثيوم ثنائي التأين Li^{++}، وكان ذلك الإعلان إشارة لبداية حقبة جديدة في علم الأطياف والبنية الذرية . فقد أعطت نظريته تفسيراً مرضياً السلسلة (بالمر) وتنبأت بأكتشاف سلاسل أخرى هي سلاسل ليمان وباشن وبراكيت وبفوند ، واستطاعت من اعتبارات نظرية بحتة ، أن تحسب نصف قطر مدار الإلكترون وسرعته وتردده وطاقته بالإضافة إلى قيمة ثابت ريد بيرج R_H لذرة الهيدروجين. كما أعطت نظريته معنىً فيزيائياً للاكتشافات التجريبية للعلاقة(١) وبذلك أعطت جواباً للسؤال الذي كان يطرح لماذا الطول الموجي (λ) أو التردد للخط الطيفي يعطى بالفرق بين حدين؟ (انظر إلى صيغة العلاقة (١)) .

تبنى بوهر النموذج النووي (لرذر فورد) واعتبر أن الإلكترون في ذرة الهيدروجين يرسم مداراً دائرياً (للتبسيط) حول النواة الثابتة في المركز (بسبب كبر كتلتها بالنسبة لكتلة الإلكترون) . وقد اعتبرت نظريته خليطاً من الفيزياء التقليدية ، وفكرة تكميم الطاقة لبلانك، ولذلك سميت بنظرية الكم القديمة أو بالنظرية الشبه التقليدية . وقد أسست على ثلاث فرضيات هي :

- الفرضية الأولى : يستطيع الإلكترون في ذرة الهيدروجين أن يتحرك حول النواة في مدارات دائرية دون أن تشع الذرة طاقة ، هذه المدارات سميت بمستويات الطاقة المستقرة المكممة .

– الفرضية الثانية :هذه المدارات المستقرة المكممة هي تلك التي من أجلها كمية التحرك الزاوي (ع ن ك نق ن) للإلكترون يساوي مضاعفات صحيحة من $\frac{h}{\pi ٢}$ = ħ أي إن :

ع ن ك نق ن = ن ħ ..... (٣)

حيث h ثابت بلانك، (ن) عدد صحيح موجب = ١ ، ٢ ، ٣ ، ...

– الفرضية الثالثة : لا تشع الذرة طاقة طالما بقي الإلكترون في مداره (في مستوى طاقته) ولكنها تشع كمية محددة من الطاقة عندما ينتقل الإلكترون من مستوى طاقة عال (من مدار عال) إلى مستوى طاقة أدنى (مدار أخفض) ، بينما تمتص كمية محددة من الطاقة إذا انتقل (الإلكترون) من مستوى طاقة منخفض إلى مستوى طاقة أعلى . وكمية الطاقة التي تمتصها أو تشعها الذرة تساوى الفرق(Δ طا) بين طاقتي المستويين أي إن :

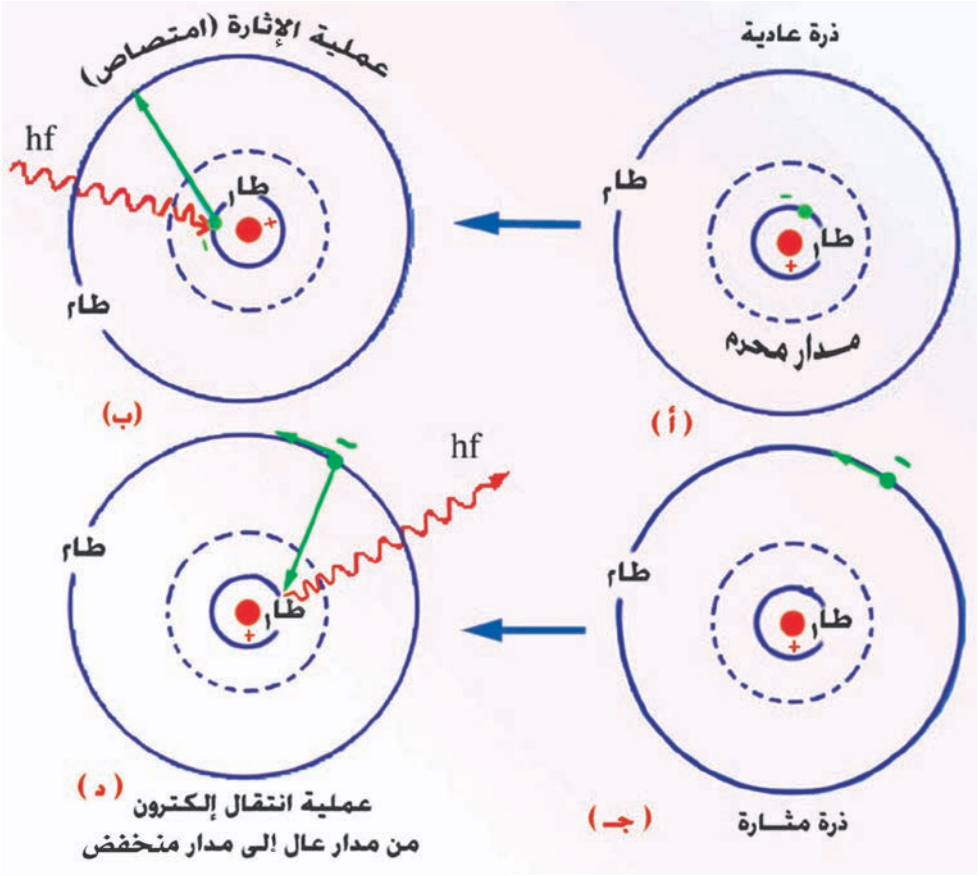
Δ طا = طا$_f$ – طا$_i$ = hf ..... (٤)

حيث (طا$_i$) طاقة المستوى الابتدائي (Initial) الذي انتقل منه الإلكترون، (طا$_f$) طاقة المستوى النهائي(Final) الذي انتقل اليه الإلكترون و f تردد الضوء المنبعث .

عمليتي الامتصاص والإشعاع وفقا لنظرية بوهر :

يقال عن ذرة الهيدروجين بأنها مستقرة في مستواها الأرضي عندما تكون في حالتها العادية، أي عندما يكون إلكترونها مستقراً في المستوى الأول الذي نرمز لطاقته بالرمز (طا$_١$) شكل (١٤ أ) . ونرمز لطاقة المستويات التي تليه بالرموز طا$_٢$، طا$_٣$، ... وتسمى بالمستويات المثارة . فإذا سقط على ذرة الهيدروجين وهي في حالتها العادية كمٌ من الطاقة الضوئية (hf) يساوى الفرق بين طاقتي المستويين (طا$_١$) و (طا$_٢$) أي hf = طا$_٢$ – طا$_١$ ، فإن الذرة تمتص هذه الطاقة شكل (١٤ ب)، ويؤدي ذلك إلى انتقال الإلكترون من مستوى الطاقة الأرضى(طا$_١$) إلى مستوى الطاقة العلوي (طا$_٢$) ونقول عندئذ إن الذرة قد أثيرت إلى مستوى الطاقة (طا$_٢$) شكل (١٤ جـ) . ولكن سرعان ما يعود الإلكترون تلقائياً إلى مداره الأول باعثاً بالطاقة التي امتصها (hf)

على شكل إشعاع له نفس التردد f شكل (١٤ د) . والمدار المنقط يمثل مدار محرم لايجوز للإلكترون أن يتواجد فيه لأنه لا يفي بالفرضية الثانية لبوهر .



شكل (١٤)

مبررات فرضيات بوهر :

١– إن مبرر الفرضية الأولى جاء منطقياً مع الواقع حيث، إن ذرة الهيدروجين ذرة مستقرة لا تبعث بأي إشعاع طالما لم تثر بأية طاقة خارجية .

٢– مبررالفرضية الثانية أتى في زمن لاحق عندما اكتشفت الطبيعة الموجية للإلكترون عام (١٩٢٦م) على يد المهندس الفرنسي ذي برولي .

٣– أما مبرر الفرضية الثالثة فتأتي من فرضية التكميم لبلانك وهي تعبر أيضاً عن مبدأ حفظ الطاقة .

الحسابات النظرية :

انطلاقاً من الفرضيتين الأولى والثانية استطاع بوهر أن يحسب نصف قطر (نق$_{ن}$) مدار الإلكترون في ذرة الهيدروجين وسرعته (ع$_{ن}$) وطاقته (طا$_{ن}$) في المدار رقم (ن) ونوردها بدون برهان (سيدرسها الطالب في المرحلة الجامعية) وهي :

$$\text{نق}_{ن} = \frac{\text{ن}^{٢}\ \hbar^{٢}}{\text{ى}\ \text{س}_{e}^{٢}\ \text{ك}_{e}} \qquad (٥)$$

حيث (ن) عدد صحيح موجب = ١ ، ٢ ، ٣ ، ٠٠٠ ∞ ، و(س$_{e}$) شحنة النواة أو الإلكترون ، (ك$_{e}$) كتلته و(ى) ثابت العزل الكهربائي وقيمته بالنسبة للفراغ أو الهواء = ٩ × ١٠^{٩} نيوتن . متر^{٢} / كولوم^{٢} .

فمن أجل ن = ١ نحصل على نصف قطر المدار الأول (نق$_{١}$) للالكترون ويسمى نصف قطر بوهر وهو أقرب وضع للالكترون من النواة ويساوي :

$$\text{نق}_{١} = \frac{\hbar^{٢}}{\text{ى}\ \text{س}_{e}^{٢}\ \text{ك}_{e}} \qquad (٦)$$

نلاحظ أن الكميات التي تدخل في هذه العلاقة البسيطة هي ثوابت طبيعية فبالتعويض بقيمهم في العلاقة (٦) وهي :

$$\hbar = \frac{h}{\pi ٢} = ١٠ \times ١٫٠٥٤^{-٣٤}$$ جول.ث

$$\text{ك}_{e} = ١٠ \times ٩٫١^{-٣١}$$ كجم

$$\text{س}_{e} = ١٠ \times ١٫٦^{-١٩}$$ كولوم

نحصل على قيمة نق$_{١}$ = ٠٫٥٢٨ (إنجستروم) وهذه القيمة النظرية على وفاق مع القيمة التجريبية . وبتعويض العلاقة (٦) في العلاقة (٥) نحصل على (نق$_{ن}$) بدلالة (نق$_{١}$) أي :

$$\text{نق}_{ن} = \text{ن}^{٢}\ \text{نق}_{١} \qquad (٧)$$

تلاحظ إن نصف قطر المدار (نق$_{ن}$) يتناسب طردياً مع مربع العدد (ن) وبإعطاء (ن) القيم ١ ، ٢ ، ٣ ، ٤ ، ٠٠٠ ∞ نجد قيم أنصاف أقطار المدارات المناظرة وهي :

نق$_{١}$ ، ٤نق$_{١}$ ، ٩نق$_{١}$ ، ١٦نق$_{١}$ .....

وهي المدارات المسموحة التي يمكن أن يتواجد فيها الالكترون في ذرة الهيدروجين وليس في أي مدار، إذن مدارات الإلكترون هي مدارات مكممة ولهذا يدعى العدد (ن) بالعدد الكمي الرئيسي .

أما سرعة الإلكترون على المدار رقم (ن) فتعطى بالعلاقة الآتية :

$$ع_{ن} = \frac{ى\ س_{e}^{٢}}{ن\ ħ} \qquad (٨)$$

وسرعته في المدار الأول أي من أجل ن = ١ هي

$$ع_{١} = \frac{ى\ س_{e}^{٢}}{ħ} \qquad (٩)$$

وبالتعويض عن قيم الثوابت ي، س$_{e}$، ħ نجد أن قيمة ع$_{١}$ =٢٫٢×١٠^{٨}سم/ث

وبتعويض العلاقة (٩) في العلاقة (٨) نجد سرعة الإلكترون في أي مدار (ع$_{ن}$) بدلالة سرعته في المدار الأول (ع$_{١}$) وهي :

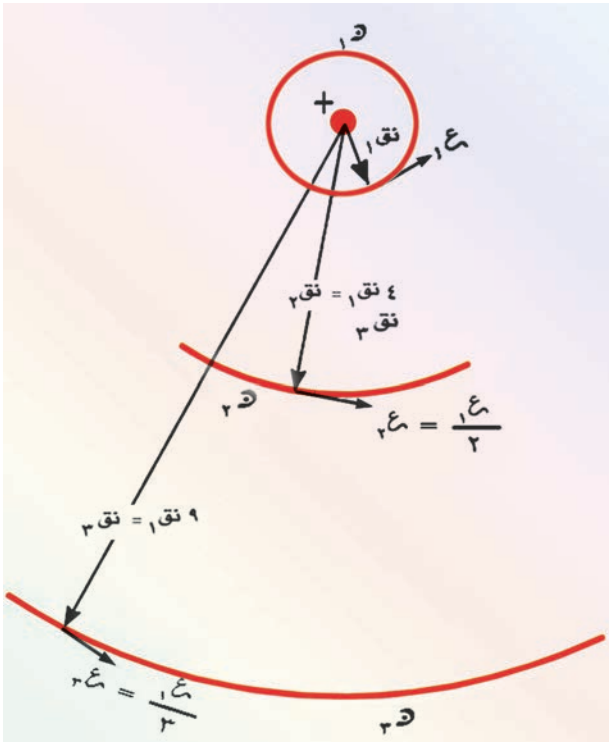
$$ع_{ن} = \frac{١}{ن} \cdot \frac{ى\ س_{e}^{٢}}{ħ}$$

أي إن :

$$ع_{ن} = \frac{ع_{١}}{ن} \qquad (١٠)$$

ونرى أن سرعة الإلكترون في مدار رقم (ن)تتناسب عكسياً مع العدد (ن)، فكلما ابتعد الإلكترون عن النواة، أي كبر نصف قطر المدار، قلت السرعة، فمن أجل ن = ١، ٢، ٣، ٠ ٠ ٠ تكون السرع المناظرة هي :

$$ع_{١} = \frac{ع_{١}}{١} \ ، \ ع_{٢} = \frac{ع_{١}}{٢} \ ، \ ع_{٣} = \frac{ع_{١}}{٣} \ ، \ ع_{٤} = \frac{ع_{١}}{٤}$$



شكل (١٥)

حتى إذا كانت ن = ∞ تكون ع = صفراً ، وفي هذه الحالة يكون الإلكترون خارج الذرة وغير مرتبط بالنواة، والشكل (١٥) يبين القياسات النسبية للمدارات الدائريه للإلكترون والسرعات المناظرة لها .

والطاقة الكلية (طان) للإلكترون في مدار رقم (ن) تُعطى بالعلاقة الآتية :

$$\text{طا}_{ن} = -\frac{ك_e \, ى^2 \, س_e^4}{2 ن^2 \, ħ^2} \qquad (١١)$$

من أجل ن = ١ يكون الإلكترون في المدار الأول وهو أدنى مستوى طاقة له

$$\text{طا}_{١} = -\frac{ك_e \, ى^2 \, س_e^4}{2 \, ħ^2} \qquad (١٢)$$

الكميات التي تدخل في هذه العلاقة هي ثوابت طبيعية فبتعويض قيمهم نجد قيمة طا١ التي تساوي :

طا١ = (– ١٣,٦) إلكترون فولت (إ.ف)

(حيث ١« إ.ف » = ١,٦ × ١٠$^{-١٩}$ جول)

وهذه القيمة النظرية على وفاق مع القيمة التجريبية ، ثم إن الإشارة السالبة التي تظهر في العلاقة (١١) تعني، وفقاً للميكانيكا التقليدية، أن الإلكترون مرتبط بالنواة وذلك برسم مدار مقفل حولها .

يمكن كتابة العلاقة (١١) بدلالة العلاقة (١٢) كالآتي :

$$\text{طا}_{\text{ن}} = \frac{١}{\text{ن}^{٢}} \left[\frac{-\text{ك}_{e}\, \text{ى}^{٢}\, \text{س}_{e}^{٤}}{٢\, \text{ħ}^{٢}} \right]$$

$$\text{طا}_{\text{ن}} = \frac{\text{طا}_{١}}{\text{ن}^{٢}} \qquad (١٣)$$

فمن أجل ن = ١، ٢، ٣، ٤ ... ∞ ، نحصل على طاقات الإلكترون في المدارات (أو المستويات) المناظرة وهي :

$$\text{طا}_{١} \text{ ، } \frac{\text{طا}_{١}}{٤} \text{ ، } \frac{\text{طا}_{١}}{٩} \text{ ، } \frac{\text{طا}_{١}}{١٦} \text{ ... } \frac{\text{طا}_{١}}{\infty}$$

وقيمها على التوالي هي :

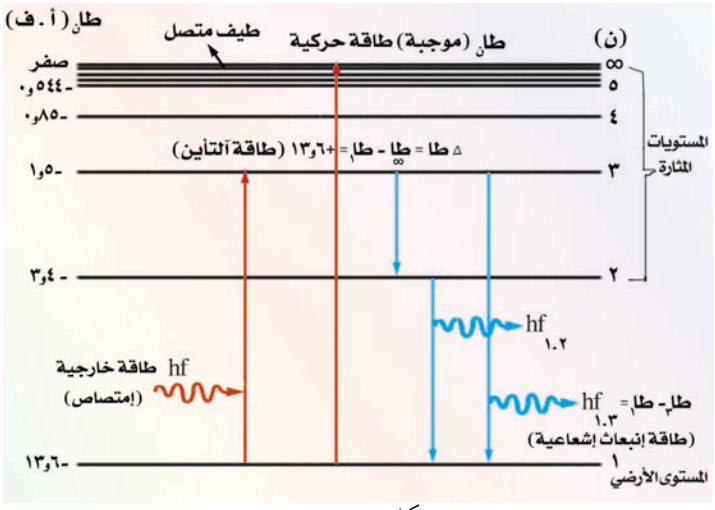
(−١٣٫٦) ، (−٣٫٤) ، (−١٫٥١) ، (−٠٫٨٥) ، ٠٠ ، (صفر) إلكترون فولت(إ.ف)، انظر الشكل(١٦) . هذه هي الطاقات المسموحة التي يمكن للإلكترون أن يأخذها في داخل الذرة وليس أية طاقة ، فهي إذن على شكل كمات أو زخات من الطاقة وليست قيماً متصلة أو مستمرة ولهذا يقال إن طاقات الإلكترون داخل الذرة هي طاقات مكممة . والعدد (ن) هو العدد الذي يتحكم في إعطاء هذه الكمات من الطاقة ، لهذا سمى بالعدد الكمي الرئيسي .

مخطط مستوى الطاقة (Energy Level Diagram)

الذرة لا ترى ولكن يمكن تمثيل طاقاتها المكممة والانتقالات الممكنة للإلكترون بين هذه الطاقات بمخطط يسمى مخطط مستوى الطاقة . في هذا المخطط تُمثل طاقة الإلكترون في كل مدار بمستوى أفقي يدعي مستوي الطاقة (أو بالحالة) ، ويمثل انتقال الإلكترون من مستوى طاقة إلى آخر بسهم رأسي يعطي خطاً طيفياً بتردد معين (f) طاقته (fh) يساوي الفرق بين طاقتي هذين المستويين بحسب الفرضية الثالثة لبوهر ،

انظر الشكل (١٦) .

ونلاحظ من العلاقة (١١) إن طاقة الإلكترون (طـ$_{ن}$) سالبة (–) وتزداد جبرياً بازدياد العدد الكمي الرئيسي(ن) .



شكل (١٦)

فمن أجل ن = ١ يكون الإلكترون في أدنى مستوى له في الطاقة ويسمى بالمستوى الأساسي (أو المستوى الأرضي) وتسمى المستويات الأخرى بالمستويات المثارة شكل (١٦) . وكلما كبرت (ن) أي كلما ابتعد الإلكترون عن النواة ازدادت طاقته جبرياً حتى تصل إلى الصفر (طا $_{∞}$ = صفر) من أجل ن = ∞ ، في هذه الحالة يكون الإلكترون حراً خارج الذرة وغير مرتبط بالنواة ، ونقول عندئذ إن الذرة قد فقدت إلكتروناً لها وأصبحت مؤينة . ومقدار الطاقة اللازمة لتأين ذرة الهيدروجين أي الطاقة التي يجب أن يمتصها الإلكترون في ذرة الهيدروجين لإخراج الإلكترون من المستوى الأرضي طا$_{١}$ الذي طاقته = (–١٣,٦) إلكترون فولت إلى خارج الذرة حيث طا $_{∞}$ = صفر هو: طا$_{∞}$ – طا$_{١}$ = (+١٣,٦) (إلكترون فولت) وهي تساوي طاقة المستوى الأرضي ولكن بإشارة موجبة ، وتسمى هذه الطاقة ، طاقة التأين.

خارج الذرة تكون طاقة الإلكترون موجبة لأنها عبارة عن طاقة حركية . (لحركة مستمرة) ويكون للإلكترون نتيجة ذلك طيف إشعاعي متصل ، بينما داخل الذرة فطاقته مكممة كما صاغتها نظرية بوهر وبالتالي فانتقاله داخلها يعطي طيفاً خطياً .

الإلكترون الذي هو أكثر بعداً من النواة يمتلك طاقة أكبر فهو إذن أكثر نشاطاً وفعالية ، وهو المسؤول عن التفاعلات الكيميائية أو الإشعاعات الطيفية نتيجة لانتقاله

إلى مستويات طاقة أدنى ، وبالعكس الإلكترون الأكثر قرباً من النواة يمتلك طاقة أقل ويكون في حالة أكثر استقراراً ، ولهذا فالإلكترون المثار الواقع على مدار بعيد من النواة (نتيجة لطاقة خارجية حملته إلى ذلك المدار، انظر الشكل (١٦))، يحاول أن يعود بسرعة إلى مكانه الأول (الأصلي) باعثاً بالطاقة التي امتصها على شكل إشعاع .

حساب الأطوال الموجية لطيف ذرة الهيدروجين :

وفقاً لفرضية بوهر الثالثة التي تنص بأنه إذا كانت طاقة الإلكترون الابتدائية هي ($طا_i$) وانتقل إلى حالة نهائية طاقتها ($طا_f$) أصغر من طاقة الحالة ($طا_i$) ،فان ذرة الهيدروجين تبعث بضوء طاقته (hf) تحسب من العلاقة التالية :

$$طا_f - طا_i = hf$$

$$\frac{طا_f}{h} - \frac{طا_i}{h} = f \quad \text{أو}$$

ولكن $f = \frac{ع_ض}{\lambda}$ (حيث ($ع_ض$) سرعة الضوء المنبعث و (λ) طول موجته و(f) تردده ،

وأن $طا_i = \frac{طا_1}{ن_i^2}$ ، $طا_f = \frac{طا_1}{ن_f^2}$ (من العلاقة ١٣) .

وبتعويض هذه القيم في العلاقة(أعلاه) نجد أن :

$$\frac{ع_ض}{\lambda} = \frac{طا_1}{ن_f^2 h} - \frac{طا_1}{ن_i^2 h} = \frac{طا_1}{h}\left(\frac{1}{ن_f^2} - \frac{1}{ن_i^2}\right)$$

أو $\frac{1}{\lambda} = \frac{-طا_1}{ع_ض h}\left(\frac{1}{ن_f^2} - \frac{1}{ن_i^2}\right)$ وحيث أن $طا_1 = ١٣,٦$ (إ. ف)

$$\therefore \frac{1}{\lambda} = \frac{١٣,٦}{ع_ض h}\left(\frac{1}{ن_f^2} - \frac{1}{ن_i^2}\right)$$

حيث $\frac{١٣,٦}{ع_ض h}$ مقدار ثابت نرمز له بالرمز R_H ويساوي :

$$R_H = \frac{13{,}6}{h\,ع_{ص}} = 109737{,}31 \text{ سم}^{-1} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

حيث قيمة h معطاة بوحدة (إ. ف. ثانية)

و $ن_i$ عدد صحيح موجب = ١,٢,٣,٠٠٠ ∞

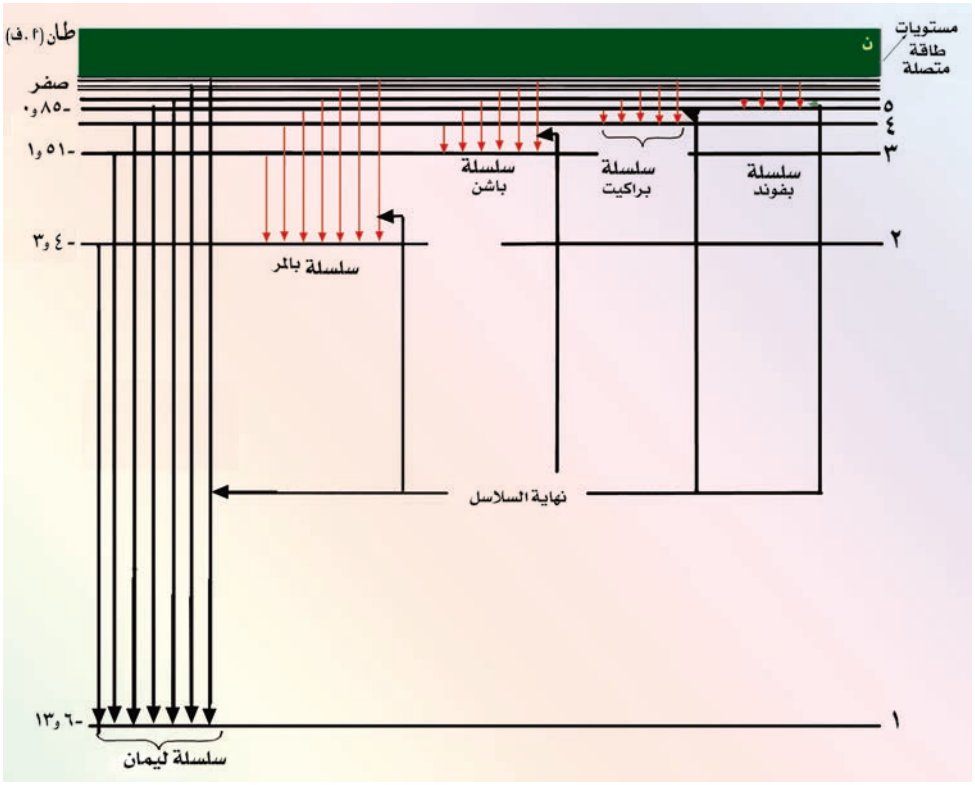
و $ن_f$ عدد صحيح موجب = ١,٢,٣,٠٠٠

$$R_H = \frac{1}{\lambda} \left(\frac{1}{ن_f^2} - \frac{1}{ن_i^2} \right) \quad \ldots\ldots\ldots (15)$$

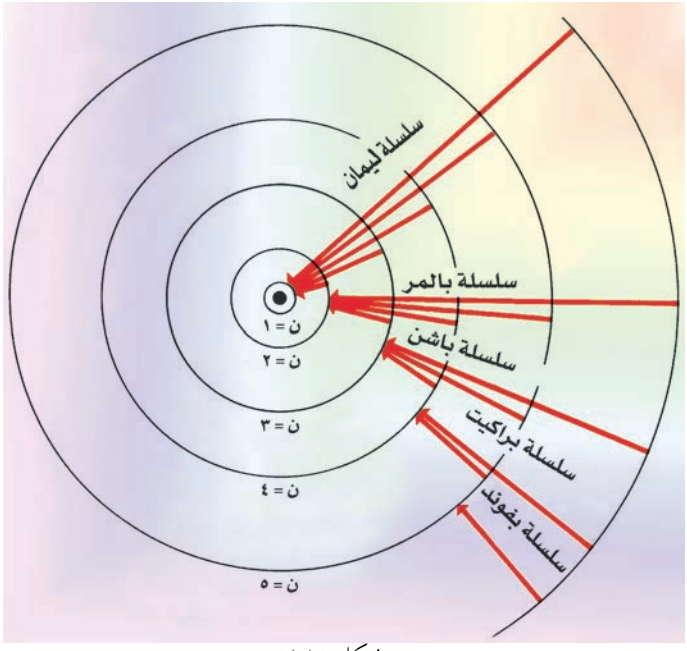
العلاقة (١٥) هي نفس العلاقة التجريبية (١) التي أوجدها بالمر، و(R_H) ماهو إلاّ ثابت ريدبيرج الذي قيمته التجريبية هي : R_H = ١٠٩٧٤٧,٥٨ سم$^{-1}$ وهي على وفاق مع القيمة المحسوبة من العلاقة النظرية (١٤). وبإعطاء القيم الآتية لكل من ($ن_i$) و($ن_f$) في العلاقة (١٥) نحصل على سلاسل طيف ذرة الهيدروجين وقد سميت كل سلسله باسم مكتشفها، أنظر الشكلين (١٧)، (١٨) وهي :

$ن_f$ = ١ ، $ن_i$ = ٢,٣,٤,٥ ٠٠٠٠٠ ∞	سلسلة ليمان (فوق بنفسجي)
$ن_f$ = ٢ ، $ن_i$ = ٣,٤,٥ ٠٠٠٠٠٠ ∞	سلسلة بالمر (الضوء المرئي)
$ن_f$ = ٣ ، $ن_i$ = ٤,٥,٦,٧ ٠٠٠٠٠٠٠ ∞	سلسلة باشن (تحت الحمراء)
$ن_f$ = ٤ ، $ن_i$ = ٥,٦,٧ ٠٠٠٠٠٠٠ ∞	سلسلة براكيت (تحت الحمراء القريبة)
$ن_f$ = ٥ ، $ن_i$ = ٦,٧,٨ ٠٠٠٠٠٠٠ ∞	سلسلة بفوند (تحت الحمراء البعيدة)

لقد أعطت العلاقة النظرية (١٥) المعنى الفيزيائي لعلاقة(بالمر) التجريبية (١) وهو إن طاقة الضوء المنبعثة من ذرة الهيدروجين ماهي الاّ الفرق بين طاقتي المستويين اللذين انتقل بينهما الإلكترون وإن صيغة بالمر (١) ما هي إلاّ حالة خاصة لصيغة بوهر (١٥). والجدير بالذكر إن سلسلة (بالمر) تقع في منطقة الطيف المرئي من طيف ذرة الهيدروجين بينما السلاسل الأخرى تقع في منطقة الطيف غير المرئي (تحت الحمراء أو فوق البنفسجية) ولذلك لا ترى، ولهذا السبب اكتشفت أكثرها بعدما تنبأت بها نظرية بوهر. وهكذا فنظرية بوهر برهنت على نجاح كبير في شرح المظاهر المشاهدة في طيف ذرة الهيدروجين .


