١٢

سلطنة عمان
وزارة التربية والتعليم

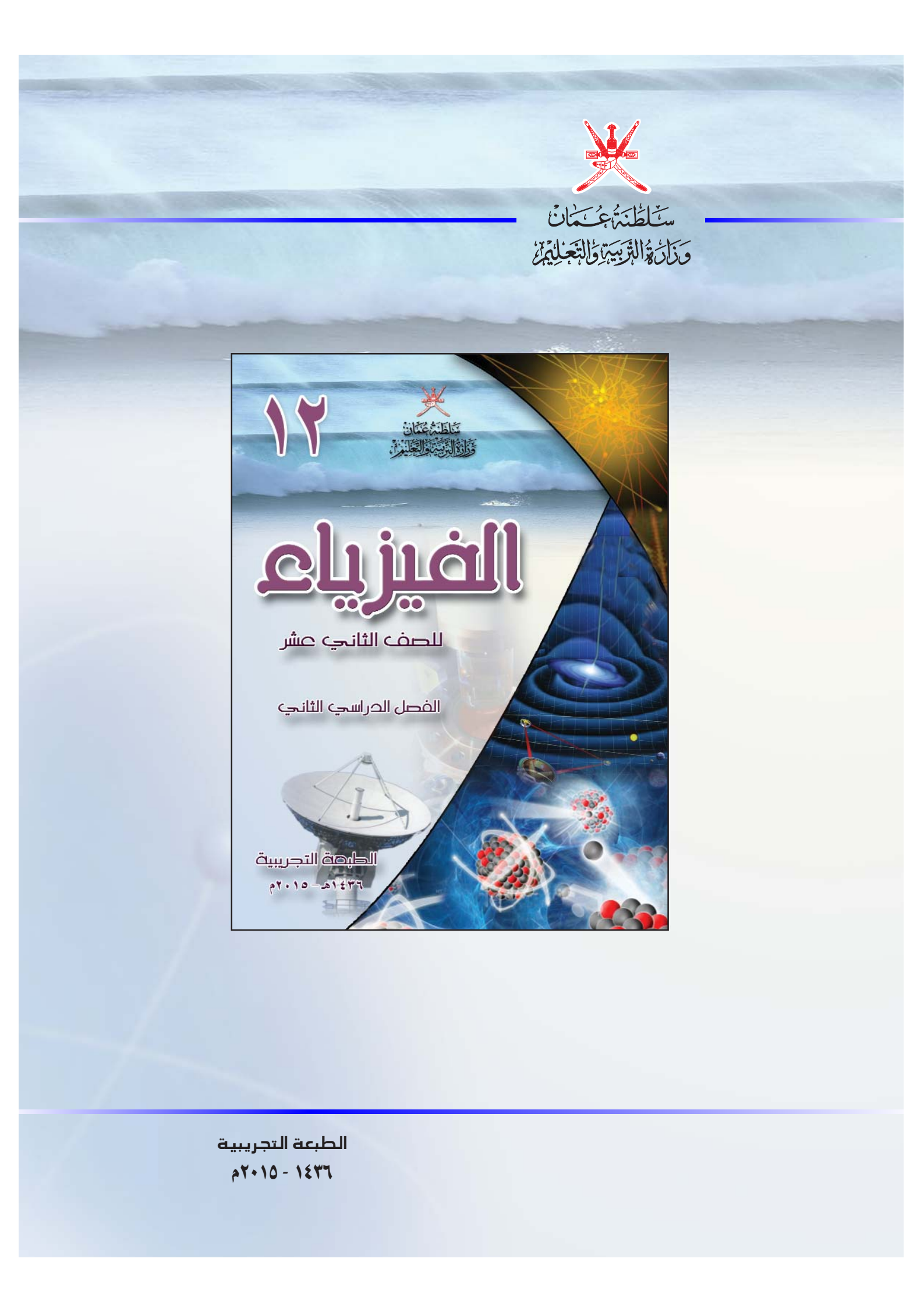
الفيزياء

للصف الثاني عشر

الفصل الدراسي الثاني

الطبعة التجريبية

١٤٣٦هـ - ٢٠١٥م



الطبعة التجريبية
١٤٣٦ - ٢٠١٥م

حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم

الفيزياء للصف الثاني عشر

جميع حقوق الطبع والنشر والتوزيع فوظة لوزارة التربية والتعليم

لجنتي تأليف ومراجعة كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر

أولاً : لجنة التأليف:

١- سعيد بن سالم الحارثي
٢- عفاف بنت علي اللواتية
٣- سعيد بن سعد الخروصي
٤- مياء بنت سعيد العزرية
٥- مد بن خلفان العاصمي

ثانياً: لجنة المراجعة:

١- د.عصام بن صادق بن علي
٢- د. معتز بن سعيد البرواني
٣- سالم بن سن الشقصي
٤- حارث بن مد العزري
٥- موسى علي العمايرة
٦- عاتكة بنت إبراهيم الكندية
٧- أمل بنت مد اليعقوبية
٨- شمسة بنت جمعة الحميدية

إدخال البيانات :

خالد بن محمد بن صالح الفارسي

التدقيق اللغوي:

فاطمة بنت سيف الهاشلية

إعداد الصور والأشكال :

حميد بن ناصر الجابري

الإشراف الفني :

مركز إنتاج الكتاب المدرسي والوسائل التعليمية بالمديرية العامة لتطوير المناهج.

المحتويات

الموضوع	الصفحة
المحتويات	٥
تقديم	٧
المقدمة	٨

الوحدة الثالثة

الموجات الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Waves

الفصل الخامس: الطبيعة الموجية للضوء	١٤

Wave Nature of Light

(٥-١) كيف تتكون الموجات الكهرومغناطيسية	*How Electromagnetic Waves are formed ?*	١٦
(٥-٢) الضوء والطيف الكهرومغناطيسي	*Electromagnetic Spectrum and Light*	١٨
(٥-٣) قياس سرعة الضوء	*Measuring the Speed of Light*	٢١
(٥-٤) انعكاس الضوء وانكساره	*Reflection and Refraction of light*	٢٢
الاستكشاف (١) قانون سنل		٢٧
(٥-٥) العدسات والمرايا	*Mirrors and Lenses*	٣٣
الاستكشاف (٢): الصور المتكونة في المرايا المستوية		٣٣
الاستكشاف (٣): مشاهدة بؤرة العدسة		٤٧
(٥-٦) تداخل وحيود الضوء	*Interference and Diffraction of Light*	٥٣
أسئلة الفصل		٦١

الفصل السادس: التأثير الكهروضوئي	٦٨

Photoelectric Effect

(٦-١) تكميم الطاقة.	*Quantization of Energy*	٧٠
(٦-٢) نظرية الكم.	*Quantum Theory*	٧٢
(٦-٣) التأثير الكهروضوئي.	*Photoelectric Effect*	٧٦
الاستكشاف (١): انطلاق الكرات		٨٣
(٦-٤) تطبيقات على التأثير الكهروضوئي.	*Applications for photoelectric effect*	٨٧
(٦-٥) تأثير كومبتون.	*Compton Effect*	٨٨
أسئلة الفصل		٩٣

الموضوع | الصفحة

الوحدة الرابعة
الفيـزياء الذريـة

Atomic Physics

الفصل السابع: تطور النموذج الذري ١٠٤

The Development of Atomic Model

(٧ – ١) اكتشاف الإلكترون وخصائصه. *Discovery of the electron and its properties* ١٠٦

(٧ – ٢) تجربة تومسون. *Thomson Experiment* ١٠٧

(٧ – ٣) النماذج الأولى للذرة. *Early Models Of The Atom* ١١٠

الاستكشاف (١) :استكشاف النموذج الذري. ١١٢

(٧ – ٤) الأطياف الذرية، والنموذج الذري الحديث. *Atomic Spectra And The New Structure of the Atom* ١١٣

(٧ – ٥) الطبيعة الموجية للمادة. *Waves Nature of Matter* ١٢٢

أسئلة الفصل ١٢٦

الفصل الثامن: الطاقة النووية ١٣٢

Nuclear Energy

Radioactivity ١٣٤

(٨–١) النشاط الإشعاعي *Nuclear Binding Energy* ١٤٠

(٨–٢) طاقة الربط النووي *Nuclear Stability and the Emission of Alpha and Beta Particles* ١٤٥

(٨–٣) استقرار النواة وإشعاع جسيمات ألفا وبيتا *Radioactivity and the Half life* ١٤٨

(٨–٤) الانحلال الإشعاعي وعمر النصف ١٤٩

الاستكشاف (١): تناقص نشاطية المواد المشعة عبر الزمن. *Decay Series* ١٥٢

(٨–٥) سلاسل الإنحلال *Nuclear Fission* ١٥٣

(٨–٦) الانشطار النووي *Chain Reaction* ١٥٦

(٨–٧) التفاعل المتسلسل ١٥٦

الاستكشاف (٢): تفاعل سلسلة قطع الدومنة. *Nuclear Reactor* ١٥٨

(٨–٨) المفاعل النووي *Nuclear Fusion* ١٦١

(٨–٩) الاندماج النووي ١٦٤

أسئلة الفصل

بسم الله الرحمن الرحيم

تقديم

الحمد لله نحمده تمام الحمد، ونصلي ونسلم على خير خلقه سيدنا محمد وعلى آله وصحبه أجمعين... وبعد

تحرص وزارة التربية والتعليم على تجويد العملية التعليمية من خلال إرساء قواعد منظومة تعليمية متكاملة تلبي احتياجات البيئة العمانية وتتناسب مع متطلباتها الحالية.

وبعد مراجعة النظام التعليمي للسلطنة وقياس مستوى أدائه وتحديد أهم التحديات التي تواجهه، قامت وزارة التربية والتعليم بإعادة ترتيب أولوياتها، وتنظيم جهودها لإحداث التطوير بما يتماشى مع توجهات السلطنة ورؤيتها المستقبلية، حيث جرى تطوير الأهداف العامة للتربية، والخطة الدراسية التي أولت اهتماما أكبر للمواد العلمية وتدريس اللغات، واستحدثت مواد دراسية جديدة لمواكبة المستجدات على صعيدي تكنولوجيا المعلومات واحتياجات سوق العمل من المهارات، هذا فضلا عن التطوير الذي أدخل على أساليب واستراتيجيات تدريس المناهج الدراسية التي أصبحت تعنى بالمتعلم باعتباره محور العملية التعليمية التعلمية.

إن النقلة النوعية التي نشهدها حاليا في العملية التعليمية أحدثت الكثير من التغييرات الجذرية ، فجاءت الكتب الدراسية متسمة بالحداثة والمرونة، والتوافق في موضوعاتها مع مستويات أبنائنا الطلبة والطالبات، وخصائص نموهم العقلي والنفسي، وثقافتهم الاجتماعية، واهتمت بالجوانب المهارية والفنية والرياضة البدنية تحقيقا لمبدأ أصيل من مبادئ فلسفة التربية في السلطنة الداعي إلى بناء الشخصية المتكاملة للفرد، وعززت دور المتعلم في عملية التعلم من خلال إكسابه مهارات التعلم الذاتي والتعلم التعاوني، ولم يعد الكتاب المدرسي –بما يحويه من معارف ومهارات وقيم واتجاهات– إلا دليلا يسترشد به الطالب للوصول إلى ما تختزنه مصادر المعلومات المختلفة كالمراجع المكتبية ومصادر التعلم الإلكترونية الأخرى من معارف، وعلى الطالب القيام بعملية البحث والتقصي للوصول إلى ما هو أعمق وأشمل. فإليكم أبنائي وبناتي الطلاب والطالبات نقدم هذا الكتاب راجين أن يجد عين الاهتمام منكم، ويكون لكم خير معين؛ لتحقيق ما نسعى إليه من تقدم ونماء هذا الوطن المعطاء تحت ظل القيادة الحكيمة لمولانا حضرة صاحب الجلالة السلطان قابوس بن سعيد المعظم حفظه الله ورعاه.

والله ولي التوفيق ،،

د. مديحة بنت أحمد الشيبانية

وزيـرة التربيـة والتعلـيم

المقدمة

عزيزي الطالب :

يسرنا أن نقدم لك كتاب الفيزياء للصف الثاني عشر ، ليأتي مكملاً لسلسلة العلوم التي درستها في مرحلة التعليم الأساسي والفيزياء للصف الحادي عشر، آملين أن نكون قد وفقنا في جعل موضوعاته أكثر يسرًا وسهولة، من خلال عرض المادة العلمية، عن طريق ربطها بالمفاهيم الفيزيائية في تسلسل واضح، متبعين الأسلوب العلمي في التفكير، ثم ربط تلك الموضوعات بالتطبيقات العملية في حياتنا اليومية.

لقد روعي في إعداد الكتاب طبيعة علم الفيزياء بصفته علمًا تجريبيًا يبنى على الملاحظة الموجهة والقياس الدقيق. لذا فقد اعتُمِدت في عرض المادة العلمية أساليب متنوعة تستند إلى استراتيجيات التدريس، من خلال الاستكشافات والأسئلة الاستقصائية التي تثير الطالب وتهيئُه للموضوع قيد الدرس، فضلا عن الحوار المباشر مع الطالب لجعله محور العملية التعليمية التعلمية. وقد جاءت لغة الكتاب محفزة للطالب على التفكير ومشجعةً له على التفاعل المباشر مع المادة العلمية، وذلك من خلال طرح التساؤلات تحت عنوان " اختبر فهمك " . وللتبسيط والدقة والإثراء احتوى الكتاب العديد من الرسومات والأشكال التوضيحية، إضافة إلى الأمثلة المتنوعة والتطبيقات العملية التي من شأنها أن تثري موضوع الدرس وتربطه بالحياة والمجتمع والتقانة. كما ضمّ الكتاب جملة من المعلومات ذات العلاقة وردت تحت عنوان " معلومة تهمك"، وهي معلومات إثرائية ذات علاقة بموضوع الدرس غير خاضعة للتقويم والاختبارات.

لقد لعبت الفيزياء دورًا حيويا في جعل العالم يبدو مثل قرية صغيرة، لذلك قمنا بوضع عدد من المواقع العلمية التعليمية المقترحة الموجودة على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية ليستفيد منها الطالب في إثراء معلوماته حول بعض موضوعات الكتاب.

يتكون كتاب الفيزياء من جزأين منفصلين، جزء للفصل الدراسي الأول يتكون من وحدتين هما: الكهرباء والمغناطيسية، والموجات الميكانيكية والصوت ، وجزء للفصل الدراسي الثاني يتكون أيضًا من وحدتين هما: الموجات الكهرومغناطيسية، وفيزياء الذرة، حيث تضمنت كل وحدة من هذه الوحدات فصلين مختلفين، وتضمن كل فصل عددا من البنود المترابطة، وانتهى بمجموعة من الأسئلة التي تعزز استيعاب الطالب لموضوعات الفصل.