طان (٢ . ف)
ن
مستويات طاقة متصلة
صفر
-٠ و٨٥
-١ و٥١
-٣ و٤
-١٣ و٦
٥
٤
٣
٢
١
سلسلة باشن
سلسلة براكيت
سلسلة بفوند
سلسلة بالمر
نهاية السلاسل
سلسلة ليمان

شكل (١٧)


سلسلة ليمان
سلسلة بالمر
سلسلة باشن
سلسلة براكيت
سلسلة بفوند
ن = ١
ن = ٢
ن = ٣
ن = ٤
ن = ٥

شكل (١٨)

نلاحظ أن طاقة الخط الطيفي (أي طاقة الطول الموجي المرافق) ما هو إلاَّ الفرق بين طاقتي مستويين كما تشير إليه العلاقة (١٥) . هذه الفروقات تتناقص بسرعة كلما اتجهنا نحو مستويات الطاقة العلوية حتى تتلاشى وتصبح مستويات الطاقة مستويات متصلة (الفروقات بينها معدومة) ويختفي عندها التكميم ويكون الطيف المناظر لها في آخر السلاسل طيفاً متصلاً كما هو مبين في الأشكال (٧) (١٦) (١٨) والإلكترون يكون خارج الذرة .

ملاحظة :

تعلم من دراستك السابقة بأن الطول الموجي (λ) لشعاع ما يتناسب عكسياً مع تردده (f) أو طاقته (hf) لأن $hf = \frac{h\,ع}{\lambda}$ ، إذن فأقصر الأطوال الموجية هي تلك التي طاقاتها أو ترددها أكبر الطاقات أو الترددات، وأطول الأطوال الموجية هي تلك التي طاقاتها أو تردداتها هي أصغر الطاقات أو الترددات . فمثلاً في سلسلة بالمر ، أقصر الأطوال الموجية هي تلك التي من أجلها يكون ($ن_i$) أكبر ما يمكن أي ($ن_i$) = ∞ وأطولها هي تلك التي من أجلها يكون ($ن_i$) أصغر ما يمكن أي ($ن_i$) = ٣ . وبشكل عام طول موجة الإشعاع المنبعث يعتمد على فرق الطاقة بين طاقتي المستويين الابتدائي ($طا_i$) والنهائي ($طا_f$) .

مثال (١)

أحسب أقصر الأطوال الموجية وأطولها في سلسلة ليمان حيث R_H = ١٠٩٧٣٧,٣١ سم$^{-١}$.

الحل :

أقصر الأطوال الموجية في سلسلة ليمان هي تلك التي من أجلها يكون ($ن_i$) = ∞ ، ($ن_f$) = ١ وأطولها هي التي يكون فيها ($ن_i$) = ٢ ، ($ن_f$) = ١ ولحسابهما استخدم العلاقة (١٥) .

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{ن_f^{٢}} - \frac{١}{ن_i^{٢}} \right)$$

وبالتعويض في هذه العلاقة بقيم كل من $ن_i$ ، $ن_f$ ، R_H نجد أن :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢_١} - \frac{١}{\infty} \right) = R_H$$

$$\lambda = \frac{١}{R_H} = \frac{١}{١٠٩٧٣٧,٣١} = ٩,١١٢٦٧١ \times ١٠^{-٦} \text{ سم}$$

أو λ = ٩١١,٢٧ أنجستروم وهي أقصر الأطوال الموجية في سلسلة ليمان وأطولها هي :

$$\frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢_١} - \frac{١}{\infty} \right) = R_H \left(\frac{١}{٢_٢} - \frac{١}{١} \right) = R_H \left(\frac{١}{٤} - \frac{١}{١} \right) = \frac{٣}{٤} R_H$$

$$\lambda = \frac{٤}{٣ R_H} = ١,٢١٥٠٢٣ \times ١٠^{-٥} \text{ سم} = ١٢١٥,٠٥ \text{ أنجستروم} .$$

انظر الشكل(١٧).

مثال (٢)

أثيرت ذرات غاز الهيدروجين في الأنبوب المهبطي بقذفها بحزمة من الإلكترونات المنطلقة من المهبط بطاقة مقدارها ١٢,٠٩ إلكترون فولت . احسب ما يلي :

أ) طاقات المستويات المثارة في الذرة (طا ن) .

ب) الأعداد الكمية الرئيسية (ن) المناظرة لهذه المستويات .

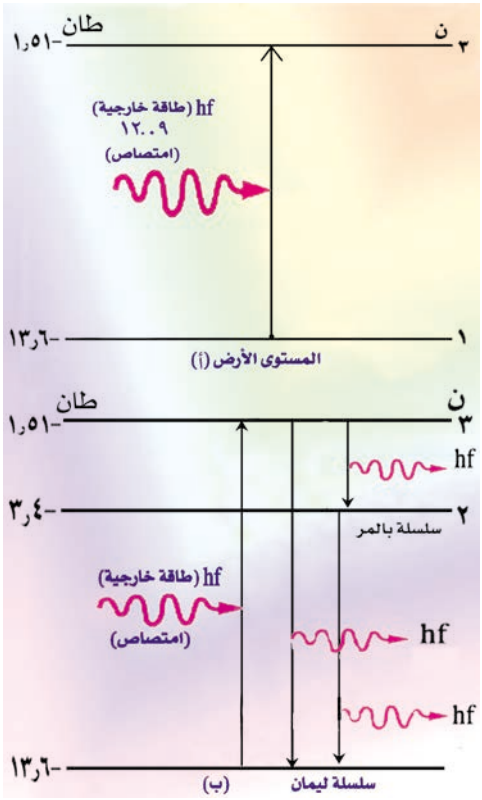
جـ) الأطوال الموجية التي يمكن أن تبعثها الذرة نتيجة لهذه الإثارة. واذكر إلى أية سلسلة تنتمي هذه الأطوال الموجية، علماً بأن قيمتي طاقة المستوى الأرضي طا١ = – ١٣,٦ (إلكترون فولت) وثابت ريدبيرج R_H = ١٠٩٦٧٧,٥٨ سم$^{-١}$.

الحل :

المعطيات : طا١ = – ١٣,٦ إلكترون فولت ، R_H = ١٠٩٦٧٧,٥٨ سم$^{-١}$ ، طا = ١٢,٠٩ (إلكترون فولت) هي الطاقة الخارجية التي اعطيت للذرة.

أ) في ذرة الهيدروجين غير المثارة يكون الإلكترون في المستوى الأرضي، ويمتلك

طاقة مقدارها طا$_{١}$ = – ١٣٫٦ (إلكترون فولت). ونتيجة لاصطدام الذرة بالإلكترون القادم من المهبط يمتص إلكترون ذرة الهيدروجين طاقة هذا الإلكترون القادم وينتقل إلى مستوى مثار تحسب طاقته (طا ن) من العلاقة التالية:



شكل (١٩)

(طا ن) = طا$_{١}$ + ١٢٫٠٩

= – ١٣٫٦ + ١٢٫٠٩ = – ١٫٥١ (إ.ف)

وهي طاقة الإلكترون في المستوى المثار، انظر الشكل (١٩ أ).

ب) العدد الكمي الرئيسي (ن) المناظر لهذا المستوى نحسبه من العلاقة (١٣):

$$\text{طا}_{ن} = \frac{\text{طا}_{١}}{ن^{٢}} \quad \text{ومنه} \quad ن^{٢} = \frac{\text{طا}_{١}}{\text{طا}_{ن}}$$

$$ن = \sqrt{\frac{\text{طا}_{١}}{\text{طا}_{ن}}} = \sqrt{\frac{١٣٫٦}{١٫٥١}} = ٣٫٠٠١ \approx ٣$$

∴ ن = ٣ ، فالمستوى المثار الذي انتقل إليه الإلكترون هو المستوى الثالث وطاقته هي (– ١٫٥١ إلكترون فولت) والذي يليه من أسفل هو بالطبع سيكون المستوى الثاني وطاقته نحسبها من العلاقة (١٣) ايضاً.

$$\text{طا}_{٢} = \frac{\text{طا}_{١}}{ن^{٢}} = \frac{-١٣٫٦}{٤} = -٣٫٤ \text{ (إلكترون فولت) (حيث ن = ٢)}.$$

انظر الشكل (١٩ب).

جـ) الأطوال الموجية المحتملة التي يمكن أن تبعثها ذرة الهيدروجين نتيجة انتقال الإلكترون من المستوى الثالث إلى المستويات الأخفض المختلفة هي:

إما أن ينتقل الإلكترون من المستوى الثالث ($ن_i = ٣$) إلى المستوى الأول (الأرضي) ($ن_f = ١$) أو أن ينتقل من المستوى الثالث ($ن_i$) إلى المستوى الثاني، ثم ينتقل من المستوى الثاني إلى المستوى الأرضي طا١ (ن = ١) انظر الشكل (١٩ب) .

ولحساب هذه الأطوال الموجية للإنتقالات الممكنة تستخدم العلاقة (١٥) .

١) الطول الموجي الناتج عن الأنتقال من المستوى الثالث إلى المستوى الأول .

$$\because \frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢_{١}} - \frac{١}{٢_{٣}} \right) R_H = \left(\frac{١}{١} - \frac{١}{٩} \right) R_H = \frac{٨}{٩} R_H \text{ سم}^{-١}$$

حيث $ن_f = ١$ ، $ن_i = ٣$.

$$\therefore \lambda = \frac{٩}{٨ R_H} = \frac{٩}{٨ \times ١٠٩٦٧٧,٥٨} = ١,٠٢٥٧٣٤ \times ١٠^{-٥} \text{سم} = ١٠٢٥,٧ \text{ أنجستروم}$$

$\lambda = ١٠٢٥,٧$ أنجستروم .

٢) الطول الموجي الناتج عن الأنتقال من المستوى الثاني إلى المستوى الأول .

$$\because \frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢_{١}} - \frac{١}{٢_{٢}} \right) R_H = \left(\frac{١}{١} - \frac{١}{٤} \right) R_H = \frac{٣}{٤} R_H$$

حيث $ن_f = ١$ ، $ن_i = ٢$.

$$\therefore \lambda = \frac{٤}{٣ R_H} = ١,٢١٥٧ \times ١٠^{-٥} \text{سم} = ١٢١٥,٧ \text{ أنجستروم}$$

وهذان الخطان ينتميان إلى سلسلة ليمان، انظر الشكل (١٩ ب) .

٣) الطول الموجي الناتج عن الأنتقال من المستوى الثالث إلى المستوى الثاني .

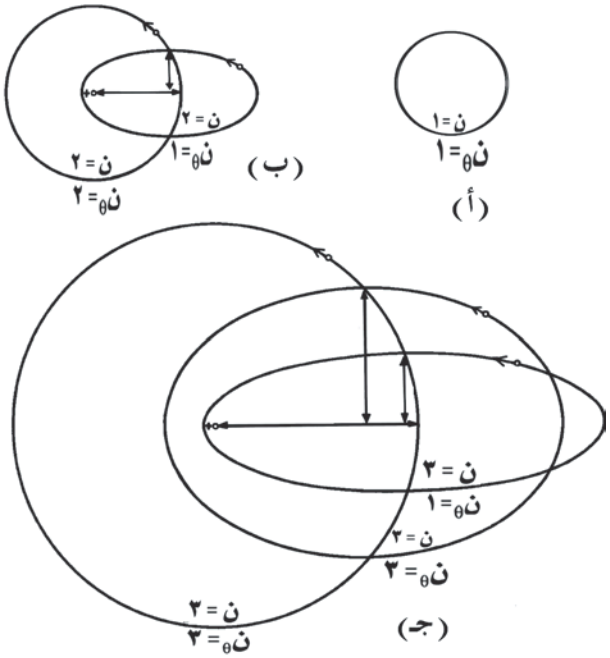
$$\because \frac{١}{\lambda} = R_H \left(\frac{١}{٢_{٢}} - \frac{١}{٢_{٣}} \right) R_H = \left(\frac{١}{٤} - \frac{١}{٩} \right) R_H = \frac{٥}{٣٦} R_H$$

حيث $ن_f = ٢$ ، $ن_i = ٣$.

$$\therefore \lambda = \frac{٣٦}{٥ R_H} = ٦,٥٦٤٧ \times ١٠^{-٥} \text{سم} = ٦٥٦٤,٧ \text{ انجستروم}$$

وهو الخط الطيفي الأول (أي الطول الموجي الأول) من سلسلة بالمر شكل (١٩ ب) .

عيوب نظرية بوهر وظهور نموذج (بوهر – سمرفيلد) :



شكل (٢٠)

لقد رأينا مدى النجاح الكبير الذي حققته نظرية بوهر في تفسيرها لأطياف الامتصاص أو الانبعاث لذرة الهيدروجين، إلا أن فحص مختلف الخطوط الطيفية بواسطة مطياف ذي قدرة تحليلية كبيرة ، أظهر بأن هذه الخطوط هي أكثر تعقيداً وأنها في الواقع تتركب من عدة خطوط دقيقة تبدو وكأنها خط واحد عند النظر إليها بمطياف تحليل عادي .

فمن أجل تفسير ذلك ، اقترح (سمرفيلد) بعض التعديلات لتحسين نموذج بوهر لذرة الهيدروجين، ومن هذه التعديلات اعتبار مدارات الإلكترون حول النواة قطوع ناقصة بشكل عام، وإن فرضية بوهر بأن الإلكترون يتحرك في مدار دائري، كان إفراطاً في التبسيط . ومن المعلوم أن مسار أي جسم يتحرك تحت تأثير قوة تتناسب عكسياً مع مربع المسافة (كمثل القوة الكهربية التي تؤثر بها النواة على الإلكترون) . هو بشكل عام قطع ناقص والمسار الدائري هو حالة خاصة من الحالة العامة . هذا التصحيح أدى إلى فرض عدد كمي آخر يسمى بالعدد الكمي السمتي يرمز له بالرمز (نθ) ويأخذ القيم نθ = ١ ، ٢ ، ...ن ، وهذا بدوره يؤدي إلى انقسام كل مدار إلى (ن) من المدارات ، فمثلاً المدار الذي يناظر (ن = ٢) ينقسم الى مدارين (نθ = ١ ، نθ = ٢) شكل (٢٠ب) والمدار الذي يناظر (ن = ٣) ينقسم إلى ثلاثة مدارات تناظر (نθ = ١ ، نθ = ٢ ، نθ = ٣) شكل (٢٠جـ) وهذه الثلاثة المدارات، أي مستويات الطاقة، تناظر ثلاثة خطوط طيفية بدلاً من خط طيفي واحد ، أما المدار الأول من أجل ن = ١ فلا ينقسم ومداره يمثل مسار دائري شكل (٢٠ أ) .

حدود إمكانية نظرية بوهر :

لقد استطاعت نظرية بوهر (مع التصحيحات التي أدخلت عليها) تفسير سلاسل الأطياف المختلفة لذرة الهيدروجين، بالإضافة إلى حساب قيمة طاقة التأين، وأنصاف أقطار المدارات المختلفة للإلكترون والسرعات المناظرة لها، انطلاقاً من أسس نظرية بحته . وبالرغم من أن الأطوال الموجية للخطوط الطيفية التي تتنبأ بها (أي التي تحسب بواسطة) نظرية بوهر كانت تتطابق مع تلك التي تشاهد تجريبياً إلاّ أن هذا التطابق لم يكن تاماً في كل الأحوال . هذا الاختلاف أصبح أكثر وضوحاً في الذرات متعددة الإلكترونات، بالإضافة إلى عدم تفسيرها لطيف الذرات الواقعة في مجال مغناطيسي خارجي ، إذ كانت الخطوط الطيفية تتحلل إلى عدة خطوط فرعية .

هذه الحقائق التجريبية المشاهدة التي عجزت في تفسيرها نظرية بوهر كانت كافية في التفكير بضرورة إحداث تعديلات جوهريه في نموذج بوهر، أو البحث عن نموذج جديد يلبي متطلبات التجربة .

هذه المصاعب وغيرها تم التغلب عليها بفضل تطور ميكانيكا الكم الذي سيدرسه الطالب في المرحلة الجامعية .

تقويم الوحدة

١ – أ) عندما يسخن الحديد يظهر في بداية التسخين معتماً ثم يبدأ بالإحمرار (إعط تفسيراً لذلك) .

ب) هل يمكن لذرة الهيدروجين وهي في حالتها الأرضية (أي إلكترونها في المستوى الأول) أن تطلق إشعاعاً، أو تمتص إشعاعاً مقدار طاقته ٦ إلكترون فولت (إعط تفسيراً لجوابك) .

جـ) هل يمكن أن تكون طاقة الربط لإلكترون ذرة الهيدروجين (أي طاقة الإلكترون داخل الذرة) موجبة و (لماذا)؟

٢ – ضع العلامة(√) أمام العبارة الصحيحة والعلامة (X) أمام العبارة الخطأ .

أ – الجسم الأسود هو ذلك الجسم الذي يمتص جميع الأطوال الموجية ( ) .

ب – طيف عنصر الصوديوم هو طيف خطي ( ) .

جـ – طيف الإشعاع الحراري هو طيف متصل ( ) .

د – العنصر الكيميائي لا يشع نفس الأطوال الموجية التي يمتصها ( ) .

و – مقدار طاقة التأين لذرة الهيدروجين هي (– ٦,١٣) إلكترون فولت ( ) .

هـ – في ذرة الهيدروجين ، تقل طاقة الإلكترون كلما ابتعد عن النواة حتى تصبح طاقته في المدار الأخير = صفراً التي تناظر (ن = ∞) ( ) .

ي – تقل سرعة الإلكترون في ذرة الهيدروجين كلما اقترب من النواة ( ) .

ز – يزداد نصف قطر المدار المسموح للإلكترون في ذرة الهيدروجين بزيادة مربع العدد الكمي الرئيسي (ن) ( ) .

٣ – ما هي معضلة الجسم الأسود ؟

٤ – ما هو مبدأ بلانك في التكميم ؟

٥ – ما المقصود بالطيف المتصل والطيف الخطي ثم إعط مثالاً لكل منهما ؟

٦ – اذكر عيوب نموذج رذر فورد .

٧ – ما هي فرضيات بوهر وما هي مبرراتها ؟

٨ – اذكر نجاحات نظرية بوهر وما هي إخفاقاتها ؟

٩ – ارسم مخطط مستوى الطاقة لكل من سلاسل ليمان وبالمر وباشن وبراكيت لذرة الهيدروجين .

١٠– احسب طول موجة الضوء المنبعث من ذرة الهيدروجين عندما ينتقل الإلكترون من المستوى المناظر لـ $ن_i = ٤$ إلى المستوى النهائي الموافق لـ $ن_f = ٢$ ، علماً بأن ثابت ريدبيرج $R_H = ١٠٩٦٧٧,٦$ سم$^{-١}$.

١١– أحسب أقصر الأطوال الموجية وأطولها في سلسلة باشن مع العلم أن : $R_H = ١٠٩٦٧٧,٦$ سم$^{-١}$.

١٢– إذا كان أطول الأمواج لسلسلة ليمان هو ١٢١٦ × ١٠$^{-٨}$سم . أوجد قيمة ثابت ريدبيرج R_H .

١٣– إذا كان نصف قطر بوهر (نصف قطر المدار الأول للإلكترون) في ذرة الهيدروجين $نق_١ = ٠,٥٢٨ \times ١٠^{-٨}$سم ، وسرعته على هذا المدار $ع_١ = ٢,٢ \times ١٠^{٨}$ سم/ث ، وطاقته $طا_١ = -١٣,٦$ (أ.ف)، احسب كلاً من نصف قطره ($نق_٥$) وسرعته ($ع_٥$) وطاقته ($طا_٥$) على المدار الخامس.

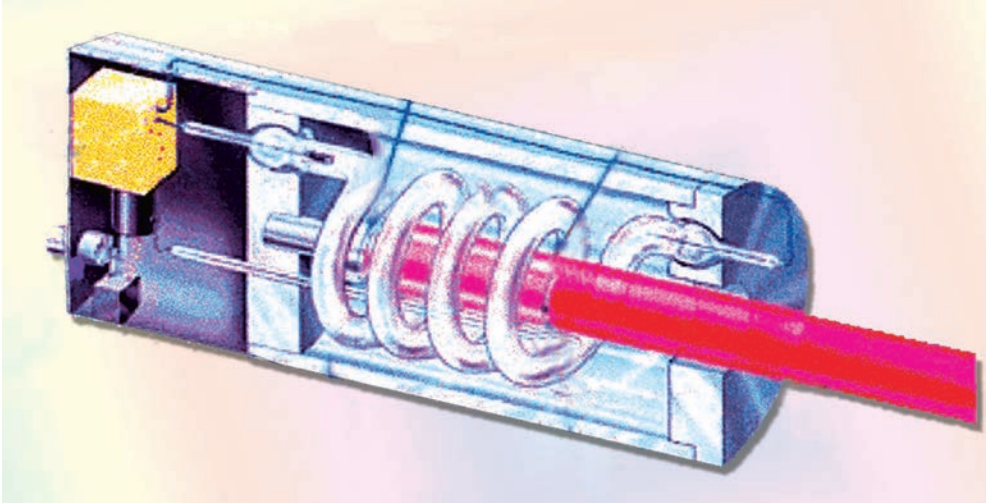
١٤– أثيرت ذرة الهيدروجين بامتصاص شعاع ضوئي طاقته طا = (١٢,٧٥) إلكترون فولت ، وما لبثت أن أطلقته على شكل ضوء ذي أطوال موجبة مختلفة، احسب ما يلي :

- طاقة المستوى المثار ($طا_ن$) .
- العدد الكمي الرئيسي الموافق لهذا المستوى (ن)
- أرسم مخطط طاقة الأطوال الموجية لسلسلة بالمر المنبعثة نتيجة لهذه الإثارة . علماً بأن طاقة المستوى الأرضي ($طا_١$) = -١٣,٦ (أ.ف) و $R_H = ١٠٩٦٧٧,٦$ سم$^{-١}$.

١٥– ارسم المدارات الممكنة في نموذج بوهر – سمرفيلد من أجل ن = ٤ .

الوحدة السادسة

الإشعاع والمادة
Matter and Radiation



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يعرِّف الظاهرة الكهروضوئية ويفسر حدوثها .
٢- يشرح بعضاً من مجالات تطبيقاتها في الحياة العملية .
٣- يعرِّف الأشعة السينية ويذكر كيفية توليدها .
٤- يوضح المقصود بالطيف المميز والطيف المتصل للأشعة السينية ويفسر انبعاث كل منهما .
٥- يشرح بعض مجالات تطبيقاتها في الحياة العملية .
٦- يوضح المبادئ الأساسية لتوليد أشعة الليزر .
٧- يصف تركيب جهاز ليزر الياقوت
٨- يشرح كيفية عمل جهاز ليزر الياقوت .
٩- يوضح بعضاً من استخدامات أشعة الليزر في الحياة العملية .
١٠- يحل مسائل حسابية بسيطة على ما ورد في هذه الوحدة .

سوف يدرس الطالب في هذه الوحدة بعض الظواهر الطبيعية التي هي ناتجة عن تفاعل المادة مع الإشعاع الساقط عليها كالظاهرة الكهروضوئية وتوليد الأشعة السينية وأشعة الليزر وتفسير كل منها . وتعتبر المقدمة التي درسها الطالب في الوحدة الخامسة عن ذرة الهيدروجين وأطيافها عاملاً مساعداً لفهم هذه التفسيرات .

الظاهرة الكهروضوئية Photoelectric Effect

تدعى ظاهرة انبعاث الإلكترونات من سطح فلزي عند تعرضه للضوء بالظاهرة الكهروضوئية . وتسمى الإلكترونات المنبعثة بهذه الطريقة بالإلكترونات الضوئية (Photoelectrons) .

لقد اكتشفت هذه الظاهرة على يد العالم الألماني هنريش هيرتز عام (١٨٨٧م) عندما كان يحاول التأكد من وجود الأمواج الكهرومغناطيسية التي تنبأ بها مكسويل عام ١٨٨٤م . وواصل العلماء فيما بعد البحث والدراسة لهذه الظاهرة ولكن عجزوا في تفسيرها عندما طبقوا مبادئ النظرية الموجيه التقليدية (الكلاسيكية) للضوء . وقد فسرها بنجاح العالم الألماني ألبرت اينشتين عام ١٩٠٥م ، انطلاقاً من نظرية تكميم الطاقة الإشعاعية. ولم يقبل العلماء الفيزيائيون حينها بتفسيره إلاَّ بعد عشر سنوات من ذلك التاريخ وللتعرف على هذه الظاهرة حاول القيام بالنشاط التالي :

نشاط (١)

تحتاج للقيام بهذا النشاط، كشافاً كهربائياً، قطعة من الفراء (أو الصوف)، قضيباً من الأيبونيت (مطاط قاسي)، مصدراً للأشعة فوق البنفسجية (مصباح بخار الزئبق) لوحاً من الزنك ، لوحاً زجاجياً عادياً.

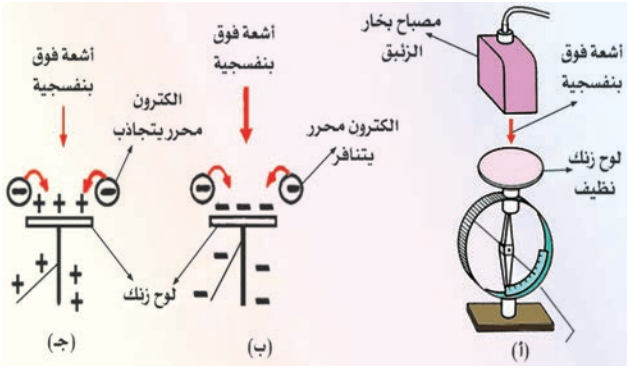
١- ثبت لوح الزنك ، بعد تنظيفه ، على قرص الكشاف الكهربائي ، شكل (١أ) .

٢- ادْلِكْ القضيب الأيبونيت بالصوف، فيكتسب القضيب شحنة كهربية سالبة بينما يكتسب الصوف شحنة موجبة. ثم اشحن لوح الزنك بشحنه سالبة بالتماس مع قضيب الأيبونيت فتنفرج ورقتي الكشاف لأنهما شُحنتا بنفس نوع الشحنة.

٣- اسقط الأشعة فوق البنفسجية على لوح الزنك وراقب ورقتي الكشاف ماذا تلاحظ ؟ هل يقل انفراجهما ؟ على ماذا يدل انطباقهما ؟ ماذا تستنتج ؟ انظر الشكل (١ ب) .

٤- ضع لوح الزجاج على لوح الزنك وراقب ورقتي الكشاف، ماذا تلاحظ إعط تفسيراً لملاحظاتك ؟

٥- اشحن لوح الزنك بشحنة موجبة وكرر نفس الخطوات السابقة



شكل (١)

وراقب ورقتي الكشاف الكهربائي هل يظل انفراجها ثابتاً ؟ علامَ يدل عدم انطباقهما ؟ ماذا تستنتج من ذلك؟ انظر الشكل (١ جـ) .