الفصل الخامس :

الطبيعة الموجية للضوء

Wave Nature of Light

الفصل السادس:

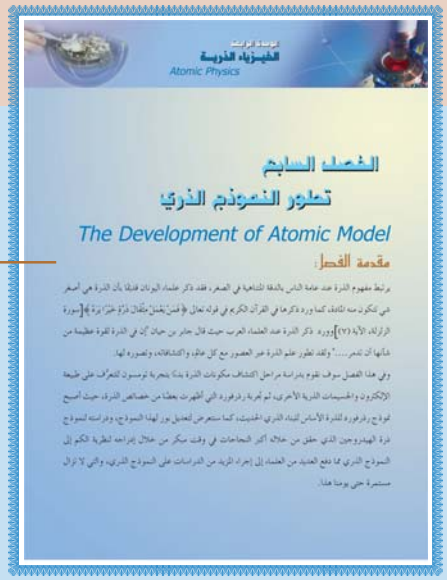
التأثير الكهروضوئي

Photoelectric Effect

الفصل السابع:

تطور النموذج الذري

The Development of Atomic Model



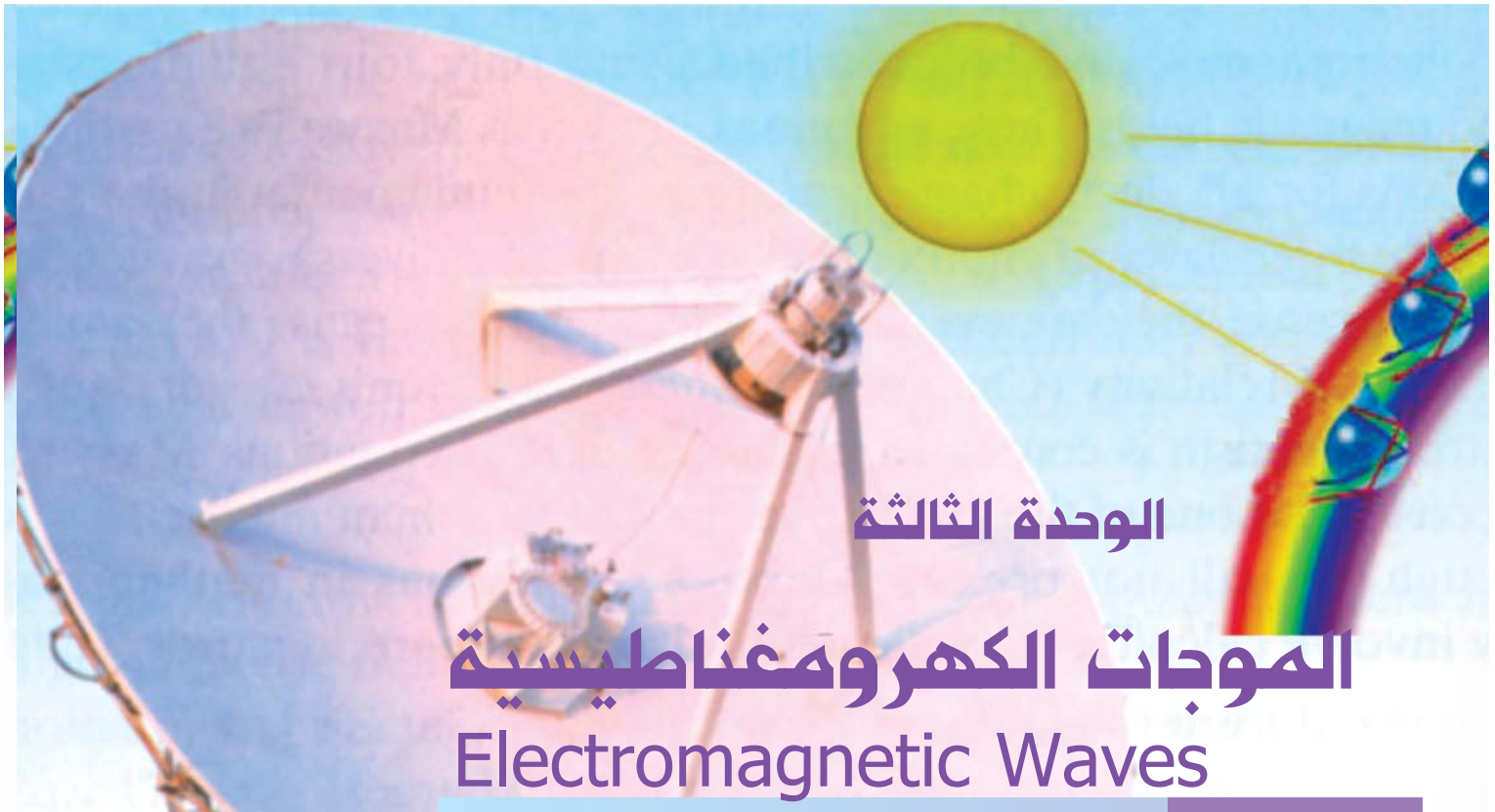
الفصل الثامن

الطاقة النووية *Nuclear Energy*

ونسأل الله عز وجل التوفيق والنجاح لنا ولكم لما فيه خير أمتنا وبلدنا الحبيب سلطنة عمان . .

والله ولي التوفيق

المؤلفون



الوحدة الثالثة

الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves

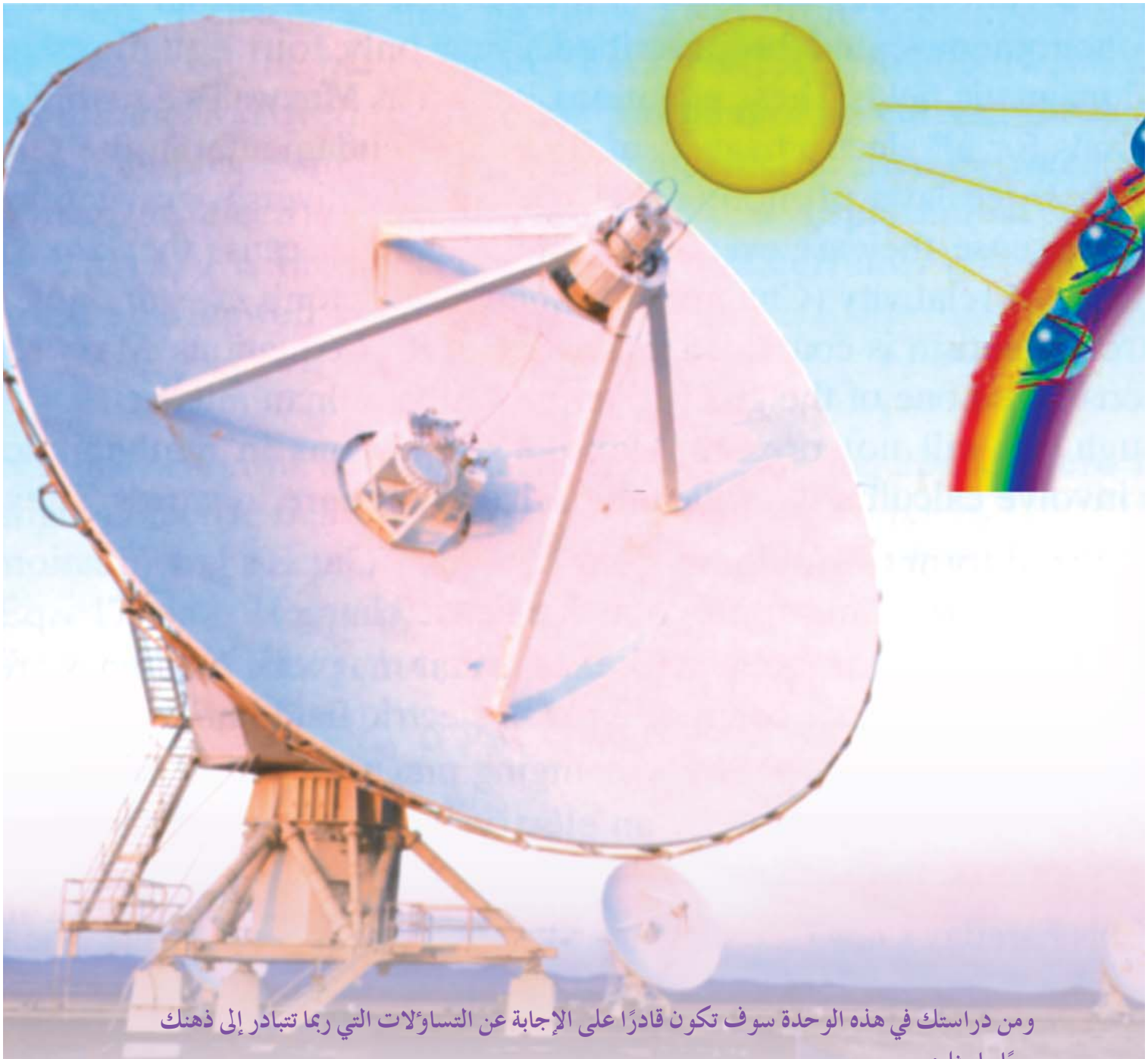
الفصل الخامس:	الطبيعة الموجية للضوء *Wave Nature of Light*
الفصل السادس:	التأثير الكهروضوئي *Photoelectric Effect*

مقدمة الوحدة:

تساءل الناس لقرون طويلة عن ماهية الضوء، لكنهم لم يجدوا إجابة لهذا التساؤل حتى قدم العالم ماكسويل *Maxwell* عام ١٨٦٤ م نظريته حول وجود الموجات الكهرومغناطيسية. وافترض ماكسويل في هذه النظرية أن المجال الكهربائي المتغير يولد مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا وهذا بدوره يؤدي إلى توليد مجال كهربائي متغير وهكذا ، وتنتشر هذه المجالات في الفراغ على شكل موجات يطلق عليها " الموجات الكهرومغناطيسية " .

وحسب هذه النظرية، فقد افترض ماكسويل أن الضوء المرئي عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تسير في الفراغ بسرعة $3x\ 10^{8}\ m/s$.ولكن مع بداية القرن العشرين ظهرت ظواهر لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية والنظرية الموجية تفسيرها مثل ظاهرة إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية، لذلك فسرها العالم اينشتاين عن طريق الطبيعة الجسيمية للضوء بالاستفادة من نظرية الكم لبلانك .

واستكمالا لما درسته في الصفوف السابقة عن الضوء ستتعرف من خلال الفصل الأول من هذه الوحدة على كيفية تكوّن الموجات الكهرومغناطيسية وكيف أن الضوء المرئي يعتبر جزءًا من الطيف الكهرومغناطيسي ، ثم ستتعرف على خصائص الضوء باعتباره موجة كهرومغناطيسية كالانعكاس والانكسار والحيود والتداخل . أما الفصل الثاني فسيتم التعرض فيه إلى الخصائص الجسيمية للضوء والظواهر التي أيدت هذه النظرية كظاهرة التأثير الكهروضوئي وتأثير كومبتون.



ومن دراستك في هذه الوحدة سوف تكون قادرًا على الإجابة عن التساؤلات التي ربما تتبادر إلى ذهنك يومًا ما مثل:

١– لماذا تبدو الأجسام المغمورة في الماء أقرب إلى سطح الماء مما هي عليه في الواقع ؟

٢– لماذا يتكون قوس قزح عند سقوط ضوء الشمس على قطرات المطر ولماذا تحدث ظاهرة السراب ؟

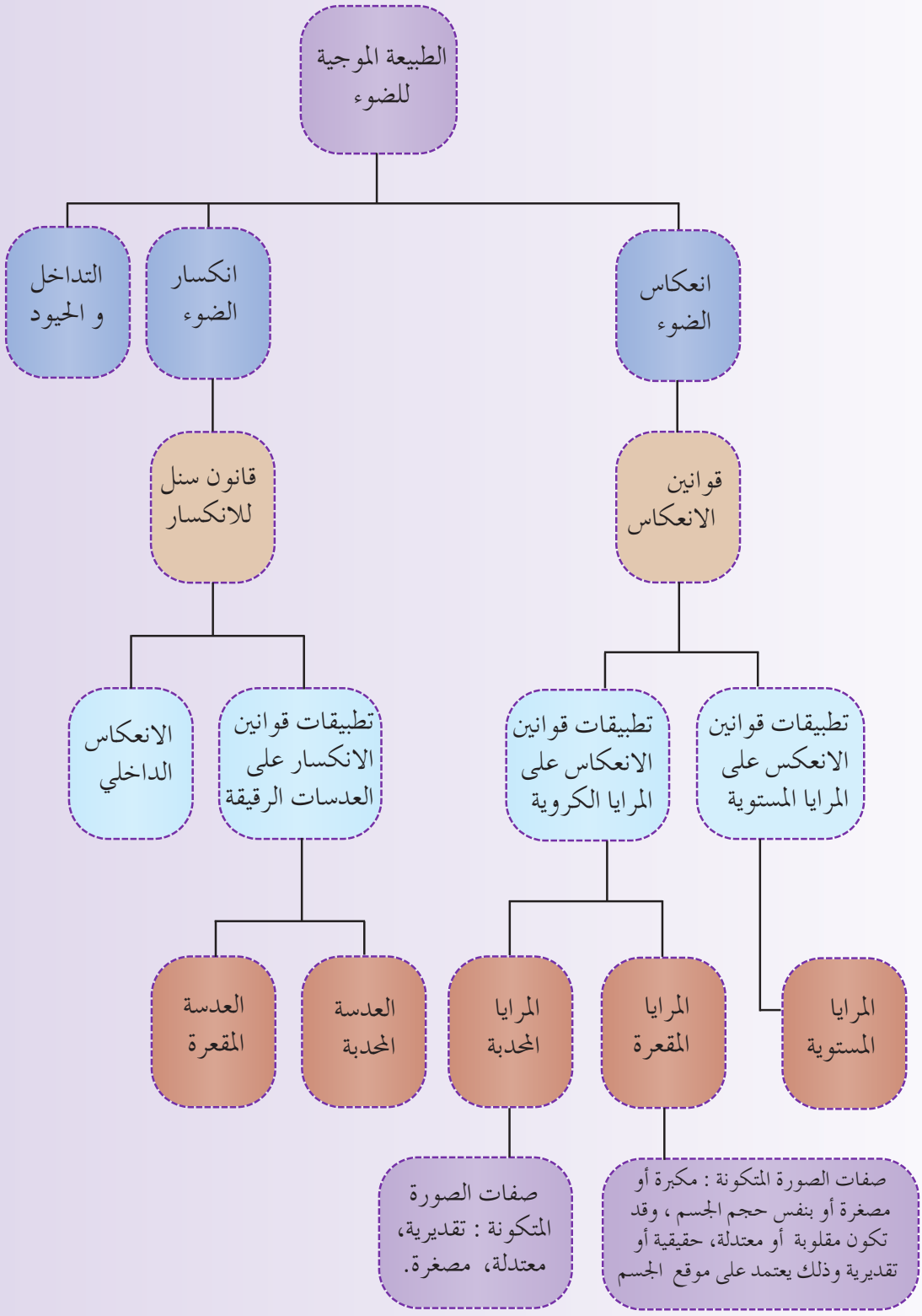
٣– ما تفسيرك للألوان الجميلة التي تتكون على فقاعات الصابون؟

٤– ما الظواهر التي توصل العلماء من خلالها إلى الطبيعة الجسيمية للضوء؟

٥– كيف تعمل البوابات الإلكترونية ؟

خارطة مفاهيم

الفصل الخامس


الطبيعة الموجية للضوء
انعكاس الضوء
انكسار الضوء
التداخل و الحيود
قوانين الانعكاس
قانون سنل للانكسار
تطبيقات قوانين الانعكس على المرايا المستوية
تطبيقات قوانين الانعكاس على المرايا الكروية
تطبيقات قوانين الانكسار على العدسات الرقيقة
الانعكاس الداخلي
المرايا المستوية
المرايا المقعرة
المرايا المحدبة
العدسة المحدبة
العدسة المقعرة
صفات الصورة المتكونة : مكبرة أو مصغرة أو بنفس حجم الجسم ، وقد تكون مقلوبة أو معتدلة، حقيقية أو تقديرية وذلك يعتمد على موقع الجسم
صفات الصورة المتكونة : تقديرية، معتدلة، مصغرة.