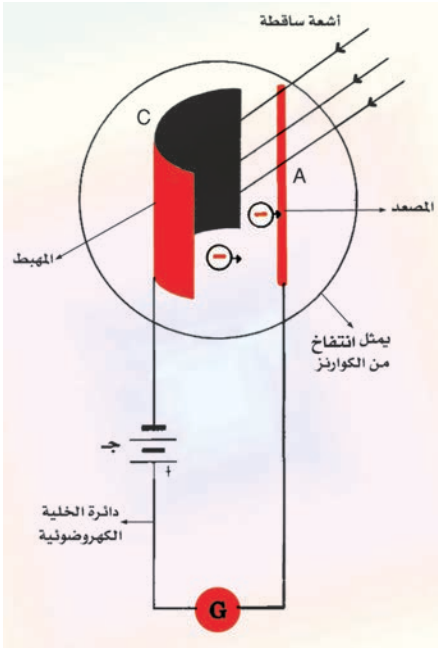
ملخص الاستنتاجات :

- في حالة إذا كان لوح الزنك مشحوناً بشحنة سالبة فإن إنفراج ورقتي الكشاف الكهربائي يقل ثم تنطبقان على بعضهما ، والسبب هو أنه عندما يسقط الضوء على سطح معدن الزنك تنطلق منه الإلكترونات سالبة الشحنة (الإلكترونات الضوئية) تؤدي إلى ظهور شحنات موجبة على سطحه تتعادل مع الشحنات السالبة التي شحُن بها معدن الزنك مع ورقتي الكشاف .
- أما إذا شحُن سطح الزنك بشحنة موجبة فإن شحنته تزداد إيجابية عند سقود الضوء عليه مما يبقي ورقتي الكشاف على انفراجهما .
- وإذا وضع لوح زجاجي على سطح معدن الزنك فإن اللوح الزجاجي يمتص الأشعة فوق البنفسجية الساقطة عليه، ويمنعها من الوصول الى سطح معدن الزنك، الأمر الذي يمنع حدوث الظاهرة الكهروضوئية .

الخلية الكهروضوئية :

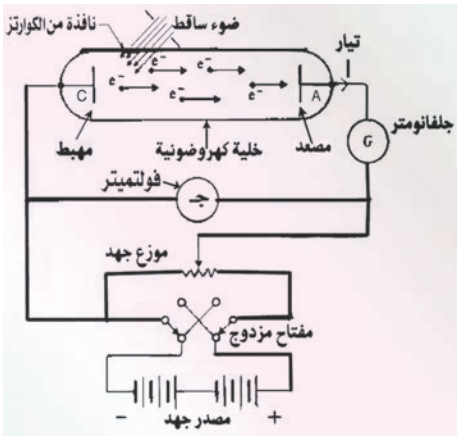
هناك أنواع عديدة من الخلايا الكهروضوئية ، ومنها ما هو مبين في الشكل (٢) . وتتكون من أنبوب أو انتفاخ من الكوارتز مفرغ من الهواء (لماذا ؟) ويحوى داخله صفيحة معدنية مقعرة حساسة للضوء تدعى المهبط (C) . هذه الصفيحة تكون باعثة للإلكترونات الضوئية عند سقوط ضوء عليها بتردد مناسب ، يقابلها قضيب معدني رفيع (حتى لا يحجب الضوء الساقط على المهبط) يُوضع في مركز تكور الصفيحة المقعرة (لماذا ؟) ويدعى المصعد (A) .

ويكون مجمعاً للإلكترونات المنبعثة من صفيحة المهبط. هذا الجهاز يسمى بالخلية الكهروضوئية. إذا وصل مصعد الخلية (A) على التوالي، مع جلفانو متر (G) وبالقطب الموجب لمصدر جهد كهربائي (جـ) (بطارية) ثم ربط القطب السالب للجهد بمهبط الخلية (C) ، فإن هذه الدائرة تسمى بدائرة الخلية الكهروضوئية شكل (٢) .



شكل (٢)

عندما يُسلط ضوء بتردد مناسب على صفيحة المهبط (C) يؤدي ذلك إلى انبعاث إلكترونات ضوئية يلتقطها المصعد الموجب (A)، وبالتالي إلى مرور تيار بدائرة الخلية يدل عليه انحراف مؤشر الجلفانومتر (G). أما إذا حجب سقوط الضوء عن صفيحة المهبط فستلاحظ عدم انحراف مؤشر الجلفانومتر مما يدل على عدم مرور تيار كهربائي بدائرة الخلية وذلك بسبب توقف انبعاث الإلكترونات من سطح المهبط .



شكل (٣)

تجربة مليكان لدراسة الظاهرة الكهروضوئية :

لقد قام العالم الامريكي روبرت مليكان عام ١٩١٦م بدراسة تجريبية وافية للظاهرة الكهروضوئية وتحقق من تفسير إينشتين لها. ويبين الشكل (٣) مخطط الجهاز الذي استخدمه لدراسة هذه الظاهرة. وتظهر على جدار الأنبوب الزجاجي للجهاز نافذة من الكوارتز يتم إسقاط الضوء من خلالها لأن الزجاج العادي يمتص الأشعة فوق البنفسجية بينما يسمح الكوارتز بمرورها.

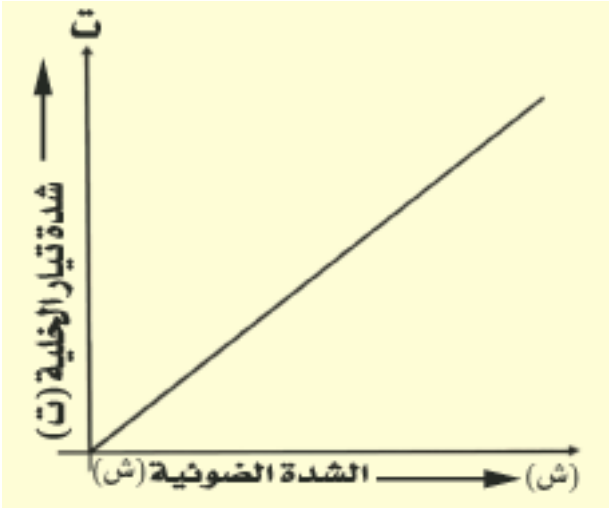
خطوات التجربة ونتائجها :

١ – دراسة العلاقة بين شدة تيار الخلية (ت) وشدة الضوء الساقط (ش) :

يُثبت فرق الجهد (جـ) بين المهبط (C) والمصعد (A) وكذلك تردد الضوء (باستخدام مرشح ضوئي معين)، أي أن يكون الضوء الساقط على المهبط وحيد اللون . فإذا تغيرت الشدة الضوئية الساقطة (ش) – وذلك بجعل المصدر الضوئي (المصباح) على مسافات مختلفة من سطح المهبط – وجد بأن شدة تيار الخلية الكهروضوئية (ت) تزداد طردياً مع زيادة الشدة الضوئية (ش) الساقطة على الخلية . والشكل (٤) يبين هذا التناسب .

٢ – دراسة العلاقة بين شدة التيار (ت) وفرق الجهد (جـ) :

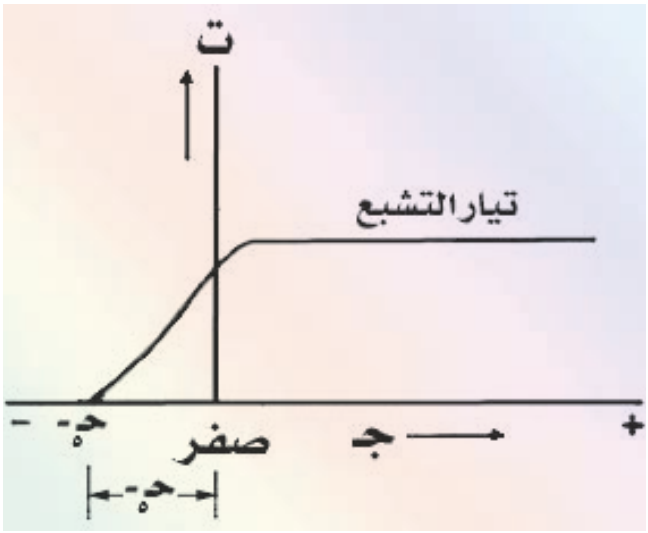
يثبت تردد الضوء الساقط (f) ، وكذلك شدته الضوئية (ش) ، وذلك بوضع المصدر الضوئي على بعد ثابت من مهبط الخلية الكهروضوئية ، وتدرس العلاقة بين فرق



شكل (٤)

جهد (جـ) الخلية الكهروضوئية وشدة تيارها (ت) . فعندما يسقط الضوء على السطح المعدني للمهبط (C) تنبعث الإلكترونات الضوئية منه ، وإذا كان جهد المصعد (A) موجباً بالنسبة للمهبط (C) فإن الإلكترونات المنبعثة من المهبط تنطلق نحو المصعد الموجب مسببة بذلك مرور تيار كهربائي (ت) يدل على مقدار شدته انحراف مؤشر الجلفانومتر . وتزداد شدة التيار (ت) بازدياد فرق الجهد (جـ) حتى تصل شدة التيار إلى قيمة ثابتة لا تتغير بعدها مهما زاد جهد المصعد، لأن المجال الكهربائي بين المصعد والمهبط يصبح كافياً لجذب كل الإلكترونات المنبعثة من المهبط،

فأي زيادة في جهد المصعد لا تؤدي إلى وصول مزيد من الإلكترونات إلى المصعد تسمى قيمة التيار عندها بتيار التشبع. وإذا قللنا فرق الجهد بين المصعد والمهبط حتى الصفر تنخفض شدة التيار بالتدريج ولكنها لا تنعدم عندما يكون فرق الجهد صفراً، انظر الشكل (٥).



شكل (٥)

ويعني ذلك أن الضوء الساقط على المهبط لا يكتفي بنزع الإلكترون من سطح المعدن فحسب، بل ويمد بعضها (بالإضافة إلى نزعها) بطاقة حركية تمكنها من الوصول إلى المصعد. وعندما يعكس توصيل موزع الجهد بواسطة المفتاح المزدوج في شكل (٣) بحيث يتصل المهبط بالقطب الموجب لموزع الجهد والمصعد بالقطب السالب، تلاحظ تناقص شدة التيار بزيادة فرق الجهد السالب (جـ) بسبب تنافر الإلكترونات المنطلقة من المهبط مع المصعد السالب، ولا تصل إليه إلا تلك الإلكترونات التي طاقتها الحركية ($\frac{١}{٢}$ ك$_e$ ع$_e^{٢}$) أكبر من الطاقة الكهربية جـ س$_e$ (حيث ع$_e$ سرعة الإلكترون، ك$_e$ كتلته و س$_e$ شحنته). وعندما يصبح فرق الجهد السالب قادراً على منع أسرع هذه الإلكترونات من الوصول إلى المصعد تنعدم شدة التيار المار في دائرة الخلية ، ويسمى عندئذ هذا الجهد (جـ) بجهد الإيقاف ونرمز له بالرمز (جـ$_o$) . وتكون الطاقة الكهربية المناظرة لهذا الجهد(جـ$_o$ س$_e$)مساوية للطاقة الحركية ($\frac{١}{٢}$ ك$_e$ ع$_e^{٢}$) لأسرع الإلكترونات.

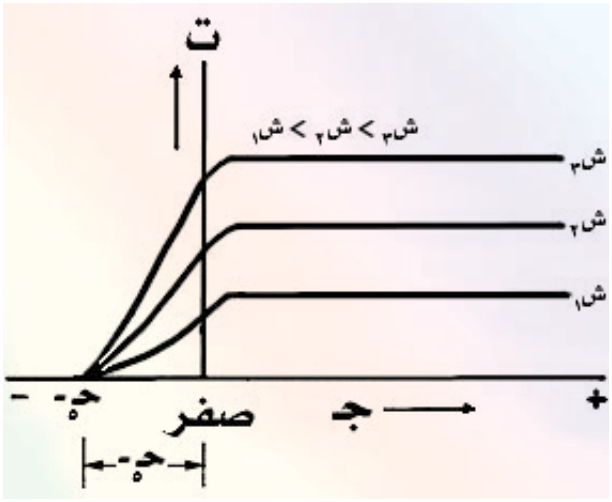
وهي الطاقة العظمى (طاع) لحركة الإلكترونات . أي إن :

$$\text{طاع} = \frac{١}{٢} \text{ك}_e \text{ع}_e^{٢} = \text{جـ}_o \text{س}_e \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (١)$$

من هذه العلاقة يمكن تعيين سرعة وطاقة حركة أسرع الإلكترونات وتسمى العلاقة البيانية في الشكل (٥) بين فرق جهد الخلية وشدة تيارها (ت) من أجل شدة ضوئية معينة (ش) بالمنحنى المميز للخلية .

٣ – دراسة علاقة جهد الإيقاف (جـ$_{0}$) بشدة الضوء الساقط على الخلية (ش) :

إذا استخدم نفس الضوء ولكن أسقطناه بثلاث شدات مختلفة (كأن نجعل المصباح الضوئي على مسافات مختلفة من المهبط) نحصل على نفس جهد الإيقاف (جـ$_{0}$) ولكن بتيارات تشبع مختلفة تتناسب قيمة كل منها مع الشدة الضوئية الساقطة ، انظر الشكل (٦) .

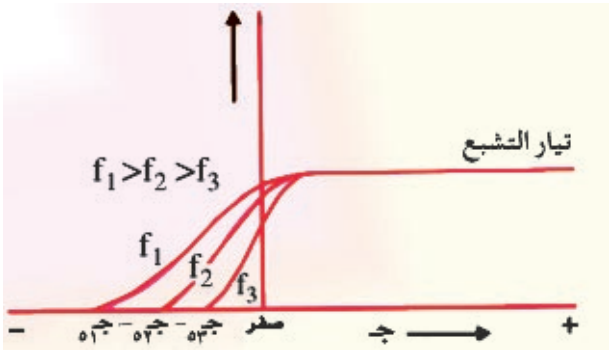


شكل (٦)

وهذا يعني أن القيمة العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المهبط لا تتعلق بالشدة الضوئية كما يوضحه الشكل(٦) والمعادلة (١) .

٤ – دراسة علاقة تردد الضوء الساقط بجهد الإيقاف (جـ$_{0}$) :

إذا ثبتت الشدة الضوئية تتعلق القيمة العظمى للطاقة الحركية للإلكترونات المنبعثة بتردد الضوء الساقط، ويتضح ذلك من الشكل(٧) الذي يبين أن جهد الإيقاف(جـ$_{0}$) يختلف باختلاف تردد الضوء الساقط وبالتالي الطاقة الحركية



شكل (٧)

للإلكترون المحرر المعطاة بالمعادلة (١) ، بالرغم من ثبات الشدة الضوئية للأضواء المختلفة التي لها بالنتيجة نفس تيار التشبع .

٥- وجد أنه لكي تنبعث الإلكترونات من سطح معدني معين، ينبغي أن يكون تردد الضوء الساقط (f) على ذلك السطح أكبر أو يساوى قيمة معينة (f_o) لا تقل عن حد معين يسمى بالتردد الحرج (Threshold Frequency) .

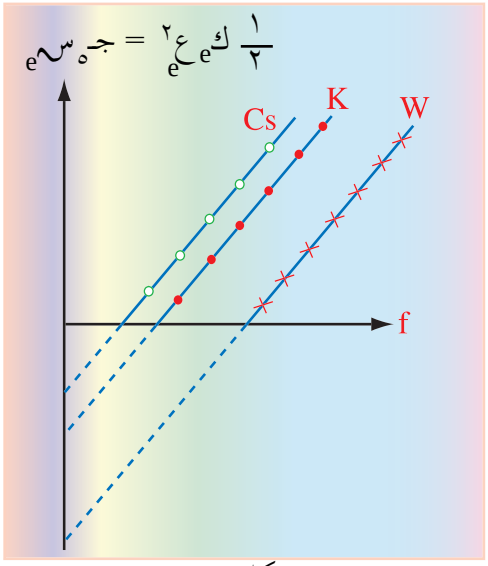
٦- لوحظ إن الإلكترونات تنبعث لحظياً تقريباً خلال أقل من $١٠^{-٩}$ من الثانية بعد سقوط الضوء على السطح، أي إن الفاصل الزمني بين سقوط الضوء على سطح المهبط وانبعاث الإلكترونات منه صغيراً جداً يمكن إهماله .

٧ - دراسة العلاقة بين الطاقة الحركية للإلكترون المحرر وتردد الضوء الساقط :

تدل التجربة على وجود علاقة خطية بين الطاقة الحركية العظمى $\left[\frac{١}{٢} ك_e ع_e^{٢}\right]$ للإلكترونات المنبعثة وتردد الضوء الساقط (f) كما يبينها الشكل (٨) الذي تظهر فيه ثلاثة منحنيات مستقيمة لثلاثة سطوح معدنية مختلفة وهي السيزيوم (Cs) والبوتاسيوم (K) والتنجستن (W)، ويُعبر رياضياً عن هذه المنحنيات التجريبية بالمعادلة التالية :

$$\frac{١}{٢} ك_e ع_e^{٢} = hf - w_o \quad . . . \quad (٢)$$

حيث (h) ثابت بلانك ويساوي ميل الخط المستقيم وهو نفسه للسطوح الثلاثة، بينما w_o مقدار ثابت يختلف باختلاف معدن السطح ويقطع الجزء السالب لمحور الطاقة، ويسمى دالة الشغل، وهو أقل طاقة لازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن (دون إعطائه طاقة حركية) .



شكل (٨)

التفسير التقليدي (الكلاسيكي) للظاهرة الكهروضوئية

يتوافق تنبؤ النظرية التقليدية مع النتيجة الأولى (١) للتجربة وهي أن شدة تيار

الخلية الكهروضوئية يتناسب طردياً مع الشدة الضوئية ولكن بقيةتنبؤاتها تتناقض مع النتائج التجريبية الأخرى .

بالنسبة لنتائج التجربة (٢) ، (٣) ، (٤) تتوقع النظرية التقليدية أن تزداد الطاقة الحركية للإلكترونات المنطلقة من المهبط مع زيادة شدة الحزمة الضوئية وليس مع زيادة ترددها ، أي إن الطاقة الحركية للإلكترونات المحررة من سطح المهبط تتناسب طردياً مع الشدة الضوئية وليس مع ترددها وهذا مخالف للنتائج التجريبية .

وبالنسبة للنتيجتين (٥) و (٦) لا تعترف النظرية التقليدية بالتردد الحرج أو بالانبعاث اللحظي وتتوقع أن يحدث انبعاث للإلكترونات عند أي تردد. وتعتقد بأنه إذا كانت الشدة الضوئية الساقطة ضعيفة، فإن إلكترونات سطح المعدن تحتاج الى وقت أطول لتمتص الطاقة الكافية وبشكل مستمر حتى تتمكن من الإفلات من سطح المهبط وهذا مخالف للواقع التجريبي، إذْ إن انبعاث الإلكترونات يحدث لحظياً أي لحظة سقوط الضوء على سطح المهبط ومن أجل تردد معين. أما النتيجة (٧) للتجربة فلا تتنبأ بها النظرية التقليدية.

تفسير إينشتين (النظرية الكمية)

في عام ١٩٠٥م أعطى إينشتين التفسير الصحيح للظاهرة الكهروضوئية ، وذلك بتبنيه فرضية بلانك في التكميم وتطبيقها على الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الأخذ بنظرية جسيمات الموجات (الطبيعة المزدوجة للضوء) . وبذلك التفسير استحق اينشتين جائزة نوبل عام ١٩٢١م .

افترض إينشتين أن الإشعاع الكهرومغناطيسي (الضوء) ذا التردد (f) الساقط على سطح فلزي يحوي رزم (كمات) صغيرة من الطاقة تدعى الفوتونات كل منها ذو طاقة مقدارها (hf) . وأن الإلكترونات المنبعثة من السطح غالباً ما تنسجم مع النظرية الجسيمية للضوء ، بفرض أنه يحدث تفاعل (تصادم) واحد لواحد بين جسيمات الإلكترونات وجسيمات الفوتونات الساقطة عليه حيث يُفنى الفوتون بعد أن يعطى كل طاقته للإلكترون .

وإذا امتص الإلكترون فوتوناً من الطاقة أي كمّاً (quantum)من الطاقة مقداره (hf) وكان تردد الضوء الساقط (f) أصغر من التردد الحرج (f_o)، فإن طاقة الفوتون لاتكفي لانتزاع الإلكترون من سطح الفلز . وعندما يكون تردد الضوء الساقط يساوي

التـردد الـحـرج (f_o) فـإن طاقـة الفـوتون (hf_o) في هذه الـحـالـة تكون كـافـيـة فـقط لـتحرير الإلكترون من طاقة ربطة بالمعدن دون أكسابه طاقة حركية .

أما إذا كان تردد الضوء الساقط (f) أكبر من التردد الحرج (f_o) فإن طاقة الفوتون (hf)، التي امتصها الإلكترون ، يستخدم جزءاً منها يساوي (hf_o) لتحرير الإلكترون من طاقة ربطة بالمعدن وتدعى دالة شغل الفلز وهي مقدار ثابت للفلز الواحد ويرمز لها بالرمز (w_o)، بينما بقية الطاقة والتي تساوي (hf_o - hf) تظهر على شكل طاقة حركية ($\frac{١}{٢}$ ك$_e$ ع$_e^{٢}$) للإلكترون أي إن :

$$\text{طا}_{ع} = \frac{١}{٢}\text{ك}_e\,\text{ع}_e^{٢} = hf - w_o \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (٣)$$

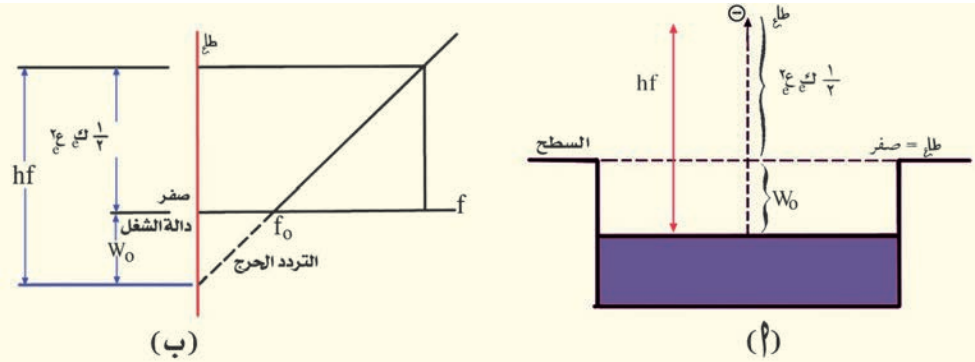
تدعى هذه المعادلة بمعادلة إينشتين وهي نفس المعادلة التجريبية (٢) حيث $w_o = hf_o$ و h ثابت بلانك والذي يمثل ميل المنحنيات المستقيمة المتوازية للسطوح الفلزية الثلاثة الممثلة في الشكل (٨). ويعطي الجدول (١) دالة الشغل لعدد من العناصر الفلزية :

جدول (١)

العنصر	دالة الشغل $w_o = hf_o$ (بالإلكترون فولت)
البوتاسيوم	٢,٠
الصوديوم	٢,٤٦
الألمنيوم	٤,٠٨
النحاس	٤,٧
الزنك	٤,٣١
الرصاص	٤,١٤
الحديد	٤,٥

كما يوضح الشكلان (٩ أ و ٩ب) العلاقة بين الكميات الثلاث :

(دالة الشغل ، طاقة حركة الإلكترون المنبعث ، طاقة الضوء الساقط)



شكل (٩)

لقد أعطت نظرية إينشتين تفسيراً للنتائج التجريبية (٢ ، ٣ ، ٤ ، ٥ ، ٦ ، ٧) أما تفسير النتيجة (١) فيأتي من تعريف الشدة الضوئية (ش) التي هي عبارة عن عدد الفوتونات الساقطة عمودياً على وحدة المساحات في وحدة الزمن. إن التفاعل بين الفوتونات والإلكترونات هو واحد لواحد فإن الزيادة في الشدة الضوئية يعني الزيادة في عدد الفوتونات الساقطة على السطح الذي يؤدي إلى زيادة عدد الإلكترونات المحررة من سطح الفلز وبالتالي إلى زيادة شدة تيار الخلية الكهروضوئية، وهذا تفسيرٌ للنتيجة الأولى (١).

أما طاقة الإلكترون المحرر من سطح الفلز فتتعلق بتردد الضوء الساقط (f)، أي بطاقة الفوتون (hf) التي يمتصها الإلكترون وليس بعدد الفوتونات الساقطة على السطح أي ليس بالشدة الضوئية ثم إن طاقة الفوتون إما أن تكون كافية لاقتلاع الإلكترون من سطح الفلز فيمتصها الإلكترون وينبعث فوراً أو أن لا يمتصها إذا كانت غير كافية لاقتلاعه من سطح الفلز ، أي إذا كانت أقل من دالة الشغل (w_0) . في هذه الحالة لا يمكن أن يكون هناك انبعاث للإلكترونات على الإطلاق مهما كانت الشدة الضوئية الساقطة على سطح المعدن (نظرية تكميم الطاقة). فانبعاث الإلكترونات، إذن، إما أن يكون لحظياً أو أن لا يكون مطلقاً فليس هناك فاصل زمني بين امتصاص الإلكترون لطاقة الفوتون وانبعاثه من سطح الفلز وهذا ما تخالفه النظرية التقليدية.

مثال (١)

أسقطت حزمة ضوئية طول موجتها λ = ٥٨٩٣ أنجستروم ($\mathring{A}$)على سطح مهبط من عنصر البوتاسيوم لخلية كهروضوئية . فإذا كان مقدار جهد الإيقاف (جـ$_0$) للإلكترونات المنبعثة هو ٠,٣٦ فولت فاحسب ما يلي :

أ) الطاقة الحركية العظمى للإلكترونات المنبعثة. ب) دالة الشغل للبوتاسيوم (w_0) .

جـ) التردد الحرج (f_0) .

علماً بأن قيم شحنة الإلكترون ($شe$) وسرعة الضوء ($ع_{ض}$) وثابت بلانك (h) هي على التوالي :

$شe = ١٫٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم ، $ع_{ض} = ٣ \times ١٠^{٨}$ م/ث ، $h = ٦٫٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤}$ جول .ث

(حيث إن الإلكترون فولت=$١٫٦ \times ١٠^{-١٩}$جول)

الحـــل :

المعطيات : $جـ_{ص} = ٠٫٣٦$ فولت ، $\lambda = ٥٨٩٣$ Å $= ٥٨٩٣ \times ١٠^{-١٠}$متر

أ) ∵ $طاع = \frac{١}{٢} ك_e ع_e^{٢} = جـ_{ص} شe$

∴ $طاع = ٠٫٣٦ \times ١٫٦ \times ١٠^{-١٩} = ٠٫٥٧٦ \times ١٠^{-١٩}$ جول

$= ٠٫٣٦$ إ. ف حيث ١ (إ .ف) $= ١٫٦ \times ١٠^{-١٩}$جول

ب) ∵ $طاع = w_o - hf$

∴ $w_o = hf - طاع = \frac{h ع_{ض}}{\lambda} - طاع$ حيث $f = \frac{ع_{ض}}{\lambda}$

∴ $w_o = \frac{(٣ \times ١٠^{٨}) \times (٦٫٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤})}{(٥٨٩٣ \times ١٠^{-١٠})} - ٠٫٥٧٦ \times ١٠^{-١٩}$

$= ٣٫٣٧٣ \times ١٠^{-١٩} - ٠٫٥٧٦ \times ١٠^{-١٩} = ٢٫٧٩٧ \times ١٠^{-١٩}$ جول

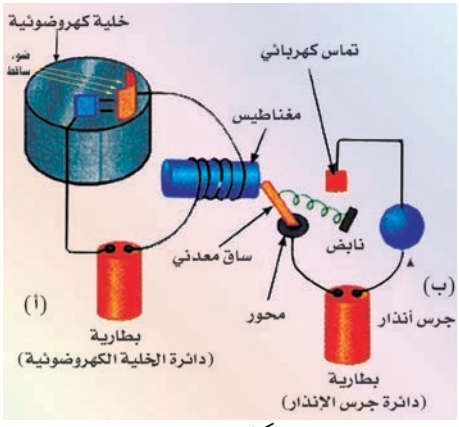
$= ١٫٧٥$ (إ. ف)

جـ) ∵ $w_o = h f_o$

∴ $f_o = \frac{w_o}{h} = \frac{٢٫٧٩٧ \times ١٠^{-١٩}}{٦٫٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤}} = ٤٫٢٢ \times ١٠^{١٤}$هيرتز .

استخدامات الخلية الكهروضوئية :

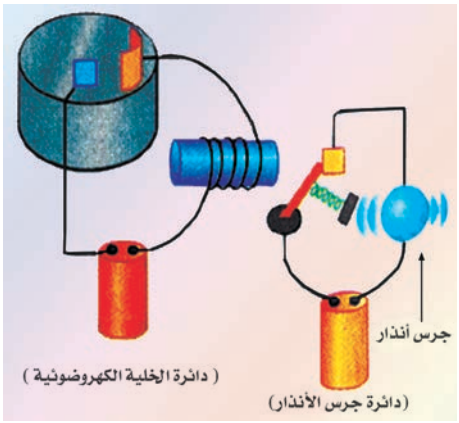
يستفاد من دائرة الخلية الكهروضوئية في كثير من الاستخدامات العملية فهي تستخدم بشكل رئيسي كمفتاح ضمن دائرتها لدائرة كهربية أخرى. فعلى سبيل المثال – دائرة جرس الإنذار ضد اللصوص كما هو مبين مخططها في الشكل(١٠) حيث توجد دائرتان : دائرة الخلية الكهروضوئية تحوى خلية كهروضوئية، بطارية، ومغناطيس كهربائي، شكل (١٠ أ)، والدائرة الثانية هي دائرة جرس الإنذار وتتكون من ساق معدني يتحرك حول محور ثابت مربوط بنابض حلزوني، بطارية، جرس إنذار وتماس كهربائي شكل(١٠ ب).