الفصل الخامس:

الطبيعة الموجية للضوء

Wave Nature of Light

مقدمة الفصل

إن الإشارات التي يتم استقبالها من الأقمار الصناعية ومحطات التلفزيون هي موجات كهرومغناطيسية، وقد تم دراسة خصائص المجالات الكهربائية والمغناطيسية المكونة لهذه الموجات الكهرومغناطيسية في القرن التاسع عشر. وكما تعلمت سابقًا فإن العالم أورستد اكتشف في عام ١٨٢٠م أن التيارات الكهربائية تنتج مجالات مغناطيسية، وبعد ذلك بعشر سنوات اكتشف العالم فاراداي ظاهرة الحث الكهرومغناطيسي، وفي العام ١٨٦٠م ، افترض العالم ماكسويل أنه حتى بدون وجود الأسلاك فإن المجالات الكهربائية المتغيرة مع الزمن تنتج مجالات مغناطيسية، والمجالات المغناطيسية المتغيرة مع الزمن تنتج مجالات كهربائية. ونتيجة لهذا الاقتران، فإن الطاقة تنتقل خلال الفضاء على شكل موجات كهرومغناطيسية. ولقد قادت نظرية ماكسويل إلى وصف كامل للكهرباء والمغناطيسية، كما مكنتنا من الحصول على معظم الأجهزة التي أصبحت جزءًا من حياتنا اليومية كالراديو والتلفزيون وغيرها من الأجهزة. وخلال دراستنا لهذا الفصل سنتعرّف على طبيعة الإشعاع الكهرومغناطيسي وخصائصه.

الموضوعات الرئيسة

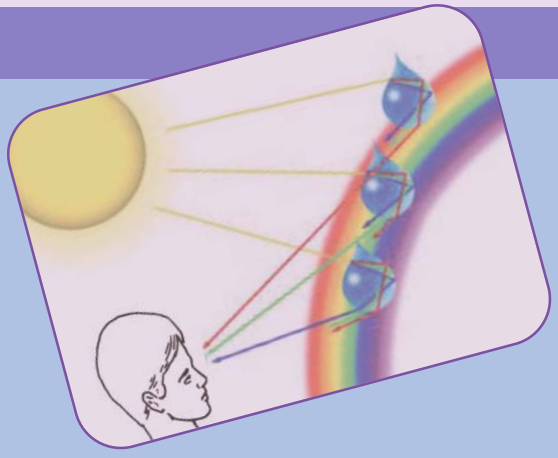
٥-١ كيف تتكون الموجات الكهرومغناطيسية	٥-٤ انعكاس الضوء وانكساره
٥-٢ الضوء والطيف الكهرومغناطيسي	٥-٥ العدسات والمرايا
٥-٣ قياس سرعة الضوء	٥-٦ تداخل وحيود الضوء

الوحدة الثالثة

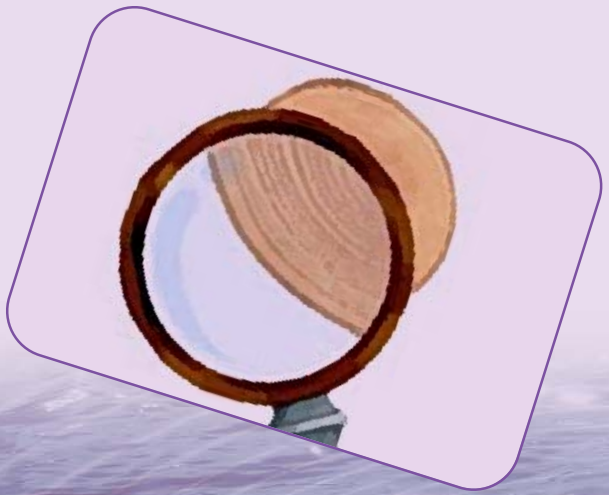
الموجات الكهرومغناطيسية

Electromagnetic Waves

المصطلحات العلمية الجديدة



الإشعاع الكهرومغناطيسي	*Electromagnetic Radiation*
الانعكاس المشتت	*Diffuse Reflection*
الانعكاس المنتظم	*Specular Reflection*
الانعكاس الداخلي الكلي	*Total Internal Reflection*
الزاوية الحرجة	*Critical Angle*
مخططات الأشعة	*Rays Diagrams*
مركز التكور	*Center of Curvature*
نصف قطر التكور	*Radius of Curvature*
البؤرة	*Focal Point*
البعد البؤري	*Focal Length*
العدسة المجمعة	*Converging Lens*
العدسة المشتتة	*Diverging Lens*
المركز البصري	*Optical Center*
أهداب التداخل	*Interference Fringes*
محزوز الحيود	*Diffraction Grating*



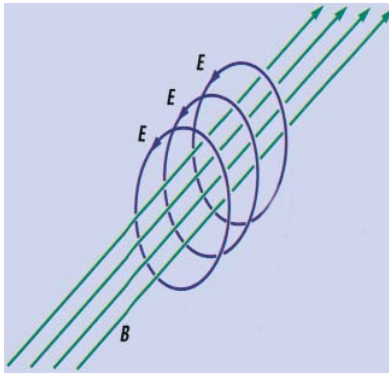
عناوين الاستكشافات

* الاستكشاف (١) قانون سنل
* الاستكشاف (٢): الصور المتكونة في المرايا المستوية
* الاستكشاف (٣): مشاهدة بؤرة العدسة

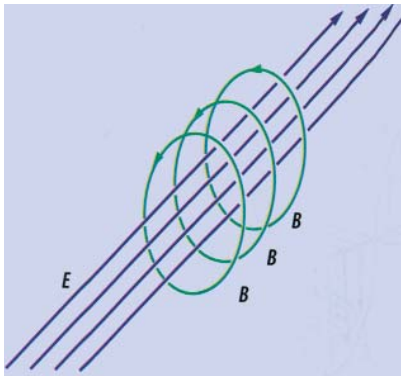
٥ – ١ كيف تتكون الموجات الكهرومغناطيسية؟ *How Electromagnetic Waves are formed ?*

وجد العالم أورستد أن التيار الكهربائي المار في موصل ينتج مجالاً مغناطيسيًا، والتغير في التيار الكهربائي يؤدي إلى تغير في المجال المغناطيسي، كما اكتشف فاراداي أن التغير في المجال المغناطيسي يؤدي إلى تولد تيار في السلك كما هو موضح في الشكل (٥–١أ)، وبالتالي فالمجال المغناطيسي المتغير يولد تيارًا كهربائيًا متغيرًا.

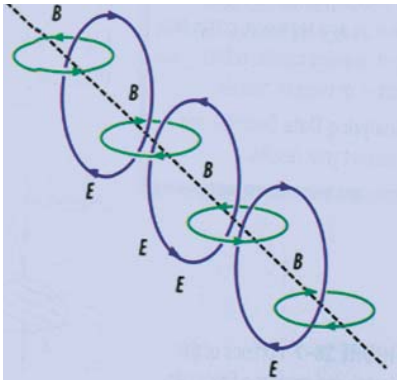
وفي عام ١٨٦٠م افترض العالم ماكسويل أنه يمكن حدوث العكس ، أي أن المجال الكهربائي المتغير ينتج مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا كما هو موضح في الشكل (٥– ١ب)، حيث افترض أنه بإمكان المجال الكهربائي المتغيّر لوحده توليد مجال مغناطيسي دون وجود الشحنات.