شكل (١٠)

تضاء عادة الخلية الكهروضوئية في أجهزة أجراس الإنذار بحزمة ضوئية غير مرئية من الأشعة فوق البنفسجية التي تؤدي إلى نشوء تيار كهربائي في دائرة الخلية، ينتج عنه تمغنط المغناطيس الكهربائي الذي بدوره يجذب إليه الساق المعدنية للدائرة الثانية، دائرة جرس الإنذار، فيؤدي إلى فتحها شكل (١٠ب).

وعند اعتراض جسم أو شخص طريق الأشعة ينعدم تيار الخلية الكهروضوئية وبالتالي يزول تمغنط المغناطيس ويصبح من السهل على النابض الحلزوني جذب الساق المعدنية من المغنطيس إلى التماس الكهربائي في دائرة الجرس كما هو مبين في الشكل (١١) مما يؤدي إلى إغلاقها وإصدار صوت للجرس .



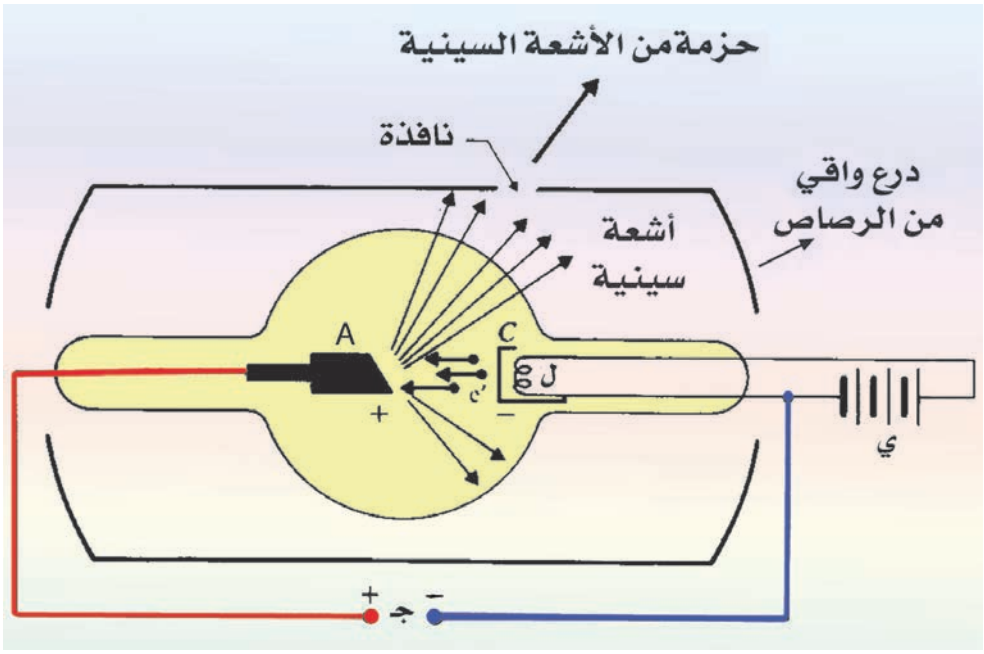
شكل (١١)

ومن الاستخدامات الأخرى للخلية الكهروضوئية ، مقياس شدة الإضاءة في آلات التصوير ، وفتح الأبواب تلقائياً في الفنادق والمستشفات الكبيرة وغيرها من البنايات الحديثة ، وكذلك إضاءة أنوار الشوارع بطريقة آلية عند غروب الشمس ، وإطفاؤها عند الشروق .

الأشـعة السينيـة :

اكتشف العالم الألماني رونتجن بطريق الصدفة عام ١٨٩٥م أنه عندما تصطدم حزمة من الإلكترونات – أو من أية جسيمات مشحونة ذات طاقة حركية كبيرة– بسطح فلزي ثقيل موجود داخل أنبوب مفرغ من الهواء ، فإنه تنبعث من الفلز أشعة ذات طاقة عالية (تردد كبير، وطول موجي قصير) . وكانت طبيعة هذه الأشعة في البداية غير معروفة فأطلق عليها العالم رونتجن اسم الأشعة السينية مثلما يستخدم الرمز (س) لتمثيل أي مجهول في الجبر . ونحن نعلم الآن بأنها عبارة عن إشعاع كهرومغناطيسي أطوال موجاته تتراوح بين (١٫٠–١٠٠) أنجستروم .

يتم توليد الأشعة السينية في المختبر بواسطة أنبوب زجاجي مفرغ من الهواء تقريباً يسمى أنبوب الأشعة السينية، ويحوي هذا الأنبوب عند أحد طرفيه مهبطاً (C) باعثاً للإلكترونات يسخن بشكل غير مباشر بواسطة فتيل (ل) موصل ببطارية (ي) . وفي طرفه الآخر مصعد (A) من فلز ثقيل صلب مثل (عنصر التنجستن) . يطبق بين طرفي الأنبوب فرق جهد (جـ) عال تتراوح قيمته بين ($١٠^{٣}$– $١٠^{٦}$) فولت، كما هو مبين في الشكل (١٢) .



شكل (١٢)

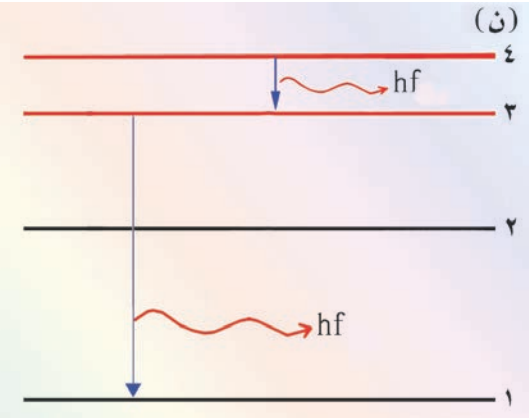
تعجل الإلكترونات المنبعثة من المهبط (C) عبر الأنبوب المفرغ بواسطة فرق الجهد العالي(جـ) المطبق بين طرفيه، وتصطدم بالهدف (مادة المصعد (A)) بسرعة عالية ($ع_e$) ، وينتج عن هذا التصادم انبعاث إشعاع ذي ترددات عالية في كل الاتجاهات يُسمى بالأشعة السينية .

هذه الأشعة ذات نفاذيه كبيرة ، بسبب طاقتها العالية ، فهي خطرة على الصحة ولهذا يحاط عادة أنبوب الأشعة السينية بدرع واقٍ من الرصاص لحماية الباحثين أو العاملين من التعرض لهذه الأشعة . وتُوَّجه الحزمة المطلوبة من هذه الأشعة بدقة من خلال نافذة صغيرة على هذا الدرع . انظر الشكل (١٢) .

تفسير سبب انبعاث الأشعة السينية:

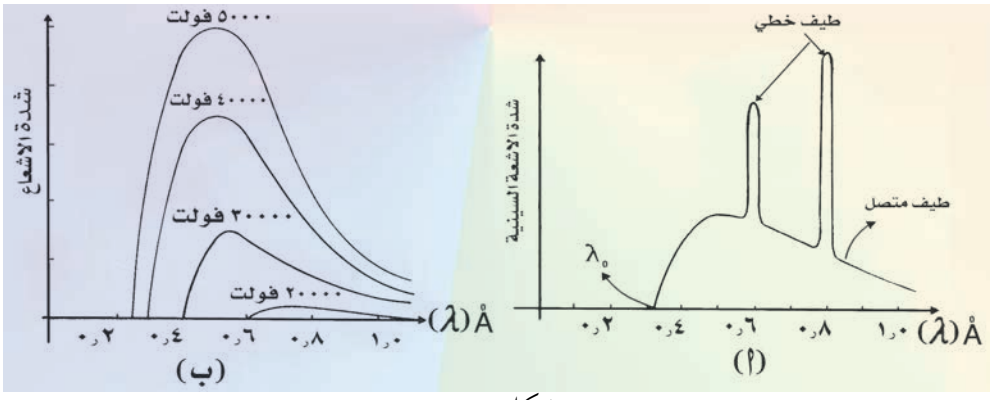
يمكن تفسير انبعاث الأشعة السينية بالاعتماد على نموذج بوهر الذري، إذ تتفاعل الإلكترونات المصطدمة بالهدف مع مادته ويحدث أحد الاحتمالين أو كلاهما .

الاحتمال الأول : تنفذ بعض الإلكترونات ذات الطاقة العالية داخل ذرات مادة الهدف مخترقة مداراتها الإلكترونية فتصطدم بأحد إلكتروناتها الداخلية، أي بأحد مستويات الطاقة القريبة من النواة (المناظرة لـ ن = ١ مثلاً)، فيؤدي ذلك إلى اقتلاعه من مستوى الطاقة الخاص به تاركاً وراءه فراغاً ، ما يلبث أن يقفز إليه إلكترون آخر من مستويات الطاقة العليا (البعيدة عن النواة وليكن ن = ٣) ليملأ هذا الفراغ وينتج عن ذلك إشعاع تردده f وطاقته (hf) تساوي الفرق بين طاقتي المستويين اللذين انتقل بينهما الإلكترون . وهذا الإلكترون الأخير يترك بدوره فراغاً عند انتقاله يقفز إليه إلكترون آخر من مستوى طاقة أعلى وليكن ن = ٤ يصاحب هذا الانتقال إشعاع تردده f وطاقته (hf) تساوي الفرق بين طاقتي المستويين اللذين انتقل بينهما الإلكترون أنظر الشكل (١٣) . وتكون الأشعة السينية المتولدة عن هذه الانتقالات عبارة عن طيف خطي ذات أطوال موجية محددة تختلف باختلاف مادة الهدف



شكل (١٣)

وتكون مميزة لمادته لأن لكل عنصر مستويات طاقة خاصة به. ولهذا تسمى هذه الإشعاعات بالأشعة السينية المميزة، أنظر الشكل (١٤ أ). حيث يظهر عليه الطيف الخطي المميز لعنصر التنجستن.



شكل (١٤)

الاحتمال الثاني : بعض الإلكترونات المعجلة (المتسارعة) تواصل سيرها داخل ذرات الهدف دون الاصطدام بإلكتروناتها، ولكنها تتأثر بمجالها الكهربائي فتتباطأ وتتناقص سرعتها نتيجة لتنافرها مع إلكترونات ذرات الهدف، فتقل طاقتها الحركية بشكل مستمر، ويظهر النقص في طاقتها على شكل إشعاع تردده يتناقص باستمرار مع استمرار تباطؤ الحركة فينتج عن ذلك إشعاع ذو طيف متصل يحوي جميع الترددات (أي جميع الأطوال الموجية)، انظر الشكل (١٤ ب). وقد يفقد الإلكترون المقذوف كل طاقته الحركية($\frac{١}{٢}$ ك$_e$ ع$_e^{٢}$) دفعة واحدة وعندئذٍ تكون طاقة الإشعاع المنبعث (hf) ذي التردد (f) مساوية تماماً للطاقة الحركية التي فقدها الإلكترون أي إن :

$$hf = \frac{١}{٢} ك_e ع_e^{٢} \quad . . . . . (٤)$$

وبما أن : $\frac{١}{٢} ك_e ع_e^{٢} = جـ س_e$ . . . . . (٥)

حيث جـ هو فرق الجهد المطبق بين طرفي أنبوبة الأشعة السينية ،س$_e$ هي شحنة الإلكترون

فمن العلاقتين (٤) ، (٥) نجد أن :

$$hf = جـ س_e \quad . . . . . (٦)$$

$$\therefore f = (\frac{س_e}{h}) جـ \quad . . . . . (٧)$$

حيث f هو أكبر تردد لطيف الأشعة السينية المنبعثة .

وحيث أن : $f = \frac{ع_{ض}}{\lambda}$ إذاً بالتعويض في العلاقة (٦) نجد أن :

$$\frac{١}{جـ}\left[\frac{h_{ع_{ض}}}{e_{س}}\right] = \frac{h_{ع_{ض}}}{e_{س}\,جـ} = \lambda \quad . . . . . \quad (٨)$$

حيث (λ) هو أقصر طول موجي للطيف المتصل للأشعة السينية المنبعثة .

نلاحظ من هالعلاقتين (٧)،(٨) أن طول موجة الإشعاع المنبعث (λ) أو تردده (f) يعتمد على فرق الجهد (جـ) المطبق بين طرفي أنبوب الأشعة السينية وليس على مادة الهدف . والشكل (١٤ب) يمثل الطيف المتصل لعنصر التنجستن من أجل فروق جهد مختلفة .

ملاحظة :

عرفت أن الطيف المتصل للأشعة السينية ناتج عن الإشعاع الذي يبعثه الإلكترون المقذوف بسبب تباطؤه (أي تناقص عجلته) ولذلك لا يمكن أن يكون هناك إشعاع منبعث طاقته أكبر من طاقة الإلكترون المقذوف .

ولهذا لا يبدأ انبعاث الأشعة السينية إلا ابتداء من طول موجي معين وهو أقصر الأطوال الموجية لطيف الأشعة السينية المتصل(λ)، أي من تردد معين طاقته الإشعاعية أصغر من أو تساوي طاقة الإلكترون المقذوف، انظر الشكل(١٤أ) ويمكن أن يحسب من العلاقة (٧) .

مثال (٢)

احسب فرق الجهد (جـ) الذي يجب أن يتعجل به إلكترون في أنبوب الأشعة السينية بحيث يكون أقصر الأطوال الموجية (λ) في طيف الأشعة السينية يساوي واحد أنجستروم ،علماً بأن قيم ثابت بلانك (h) وسرعة الضوء ($ع_{ض}$) وشحنة الإلكترون ($e_{س}$) هي على التوالي :

$h = ٦٫٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤}$ جول.ث ، $ع_{ض} = ٣ \times ١٠^{٨}$ م/ث، $e_{س} = ١٫٦ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم

وإن (واحد) أنجستروم = $١٠^{-١٠}$ (متر)

الحـل :

المعطيات : λ = واحد أنجستروم = $١٠^{-١٠}$ متر

المطلوب : الجهد (جـ) .

إن تردد الإشعاع المنبعث f (أكبر تردد منبعث) يساوي

$$f = \frac{ع_{ض}}{\lambda} = \frac{٣ \times ١٠^{٨} \text{ (م/ث)}}{١٠^{-١٠} \text{ (متر)}} = ٣ \times ١٠^{١٨} \text{ هيرتز}$$

∴ طاقة الإشعاع المنبعث = $hf = ٣ \times ١٠^{١٨} \times ٦,٦٢٥ \times ١٠^{-٣٤}$

$= ١٩,٩ \times ١٠^{-١٦}$ جول

هذه الطاقة لا بد أن تكون مساوية للطاقة الحركية للإلكترون التي تساوي حاصل ضرب فرق الجهد (جـ) في شحنه الإلكترون، أي :

$جـ س_e = hf$ ومنه :

$$جـ = \frac{hf}{س_e} = \frac{١٩,٩ \times ١٠^{-١٦}}{١,٦ \times ١٠^{-١٩}} = ١٢,٤٢ \times ١٠^{٣} \text{ فولت .}$$

مثال (٣)

من أجل إنتاج طول موجي مقداره (١,٣٧٧) أنجستروم من هدف نحاسي في أنبوب الأشعة السينية، يجب أن يطبق فرق جهد بين طرفي الأنبوب مقداره (٩٠٠٠) فولت . احسب النسبة ($h/س_e$) ثم استنتج ثابت بلانك(h) إذا كانت شحنة الإلكترون ($س_e$) = $١,٦٠٢ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم .

الحـل :

المعطيات : $\lambda = ١,٣٧٧ \text{ Å}^{o}$ ، جـ = ٩٠٠٠ فولت .

المطلوب : حساب كل من $h/س_e$ ، h

$$\because \quad \text{جـ} = hf = \text{س}_e$$

$$\therefore \quad \text{س}_e = h / \frac{\text{جـ}}{f} \qquad \ldots\ldots (١)$$

$$\text{ولكن} \quad f = \frac{\text{ع}_{\text{ض}}}{\lambda} \qquad \ldots\ldots (٢)$$

وبتعويض (٢) في (١) نجد أن :

$$\frac{h}{\text{س}_e} = \frac{\lambda \times \text{جـ}}{\text{ع}_{\text{ض}}} = \frac{\text{٣} \times ١٠^{٨} \text{ (متر / ث)}}{\text{٩} \times ١٠^{٣} \text{ (فولت)} \times ١٫٣٧٧ \times ١٠^{-١٠} \text{ (متر)}}$$

$$= \frac{\text{٩} \times ١٫٣٧٧}{\text{٣}} \times ١٠^{-١٥} = ٤٫١٣١ \times ١٠^{-١٥} \text{ فولت . ث}$$

وبما أن شحنة الإلكترون $\text{س}_e = ١٫٦٠٢ \times ١٠^{-١٩}$ كولوم .

$$\therefore \quad h = ١٫٦٠٢ \times ١٠^{-١٩} \text{ (كولوم)} \times ٤٫١٣١ \times ١٠^{-١٥} \text{ (فولت . ث)}$$

$$= ٦٫٦٢ \times ١٠^{-٣٤} \text{ (كولوم × فولت) . ث}$$

$$= ٦٫٦٢ \times ١٠^{-٣٤} \text{ جول . ث}$$

وهذا يوافق أفضل القيم لثابت بلانك وهي ٦٫٦٢٥ × ١٠$^{-٣٤}$ جول . ث

خواص الأشعة السينية واستخداماتها :

١ – الأشعة السينية عبارة عن أشعة كهرومغناطيسية ذات ترددات عالية،(أي ذات طاقة عالية) وطول موجي قصير، فهي تقع في منطقة الطيف غير المرئي من طيف الأمواج الكهرومغناطيسية، انظر الشكل (٤) من الوحدة الخامسة .

٢ – بسبب طاقتها العالية وطولها الموجي القصير فهي ذات نفاذية كبيرة، والمواد ذات الكثافة العالية لها قدرة على أمتصاص هذه الأشعة، ولهذا يستفاد من الأشعة السينية في مجال الطب للكشف عن كسور العظام ووجود الحصوات في الكلية

والمرارة وغيرها من أعضاء الجسم الحيواني .

٣ – تستخدم في مجال الصناعة كدراسة البناء البلوري للعناصر والكشف عن الشقوق في الفلزات كهياكل الطائرات أو الأنابيب المعدنية .

٤ – تستخدم في المطارات للكشف عن وجود الأجسام الصلبة في أمتعة المسافرين دون فتحها .

الليـــزر : Laser

قليل من الاكتشافات التي كان لها وقع خاص عند اكتشافها مثلما كان لاكتشاف الليزر وخاصة في مجال البصريات . والمصطلح ليزر (laser) يمثل الأحرف الأولى للعبارة الإنجليزية التالية :

Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation .

والتي تعني بالعربية تضخيم الضوء بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع .

وقبل عام (١٩١٧م) لا أحد كان يعتقد بأن الضوء يمكن أن يضخم مثلما يضخم الصوت حين طرح اينشتين أفكاره . ولم تلق هذه الأفكار الاهتمام التي تستحقه في الأوساط العلمية في ذلك الوقت . وفي عام ١٩٥٤م ، بدأ تطبيق أفكار إينشتين وذلك بتطوير جهاز لتضخيم الأمواج القصيرة غير المرئية (الميكروويه) سمي بالميزر (Maser) وهذه اللفظة مشتقة من الأحرف الأولى للكلمات الإنجليزية للمصطلح الآتي :

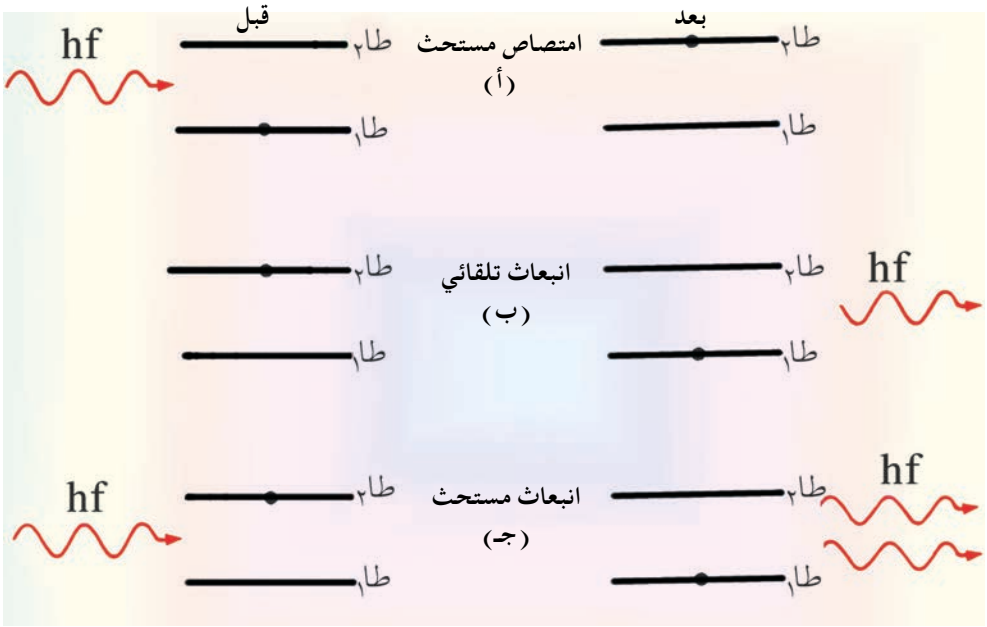
Microwave Amplification by Stimulated Emission of Radiation .

ويعني هذا المصطلح بالعربية : تضخيم الأمواج القصيرة بواسطة الانبعاث المستحث للإشعاع . أما جهاز الليزر فكان يتعلق بالأمواج الضوئية المرئية وقد بدأ تطويره عام ١٩٥٨م . وكان أول جهاز لتوليد أشعة الليزر هو من تصميم العالم الأمريكي ثيودور ميمان عام ١٩٦٠م . الذي استخدم لذلك الغرض بلورة الياقوت . ويوجد في الوقت الحاضر أنواع عدة من الليزرات لمواد الحالة الصلبة – والغازية – والسائلة ، تولد أطوال موجية مختلفة (من تحت الحمراء حتى فوق البنفسجية من ضمنها أشعة الميزر) .

ولفهم عمل أجهزة الليزر لابدلنا أولاً من التعرف على المبادئ الأساسية التي تقوم عليها عملية توليد الأشعة الليزرية .

مبـــــدأ توليد الأشعة الليزرية :

عرفت من دراستك السابقة أن للذرة مستويات طاقة أدناها هو المستوى الأرضي الذي توجد فيه الذرات وهي في حالتها المستقرة العادية . وسبق أن رمزنا للمستوى الأرضي بالرمز طا١ والمستويات التي تليه بالرموز طا٢ ، طا٣ ، طا٤ .. وتسمى هذه المستويات بالمستويات المثارة أو بالحالات المثارة . وتتفاعل الذرة مع الإشعاع الساقط عليها بثلاث عمليات أساسية مبينة في الشكل (١٥) وهي :



شكل (١٥)

١ – الأمتصاص المستحدث : Induced or Stimulated Absorption

ليكن لدينا عينة من الذرات نعتبرها تتميز بمستويين للطاقة للسهولة ، المستوى الأرضي طا١ والمستوى المثار طا٢ . فإذا فرضنا أن فوتونا من الضوء طاقته (hf)= طا٢ – طا١ يسقط على عينة من الذرات وهي في حالتها المستقرة، فإن الذرات تمتص طاقته، وهذا يؤدي إلى انتقال بعض إلكتروناتها من المستوى الأرضي (طا١) إلى المستوى الأعلى (طا٢) ويقال عندئذ أن الذرات انتقلت إلى

المستوى المثار شكل (١٥ أ) . وتسمى هذه العملية بالامتصاص المستحث .

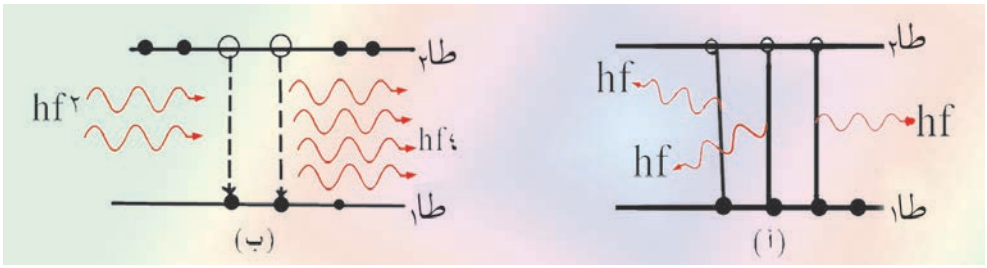
٢- الأنبعاث التلقائي : (Spontaneous Emission)

ولكن سرعان ما تعود الذرات المثارة تلقائياً من المستوى المثار (ط٢) إلى حالتها العادية ويحدث ذلك عندما تعود إلكتروناتها إلى مستواها السابق (ط١) باعثة بالطاقة التي امتصتها على شكل شعاع ضوئي أي فوتون له نفس تردد الفوتون الساقط (f) . أما طوره واتجاهه فغير محددين . تسمى هذه العملية بالانبعاث التلقائي شكل (١٥ب) .

٣- الأنبعاث المستحدث : (Induced or Stimulated Emission)

في الحقيقة إن الذرات المثارة يمكن أن تعود إلى حالتها المستقرة إلى المستوى الأرضي ط١ بعمليتين مختلفتين :

إما تلقائياً وهو الشيء الذي ذكرناه، وفي هذه العملية التلقائية تعود الذرات إلى المستوى الأرضي بشكل عشوائي باعثة بإشعاعاتها في كل الاتجاهات لأن كل ذرة من ملايين الذرات تبعث بأشعتها مستقلة عن الذرات الأخرى فتكون الأشعة المنبعثة غير مترابطة شكل (١٦ أ) ، وهذا الانبعاث هو الانبعاث الطبيعي للذرات الذي يحدث في المنابع الضوئية الطبيعية أو في المصابيح الكهربائية .



شكل (١٦)

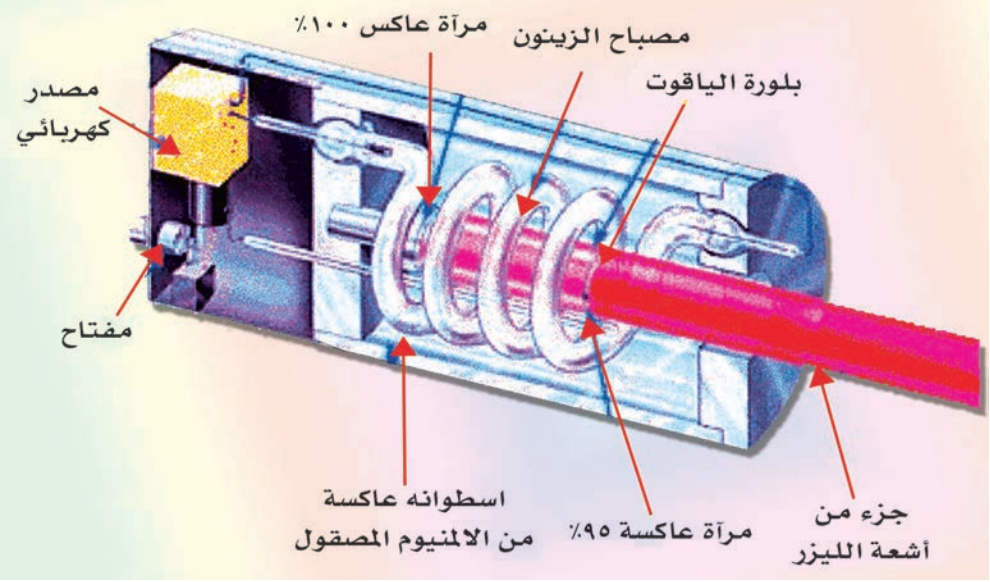
أو أن تعود الذرات إلى حالتها العادية بالحث (أي بالقوة) وذلك بواسطة فوتون طاقته (hf)= طا٢ – طا١ ، فإذا سقط على الذرات المثارة حثّها أو حرضها على الانتقال إلى المستوى الأرضي طا١ وينتج عن ذلك انبعاث فوتون آخر يكون له نفس خواص الفوتون الساقط وينتشر الفوتونان بحركتين موجيتين متطابقتين – أي مترابطتين لهما نفس التردد ومتفقتين في الطور وجهة الانتشار – كما هو مبين في الشكل (١٥جـ) . تسمى هذه العملية بالانبعاث المستحث (Induced or Stimulated Emission) والفوتونان المنبعثان بالحث يستحثان بدورهما ذرتين أخريين مثارتين في المستوى طا٢ فينتج عن ذلك انبعاث أربعة فوتونان مترابطة لها نفس الصفات، انظر شكل (١٦ب)، والأربعة الفوتونات الأخيرة تولد ثمانية فوتونات مترابطة، وهكذا تتضخم الأشعة المنبعثة وتصبح حزمة ضوئية متوازية مترابطة ذات شدة ضوئية عالية وتردد أحادى « أي ضوء قريب إلى الضوء وحيد اللون المثالي »، وهذا هو ما يسمى بالانبعاث الليزري. فالانبعاث المستحث هو أساس توليد أشعة الليزر ، ولا يحدث الانبعاث المستحث في الطبيعة وإنما تنبأ إينشتين في إمكانية حدوثه إذا توفرت شروط وخصائص معينة في مستويات الطاقة لذرات أو جزيئات عنصر معين (مستويات شبه مستقرة) وعُمِل لذلك تقنية خاصة كما سنرى في الدروس التالية.

للتعرف على أحد هذه الشروط، تذكَّر دروس الوحدة الخامسة التي بينت أن الذرات في حالتها العادية تستوطن أي تستقر في المستوى الأرضي والذي يسمى أحياناً المستوى المستقر وهو المستوي الوحيد المستقر في الذرات. وإذا أثيرت منه الذرات إلى مستويات الطاقة العليا فسرعان ما تعود إليه، ولذلك فمستويات الطاقة العليا التي تلي المستوى الأرضي (طا١) تكاد تكون خالية من الإلكترونات.

والانبعاث المستحث بين المستويين (طا١ ، طا٢) يتطلب وجود عدد من الذرات في المستوى العلوي (طا٢) أكبر من عددها في المستوى الأرضي(طا١) كما هو الحال في عملية الامتصاص المستحث من طا١ إلى طا٢ ، حيث إن عدد الذرات في المستوى طا١ أكبر من عددها في المستوى طا٢ . من أجل تحقيق ذلك ينبغي أن يكون

المستوى العلوي (طـ٢) مستوى شبه مستقر أي مستوى تستطيع الذرات الاستقرار فيه مدة زمنية أطول نسبياً بحيث توجد فرصة زمنية للتراكم وازدياد عددها حتى يصبح عددها أكبر من عددها في المستوى السفلي (طـ١) ويسمى هذا الوجود للذرات في المستوى (طـ٢)، بالاستيطان العكسي للذرات (Population inversion) لإنه استيطان عكس الاستيطان الطبيعي الذي يحدث في المستوى الأرضي طـ١، وهذا الاستيطان العكسي هو أحد شروط حدوث الانبعاث المستحث للأشعة الليزرية . ومن البلورات التي تتمتع بمستويات شبه مستقرة هي بلورة الياقوت .

جهاز ليزر الياقوت : Ruby Laser



شكل (١٧)

١- ليزر الياقوت هو أحد ليزرات الحالة الصلبة وهو عبارة عن بلورة أكسيد الألمنيوم (Al_2O_3) طُعمت بحوالي ٠٫٥٪ من مادة الكروم (Cr) التي تكسب البلورة اللون الوردي .

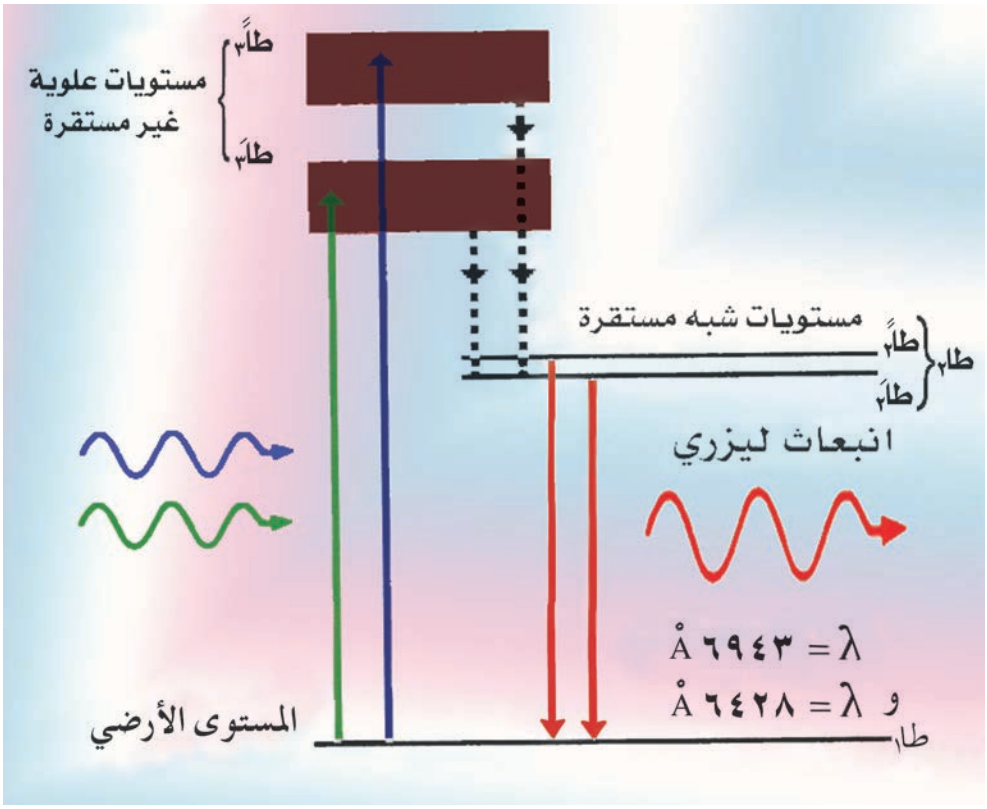
٢- يوضع الياقوت على شكل قضيب إسطواني منتظم طوله عدة سنتيمترات وقطره حوالي ٠٫٥ سنتيمتر بحيث تكون نهايتاه متوازيتين ومصقولتين .

٣ - توضع عند كل نهاية مرآة متعددة الطبقات وظيفتها إرجاع أو عكس فوتونات أشعة الليزر إلى داخل القضيب . وتكون احداهما عاكسه ١٠٠٪ والأخرى عاكسة بحوالي ٩٥٪ أي شفافة بحوالي ٥٪ ، انظر الشكل (١٧) .

٤- يحاط القضيب بمصباح ضوئي من عنصر الزينون طول موجته (٥٤٥١) أنجستروم (أخضر - أزرق)، وعلى شكل حلزوني بغية الحصول على أكبر كمية من الضوء، وظيفته ضخ أو إثارة ذرات الياقوت إلى مستويات الطاقة العليا، انظر الشكل (١٨) الذي يبين صورة الجهاز .

عمل جهاز ليزر الياقوت :

إن مستويات الطاقة في بلورة الياقوت المسؤولة عن انبعاث أشعة الليزر هي تلك الخاصة بعنصر الكروم في البلورة ويوضح الشكل (١٨) مخططها . ويتلخص عمل جهاز ليزر الياقوت فيما يلي :



شكل (١٨)

١- تُضخ (أي تُثار) ذرات عنصر الكروم من المستوى الأرضي (طا١) (الدوائر الزرقاء شكل [١٩أ]) بواسطة مصباح الزينون إلى المستويين العلويين (طا٣ ، طا٣) غير المستقرين - زمن عمر كل منهما من رتبة ١٠$^{-٨}$ ثانية (الدوائر الحمراء تمثل ذرات

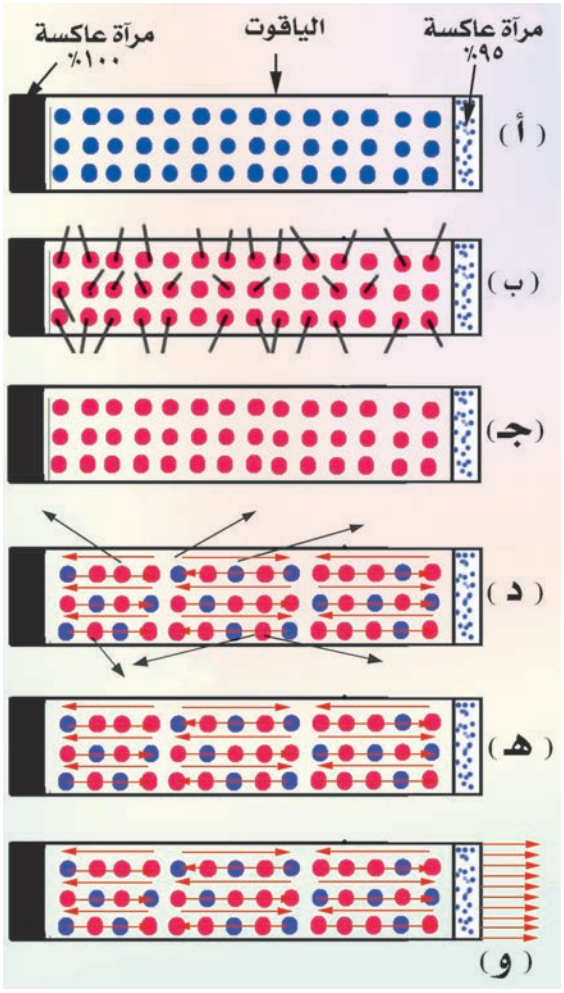
مثارة شكل (١٩ب) . وما تلبث أن تنتقل هذه الذرات تلقائياً إلى المستوى شبه المستقر طـ٢ – زمن عمره حوالي ٣٠ × ١٠$^{-٣}$ ثانية .

٢– بما أن المستوى (طـ٢) شبه مستقر (فإن الذرات تتراكم فيه) ويزداد عددها حتى يصبح أكبر من عددها في المستوى الأرضي (طـ١) ويتحقق بذلك استيطان عكسي للذرات بين المستويين (طـ١ ، طـ٢) وهذا هو أحد شروط الانبعاث الليزري ، شكل (١٩جـ) .

٣– يحدث أن تنتقل بعض الذرات تلقائياً من المستوى (طـ٢) إلى المستوى الأرضي (طـ١) باعثةً بفوتونات في كل الاتجاهات ذات طاقة hf = طـ٢ – طـ١ ، فتتشتت ولا يبقى من هذه الفوتونات إلا تلك التي تتحرك ذهاباً وإياباً عمودية على مرآتي الجهاز وموازية لمحور إسطوانة قضيب الياقوت، شكل (١٩د) .

٤– هذه الفوتونات تقوم بحث الذرات الأخرى للانتقال إلى المستوى الأرضي (طـ١) باعثة بفوتونات لها نفس التردد والطور والاتجاه للفوتونات التي قامت بالحث .

وهكذا مع انعكاسات هذه الفوتونات المتطابقة على مرآتي الجهاز وتحركها ذهاباً وإياباً يزداد حث الذرات المثارة في المستوى (طـ٢) وبالتالي يزداد ويتضخم عدد الفوتونات المنبعثة .



شكل (١٩)

٥- تزداد شدة الحزمة الضوئية الكائنة بين المرآتين حتى تبلغ حداً معيناً ينفذ منها نسبة معينة إلى الخارج من خلال المرآة النصف شفافة وبذلك تنبعث حزمة متوازية من أشعة الليزر ذات شدة عالية ، موحدة التردد (f) أي موحدة الطول الموجي (λ) الذي مقداره ٦٩٤٣ أنجستروم، والذي يعطي لوناً أحمر، انظر الشكلين (١٧) و (١٩) . والذرات التي انتقلت بالحث من المستوى (طاَ٢) إلى المستوى الأرضي(طاَ١)يُعاد ضخها ثانية بواسطة مصباح الزينون إلى المستويين العلويين طاَ٣ ، طاً٣ لتكمل دورة جديدة وهكذا يستمر توليد أشعة الليزر .

تلاحظ في مخطط مستويات الطاقة لعنصر الكروم (شكل(١٨)) أن المستوى الشبه مستقر(طاَ٢) هو عبارة عن مستويين رمزنا لهما بالرمزين طاَ٢، طاً٢ وبالتالي فإن الإشعاع الليزري يعطي في الحقيقة طولين موجيين مناظرين للانتقالين التاليين:

طاَ٢ ← λ = ٦٩٤٣ (Å) طا١ ، طاً٢ ← λ = ٦٤٢٨ (Å) طا١

خصائص أشعة الليزر ومجالات استخداماتها:

أبرز خصائص أشعة الليزر أنها أشعة بالغة الشدة وترددتها متقاربة ومتحدة في الطور وتنتشر في خطوط مستقيمة متوازية. وبسبب هذه الخاصية يمكن توجيهها بحيث تقطع مسافات طويلة جداً محتفظة بشدتها دون أن تتشتت أو تتباعد خطوطها. ولأشعة الليزر استخدامات واسعة في مجالات مختلفة منها:

١- مجال الطب : في العمليات الجراحية الدقيقة كعمليات جراحة العيون أو الجملة العصبية وفي التشخيص والعلاج، كما أن ليزر الياقوت يستخدم في إزالة الوشم من الجلد والبقع السوداء من جلد المسنين .

٢- مجال الأبحاث :تستخدم كأداة دقيقة للحصول على أفضل النتائج، التي لم يكن الحصول عليها ممكناً بالوسائل التقليدية .

٣- في مجال الصناعة : تستخدم في عمليات قص وثقب المعادن وتشكيلها وشق الأنفاق وحفر المناجم بفضل قدرتها على تليين الصخور الصلبة وتفتيتها مثل ليزر ثاني اكسيد الكربون.

٤- مجال الملاحة الجوية : إذ تزود الطائرات بأجهزة قادرة على استقبال إشارات الليزر الصادرة من الأرض لتحديد أهدافها.

٥- مجالات الاتصالات ونقل المعلومات والصناعات الحربية، إذ تصنع أسلحة فتاكة توجه بالليزر فتصيب أهدافها إصابات دقيقة.

تقويم الوحدة

اختر الإجابة الصحيحة :

١- عندما تسقط أشعة ضوئية على لوح معدني ما فإنه تنطلق من سطح المعدن .

أ - فوتونات ضوئية ب - إلكترونات ضوئية

ج - نترونات د - أشعة سينية .

٢- إن أقصر طول موجي في الطيف المتصل للأشعة السينية يعتمد على :

أ - نوع مادة سطح الهدف في أنبوب الأشعة السينية .

ب - فرق الجهد المطبق بين طرفي الأنبوب .

ج - تردد الضوء الساقط على مادة سطح مصعد الأنبوب .

د - شدة الضوء الساقط على مادة سطح مصعد الأنبوب .

٣- تعتمد شدة تيار الخلية الكهروضوئية على :

أ - تردد الضوء الساقط عليها . ب - نوع مادة سطح مهبط الخلية .

ج - شدة الضوء الساقط عليها . د - دالة شغل المادة .

٤- ضع العلامة (√) أمام العبارة الصحيحة والعلامة (X) أمام العبارة الخطأ :

- طاقة أشعة ليزر الياقوت أكبر من طاقة الأشعة السينية . ( )
- سرعة أشعة الليزر أكبر من سرعة الأشعة السينية في الهواء . ( )
- في ليزر الياقوت عنصر الكروم هو المسؤول عن الانبعاث الليزري . ( )
- عنصر الكروم يشكل ٩٥٪ من بلورة الياقوت . ( )
- التردد الحرج يتعلق بنوع مادة سطح مهبط الخلية الكهروضوئية . ( )
- تيار الإشباع للخلية الكهروضوئية يعتمد على شدة الإشعاع الساقط عليها . ( )
- عملية الامتصاص هي عملية انتقال تلقائية من مستوى طاقة إلى مستوى طاقة أعلى . ( )
- جهد الإيقاف يتوقف على تردد الضوء الساقط على الخلية الكهروضوئية . ( )
- الانبعاث الليزري هو انبعاث مستحث . ( )

٥ - عند سقوط أشعة فوق البنفسجية على لوح من الزنك موجب الشحنة ، ماذا يحدث للشحنات ؟ (إعط تفسيراً لجوابك) .

٦ - ماذا يحدث للفوتونات عندما تصطدم بسطح فلز .

٧ – ما هي الظاهرة الكهروضوئية ؟ وما هي الإلكترونات الضوئية؟

٨ – ارسم مخطط الجهاز الذي استخدمه مليكان لدراسة الظاهرة الكهروضوئية.

٩ – اشرح معادلة إينشتين في تفسيرها لظاهرة الكهروضوئية .

١٠– اعط تفسيراً للطيف الخطي والطيف المتصل للأشعة السينية.

١١– ارسم مستويات الطاقة لعنصر الكروم في بلورة الياقوت وبين عليها الانتقالات التلقائية والحثية بين مستويات الطاقة في عملية توليد الليزر.

١٢– اشرح عملية توليد ليزر الياقوت بالاستعانة بمخطط مستويات الطاقة لعنصر الكروم.

١٣– أذكر استخداماً واحداً لكل من:

أ – الخلية الكهروضوئية ب– الأشعة السينية جـ– أشعة ليزر الياقوت.

١٤– إذا علمت أن الطاقة اللازمة لنزع إلكترون من سطح معدن هي (٣,٥٤) إلكترون فولت، وأُسقط على هذا السطح ضوء وحيد اللون طول موجته ٤٠٠٠ أنجستروم، هل تنبعث إلكترونات من سطح المعدن؟

١٥– أضيىء سطح الصوديوم بضوء طول موجته ٣٠٠٠ أنجستروم فإذا علمت إن دالة الشغل لمعدن الصوديوم = ٢,٤٦ (أ. ف).

احسب ما يلي:

أ – الطاقة الحركية للإلكترونات المتحررة. ب– سرعتها .

جـ– الطول الموجي الحرج. د – جهد الإيقاف.

١٦– احسب فرق الجهد الذي يجب أن يعجل به إلكترون بحيث يكون أقصر الأطوال الموجية في طيف الأشعة السينية يساوي واحد أنجستروم.

١٧– إذا كان فرق الجهد بين طرفي أنبوب الأشعة السينية هو ٢٥ X $١٠^{٣}$ فولت. احسب أعلى تردد للأشعة السينية المنبعثة.

١٨ – احسب أقصر الأطوال الموجية للأشعة السينية المنبعثة إذا كانت كمية حركة الإلكترون عند اصطدامه بالهدف تساوي ٦٣,٧ X $١٠^{-٢٥}$ كجم . م/ث.

علماً بأن كتلة الإلكترون ($ك_e$) = ٩,١ X $١٠^{-٣١}$ كجم.

الوحدة السابعة

الفيزيـــاء النوويـة
Nuclear Physics

أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يعُـرف كـلاً من : النـشـاط الإشـعـاعي الطبـيـعي – التـفـاعل النووي – التـحلل الأشعاعي وعمر النصف – التفاعل المتسلسل .

٢- يُعدد مكونات النشاط الإشعاعي .

٣- يقارن بين طبيعة وخواص كل من أشعة الفا ، وبيتا وجاما .

٤- يعرف طاقة الربط النووية ويذكر العلاقة الخاصة بها .

٥- يشرح تركيب وفكرة عمل عداد جيجر .

٦- يهتم بمخاطر التفاعلات النووية على البيئة .

٧- يميز بين الاستخدامات السلمية وغير السلمية للتفاعلات النووية .

من دراستك السابقة ومن مشاهداتك الحياتية ، لعلك تتساءل عن سر الطاقة الهائلة التي تنتج في التفاعلات النووية، ويمكنها أن تحدث دماراً هائلاً في الحروب .

من ناحية أخرى لعلك سمعت وشاهدت عن استخدام الإشعاعات النووية في المجالات السلمية مثل علاج مرضى السرطان أو تحسين أنواع البذور الزراعية أو في توليد الطاقة الكهربائية أو في تحلية مياه البحر .

فكيف تنتج هذه الطاقة الهائلة من النواة ؟

وكيف عملت هذه الطاقة على ديمومة الحرارة المتوهجة للشمس بشكل دائم ؟

من أجل فهم ذلك سندرس في هذه الوحدة النواة والطاقة النووية .

تركيب النواة : Nuclear Structure

في دراستك السابقة عن تركيب الذرة علمت أن الذرة تتركب من جزأين رئيسيين هما :

- النواة : تتركز فيها معظم كتل الذرة وشحنتها الموجبة (البروتونات) .
- الإلكترونات : تدور حول النواة وتتركز فيها الشحنة السالبة للذرة .

ولكن، ممّ تتركب النواة؟

على ضوء دراسة ظاهرة النشاط الإشعاعي للمواد المشعة قامت هناك عدة نظريات حول تركيب النواة. ومن هذه النظريات التي ظهرت بداية القرن العشرين تلك النظرية التي افترضت أن النواة تحتوي على عدد من البروتونات مساوٍ للعدد الكتلي للنواة، وعدد من الإلكترونات مساوٍ للفرق بين العدد الكتلي والعدد الذري للنواة.

ولكن تطور البحوث العلمية أكدت عدم إمكانية وجود الكترونات داخل النواة وبالتالي فشلت هذه النظرية. وقد توالت الجهود والنظريات التي درست تركيب النواة وقد أسهم اكتشاف النيوترون في معرفة تركيب النواة على يد العالم شادويك حسب المعادلة الآتية :

جسيم الفا + نواة بريليوم ⟵ نواة كربون + نيوترون

$$طاقة + {}^{1}_{0}n + {}^{12}_{6}C \longrightarrow {}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}He$$

وعند البحث عن طبيعة النيوترونات المنبعثة، والتي كان التفكير بداية بأنها موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية جداً، وبتحليل مكونات التفاعل في المعادلة السابقة يتبين أن النيوترون هو جسم مادي له عدد كتلي = ١ ، وعلى ضوء

ذلك فقد تم وضع تصور جديد عن تركيب النواة يرى أنها تتركب من عدد من البروتونات الموجبة الشحنة والنيوترونات متعادلة الشحنة. ويمثل عدد البروتونات والنيوترونات العدد الكتلي للنواة وتسمى كل من البروتونات والنيوترونات بالنيوكلونات.

ويعتبر هذا التصور من أكثر التصورات والنظريات التي استطاعت تفسير مختلف الظواهر الناتجة عن التفاعلات النووية سواء النشاط الإشعاعي الطبيعي أو التفاعلات النووية الصناعية. كذلك فسرت وجود نظائر للعنصر الواحد على أساس أن النظائر هي أنوية لنفس العنصر تتشابه في عدد البروتونات وتختلف في عدد النيوترونات.

مثال ذلك وجود عدة نظائر لنواة ذرة الكربون وهي :

$$^{11}_{6}C \ , \ ^{12}_{6}C \ , \ ^{13}_{6}C \ , \ ^{14}_{6}C$$

النشاط الإشعاعي : Radioactivity

عند مراجعتك للجدول الدوري الحديث وملاحظتك لتركيب أنوية الذرات الثقيلة مثل ذرات اليورانيوم والثوريوم والبلوتونيوم والراديوم وغيرها فإنك تلاحظ اختلافاً كبيراً في عدد النيوترونات داخل تلك الأنوية عن عدد البروتونات فيها .

هذا الاختلاف الكبير يؤدي إلى عدم استقرار هذه الذرات، فتميل إلى التخلص من هذه الزيادة في عدد النيوكلونات وذلك عن طريق انبعاث جسيمات وأشعة من هذه الأنوية، وتسمى هذه العملية بالنشاط الإشعاعي الطبيعي للمواد المشعة. فإذا أخذنا نواة ذرة الراديوم $^{226}_{88}Ra$ سنجد أن عدد النيوترونات في النواة هو 138 نيوترون بينما عدد البروتونات فيها هو 88 بروتون. وهذا يعني أن هناك فارقاً في عدد النيوترونات عن عدد البروتونات يساوي 50 نيوترون. وهو كما تلاحظ فارق كبير يسبب عدم استقرار النواه لأن النواة تميل بشكل طبيعي إلى أن يكون عدد البروتونات فيها مساوي لعدد النيوترونات.

وقد اكتشف ظاهرة النشاط الإشعاعي العالم بيكريل ١٨٩٦ ، عندما كان يجري بعض التجارب على أملاح اليورانيوم ولاحظ خاصية توهج هذه الأملاح عند تعرضها للضوء.

كما اكتشفت العالمة مدام كوري وزوجها بيير كوري أهم العناصر المشعة وهو عنصر الراديوم $^{226}_{88}Ra$.

وقد تمكن العلماء من دراسة ومعرفة مكونات النشاط الإشعاعي للمواد المشعة، حيث وجد أنها تتكون من المكونات الآتية :

جسيمات ألفا : Alpha Particles (α)

وهي جسيمات مشحونة تتكون من أنوية ذرات الهليوم $^{4}_{2}He$ وتحمل شحنة كهربية موجبة تساوي ضعف شحنة الإلكترون وكل نواة من أنوية ذرات الهليوم تحتوي على عدد ٢ بروتون وعدد ٢ نيوترون . أي إن عددها الذري هو٢ وعددها الكتلي هو ٤ .

فماذا يحدث للأنوية المشعة عند انبعاث جسيمات الفا ($^{4}_{2}He$) ؟

للإجابة عن هذا التساؤل سنأخذ مثلاً انبعاث جسيم ألفا من نواة عنصر يشع جسيمات ألفا وليكن عنصر الراديوم $^{226}_{88}Ra$ ، ونلاحظ ماذا يحدث لها بعد إشعاعها لجسيم ألفا :

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

وتلاحظ من المعادلة السابقة أن نواة عنصر الراديوم $^{226}_{88}Ra$ تحولت إلى نواة غاز الرادون $^{222}_{86}Rn$ الخامل . أي إن انبعاث جسيم ألفا (α) من نواة عنصر مشع يؤدي إلى أن كتلة النواة (العدد الكتلي) تنقص بمقدار (٤) وشحنتها (عددها الذري) ويقل بمقدار (٢) .

وتتملك جسيمات ألفا خواصاً تميزها عن غيرها من مكونات النشاط الإشعاعي الأخرى في أنها ذات قدرة ضعيفة على اختراق الأجسام، حيث يمكن لورقة أن تحجزها وتنحرف عند مرورها في المجالين الكهربي والمغناطيسي .

جسيمات بيتا : Beta Particles (β)

وهي دقائق صغيرة مشحونة بشحنة مساوية لشحنة الإلكترون، وقد تكون هذه الشحنة سالبة وتسمى في هذه الحالة دقائق بيتا السالبة β^- (إلكترون) ، أو تكون الشحنة موجبة وتسمى في هذه الحالة دقائق بيتا الموجبة β^+ (بوزيترون) .

فعند تحلل النيوترون ينتج عن ذلك الإلكترون (β^-) $^{0}_{-1}e$ والبروتون :

$$^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{+1}p + {}^{0}_{-1}e + \bar{\gamma}$$

وعند تحلل البروتون ينتج عن تحلله كل من البوزيترون ${}^{0}_{+1}e$ (β^{+}) والنيوترون :

$$ {}^{1}_{+1}p \longrightarrow {}^{1}_{0}n + {}^{0}_{+1}e + \gamma $$

ومن النواتج المهمة التي ظهرت في عملية تحلل البروتون هو توليد جسم صغير جداً متعادل كهربياً يسمى النيوترينو (Neutrino) ويرمز له بالرمز γ ، أما في حالة تحلل النيوترون فيظهر مايسمى بالمضاد للنيوترنيو أو (أنتنيوترينو) (Antineutrino) ويرمز له بالرمز $\bar{\gamma}$ ، ومن خواص جسيمات بيتا أنها جسيمات دقيقة مشحونة إما بشحنة موجبة أو بشحنة سالبة ، ولها قدرة عالية على الاختراق للأجسام وتنحرف عند مرورها في مجال كهربي أو مجال مغناطيسي، ولكن بزاوية أكبر من زاوية انحراف جسيمات ألفا كما أن لها قدرة على تأيين الغازات التي تمر بها ولكن بدرجة أقل من تلك التي تمتلكها جسيمات ألفا .

أشعة جاما : (γ) Gamma Rays

وهي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية (فوتونات) ذات تردد عالي وطول موجي قصير جداً، وتقع ضمن نطاق الطيف الكهرومغناطيسي الذي درسته سابقاً .

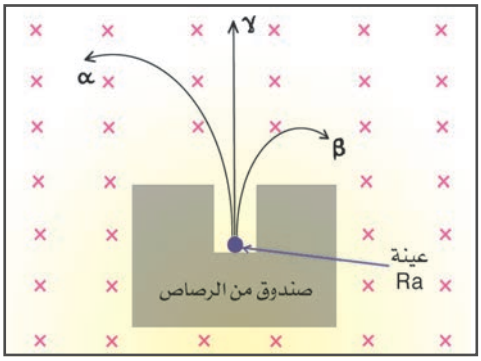
إن من أكثر مكونات النشاط الإشعاعي الطبيعي أو التفاعلات النووية خطراً وفتكاً هي أشعة جاما والتي تسمى أحياناً بأشعة الموت ،وتنتج هذه الأشعة من أنوية عناصر مشعة عند فقدانها بعض الطاقة ، ويفسر ذلك بهبوط مستوى طاقة النواة إلى مستوي أدنى ؛ فعند إشعاع النواة المشعة لأشعة جاما لا يتغير عددها الكتلي بل يهبط مستوى طاقتها فقط .

وبذلك سينتج من النواة فوتونات تحمل مقدار طاقة عالٍ جداً وتردد عالٍ جداً وطول موجي قصيراً جداً تسمى أشعة جاما حيث تصل طاقتها أحياناً الى عشرة ملايين (إلكترون فولت) .

وتمتلك أشعة جاما خواصاً تميزها عن باقي مكونات النشاط الإشعاعي ، فهي أشعة على شكل موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة وتردد عاليين وطول موجي قصير جداً، وتكون فتاكة عند سقوطها على الأجسام وتتلف الخلايا الحية .