الشكل (٥–١ أ)



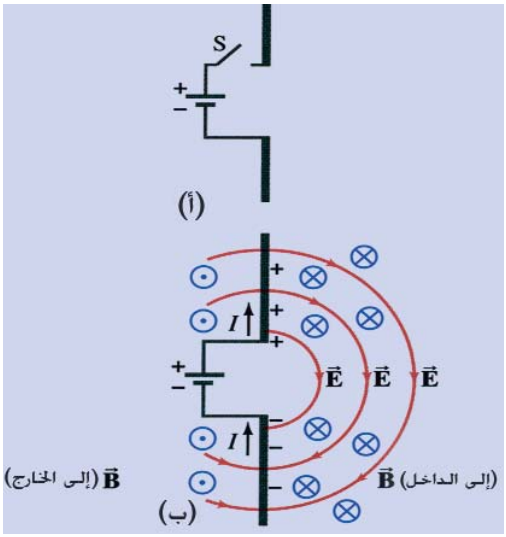
الشكل (٥–١ ب)



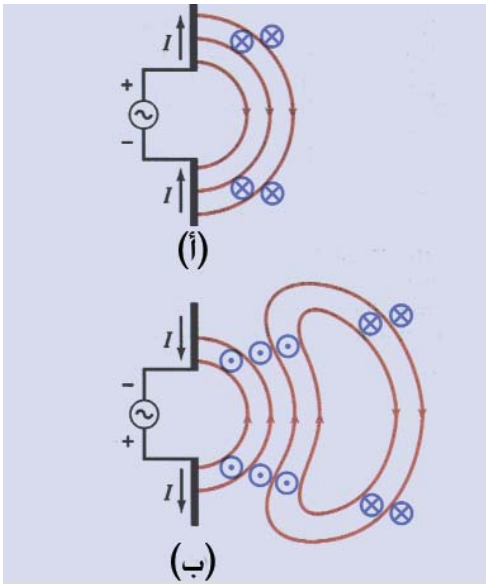
الشكل (٥–٢)

وهكذا فإن المجال المغناطيسي المتغير ينتج مجالاً كهربائيًا متغيرًا، والذي بدوره يؤدي إلى تولد مجال مغناطيسي متغير وهكذا. وقد وجد ماكسويل أن ناتج هذا التفاعل المتبادل بين المجالين هو موجة من المجالات الكهربائية والمغناطيسية التي تنتشر في الفضاء، كما هو موضح في الشكل (٥–٢).

ويمكننا بشكل مبسط اختبار كيفية تولد الموجات الكهرومغناطيسية. افترض قضيبين موصلين يعملان كهوائي "*antenna*" كما هو موضح في الشكل (٥–٣ أ)، افترض أن هذين القضيبين موصلين بمفتاح كهربائي إلى قطبي بطارية. عند إغلاق المفتاح يصبح القضيب العلوي موجب



الشكل (٥–٣)



الشكل (٥–٤)

الشحنة في وقت قصير والقضيب السفلي سالب الشحنة، وتتشكل خطوط المجال الكهربائي كما هو موضح في الشكل (٥–٣ب). من ناحية أخرى، فإنه عند إغلاق المفتاح تتشكل المجالات بسرعة بجانب الهوائي ولكنها تأخذ وقتًا حتى تصل إلى نقاط بعيدة ناقلة معها الطاقة المختزنة فيها.

لنفترض الآن أن الهوائي موصل بمصدر للتيار المتردد كما في الشكل(٥– ٤ أ)، حيث يتضح أن الشحنات والمجالات في بداية تكونها، وتشير الإشارات الموجبة (+) والسالبة (–) إلى محصلة الشحنات على القضيب، كما تشير الأسهم السوداء إلى اتجاه التيار وتمثل خطوط المجال الكهربائي بالخطوط الحمراء في مستوى الصفحة، أما المجال المغناطيسي وحسب قاعدة اليد اليمنى فهو يتجه إما إلى داخل الصفحة أو خارجها وذلك حسب اتجاه التيار.

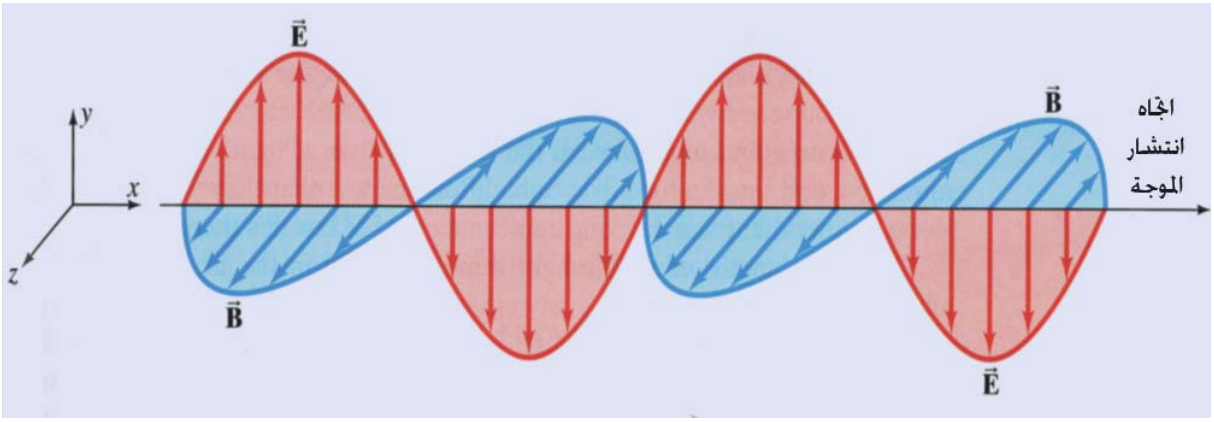
ويتضح من الشكل (٥–٤ب) أن اتجاه الجهد ينعكس، وبالتالي ينعكس اتجاه التيار وينعكس معه اتجاه المجال المغناطيسي. ولأن المجالات الجديدة عكست اتجاهها، فإن الخطوط القديمة تنثني إلى الوراء لتتصل مع بعض الخطوط الجديدة المتكونة مشكلة حلقات مغلقة، وهي لا تختفي فجأة ولكنها تشق طريقها إلى نقاط بعيدة. ولأن المجال المغناطيسي المتغير ينتج مجالاً كهربائيًا متغيرًا والمجال الكهربائي المتغير ينتج مجالاً مغناطيسيًا متغيرًا، فإن هذا الاقتران بين المجالات الكهربائية والمغناطيسية يبتعد عن المصدر بمساندة ذاتية دون أن يعتمد على شحنات الهوائي. إن المجالات القريبة من الهوائي تصبح معقدة بعض الشيء ولكنها ليست هي محور اهتمامنا، وإنما التركيز هنا على المجالات البعيدة عن الهوائي ويطلق عليها مجال الإشعاع ***radiation field*** .