ويمكن ملاحظة تأثير المجال المغناطيسي على مكونات النشاط الإشعاعي في الشكل (١) كما يأتي :

عند وضع عينة من مادة مشعة مثل الراديوم داخل صندوق مقفل من الرصاص به نافذة تسمح للجسيمات والأشعة الناتجة من العينة أن تمر خلال مجال مغناطيسي، ودراسة اتجاه انحراف كل من المكونات السابقة تبين أن انحراف أشعة ألفا الموجبة يكون عكس انحراف أشعة بيتا السالبة وبزاوية انحراف أقل .



شكل (١) قوة إنحراف مكونات النشاط الإشعاعي في مجال مغناطيسي

ولا تنحرف أشعة جاما عند تعرضها لمجال كهربائي أو مجال مغناطيسي لأنها موجات كهرومغناطيسية متعادلة كهربياً .

وتمتلك قدرة عالية جداً على اختراق الأجسام، أكبر من تلك التي تمتلكها جسيمات ألفا وبيتا .

ويمكن المقارنة بين خواص مكونات النشاط الإشعاعي كما يأتي .

خواصها / نوع الأشعة	طبيعتها	شحنتها	قدرتها على الاختراق	تأثرها بالمجال الكهربي والمغناطيسي
أشعة (ألفا)	هي أنوية ذرات الهليوم $_2^4He$.	موجبة ضعف شحنة الإلكترون .	ضعيفة	تنحرف بقوة كبيرة .
أشعة بيتا	هي إلكترونات سالبة أو موجبة	سالبة أو موجبة مساوية لشحنة الإلكترون.	عالية	تنحرف بقوة أقل .
أشعة جاما	هي موجات كهرومغناطيسية ذات طاقة عالية وطول موجي قصير	متعادلة كهربياً	هائلة جداً	لاتنحرف لأنها موجات كهرومغناطيسية متعادلة

جدول مقارنة بين مكونات النشاط الإشعاعي

نشـــاط

باستخدام مصادرك للمعلومات اكتب باختصار عن أهم الأضرار البيئية الناتجة عن الإشعاع النووي ، واستعن بمثال مفاعل شيرنوبل ، وقنابل هيروشيما وناجازاكي في الهجوم على اليابان في الحرب العالمية الثانية .

التحلل الأشعاعي وعمر النصف Radioactivty Decay & Half-Life

سبق أن أشرنا أن النشاط الأشعاعي للمواد المشعة هو نتيجة لتحول بعض الذرات إلى ذرات مادة أخرى أقل منها أو أكثر منها عدداً ذرياً وعدداً كتلياً بعد أن تُقذف بعدد من الجسيمات أو الأشعة، أي إن عدداً من أنوية هذه المادة المشعة ستتحلل وتقل عدد النيوكلونات فيها.

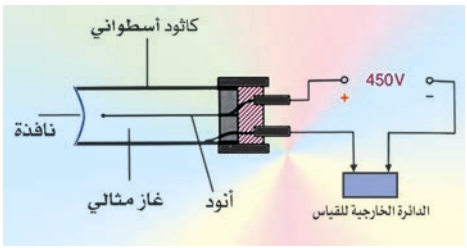
وتختلف سرعة انحلال العناصر بواسطة النشاط الإشعاعي من مادة إلى أخرى ويعبر عن ذلك التغير باستخدام تعبير عمر النصف.

* **تعريف: عمر النصف للعنصر المشع هو عبارة عن الزمن اللازم لانحلال نصف كمية المادة المشعة بواسطة النشاط الإشعاعي.**

ويتوقف عمر النصف لأي عنصر على عدده الذري ونشاطه الإشعاعي .

قياس وحساب شدة النشاط الإشعاعي

يمكن قياس شدة النشاط الإشعاعي باستخدام جهاز يسمي عداد جيجر ويتركب كما في الشكل (٢) من :



شكل (٢)

إسطوانة معدنية مقفلة من الجانبين ويوجد بأحد وجهيها فتحة على شكل نافذة من الميكا تسمح بدخول الأشعة المنبعثة من المادة المشعة، وتملأ الإسطوانة بواسطة غاز خامل، ويوجد في محور الإسطوانة سلك معدني يتصل بقطب موجب لبطارية يعمل كانود بينما يتصل جدار الأنبوبة بالقطب السالب للبطارية ويعمل ككاثود، ويوجد في الدائرة الخارجية مقاومة وعداد للنبضات الكهربائية.

فكرة العمل : عند دخول الأشعة المنبعثة من العينة فإنها تعمل على تأين ذرات الغاز الخامل داخل الإسطوانة بدرجة تعتمد على شدة النشاط الإشعاعي للعينة ويتولد عن ذلك عدد من الأيونات الموجبة والإلكترونات السالبة يتوقف على درجة تأين ذرات الغاز الخامل التي تعتمد على شدة النشاط الإشعاعي.

ويعمل الجهد الموجب للأنود على جذب الإلكترونات السالبة إليه بينما تنجذب الأيونات الموجبة إلى الجهد السالب للكاثود، فتتكون نبضات كهربية في الدائرة الخارجية يعمل العداد على حساب عددها وبالتالي قياس شدة النشاط الإشعاعي.

طاقة الربط النووية : Neuclear Binding Energy

سبق لك دراسة قياس كتل الذرة والنواة وعلمت أن مجموع كتل الجسيمات المكونة للنواة (البروتونات والنيوترونات) يزيد على كتلة النواة المكونة من هذه الجسيمات مجتمعة .

فإذا أخذنا مكونات ذرة الهليوم مثلاً فإن :

عدد البروتونات في ذرة الهليوم = ٢ بروتون

كتلة البروتونات في نواة الهليوم=٢X ١,٠٠٧٨ = ٢,٠١٥٦ و. ك. ذ (وحدةكتلة ذرية)

عدد النيوتروتان في نواة الهليوم = ٢ نيوترونات

كتلة النيوترونات في نواة الهليوم = ٢X ١,٠٠٨٧ = ٢,٠١٧٤ و.ك.ذ

كتلة نواة الهليوم مجتمعة = ٤,٠٠٢٦ و.ك.د

مجموع كتل مكونات النواة = ٤,٠٣٣٠ و.ك.د

حيث : (و . ك . ذ) = ١,٦٦ X ١٠$^{-٢٧}$ كيلو جرام.

وهذا يعني وجود فرق في كتلة مكونات النواة مجتمعة ومجموع كتلها منفردة.

وأدت الدراسة الى أن هذا الفرق في الكتلة قد تحول الى طاقة ربط بين مكونات النواة حيث تسمى هذه الطاقة، بطاقه الربط النووية، وتحسب من علاقة التكافؤ بين الكتلة والطاقة لأينشئين كمايلي :

طاقة الربط النووية = Δ ك X ع$^{٢}_{ض}$

حيث (Δك) هي فارق الكتلة بين كتلة النواة ومجموع كتلها منفردة، و (ع$_{ض}$) هي سرعة الضوء.

وعلية فعند إنطلاق الطاقة وخروجها من النواة عند تحللها لسبب طبيعي أو صناعي فأننا نحصل على هذه الطاقة على شكل أشعة وجسيمات (مثل أشعة جاما وجسيمات بيتا وغيرها).

الانشطار النووي Neuclear Fission :

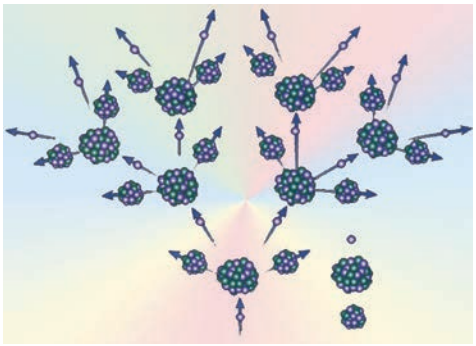
إذا قذفت نواة ذرة يورانيوم $^{235}_{92}U$ بواسطة نيوترون سريع جداً فإن النيوترون يعمل على انشطار نواة ذرة اليورانيوم الى نواتي الباريوم والكربتون، وكل منهما له عدداً ذرياً أقل من العدد الذري لنواه اليورانيوم، وتسمى هذه العملية بعملية الانشطار النووي.

تعريف الأنشطار النووي :

هو عملية انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين جديدتين أو أكثر لهما عدد ذري أقل من العدد الذري للنواه الأصلي وينطلق عدد من النيوترونات .ويصاحب ذلك تحرر كمية كبيرة جداً من الطاقة النووية وجسيمات أولية أخرى مختلفة .

التفاعل المتسلسل : Chain Reaction

في بعض التفاعلات النووية تتكرر عملية الإنشطار النووي بشكل متسلسل ومتكرر بحيث تكون نتائج الإنشطار الأول هي مقذوفات لعدد جديد من الأنوية مساوية لها، مما يعمل على إنشطارها وتكوّن عدد مضاعف من النواتج ، وهذه هي الأخرى تصبح مقذوفات جديدة لعدد مساوٍ لها من الأنوية وهكذا . وخلال زمن قصير تحصل على تفاعل شديد جداً يسمى تفاعلاً متسلسلاً .



شكل (٣) يوضح عملية التفاعل المتسلسل

ويحدث هذا التفاعل المتسلسل في القنبلة النووية أو المفاعلات النووية؛ حيث يبدأ التفاعل بقذف عينة من المادة المشعة بواسطة نيوترونات معجلة، وغيرها من المقذوفات المعجلة والتي تعمل على انشطار بعض الأنوية وتكرار العملية في تفاعل متسلسل كما هو مبين في الشكل (٣) .

القنبلة الهيدروجينية :

وفيها يحدث عكس مايحدث في الانشطار النووي حيث يتم أندماج نوى الهيدروجين اندماجاً نووياً لتنتج نوى ذرات الهيليوم تحت ضغط عالي ودرجة حرارة عالية جداً أي أن الإندماج يحدث بواسطة طاقة معينة تختزن داخل القنبلة الهيدروجينية حيث يتم وضع قنبلة انشطارية داخل القنبلة الهيدروجينية وعند انفجار القنبلة الانشطارية تتولد الطاقة اللازمة لعملية الإندماج النووي ومن عملية الإندماج النووي نحصل على طاقة تدميرية هائلةتفوق بكثير طاقة القنبلة الإنشطارية . ما يحدث في الشمس يشبه مايحدث في القنبلة الهيدروجينية حيث يتم الاندماج بين أنوية ذرات الهيدروجين لتكون أنوية ذرات الهليوم وتختزن طاقة نووية هائلة تتحول فيما بعد إلى طاقة حرارية عالية تساعد على استمرار طاقة حرارة الشمس المتوهجة.

المفاعلات النووية السلمية : Nuclear Reactors

وفيها يتم التحكم في الطاقة النووية الناتجة من التفاعلات النووية وتستخدم في أغراض سلمية متعددة منها الحصول على الطاقة الكهربية، أو في الاستخدامات الطبية، للقضاء على بعض الأمراض مثل السرطان أو في الزراعة حيث يتم تحسين الأنواع بواسطة تعريضها لإشعاعات نووية مخففة.

شكل (٤) مفاعل نووي مستخدم للأغراض السلمية.

ومن أهم التطبيقات على استخدام الطاقة النووية استخداماً سلمياً:

١- الحصول على طاقة كهربية وذلك باستخدام الطاقة النووية الناتجة في المفاعل النووي التي تؤدي إلى تسخين مياه البحر وغليانها والحصول على طاقة البخار لإدارة توربين ومولد الطاقة الكهربية.

٢- تحلية مياه البحر إذ نحصل من بخار الماء الناتج من تسخين مياه البحر على مياه عذبة تستخدم في الشرب.

٣- تستخدم بعض النظائر المشعة الناتجة من المفاعل النووي في الزراعة من أجل اكتشاف درجة الامتصاص للأملاح الكلسية من التربة أو في القضاء على الحشرات الضارة.

٤- في الطب تستخدم الإشعاعات النووية المخففة بشدة في معالجة أمراض السرطان وكذلك استخدمت في تشخيص بعض الأمراض.

تقويم الوحدة

أجب عن جميع الأسئلة الآتية :

س١) املأ الفراغات في العبارات الآتية :

١- كلما كان الفارق بين عدد النيوترونات في النواة أكبر من عدد ..... تعتبر النواة نشطة إشعاعياً .

٢- أشعة جاما هي ..... ذات تردد عالي وطول موجي قصير جداً وطاقة هائلة .

٣- تستخدم بعض النظائر المشعة في الزراعة وذلك من أجل .....

٤- تكون مجموع كتل مكونات النواة من النيوكلونات ..... من كتلة النواه مجتمعة ويتحول هذا النقص في الكتلة الى طاقة ربط نووية .

س٢) ضع علامة (✓) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (X) أمام العبارة الخطأ في العبارات الآتية :

١- تنحرف أشعة جاما عند مرورها في مجال مغناطيسي في اتجاه معاكس لاتجاه انحراف أشعة بيتا . ( )

٢- أشعة ألفا هي جسيمات مشحونة بشحنة موجبة مساوية لشحنة الإلكترون . ( )

٣- يستخدم عداد جيجر لقياس شدة إشعاع المواد . ( )

٤- عند تعرض الغازات إلى مكونات النشاط الاشعاعي فإنها تتأين . ( )

س٣) أي العبارتين الآتيتين تعبر عن التعريف الصحيح لعمر النصف لمادة مشعة ؟

- هو الزمن اللازم لكي يتحلل نصف مكونات المادة المشعة .
- هو كمية المادة التي تبقى من هذه المادة بعد مرور نصف الزمن .

س٤) اشرح تركيب وفكرة عمل عداد جيجر ؟

س٥) احسب متوسط طاقة الربط النووية لنواة الكربون $^{14}_{6}C$ ، علماً بأن الكتلة الذرية للكربون هي ١٤,٠٠٣٢٤ (و.ك.ذ) وكتلة البروتون ١,٠٠٧٨ (و.ك.ذ)، وكتلة النيوترون هي ١,٠٠٨٧ (و. ك. ذ)

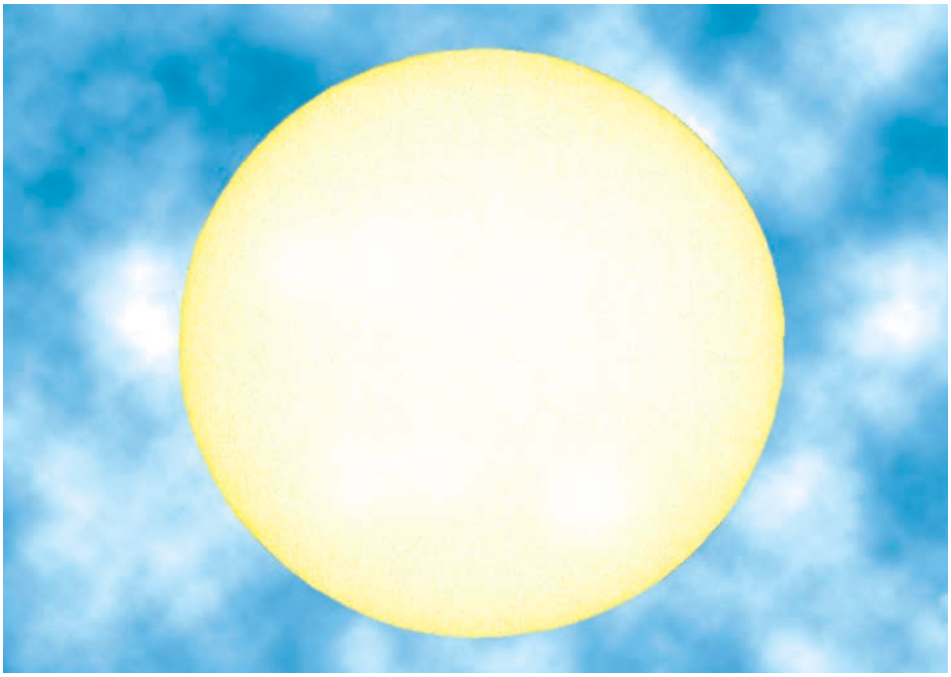
س٦) ماهي أقل طاقة تلزم لتفكيك نواة نظير ذرة البورون $^{12}_{5}B$ ، إذا علمت أن كتلة الذرة ١٢,٠١٤٣ و.ك.ذ

س٧) ما التغير الذي يحدثه انبعاث جسيم ألفا من نواة ذرة اليورانيوم ٢٣٨ في كل من عددها الكتلي وعددها الذري؟

* * *

الوحدة الثامنة

الطاقة الشمسية
Solar Energy



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يوضح المقصود بكل من :
الطاقات المتجددة – الطاقات غير المتجددة – الإشعاع المباشر – الإشعاع غير المباشر ، الطيف الشمسي .

٢- يتعرف على طبيعة الطاقة الشمسية .

٣- يوضح متوسط الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحات من سطح الأرض.

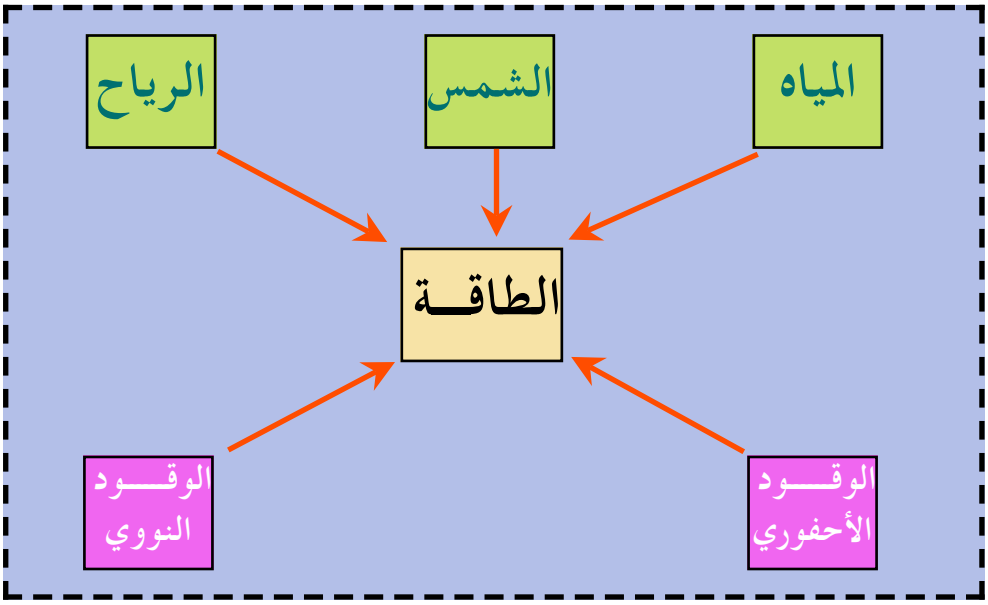
٤- يبين عملياً أنواع الإشعاعات الشمسية .

٥- يفرق بين الطيف الشمسي المرئي والطيف غير المرئي .

٦- يتعرف على كيفية تجميع الطاقة الشمسية وطرق الاستفادة منها .

٧- يشرح بعض التطبيقات لاستغلال الطاقة الشمسية .

للطاقة صور مختلفة كالطاقة الحرارية، والكهربائية، والميكانيكية، والكيميائية ... الخ، وقد سبق لك دراسة أن الطاقة تحت ظروف معينة يمكنها أن تنجز شغلاً، كذلك للطاقة مصادر متعددة ويبين المخطط التالي أهم هذه المصادر :



اذكر بعض فوائد مصادر الطاقة هذه للإنسان، وما أثر ذلك على البيئة ؟

وقد صنفت الطاقة وفقاً لمصادرها إلى نوعين هما :

١- الطاقة غير المتجددة « الناضبة » : Non-Renewable Energy

وهي الطاقة التي يمكن الحصول عليها من مصادر محدودة الاحتياطي مثل الوقود الأحفوري (النفط والفحم الحجري وغيرها)، والوقود النووي، وهي ذات تأثير ضار بالبيئة بسبب مخلفاتها الناتجة أو بسبب الغازات السامة المنبعثة أثناء احتراقها .

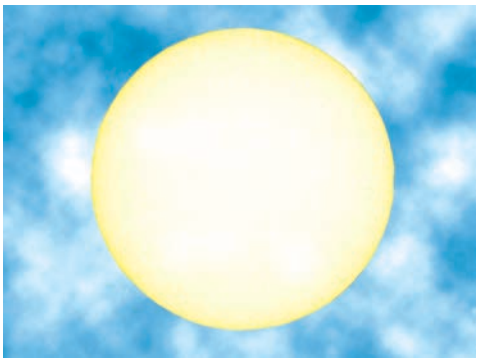
٢- الطاقة المتجددة « غير الناضبة » : Renewable Energy

وهي الطاقة التي يمكن الحصول عليها من مصادر طبيعية، مستمرة مثل : أشعة الشمس، وينابيع المياه الدافئة المتدفقة من باطن الأرض أو من مياه الشلالات والأنهار الجارية، والرياح، وطاقة الكتله الحيوية، ومياه البحار والمحيطات ويسمى هذا النوع بالطاقة النظيفة لأنها غير ملوثة للبيئة .

أعظم مصدر للطاقة

تشرق الشمس كل يوم وتعطينا الطاقة على شكل ضوء وحرارة ، وقد أظهرت الدراسات أن الوطن العربي، بما في ذلك اليمن، يتمتع بإشعاع شمسي مهم حيث يبلغ معدل عدد ساعات سطوع الشمس مابين (٨ – ٩,٥) ساعة مشعة في اليوم. وتسمى الطاقة التي تصلنا من الشمس الطاقة الشمسية Solar Energy ، وهي طاقة متجددة (باقية الى ماشاء الله تعالى). والشمس نجم تبعد عن الأرض بحوالي (١٥٠) مليون كيلو متر ، ويبلغ حجمها ١ $\frac{١}{٣}$ مليون مرة قدر حجم الأرض ، وما يصل إلينا من طاقتها يكفل الحياة بكل صورها على سطح الأرض. قال تعالى :

﴿ وَجَعَلْنَا سِرَاجًا وَهَّاجًا ﴾ النبأ الآية (١٣).



شكل (١)

طبيعة الطاقة الشمسية

تنتج الطاقة الشمسية من التفاعل الاندماجي النووي الذي يحدث في باطن الشمس عند تحول نوى ذرات الهيدروجين إلى نوى ذرات الهليوم، وفي هذه العملية يحدث نقص في الكتلة يتحول إلى كمية هائلة من الطاقة الإشعاعية نتيجة الاندماج النووي الذي يتم.

فاذا كان الضغط في باطن الشمس يصل إلى عدة ترليونات قدر قيمة الضغط الجوي، ودرجة حرارة باطن الشمس تصل إلى حوالي ١٣ مليون درجة مطلقة، فإنه في مثل هذه الظروف من الضغط ودرجة الحرارة يحدث اندماج نووي لنوى ذرات الهيدروجين مكونة نوى ذرات الهليوم ويصاحب ذلك نقص في الكتلة، لأن :

كتلة نواة ذرة الهيدرجين (H) = ١,٠٠٨ و . ك . ذ

∴ كتلة ٤ أنوية هيدروجين (4H) = ٤,٠٣٢ و . ك . ذ

وتكون كتلة نواة الهليوم ($^{4}_{2}He$) = ٤,٠٠٣ و . ك . ذ

وهذا يعني أن اندماج أنوية أربع ذرات هيدروجين يكون نواة ذرة واحدة من

الهليوم، ويصاحبه نقص في الكتلة يعادل ٠,٠٢٩ و.ك.ذ ، أي ما يعادل ٢٧,٠٣٥مليون إلكترون فولت، يتحول هذا القدر من الطاقة إلى طاقة إشعاعية هائلة، ولعلك تتخيل كم من ذرات الهيدروجين التي تتحول أنويتها إلى أنوية لذرات الهليوم وكم الطاقة التي ستنتج. وسوف ينتقل من هذه الطاقة إلى الأرض جزء بسيط جداً بدون وجود وسط مادي بسرعة تصل الى (٣ × ١٠^{٨}) متر/ث.

وقد ثبت أن (٧٠٪) من كتلة الشمس هيدروجين ، (٢٨٪) من كتلتها هليوم، (٢٪) من كتلتها عناصر أخرى.

متوسط الطاقة الشمسية على وحدة المساحات من سطح الأرض :

تأمل الشكل (٢) ولاحظ أن الطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض لا تمتص كلها ولكن حوالي (٤٧٪) فقط من الإشعاع الشمسي تمتصه الأرض يومياً في اليابسة والمسطحات المائية ، ويتحول إلى طاقة داخلية مخزونة تدفئ الأرض ، وجزء من هذه الطاقة يشع راجعاً إلى الفضاء ليلاً في صورة أشعة فوق بنفسجيه ، فيبرد سطح الأرض ليلاً عنه نهاراً ، كما أن حوالي (٣٤٪) من ذلك الإشعاع ينعكس مرتداً إلى الفضاء الخارجي، و(١٩٪) يمتص في الغلاف الجوي المحيط بالأرض.

شكل (٢)

ويعمل الإشعاع النافذ والذي قدره ٤٧٪ من الإشعاع الشمسي الواصل إلى الأرض على تدفئة الأرض، وتبخير مياه البحار والمحيطات ويتصاعد في صورة بخار ماء مكوناً السحب.

ولقد وجد أن (١سم٢) من سطح الأرض يستقبل في المتوسط (٢) سعر في الدقيقة.

∴ متوسط مقدار الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحات في الثانية =

$$\frac{٢ \times ٤,١٨}{٦٠} = ٠,١٤ \text{ جول / الثانية . سم}^{٢}$$

إذن يمكننا حساب الطاقة الإشعاعية الكلية الصادرة عن الشمس في الثانية، وذلك

بحساب كمية الطاقة الساقطة على سطح كرة وهمية محيطة بالشمس، أي مركزها الشمس، ونصف قطرها المسافة المتوسطة بين الشمس والأرض وتساوي (١٥٠) مليون كيلو متر.

∴ الطاقة الصادرة من الشمس = مساحة سطح الكرة الوهمية (سم٢) × الطاقة الساقطة على السنتيمتر المربع (سم٢) من سطح الأرض = ٤ π نق^{٢} × ٠,١٤

$= ٤ \times \frac{٢٢}{٧} \times (١٥٠ \times ١٠^{٦} \times ١٠^{٥})^{٢} \times ٠,١٤$

$= ٣,٩٦ \times ١٠^{٢٦}$ جول / الثانية

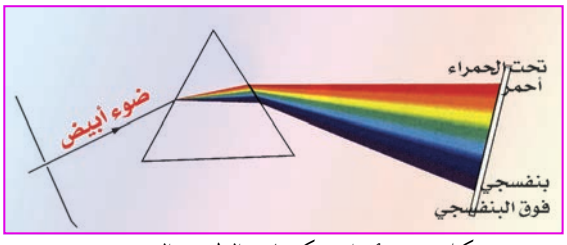
العوامل التي يتوقف عليها متوسط الطاقة الشمسية الواصلة إلى سطح الأرض :

إن كمية الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى نقطة ما من سطح الأرض تختلف وفقاً للموقع الجغرافي من سطح الأرض أي بعدها أو قربها من خط الاستواء ، ومن مستوى سطح البحر ، ودرجة ميل الأشعة ، ومدى صفاء السماء ، ومقدار مايمتص منها في الغلاف الجوي.

أنواع الإشعاعات الشمسية

ترسل الشمس أنواعاً كثيرة من الإشعاعات تعرف باسم الإشعاعات الشمسية، وهي تشكل ما يسمى بالطيف الشمسي الكهرومغناطيسي، وبعض هذه الإشعاعات تمتص باصطدامها بجزيئات الهواء مثل أشعة جاما Gamma rays والأشعة السينية X- rays ، وبعضها الآخر يمتص من قبل طبقة الأوزون (O_3) مثل الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Rays ، ويمتص معظم الأشعة تحت الحمراء In-frared Rays من قبل طبقات بخار الماء والغازات الخاملة الموجودة في الجو.

تجربة :



شكل (٣) أنواع مكونات الطيف الشمسي

للتعرف على مكونات الطيف الشمسي ، نفذ هذه التجربة في كتاب الأنشطة والتجارب العملية. في شكل (٣) يتضح من خلال التجربة أن الأشعة الضوئية عندما تسقط على أحد جوانب المنشور ، ثم على الحائل تكون شريطاً من الألوان التالية :

أحمر، برتقالي، أصفر، أخضر، أزرق، نيلي، بنفسجي، لاحظ الشكل (٣).

كذلك عند استخدام المطياف Spectroscope في تحليل الطيف الشمسي نحصل على نفس الألوان كما يوضحه الشكل (٤) .وقد ثبت أن ما يصل إلى سطح الأرض من إشعاعات شمسية تنقسم إلى منطقتين أساسيتين هما :

المنطقة الأولى : النافذة الضوئية وتحتوي على

١- الأشعة المرئية أو الطيف المرئي والتي تضم المنطقة الطيفية ذات الأطوال الموجية من (٠,٤ ميكرو متر) إلى (٠,٧ ميكرو متر) ومايصل منها إلى الأرض هو جزء ضئيل جداً من الطيف الشمسي ، وهي التي تبث النور وتهب الحياة لكل الكائنات الحية . كما يصل إلى سطح الأرض جزء ضئيل أيضاً من أشعة المنطقة القريبة من الأشعة فوق البنفسجية ذات الأطوال الموجية :

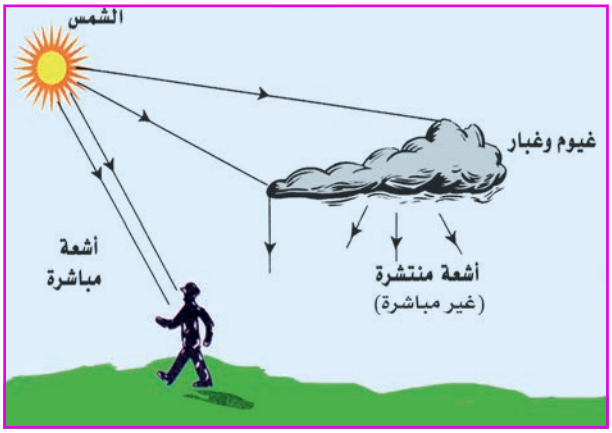
شكل (٤) الطيف الشمسي

(٠,٤ ميكرو متر > λ > ٠,٣ ميكرو متر)

وعلى الرغم من قلة هذه الأشعة إلا أن التعرض لها لمدة طويله يؤدي إلى حروق جلدية .

٢- الأشعة غير المرئية : وتضم المنطقة الطيفية ذات الأطوال الموجية من (٠,٧ ميكرو متر) إلى (١٠٠ ميكرو متر) ، وهي خارج حدود الطيف المرئي في منطقة ماقبل الأحمر والمعروفة باسم منطقة الأشعة تحت الحمراء Infrared Region ، أو الأشعة الحرارية وهي التي تعطينا الدفء والحرارة ، كما تضم الأشعة غير المرئية منطقة ما بعد البنفسجي والمسمى الأشعة فوق البنفسجية Ultraviolet Region

المنطقة الثانية : منطقة الأمواج الراديوية Radio Waves Region وتضم الأطوال الموجية من واحد ملليمتر إلى عشرة أمتار .



شكل (٥)

هل تصل الأشعاعات الشمسية إلى الأرض بصورة مباشرة ؟

يتضح من الشكل (٥) أن الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض ينقسم وفقاً للطريقة التي يصل بها إلى :

١- الإشعاع المباشر Direct Radiation :

وهو الإشعاع الذي يصدر من الشمس ولم يتعرض لأي تغيير في اتجاه مساره سوى بعض مايحدث له من انكسار في الغلاف الجوي .

٢- الإشعاع المنتشر Diffused Radiation :

هو الجزء من الإشعاع الشمسي المشتت في الجو بسبب الانعكاسات والانكسارات التي تحدث له، والذي يسقط على سطح ما من جميع الاتجاهات وتزداد كمية الاشعة المنتشرة بزيادة الغيوم والغبار في الجو.

* تجميع الطاقة الشمسية والاستفادة منها ؟

للطاقة الشمسية فوائد كبيرة حيث يتم استغلالها في ميادين عديدة لذلك فهي تجمع باحدى الطريقتين التاليتين وذلك للاستفادة منها في بعض التطبيقات للطاقة الشمسية في الحياة، وهاتان الطريقتان هما:

أ - المسطحات المستوية :

عند سقوط أشعة الشمس على صندوق معتم من الداخل وله غطاء من الزجاج الشفاف يسمح بنفاذ الأشعة الشمسية إلى داخل الصندوق ، ولكن لايسمح بخروجها ، فيمتص السطح الداخلي المعتم للصندوق هذه الأشعة ، وتخزن في شكل طاقة حرارية في الهواء المحبوس بداخل الصندوق تنتقل بالتوصيل إلى أنابيب يمر فيها ماء مثبتة في قاع الصندوق فوق سطح معدني اسود فيسخن الماء ويستخدم لأغراض مختلفة مثل تدفئة الغرف، وتدفئة المياه المستخدمة للأستحمام .

ب - المرايا المجمعة :

وهي مرايا على شكل قطع مكافئ ولها أحجام مختلفة. وتقوم هذه المرايا بتجميع أشعة الشمس في بؤر متقاربة وعند نقاط معينة، فترتفع درجة الحرارة عند نقاط التجميع إلى حد كبير قد يصل إلى (٤٠٠٠ْم)، حيث يتم تبخير الماء أو أي سائل آخر تكون درجة غليانه أقل من درجة غليان الماء ، ثم يوجه البخار ليستخدم في مجالات مختلفة مثل إدارة توربين أو إدارة ملف المولد الكهربائي .

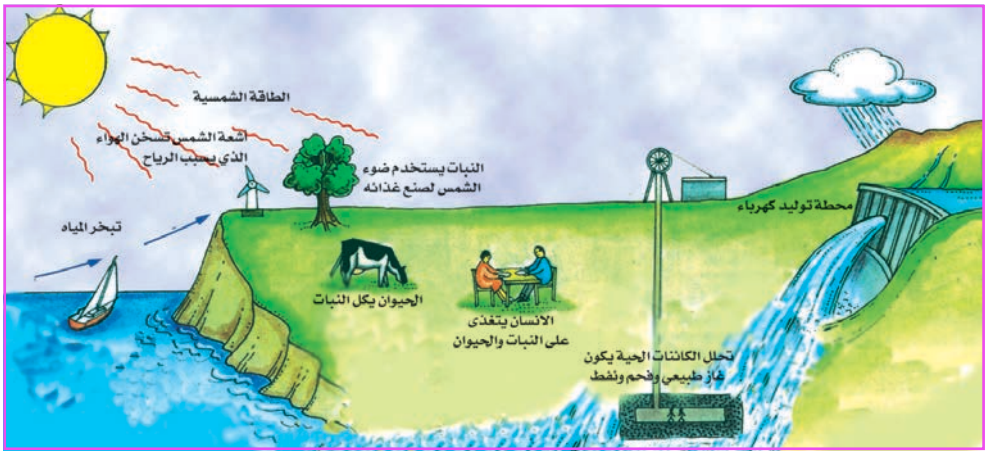
تطبيقات لاستغلال الطاقة الشمسية في الحياة

للطاقة الشمسية أو الإشعاع الشمسي دور فعال في الظواهر الطبيعية التي تحدث على الأرض ، والطاقة الشمسية التي تصل إلى الأرض أعظم بكثير من الطاقة المستهلكة من قبل الصناعات المعتمدة على مختلف أنواع الطاقة .

ولعل أهم العمليات الحيوية هي عملية التمثيل الضوئي Photosynthesis التي يقوم بها النبات ليصنع غذاءه وبالتالي يتغذى كل من الإنسان والحيوان على النبات ، كما تعد الطاقة الشمسية مصدراً للحصول على طاقة الكتلة الحيوية Biomass Energy التي تنتج من مخلفات زراعية وحيوانية وتحللها .

والمخطط التالي شكل (٦) يوضح أهم فوائد الطاقة الشمسية .

- تتبع في هذا الشكل الأشعة الشمسية وما تنتجه من مختلف الطاقات التي نستفيد منها في حياتنا ، ومن خلال ذلك أجب عما يلي :
- ما العملية التي يقوم بها النبات لتحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية لصنع غذائه؟



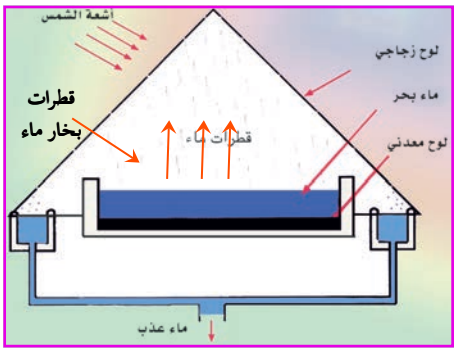
شكل (٦)

- ما أثر ذلك على الإنسان والحيوان ؟
- ما دور أشعة الشمس في إحداث الرياح ؟ وكيف يمكن استغلال هذه الرياح في توليد الطاقة؟
- ما الفوائد الأخرى للطاقة الشمسية كما يوضحها الشكل ؟

ومن إستخدامات الطاقة الشمسية في الحياة :

توليد الطاقة الحرارية

١ـ تحلية مياه البحر :



شكل (٧)

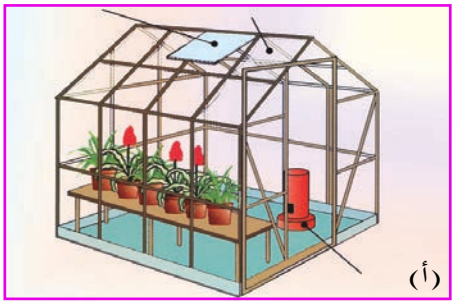
حيث يتم تحويل مياه البحر المالحة إلى مياه عذبة صالحة للشرب والري .

وكما يوضح الشكل (٧) يوضع ماء البحر في حوض ضحل ضمن بيت زجاجي حيث ينفذ قسم كبير من أشعة الشمس إلى البيت الزجاجي ثم تمص من قبل لوح معدني أسود موضوع أسفل الحوض، ويمتص ماء البحر هذه الطاقة وترتفع درجة حرارته فيتبخر، ومن ثم يتكاثف الماء المتبخر على الجدران الداخلية للبيت الزجاجي، ويتم جمع الماء العذب المتكثف في قناتين على جانبي البيت ويوزع للاستهلاك، ومن عيوب هذه الطريقة أنها بطيئة وكمية الماء العذب التي يمكن الحصول عليها تعتمد على مساحة الأحواض ، وهناك طرق حديثة أكثر كفاءة في تحلية مياه البحر .

٢ـ التدفئة :

شكل (٨)

تستخدم المياه الساخنة بفعل الطاقة الشمسية في تدفئة المنازل وذلك بدفع المياه للمرور في أنابيب تمر أولاً في مجمعات حرارة الشمس حيث تمتص الحرارة أثناء دورتها في الأنابيب التي تمتد إلى داخل غرف المنزل المختلفة وتعمل على تدفئتها .



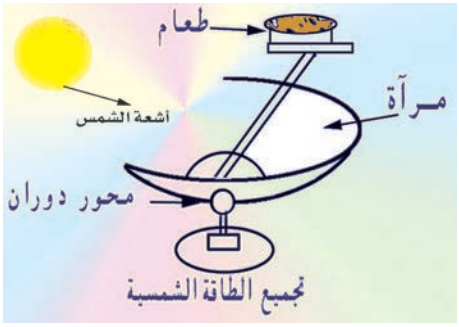
شكل (٩) البيت الزجاجي

- **البيوت الزجاجية :**

كثير من النباتات لا تستطيع مقاومة البرودة في فصل الشتاء فتوضع داخل بيوت خاصة تعمل على خزن كمية هائلة من الحرارة الآتية من الأشعة الشمسية، وتعرف بالبيوت الزجاجية، كما تحصل هذه النباتات على الطاقة الضوئية اللازمة للقيام بعملية البناء الضوئي، ويوضح الشكل (٩ أ) كيفية تصميم البيت الزجاجي بحيث تتوفر فيه الشروط اللازمة لنمو النبات داخله من حيث توفر الحرارة ، والضوء ، وثاني أكسيد الكربون .

- **الأفران الشمسية :**

تتكون الأفران الشمسية من مرآة مقعرة كبيرة مصنوعة من الألومنيوم اللامع، وتقوم هذه المرايا بتجميع الأشعة الشمسية في بؤرتها على حامل أسود ليمتص كمية هائلة من الأشعة الشمسية التي تتحول إلى حرارة تستخدم في المواقد الشمسية لطهي الطعام ، حيث يوضع الطعام على الحامل في المرايا الصغيرة، أو بصهر المعادن في الأفران الشمسية الكبيرة المستخدمة لصهر المعادن .



شكل (١٠) فكرة الفرن الشمسي

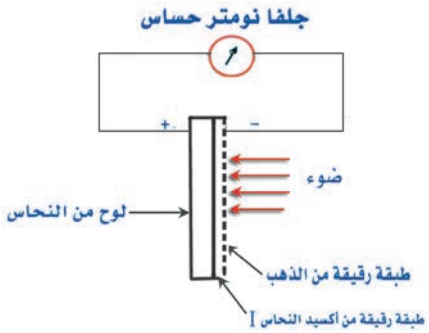
توليد الطاقة الكهربائية

تصنع محركات شمسية تتكون من غلاية مائية مثبتة فوق برج وتوضع حولها عدد كبير من المرايا المقعرة تعمل على تجميع وتركيز أشعة الشمس على الغلاية بأستمرار. وعندما يغلي الماء في الغلاية يتحول إلى بخار يخرج بسرعة كبيرة من فتحة في أعلى الغلاية ليدير تربيناً، ويدير التربين بالتالي مولداً كهربائياً. وبهذا نكون قد حصلنا على الطاقة الكهربائية من الطاقة الشمسية بطريقة غير مباشرة .

- البطاريات الشمسية :

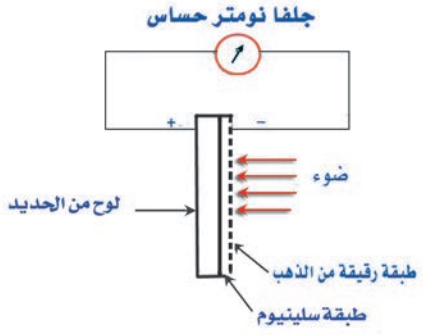
تعمل البطاريات الشمسية على تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كهربائية بطريقة مباشرة ومن أنواع البطاريات الشمسية :

١- بطاريات تتكون من لوح نحاس أحد وجهيه مغطى بطبقة رقيقة من أكسيد النحاس، وهو مغطى بطبقة رقيقة من الذهب كما في الشكل (١١).



شكل (١١)

٢- بطاريات تتكون من لوح حديد أحد وجهيه مغطى بطبقة من السيلينيوم، وطبقة السيلينيوم مغطاة بطبقة رقيقة من الذهب لتسمح بنفاذ الضوء كما في الشكل (١٢).



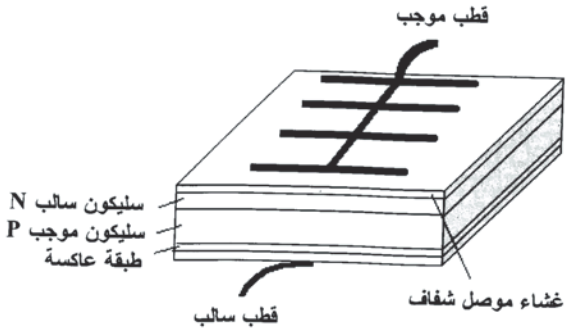
شكل (١٢)

ويتلخص عمل البطاريتين في أنه عند سقوط الضوء على طبقة الذهب ينفذ خلالها ويتسبب في إزاحة بعض الإلكترونات من طبقة أكسيد النحاس (في الأولى) وطبقة السيلينيوم (في الثانية) نحو طبقة الذهب ، فينشأ فرق في الجهد بين طبقة الذهب ولوح النجاس (في الأولى) أو لوح الحديد (في الثانية)، وبالتالي إذا وصلت طبقة الذهب الرقيقة، ولوح النحاس أو لوح الحديد بجلفا نومتر حساس يمر في دائرته تيار كهربائي، ويتحرك مؤشر الجلفانومتر ، ويستمر مرور التيار باستمرار سقوط الضوء .

٣- البطارية الشمسية السيليكونية :

وتتكون من ست طبقات كما في الشكل (١٣) حيث تتكون القاعدة من طبقتين واحدة تمثل القطب السالب للبطارية (للخلية) والثانية تقع فوقها،

وهي عبارة عن طبقة عاكسة تحفظ الضوء في الجزء الحامل من البطارية ، ثم طبقتين من السيليكون المطعم بالشوائب تكونان قلب البطارية أو قلب الخلية الشمسية ، أما الطبقة الخامسة فهي عبارة عن غشاء رقيق شفاف يحمي طبقة السيليكون العليا ، وتكتمل الخلية بالطبقة السادسة، وهي لوح معدني دقيق يمثل القطب الموجب للخلية .



شكل (١٣): تركيب الخلية الشمسية

تحول الطاقة في الخلية الشمسية

طاقة ضوئية ← خلية شمسية ← طاقة كهربائية

من الأجهزة التي تعمل بالبطارية الشمسية :

بعض أنواع الآلات الحاسبة Calculators . كما في الشكل (١٤) .

والساعات الإلكترونية Electronic Watches . كما في الشكل (١٥) .

شكل (١٤) آلة حاسبة

شكل (١٥) ساعة إلكترونية

تقويم الوحدة

السؤال الأول :

أكمل الفراغات الآتية بما يناسبها :

أ – تعد الطاقة .... من الطاقات المتجددة بينما النفط من الطاقات .....

ب – تنتج ..... عن الاندماج النووي لذرات ..... وتحولها إلى .....

جـ – ترسل الشمس أنواعاً كثيرة من الأشعاعات تسمى .....

د – ينقسم الإشعاع الشمسي الذي يصل إلى الأرض إلى ..... و .....

السؤال الثاني :

١– اشرح معنى العبارة التالية :

« تعد الطاقة الشمسية طاقة نظيفة »

٢– ماهي الأشعة المرئية ؟ وضح ذلك بتجربة عملية .

٣– اذكر العوامل التي يتوقف عليها مقدار الطاقة الشمسية الواصلة إلى الأرض.

٤– أوجد متوسط الطاقة الشمسية الساقطة على وحدة المساحات من سطح الأرض اذا علمت أن كل ١سم٢ من سطح الأرض يستقبل في الدقيقة الواحدة مايقرب من (٢) سعر من الطاقة.

٥– ما الفرق بين الطيف المرئي والطيف غير المرئي؟

السؤال الثالث :

١– وضح مع الرسم ملاءمة تصميم البيت الزجاجي لنمو النبات ، وتوفير الشروط اللازمة للنمو.

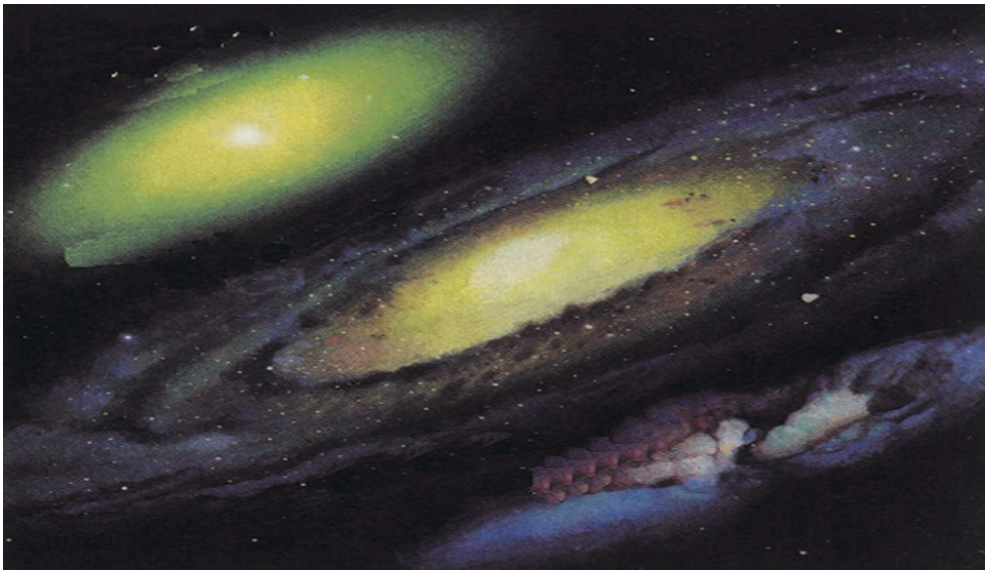
٢– ما أنواع البطاريات الشمسية وضح إجابتك بالرسم ثم اذكر بعض استخدامات هذه البطاريات ؟

السؤال الرابع :

اكتب مقالاً علمياً توضح فيه كيفية استغلال الطاقة الشمسية في التكنولوجيا، وما أثر ذلك على حياتنا، مستعيناً بمادرست في هذا الموضوع.

الوحدة التاسعة

الفيزياء الكونية
Physics of The Universe



أهداف الوحدة

يتوقع من الطالب بعد الانتهاء من دراسة هذه الوحدة أن يكون قادراً على أن :

١- يعرف كلاً من الكون ، المجرة ، النجم ، العملاق الأحمر ، القزم الأبيض، النجم الساطع، الثقب الأسود .

٢- يصف مفهوم الكون والمجرات .

٣- يوضح الفرق بين نظريات نشوء الكون .

٤- يفرق بين السديم والمجرة .

٥- يصف مع الرسم أنواع المجرات .

٦- يوضح مراحل نشوء وتطور النجوم .

٧- يقدر درجة حرارة سطح النجم من خلال لونه .

٨- يوضح مفهوم الوحدات الفلكية والسنة الضوئية .

في هذه الوحدة سنحاول التعرف على مفهوم الكون ومكوناته وما يمكن مشاهدته فيه إما بالعين المجردة أو باستخدام التلسكوبات المتطورة (المناظير الفلكية)، كما سنتطرق إلى كيفية بدء أو نشوء الكون في ضوء النظريات التي تتحدث عن ذلك ، كما سنتعرف على المجرات ومم تتكون وعلى المسافات بين المجرات ، كما سنتوسع قليلاً في التحدث عن نشوء وتطور النجوم وأنواع النجوم والفرق بينها وماهية الثقوب السوداء. كما سنذكر المجرة التي تقع فيها الأرض، وكيف تمثل مجموعتنا الشمسية في هذه المجرة.

الكون : The Universe

يمكن أن نبدأ حديثنا عن الكون بالنشاط العقلي الآتي :

نشاط (١)

في ليلة صافية غير قمرية، وفي أي فصل من فصول السنة اخرج بعيداً عن أضواء المدينة إن كنت تعيش في مدينة، وإن كنت تعيش في الريف اصعد إلى سقف البيت وتطلع إلى السماء.

- ماذا تلاحظ في السماء ؟
- ماذا تشاهد في المساحات الكبيرة والهائلة في الفضاء ؟
- باستخدام خيالك ما الأشكال الهندسية أو الصور التي رأيتها ؟
- هل رأيت الدب الأكبر ؟ ربما رأيت التوأم ! هل رأيت النجم سهيل ؟
- هل رأيت شكلاً يمثل إمرأة مقيدة بالسلاسل؟!
- ربما رأيت نجماً متلألئاً في اتجاه الشمال الجغرافي للأرض !

من المتوقع أنك تشاهد مساحات كبيرة وهائلة من الفضاء، وتبدو أن هذه المساحات مطرزة بنجوم متلالئة مضيئة، وستجد أن بعض النجوم تبدو وكأنها في أماكن ثابتة والبعض الآخر قد تحرك قليلاً من مكانه بعد مرور وقت طويل من الليل، وستلاحظ أن أشكالاً هندسية بين النجوم قد تكونت لديك أو أن صوراً لحيوانات قد رسمت في خيالك.

إن الأشكال والصور التي بدت لك قد بدت للناس القدماء وقاموا بتسميتها بأسماء مختلفة كالدب الأكبر والدب الأصغر والشعرى اليمانية والمرأة المسلسلة ، وغير ذلك من التسميات .

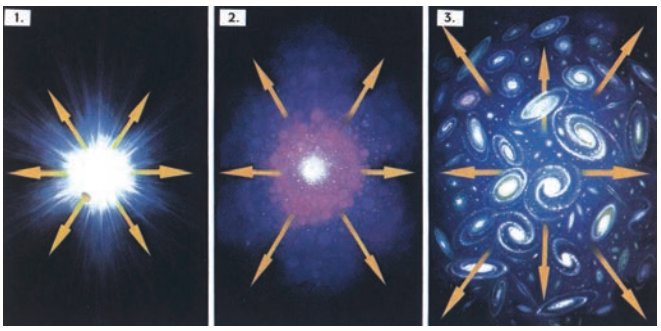
وما تراه من هذه الأشكال والصور ما هو إلاَّ عبارة عن كوكبات أو بروج من النجوم المتواجدة مع بعضها يفرق بينها مسافات كبيرة، والبعض من هذه الأشكال مجرات وكواكب وسُدُم ، ويعرف ما نشاهده باسم الكون، ولا أحد يعرف مدى سعة الكون ولا حدوده إلا الله، ويقدر العلماء الفلكيون أن عمر الكون ما بين ١٥ إلى ٢٥ بليون سنة .

قال تعالى ﴿ تَبَارَكَ الَّذِي جَعَلَ فِي السَّمَاءِ بُرُوجًا وَجَعَلَ فِيهَا سِرَاجًا وَقَمَرًا مُّنِيرًا ﴾

آية (٦١) سورة الفرقان .

كيف بدأ الكون ؟

للإجابة على هذا التساؤل دعنا نستعرض بعض النظريات التي تتحدث عن نشوء الكون، وكلها ترتكز على فكرة أن المجرات تتحرك بعيدة عن بعضها أو تنتشر بسرعة مذهلة ، لكن أكثر النظريات قبولاً هي نظرية الانفجار العظيم Big Bang Theory التي أول من اقترحها عام ١٩٢٧ العالم الفلكي البلغاري جيورجي لي مهتر والتي صاغها بحالتها الحالية العالم الروسي ج – جامو عام ١٩٤٨م . هذه النظرية تصف بداية الكون بأنه نتيجة لانفجار عظيم،



شكل (١)

وإن هذا الانفجار حدث عندما كانت المادة والطاقة مجتمعتين تكونان شيئاً واحداً هو عبارة عن كتلة على شكل كرة يبلغ قطرها قدر عشر مرات قطر الشمس تقريباً الذي يبلغ نحو (١٣٩٢٠٠٠) كيلو متر . وعندما انفجرت هذه الكتلة امتلأ الكون إشعاعاً وتمدد، وانخفضت درجة حرارته بعد أن كانت قبل الانفجار ١٠[١٨] درجة مئوية تقريباً . ومع انخفاض درجة الحرارة أصبحت الفرصة مواتية لتكون ذرات الهيدروجين التي تكاثفت فيما بعد وكونت مجرات ونجوماً .

الكون الممتد Extended Universe

اعتبرت نظرية الانفجار العظيم أن الكون ما زال يتمدد منذ أن حدث الانفجار العظيم، وبسرعات عظيمة جداً، وقد أثبت هابل أحد العلماء الأمريكيين في عام ١٩٢٩ أن المجرات المكونة للكون تتباعد عن بعضها بسرعة تصل (٥٠–١٠٠) كم/ث، وتزداد هذه السرعة بزيادة المسافة بين المجرات العديدة .

وإذا كان هذا الابتعاد يمثل تمدد الكون فإننا لا نملك إلا أن نسبح بقدرة خالقنا العظيم الذي يقول : ﴿ وَٱلسَّمَآءَ بَنَيْنَٰهَا بِأَيْيْدٍ وَإِنَّا لَمُوسِعُونَ ﴿٤٧﴾ ﴾ . صورة الذاريات (٤٧)

نظرية التجديد المستمر The Steady State Theory

هذه النظرية ترى أن الكون أزلي دون بداية ولا نهاية إذ يرى كل من هـ . بوندي، ت . جولد، ف . هويل ١٩٣٨م من جامعة كمبردج ببريطانيا أن المجرات تتمدد، وكلما تمددت نشأت مجرات أخرى بينها ، وأنه لا يوجد تغير في كثافة الكون لكن لا يوجد دليل حتى الآن يثبت أن مجرات جديدة قد تتشكل، كما تقترح هذه النظرية أن غاز الهيدروجين الذي يستهلك في المجرات، والذي يمثل الأساس في تكوين نجوم جديدة بدلاً عن النجوم المحتضرة والذي يملأ الفراغ الناتج عن ابتعاد المجرات عن بعضها يبقى ثابتاً ولا ينقص . وهذا يتعارض مع مبدأ حفظ المادة والطاقة الذي ينص على « أن المادة لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن تحويلها من صورة إلى أخرى » .

نظرية الكون النابض The Oscillating Universe

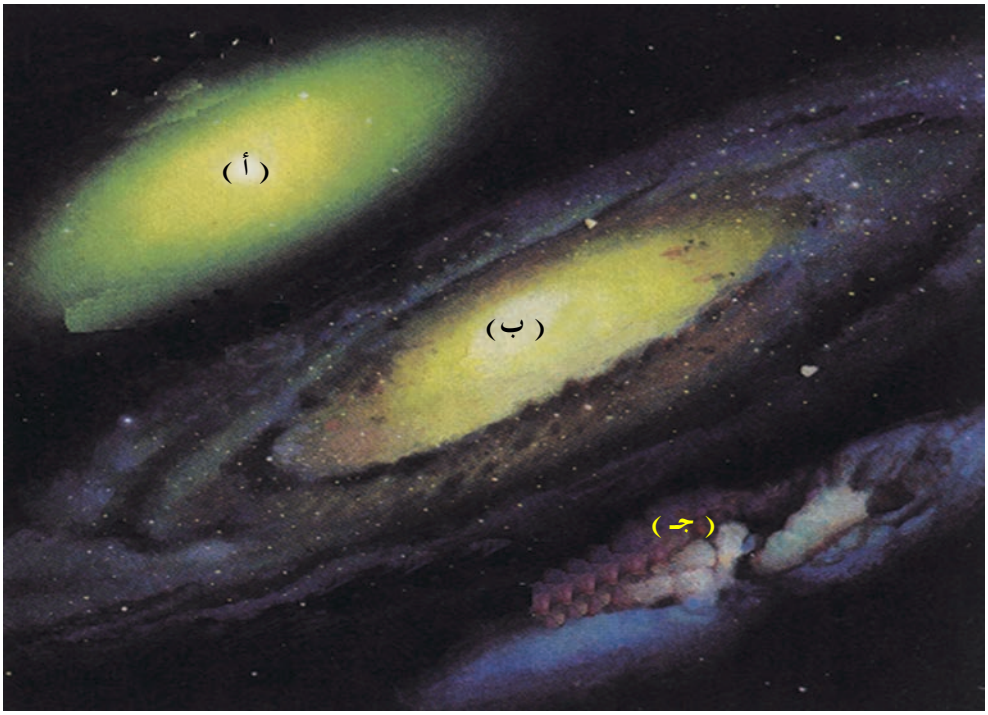
هذه النظرية تقترح أن الكون بدأ بالانفجار، أي التمدد، ثم ينكمش في النهاية وتندمج المجرات مع بعضها مرة أخرى، وعندما يصل الانكماش إلى درجة حرارة مناسبة وضغط مناسب فإن انفجاراً آخر سيبدأ ويبدأ تمدد جديد .