إن خطوط المجال الكهربائي تكون على شكل حلقات مغلقة كما هو موضح في الشكل (٥– ٤)، كما أن خطوط المجال المغناطيسي تشكل حلقات مغلقة أيضا عمودية على الصفحة. وعلى الرغم من أن خطوط المجال موضحة فقط على يمين المصدر، إلا أنها تنتشر في جميع الاتجاهات. وإذا كان مصدر الجهد يتغير جيبيًا، فإن شدتي المجالين الكهربائي والمغناطيسي تتغيران أيضًا جيبيًا كما هو موضح في الشكل (٥– ٥)، كما أن المجالين الكهربائي والمغناطيسي متعامدين على بعضهما البعض وعلى اتجاه انتشار الموجة، وتسمى هذه الموجات بالموجات الكهرومغناطيسية ***electromagnetic waves*** وهي موجات مستعرضة ، كما أنها موجات لمجالات كهربائية ومغناطيسية (أي لا تحتاج لوسط ناقل) وليست لمادة (كموجات الحبل أو الماء) ولذلك يمكنها أن تنتشر

في الفراغ. وحيث إن المجالات الكهربائية والمغناطيسية تنتشر من المصدر في جميع الاتجاهات، لذا يطلق على هذه الموجات أيضًاالإ شعاع الكهرومغناطيسي *Electromagnetic radiation* .وكما رأينا فإن هذه الموجات تنشأ من الشحنات الكهربائية المتذبذبة، وبالتالي فهي تتعرض لتسارع وبشكل عام يمكن القول أن:

الموجات الكهرومغناطيسية تنشأ من الشحنات الكهربائية المتسارعة

كما قام ماكسويل بحساب السرعة التي تتحرك بها هذه الموجات، فوجد أنها تساوي 3×10^8 وهي سرعة الضوء.



الشكل (٥–٥)

٥–٢ الضوء والطيف الكهرومغناطيسي *Electromagnetic Spectrum and Light*

بناءً على معادلات العالم ماكسويل وحسابه لسرعة الموجات الكهرومغناطيسية، فقد افترض أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية ، لكن هذه الفكرة لم تلاق قبولاً كاملاً من قبل العلماء في ذلك الوقت؛ لأنها كانت فرضية لم يتم اختبارها. وفي عام ١٨٨٧م قام العالم هنري هيرتز *Heinrich Hertz* (١٨٥٧ م – ١٨٩٤م) بالتقاط أول موجات كهرومغناطيسية في المختبر ، حيث استخدم أدوات بحيث تنطلق شحنة كهربائية بسرعة معجلة إلى الأمام والخلف مكونة موجات يبلغ تردده حوالي 10^8 ، ثم قام بالتقاط هذه الموجات من على بُعد معين

من المصدر باستخدام سلك حلقي تتولد فيه قوة دافعة كهربائية عندما يتغير المجال المغناطيسي الذي يخترق هذا السلك

الوحدة الثالثة
الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves

وبعد ذلك تم إثبات أن هذه الموجات تنتقل بسرعة الضوء وتسلك خصائص الضوء كالانعكاس والانكسار والحيود، والفرق الوحيد بينها وبين الضوء أنها غير مرئية. وتعد تجربة هرتز إثباتًا قويًّا لنظرية ماكسويل.لقد تم قياس الأطوال الموجية للضوء في العقد الأول من القرن التاسع عشر قبل أن يتخيل أحد أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية، وقد وجد أن هذه الأطوال تقع بين $(4.0 \times 10^{-7}\ m - 7.5 \times 10^{-7}\ m)$ ويمكن قياس الترددات للضوء المرئي باستخدام المعادلة:

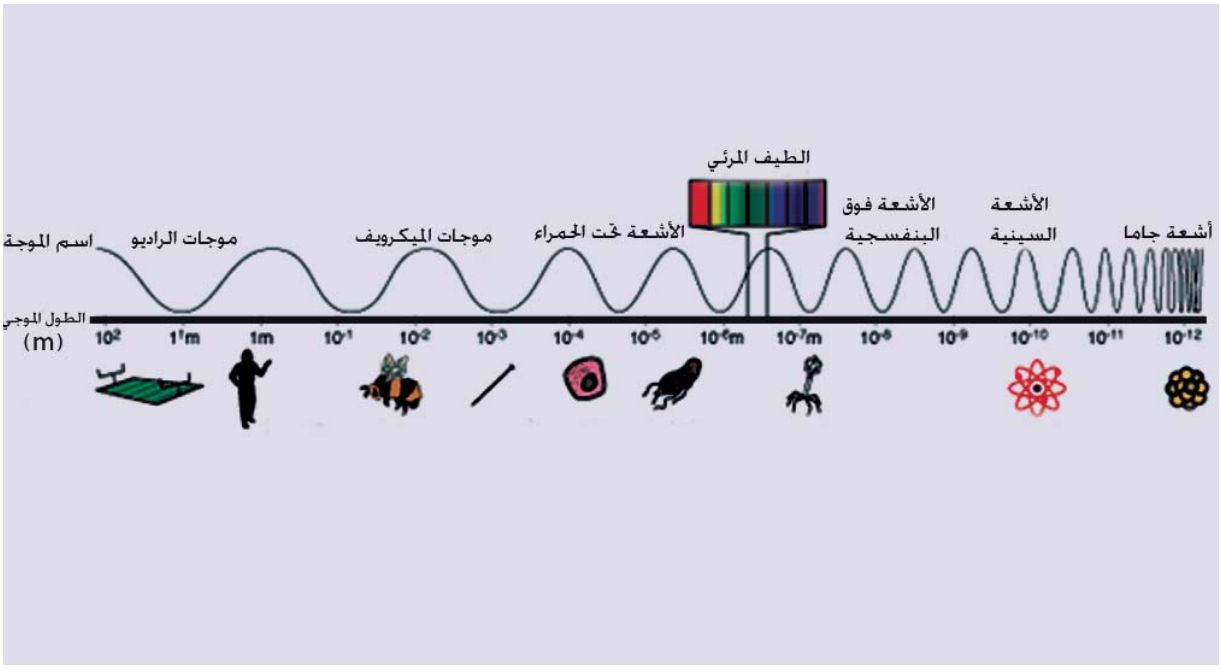
$$c = \lambda f \qquad (٥-١)$$

حيث c هي سرعة الضوء وهي ثابتة لجميع الموجات الكهرومغناطيسية في الفراغ وتساوي $3 \times 10^{8}\ m/s$.
ومن المعادلة (٥– ١) وجد أن ترددات الضوء المرئي تقع بين $(4.0 \times 10^{14}\ Hz - 7.5 \times 10^{14}\ Hz)$، ولكن الضوء المرئي هو نوع واحد فقط من الموجات الكهرومغناطيسية. و قد قام العالم هرتز بتوليد موجات كهرومغناطيسية ترددها أقل بكثير من $10^{9}\ Hz$ ، ويطلق عليها حاليًا موجات الراديو *radio waves* ، لأن الترددات في هذا المدى تستخدم لنقل الإشارات الراديوية والتلفزيونية. بالإضافة إلى ذلك فإن الإشعاع الكهرومغناطيسي يتم التقاطه على مدى واسع من الترددات ، وقد تم تصنيفها حسبما موضح في الشكل (٥– ٦) فيما يعرف بالطيف الكهرومغناطيسي *electromagnetic spectrum*. ويمكن الحصول على موجات الراديو والمايكروويف عمليًّا باستخدام أجهزة إلكترونية،أما الموجات عالية التردد كأشعة جاما مثلاً فمن الصعب الحصول عليها عمليًّا في المختبر وهي تنبعث تلقائيًّا من الذرات أو الجزيئات أو الأنوية بواسطة عمليات طبيعية.

تطبيقات حياتية:

تتميز الأشعة السينية بقدرتها على اختراق المواد اللينة، بينما لا تخترق المواد القاسية . ومن أهم تطبيقاتها: جهاز التصوير بالأشعة السينية المستخدم في المستشفيات و المراكز الصحية لتصوير الأعضاء و الأجهزة الداخلية لجسم الإنسان، و التعرف على كسور و تشوهات العظام في جسمه . كما تستخدم هذه الأشعة أيضًا في الأنظمة الأمنية (أجهزة مراقبة الحقائب بالأشعة) في المطارات و الموانئ و نقاط العبور و غيرها من الأماكن التي تتطلب تشددًا أمنيًا .