ويختلف الفلكيون في المادة وكمياتها اللازمة لوجود جاذبية تجعل الكون ينكمش مرة أخرى، ويحتاج الفلكيون إلى المزيد من المعلومات عن انكماش وتمدد الكون، ونحن نقول إن الكون خلق الله العظيم الذي يقول :

﴿ وَمَآ أُوتِيتُم مِّنَ ٱلْعِلْمِ إِلَّا قَلِيلًا ﴾ [الآية (٨٥) سورة (الإسراء)] .

المجـرات : Galaxies

للتعرف على مفهوم المجرة دعنا ننظر إلى الأشكال الآتية ونجب عن الأسئلة :



شكل (٢)

نشاط (٢)

– ما الذي تلاحظه في الشكل ؟

– ما الفرق بين الأشكال الثلاثة ؟

– هل أحجام الأشكال وسمكها متساوية ؟ إن الأشكال التي تشاهدها تسمى مجرات وهي تعتبر تجمعاً هائلاً لمجموعات من النجوم، وكل مجموعة هائلة من النجوم تنتظم مع بعضها لتكوّن ما يسمى بالمجرة Galaxy، وأعدادها لا تحصى وأحجامها ضخمة وتحتوي على ملايين النجوم، وتتباعد عن بعضها في فراغ كبير لا يحوي نجوما بل كميات قليلة من ذرات غاز الهيدروجين . ويُعتقد أن المجرات بدأت على شكل كتل من سحب عظيمة من الغاز والغبار، وأن هذه السحب غير متساوية في كثافتها، وأن كل كتلة تدور حول نفسها، وأن تجاذباً وتكاثفاً للمواد حدثا فتكونت النجوم والسدم Nebula والمجرات بأشكال مختلفة، ويدل اختلاف أشكالها على مراحل تطورها .

ويظهر السديم وكأنه أجسام سماوية وأجسام مبعثرة بين النجوم وهو عبارة عن بقايا نجوم وسحب من غازات تكونت من الهيدروجين ومواد أخرى .

ويرى أدوين هابل (أحد العلماء الأمريكيين) أن المجرات يمكن أن تصنف من حيث الشكل إلى ثلاثة أصناف هي :

المجرات الإهليلجية (بيضاوية): Elliptical Galaxies

وهي تقريباً ذات شكل كروي إلا أنها تميل إلى أن تكون على شكل كرة مستوية ومعظم هذه المجرات ليست ضخمة وتحتوي على ملايين النجوم شكل (٢– أ) .

المجرات الحلزونية (اللولبية) : Spiral Galaxies

وتظهر على شكل طاولة مدورة Ring Disk Spin منتظمة في وسطها، والمجرة من هذا النوع تكون أكثر لمعاناً من المجرات البيضاوية ، والتدويم أي دوران المجرة على مركز التكثف، يكون كبيراً جداً، وتتجمع نجوم هذه المجرات في الانتفاخ الكروي وفي ذراعي المجرة (شكل٢–ب) .

المجرات غير المنتظمة : Irregular Galaxies

هذه المجرات أصغر حجماً من المجرات الأخرى وفيها أعداد أقل من النجوم مقارنة بأعداد النجوم في المجرات الأخرى ومعظم نجوم هذه المجرات جديدة، أي إنها تحت طور التكوين شكل (٢ – جـ) .

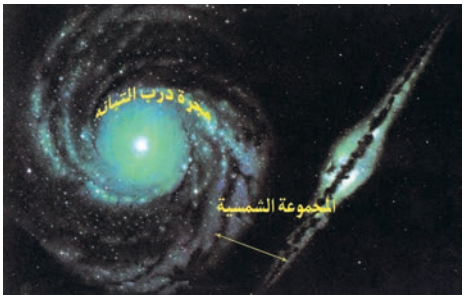
مجرة درب التبانة (الطريق اللبني) : The Milky Way Galaxy

للتعرف على هذه المجرة دعنا نمهد لذلك بالنشاط الآتي :

نشاط (٣)

انظر للشكل المجاور وأجب عن الأسئلة الآتية :

- سم الشكل الذي تلاحظه .
- ما نوع هذا الشكل ؟
- ما حجم المجموعة الشمسية بالنسبة للشكل ككل ؟



شكل (٣)

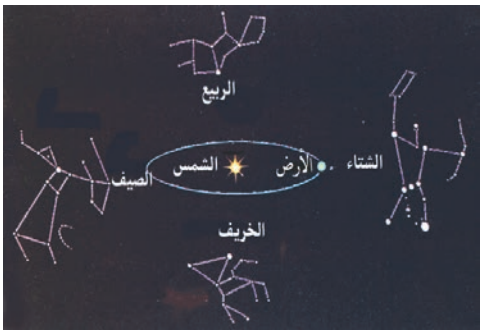
إن الشكل الذي تلاحظه هو شكل مبسط لمجرة درب التبانة (الطريق اللبني)، وهو مجرة حلزونية قطرها ١٠٠,٠٠٠ سنة ضوئية وسمكها ٥٠٠٠ سنة ضوئية، وتدور

هذه المجرة حول محور يمر بمركزها، وتقع المجموعة الشمسية عند ثلثي المسافة تقريباً من مركز المجرة. وتتكون هذه المجرة من ملايين من النجوم، والشمس تعتبر واحداً من النجوم في هذه المجرة ويلزم شمسنا ٢٠٠ مليون سنة لكي تكمل دورة واحدة حول مركز المجرة علماً أن سرعة الشمس المدارية ٢٥٠ كم / ث . وتظهر هذه المجرة كشريط من النجوم يعرف بدرب التبانة، أو الطريق اللبني، أي إنه شريط متلألئ وتظهر النجوم على شكل مجموعات متقاربة من الصور تعرف بالكوكبات، وتعرف هذه الكوكبات (مجموعة من النجوم) وهي ليست في الحقيقة متقاربة بل إنها تبتعد عن بعضها بمئات السنين الضوئية، وأقرب مجرة لمجرتنا هي مجرة المرأة المقيدة بالسلاسل Andro التي تبعد عن مجرتنا بحوالي ٦٥٠ سنة ضوئية. ولمزيد من التعرف على الكوكبات، والتي تسمى بالأبراج أيضاً، دعنا نسأل الأسئلة الآتية :

– لماذا أشكال النجوم التي تظهر في السماء تختلف من فصل إلى آخر ؟

للإجابة على هذا السؤال انظر إلى الشكل الآتي :

كما تعلم أن الأرض تدور حول الشمس دورة واحدة في السنة، ونتيجة لهذا الدوران تكون الأرض مرت بأربعة فصول مختلفة، ويكون موقعها حول الشمس في كل مرة مختلفاً، وأن الجزء المظلم من الأرض يواجه اتجاهات مختلفة، ونتيجة لذلك تظهر لنا كوكبات مختلفة ، ففي الشتاء يمكن مشاهدة مجموعة من النجوم الساطعة المعروفة بالجبار أو الصياد الجبار وهذه المجموعة من النجوم تظهر وكأنها صياد عملاق في الأفق .



شكل (٤)

– سم مجموعة الكوكبات الأخرى التي تظهر في الشكل .

النجـــوم : Stars

النجوم عبارة عن أجسام سماوية مضيئة تنتج طاقتها من داخلها وتبعث إشعاعات مختلفة الأطوال الموجية، وهذا يفسر سبب ظهور النجوم بألوان مختلفة، ولأن النجوم تبعث طاقة فإن كتلتها لا بد وأن تكون في تغير مستمر .

نشوء وتطور النجوم : Formation of Stars

تتكون النجوم عندما تكون المجرة التي تقع فيها في طور التكوين، إذ يعتقد العلماء أن مناطق في المجرة تبدأ في البرود والتكثف بسرعة كبيرة فتكّون مراكزاً لكتل كثيفة تصبح هذه الكتلة الكثيفة نجوماً ، إذ تتكثف الكتلة بسبب انجذاب المادة التي تتكون منها المجرة نحو مركز الكتلة ، نتيجة قوى الجذب الداخلية للكتلة . وباستمرار التقلص أيضاً ترتفع درجة حرارة التجمع إلى أقصى حد حتى تصل إلى درجة التأين الكامل لجميع ذرات الهيدروجين ويصبح التجمع ساخناً إلى درجة الإبيضاض وتسمى عندئذ (بلازما) والتي تتكون من بروتونات وإلكترونات وجسيمات أخرى تبدأ عملية الاندماج النووي وهكذا يكون مولد النجم .

يحدث في باطن النجوم نوعان من التفاعلات الاندماجية النووية عند إنتاج الطاقة الضوئية، ففي النجوم مثل الشمس، أو النجوم القريبة كتلتها من كتلة الشمس، تنتج الطاقة من تحول جزء من كتلة الهيدروجين المتحولة إلى هليوم حيث تتحول أربع ذرات هيدروجين إلى ذرة هليوم واحدة تكون كتلتها أقل من كتلة ذرات الهيدروجين الداخلة في التفاعل ويسمى هذا التفاعل بدورة البروتون بروتون .

أما في النجوم التي كتلتها أثقل من كتلة الشمس فإن الطاقة تنتج من تحول أربع ذرات هيدروجين إلى ذرة هليوم واحدة تكون كتلتها أقل من كتلة ذرات الهيدروجين المتفاعل وفرق الكتلة هذا يتحول إلى طاقة ضوئية وحرارية . إن هذا التفاعل يسمى بدورة الكربون – النيتروجين – الأكسجين حيث يدخل الكربون كعامل مساعد في التفاعل ويمثل الأكسجين والنيتروجين نواتج ثانوية .

لون النجوم : Colour of Stars

يعود لون النجوم إلى الأطوال الموجية التي تبعثها أو تشعها فالنجم الأحمر يشع ضوءاً يحتوي على جميع الأطوال الموجية ولكن يشع ضوءاً أحمر أكثر من بقية الأضواء ذات الألوان الأخرى ، وبعض النجوم تبعث ضوءها وطاقتها على شكل موجات لا تراها العين البشرية كالأشعة فوق البنفسجية .

من الشكل (٥) يلاحظ أنه عندما تكون درجة حرارة السطح الخارجي للنجم (٣٢٥٠°م) يظهر

شكل (٥)

بلون أحمر . وإذا كانت درجة حرارة السطح (٥٥٠٠مْ) فإن لون النجم سيكون أصفر تماماً كالشمس. وعموماً فإن النجم الذي درجة حرارة سطحه كبيرة يكون أكثر لمعاناً من النجم الذي درجة حرارة سطحه أقل. ولون النجم لا يرجع فقط إلى درجة حرارة سطح النجم بل يرجع الى حجمه أيضاً. فالنجم كبير الحجم يكون أكثر لمعاناً من النجم الأصغر .

تطور النجوم: The Life of Stars

عرفنا أن النجم يتكون من تكثف الغبار الغازي بواسطة قوى الجاذبية عند مركزالكتلة المتجمعة وبالتالي تزداد درجة حرارتها حتى تصل إلى درجة التأين الكامل لذرات الهيدروجين، فتبدأ التفاعلات النووية الحرارية فيها لتتوقف عملية التقلص أو التكثف ويبدأ النجم بالإشعاع .

وتعتمد مرحلة إشعاع النجم على كتلته، حيث إن كتلة النجم تحدد السرعة التي يستهلك بها النجم كمية الهيدروجين المتحول إلى هليوم، فالنجوم الكبيرة التي كتلتها تساوي (١٠–٢٠) مرة كتلة الشمس تستهلك الهيدروجين بكثرة وبالتالي تصرف وقودها في مدة قصيرة (ملايين السنين) وأما النجوم التي كتلتها تساوي كتلة الشمس فإن طاقتها لا تنفذ بسرعة وتستمر في الإشعاع لمدة (١٥–٢٠) مليار سنة .

ويستمر النجم في استهلاك الهيدروجين في باطنه إلى أن ينتهي مخزون الهيدروجين، ويتحول كلية إلى هليوم ويبدأ باطن النجم بالانكماش بتأثير وزن الطبقات العليا للنجم فترتفع درجة حرارة النجم ويندمج الهليوم منتجاً الكربون وطاقة هائلة فتتمدد الطبقات الخارجية للنجم مئات المرات فيزداد لمعاناً ويعرف النجم عند هذه المرحلة بالعملاق الأحمر Red Giant، ثم تبدأ تفاعلات من نوع جديد أي إن كل ثلاث ذرات هليوم مندمجة تكون ذرة كربون واحدة ، وتؤكد الحسابات أن شمسنا ستصبح عملاقاً أحمر بعد (٨ مليارات سنة) .

وعندما تصل كتلة النجم إلى ما يقرب من كتلة الشمس، ويكون قد استهلك احتياطات وقوده النووي، فإنه يتحول إلى قزم أبيض White Dwarf وإذا تقلص النجم ولكنه لم يحصل على طاقة كافية لإحراق الكربون الناتج وتحويله إلى أكسجين فإن لمعانه يقل ويظل يشع طاقة ضوئية إلى أن يبرد ويصبح غير مرئي ، ويكون حجمه أصغر من حجم الأرض فيموت وتنتهي دورة حياته .

إلاَّ أنه وفي بعض الأحيان لا يمر النجم بهذه التطورات ولكنه يمر بتغيرات مدمرة، فهو يتمدد وينكمش مرات عديدة وبالقرب من نهاية حياته ينفجر انفجاراً ضخماً، ويسمى النجم في هذه الحالة بالنجم الساطع Supernova ، ويمكن أن ينتج ضوءاً ضخماً كالضوء الذي تصدره المجرة كلها، والمواد التي تقذفها هذه النجوم في الفضاء تقذف بسرعات عظيمة .

ولا يسعنا أمام هذه الظاهرة إلا أن نسبح بقدرة الله الخالق الذي أقسم بالنجم الثاقب حيث قال : ﴿ وَٱلسَّمَآءِ وَٱلطَّارِقِ ۝١ وَمَآ أَدۡرَىٰكَ مَا ٱلطَّارِقُ ۝٢ ٱلنَّجۡمُ ٱلثَّاقِبُ ﴾

سورة الطارق (١).

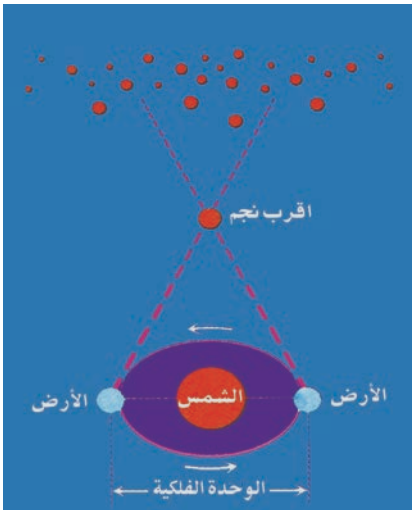
وإذا تقلص حجم النجم بشكل كبير فقد يصل إلى (٥كم٣) ولكن كتلته تظل ثابتة وتساوى أربع مرات كتلة الشمس وتكون جاذبيته قوية جداً ، وأي جسم يصل إلى هذا النجم فإنه لا يستطيع المغادرة إلى درجة أن الضوء نفسه لا يستطيع النفاذ منه فيعرف النجم في هذه المرحلة بالثقب الأسود Black Hole ، ويصبح بإمكان هذا الثقب التهام النجوم .

– عرف الثقب الأسود .

المسافات بين النجوم: Distance to Stars

إذا شاهدت السماء في ليلة صافية ستشاهد أشكالاً وصوراً هندسية مختلفة بين النجوم وسيبدو لك أن النجوم تبعد مسافات متساوية من الأرض، إلا أن ذلك ليس صحيحاً فالفلكيون أثبتوا أن النجوم ليست ذات أبعاد (مسافات) متساوية من الأرض .

انظر إلى الشكل (٦) الذي يمثل كوكبة ذات الكرسي التي تتكون من مجموعة من النجوم حيث تبدو للناظر أنها على مسافات متساوية من الأرض إلا أنها في الحقيقة ليست على أبعاد متساوية بل تبعد ملايين الكيلومترات عن بعضها . وسبحان الله العظيم القائل :



شكل (٦)

﴿ فَلَآ أُقۡسِمُ بِمَوَٰقِعِ ٱلنُّجُومِ ﴿٧٥﴾ وَإِنَّهُۥ لَقَسَمٞ لَّوۡ تَعۡلَمُونَ عَظِيمٌ ﴿٧٦﴾ ﴾

سورة (الواقعة آية ٧٥)

قياس المسافات بين النجوم :

لقياس المسافات بين النجوم والكواكب يلزم استخدام وحدات خاصة لهذا الغرض، لأن استخدام وحدة الكيلومتر غير مناسب نتيجةً لصغرها . وتسمى هذه الوحدة بالوحدة الفلكية وهي تعادل المسافة بين مركز الأرض والشمس وتساوي ١٥٠ مليون كيلومتر، وبالتالي فإن الأرض تبعد عن الشمس بمقدار وحدة فلكية واحدة .

وحيث إن المسافات بين النجوم من الصعب معرفتها باستخدام الوحدة الفلكية أيضاً، فقد استخدمت وحدة أخرى تسمى بوحدة السنة الضوئية التي تقاس بها المسافات بين النجوم، وذلك نسبة إلى سرعة الضوء التي تبلغ (٣٠٠,٠٠٠) كم/ث، إذ يقطع الضوء هذه المسافة في ثانية واحدة، وبذلك فإن السنة الضوئية عبارة عن ٩,٤٦٠,٨٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كم، ويمكنك حسابها كالآتي :

السنة الضوئية = سرعة الضوء × الزمن

$= ٣٠٠,٠٠٠ \frac{\text{كم}}{\text{ث}} \times ٣٦٥,٢٥ \times ٢٤ \times ٦٠ \times ٦٠$ (ث)

= ٩,٤٦٠,٨٠٠,٠٠٠,٠٠٠ كم .

فإذا كانت الشمس تبعد عن الأرض ١٥٠ مليون كيلو متر ، فإن الضوء الذي يخرج منها يصل إلى الأرض بعد ٨ دقائق، بينما أقرب النجوم إلينا وهو الظمآن يبعد عنا حوالي ٤,٢ سنة، أي إن الضوء الذي يخرج من هذا النجم يصل إلينا بعد ٤,٢سنة، وإذا كان النجم الذي يظهر دائماً فوق القطب الشمالي للأرض والذي نسميه نحن بالنجم القطبي نسبة الى مكانه بالنسبة لقطب الأرض يبعد عنا مسافة ٤٠٠ سنة ضوئية فالضوء المنبعث منه إلى الأرض يكون قد غادر النجم قبل ٤٠٠ سنةمن رؤيتنا له، ولا ندري الآن ما مصير هذا النجم هل ما يزال موجوداً أم لا ، فنحن نحتاج إلى ٤٠٠ سنة أخرى لمعرفة ذلك، وأنى للشخص منا أن يعمّر مثل ذلك حتى يعرف؟!!

إذاً كيف يقيس الفلكيون المسافات بين النجوم والأرض؟

إن إحدى الطرق تسمى اختلاف المناظر، أو اختلاف مكان المشاهدة Parallaxes أي تعني النظر إلى الجسم من أماكن مختلفة من على الأرض، وهذه الطريقة تستخدم لتحديد المسافة لأقرب النجوم حيث يرصد النجم من مكان ما على سطح الأرض، ثم بعد ٦ شهور يُرصد هذا النجم فتكون الأرض قد قطعت مسافة ٣٠٠,٠٠٠,٠٠٠كم من النقطة الأولى، ومن ثم يقوم الفلكيون بحساب التغير في المسافة وبالتالي يتوصلون إلى تعيين بُعد النجم عن الأرض كما في شكل (٦) .

تقويم الوحدة

س١) ضع علامة (√) أمام العبارة الصحيحة وعلامة (X) أمام العبارة الخاطئة في كل مما يلي :

١- حـــدث الانفجار العظيم عندما كان قطر الكـرة الكونيـة مساوياً ١٠ مرات قطر الشمس ( ) .

٢- الكون في بدايته كان مكوناً من ذرات الهيدروجين ( ) .

٣- سرعة تباعد المجرات عن بعضها تتناسب طردياً مع المسافة بينها ( ) .

٤- يعود اختلاف لمعان النجوم إلى حجمها ودرجة حرارتها ( ) .

س٢) اختر الإجابة الصحيحة :

١- مجرة درب التبانة هي مجرة من النوع :

أ - الحلزوني ، ب - الكروي ،

جـ - غير المنتظم ، د - لا شيء مما ذكر .

٢- ما نراه في السماء الصافية ليلاً عبارة عن :

أ - مجرات ، ب - كوكبات ، جـ - سدم ، د - كل ما ذكر .

٣- يدل اختلاف أشكال المجرات على :

أ - عدد النجوم ، ب- مراحل تطورها ،

جـ - سدمها ، د - مادتها .

٤- النجوم التي تكّون صوراً أو أشكالاً تعرف بـ :

أ- الكوكبات ، ب- الأبراج ، جـ - السدم ، د - (أ + ب) .

٥- يبدأ تكون النجوم عند :

أ - بدء حدوث الاندماج النووي . ب- تفاعل الهيدروجين مع الهليوم . جـ - اندماج ذرات الهيدروجين . د - حدوث الانفجار العظيم .

س ٣) صف مراحل تكوين النجم .

س ٤) ما نظرية الانفجار العظيم ؟

س٥) قارن بين نظريات بدء تكّون الكون ، وما أكثرها قبولاً من وجهة نظرك ؟

س ٦) ارسم أشكال المجرات الثلاثة ثم قارن بينها .

قوائم المصطلحات

Absorption	امتصاص
AC circuits	دوائر التيار المتردد
Agimutbal quantum number	العدد الكمي السمتي
Angular momentum	كمية التحرك الزاوي
Alarm bell	جرس إنذار
Alpha particles	جسيمات ألفا
Amplification	معامل التكبير
Andromeda galaxy	مجرة المرأة المسلسلة
Anode	أنود (المصعد)
Antenna circuit	دائرة هوائي
Atomic spectrum	الطيف الذري
Audio circuit	دائرة السماعة
Audio waves	موجات مسموعة
Bolmer series	سلسلة بالمر
Base	قاعدة
Beta particles	جسيمات بيتا
Big Bang theory	نظرية الانفجار العظيم
Biomass Energy	طاقة الكتلة الحيوية
Black Hole	الثقب الأسود
Black body radiation	اشعاع الجسم الأسود
Brachett series Capacitive reactance	المفاعلة السعوية لسلسلة براكيت
Carrier current	التيار الحامل
Cathode	كاثود (المهبط)
Cathode rays tube	أنبوبة اشعة الكاثود
Chain reaction	التفاعل المتسلسل
Characteristic - X-rays lines	طيف الأشعة السينية المميزة
Common Emitter Amplification	التكبير بالباعث المشترك
Common Base Amplification	التكبير بالقاعدة المشتركة
Conductors	مواد موصلة
Coloured lights	أضواء ملونة

Continous spectrum	الطيف المتصل
Continous X-rays spectrum	طيف الأشعة السينية المتصل
Deflection	الملفات الحارفة
Diffuse Radiation	الإشعاع المنتشر
Direct Radiation	الإشعاع المباشر
Electric Conduction in gases	التوصيل الكهربائي في الغازات
Electric Generator	مولد التيار الكهربائي
Electrons gun	بندقية الإلكترون
Electronic Devices	الأجهزة الإلكترونية
Electron Volt	إلكترون فولت (أ.ف)
Elephical Galaxies	المجرات الأهليجية
Emission	انبعاث
Emitter	الباعث
Escape velocity	سرعة الإفلات
Excitation	إثارة
Extended Universe Filter	مرشح الكون الممتد
Flourescent pionts	النقاط الفلوريسية
Forbidden orbitals	المدارات المحرمة
Forward bias conductions	التوصيل الأمامي
Galaxy	مجرة
Gamma Rays	أشعة جاما
Geiger counter tube	كشاف جيجر
Half - life	عمر النصف
Hotwire Ameter	الأميتر الحراري
Hydrogen atomic spectrum	طيف ذرة الهيروجين
Hydrogen bomb	القنبلة الهيدروجينية
Impedance	معاوقة
Impure Semiconductors	اشباه الموصلات غير النقية
Enduced	مستحث
Enduction Coil	ملف حثي
Infrared Rays	الأشعة تحت الحمراء

Ionization of gases	تأين الغازات
Irrigular Galaxies	المجرات غير المنتظمة
Integrated Circuit	دائرة متكاملة
Kinetic Energy	الطاقة الحركية
Life of stars	حياة النجوم
Light year	السنة الضوئية
Light Intensity	شدة الإضاءة
Line Spectra	الأطياف الخطية
Lyman series	سلسلة ليمان
Metastabte state	مستوى طاقة مستقر
Matalic surfuce	سطح معدني
Microphone	دائرة الميكرفون
Milky way galaxy	مجرة درب التبانة
Modifed current	التيار المعدل
Molecule	جزيء
Momentum	العزم (كمية التحرك)
Monochromatic light	ضوء وحيد اللون
Non-conductor	رديء التوصيل
Non-renewable energy	الطاقة غير المتجددة
N-type semiconductor	بلورة سالبة (مانحة)
Nuclear binding energy	طاقة الربط النووي
Nuclear fission	الانشطار النووي
Nuclear mass number	العدد الكتلي النووي
Nuclear physics	الفيزياء النووية
Nuclear reaction	التفاعل النووي
Old Quantum mechanics	نظرية الكم القديمة (التقليدية)
Optical excitation	إثارة ضوئية
Optical pumping	ضخ ضوئي (كشاف ضوئي)
Optical sources	مصادر ضوئية
Oscillating circuit	دائرة مهتزة
Oscillating universe theory	نظرية الكون النابض

Oscilloscope	كاشف الذبابات (اسيلوسكوب)
Paschen series	سلسلة باشن
Pbund series	سلسلة بقونة
Planck’s quant zation of energy	تكميم بلانك للطاقة
Phase	طور
Photo electron	إلكترون ضوئي
Photo electric cells	الخلايا الكهروضوئية
Photo electric electrons emitten	باعث إلكترونات ضوئية
Photon	فوتون
P-N Jumction	الوصلة الثنائية من نوع (P-N)
Polyatomic structure	التركيب البلوري
Principal Quntum number	العدد الكمي الرئيس
Population inversion	استيطان عكسي
Projectiles	المقذوفات
Postive hole	الفجوة الموجبة
P-Type semiconductor	بلورة من النوع الموجب (بلورة مستقلة)
Potential barrier	الجهد الحاجز
Pure semiconductrors	أشباه موصلات نقية
Quanta	كمات
Quantum mechanics	ميكانيكا الكم
Quantum theory	نظرية الكم
Radar	رادار
Radioactivity	النشاط الإشعاعي
Radioactivity decay	التحلل الإشعاعي
Radiation	إشعاع
Radiation Energy	الطاقة الإشعاعية
Radio Waves	الموجات الراديوية
Red Giant	العملاق الأحمر
Reversing Switch	مفتاح عاكس (مزدوج)
Renewable Energy	طاقة متجددة
Rockets prpulsion	صواريخ ذاتية الدفع

Ruby laser	ليزر الياقوت
Sandwich junction	وصلة الساندويش
Semicanductors	أشباه الموصلات
Secondary electronic emission	الانبعاث الإلكتروني الثانوي
Spectrum	طيف
Spectal series	سلاسل الطيف
Spectroscope	المطياف
Solar Energy	الطاقة الشمسية
Spiral Glaxies	المجرة الحلزونية
Steady state theory	نظرية التجديد المستمر
Survey circuit	دائرة المسح
Super nova star	النجم الساطع
Two-Dimensional collisions	التصادم في بعدين
Tunning circuit	دائرة الرنين (التوليف)
Universe	الكون
Universe physics	الفيزياء الكونية
Wave lenghth	الطول الموجي
White dworf	القزم الأبيض
Work function	دالة الشغل

الجمهورية اليمنية
المؤسسة العامة لطابع الكتاب المدرسي