كما أن بعض أنواع الموجات الكهرومغناطيسية يمكن إنتاجها بتعجيل الإلكترونات أو الجزيئات المشحونة الأخرى مثل الأشعة السينية التي يمكن الحصول عليها عندما تصطدم الإلكترونات السريعة بهدف معدني، وحتى الضوء المرئي الذي ينبعث من المصباح الكهربائي يكون مصدره الإلكترونات المتسارعة داخل الفتيلة الساخنة. أما الأشعة تحت الحمراء *infrared radiation* فهي المسؤولة عن التأثير الحراري لأشعة الشمس، حيث إن الشمس لا تشع فقط الضوء المرئي وإنما تصدر إشعاعات أخرى كالأشعة تحت الحمراء، والأشعة فوق البنفسجية *ultraviolet radiation* .



الشكل (٥-٦) : الطيف الكهرومغناطيسي

الوحدة الثالثة
الموجات الكهرومغناطيسية
Electromagnetic Waves

اختبر فهمك (١):

١- ما أوجه الاختلاف بين الموجات الصوتية والموجات الكهرومغناطيسية؟

٢- احسب تردد كل من:

أ- موجات راديو طولها الموجي $80\ m$.

ب- أشعة سينية طولها الموجي $5.5 \times 10^{-11}\ m$.

٣-٥ قياس سرعة الضوء *Measuring the Speed of Light*

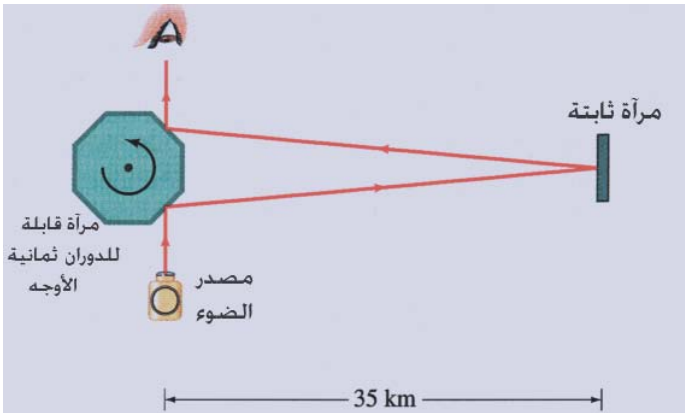
حاول العالم جاليليو(١٥٦٤ م- ١٦٤٢م) قياس سرعة الضوء، وذلك بمحاولة قياس الزمن الذي يستغرقه الضوء لينتقل مسافة محددة بين قمتي تلتين، حيث طلب من مساعد له الثبات في قمة إحدى التلتين بينما وقف هو نفسه في قمة التلة الأخرى كما هو موضح في الشكل (٥-٧). وطلب من المساعد رفع غطاء المصباح في اللحظة التي يرى فيها ومضة من مصباح جاليليو، ثم قام جاليليو بحساب الزمن بين ومضة مصباحه وبين الضوء الذي تلقاه من مصباح مساعده، فوجد أن الزمن قصير جدًّا؛ مما جعله يستنتج أن الزمن الذي قام بحسابه يمثل زمن استجابة الإنسان، وأن سرعة الضوء يجب أن تكون عالية إلى أبعد الحدود.

الشكل (٥-٧) : محاولة جاليليو لقياس سرعة الضوء

وأول محاولة ناجحة لتقدير سرعة الضوء كانت في عام ١٦٧٦م على يد العالم الفلكي رومر *Roemer* (١٦٤٤م-١٧١٠م) ، حيث قام بملاحظات دقيقة حول دوران أحد أقمار كوكب المشتري الذي يكمل دورة كاملة حول المشتري كل $42.5\ h$ ، وقد توقع رومر أنه بمعرفته لمدة دوران القمر فهو قادر على تحديد حركته. ولكنه اكتشف أن هذه القيمة تتغير أحيانًا فتصبح أقل أو أكثر بنسبة بسيطة. وقد عزا هذا التغيير إلى الحركة النسبية بين الأرض والمشتري؛ فعندما تتحرك الأرض مقتربة من المشتري، فإن مدة دوران هذا القمر تكون أقل بقليل،

وعندما تتحرك مبتعدة عن المشتري، فإن مدة الدوران تكون أكثر بقليل. وقد عزا هذا التغيير إلى التغير في المسافة بين الأرض والمشتري وإلى الزمن الذي يستغرقه الضوء لينتقل خلال هذه المسافة، وبالتالي استنتج رومر أن الضوء رغم أن سرعته كبيرة إلا أن لها قيمة محددة.

بعد ذلك استخدمت تقنيات مختلفة لقياس سرعة الضوء من أهمها تلك التي استخدمها ألبرت مايكلسون *Albert Michelson* (١٨٥٢م–١٩٣١م)، حيث استخدم أدوات كالموضحة في الشكل (٥ – ٨) وهي عبارة عن مرآة قابلة للدوران ثمانية الأوجه، يتم تسليط ضوء من المصدر على أحد أوجه المرآة المتحركة ، وينطلق الضوء المنعكس عن هذا الوجه باتجاه مرآة ثابتة موضوعة على مسافة محددة من المرآة الدورانية فينعكس عن المرآة الثابتة ويعود مرة أخرى، كما يظهر في الشكل (٥–٨).



الشكل (٥ – ٨) : تجربة مايكلسون لقياس سرعة الضوء

فإذا كانت المرآة تدور بمعدل منتظم فإن الضوء العائد سينعكس من أحد أوجه المرآة إلى تلسكوب صغير يستطيع المراقب أن يلاحظه من خلاله، أما إذا اختلفت سرعة الدوران قليلا، فإن الشعاع سينحرف إلى جانب واحد ولن يستطيع المراقب مشاهدته. ومن معرفة السرعة المطلوبة لدوران المرآة والمسافة المحددة بين المرآة الثابتة والمرآة المتحركة، فإن سرعة الضوء يمكن حسابها. ومن خلال هذه التجارب، فإن السرعة المعتمدة حاليًا للضوء في الفراغ هي:

$$c = 2.99792458 \times 10^8 \ m/s$$

وتقرب عادة إلى

$$c = 3.0 \times 10^8 \ m/s$$

٥–٤ انعكاس الضوء وانكساره *Reflection and Refraction of light*

ينتقل الضوء في خطوط مستقيمة وبسرعات عالية جدًّا ، وتختلف سرعته حسب الوسط الذي يمر خلاله. وبالتالي فإن الضوء يسلك سلوك أي موجة أخرى عندما تنتقل من وسط إلى وسط آخر.

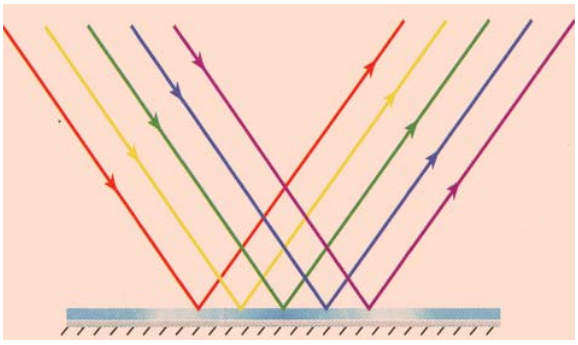
– انعكاس الضوء *Reflection of Light*

يتحرك الضوء خلال المواد المختلفة مثل الهواء والماء والفراغ في خطوط مستقيمة، فإذا اصطدم الضوء بمادة أخرى

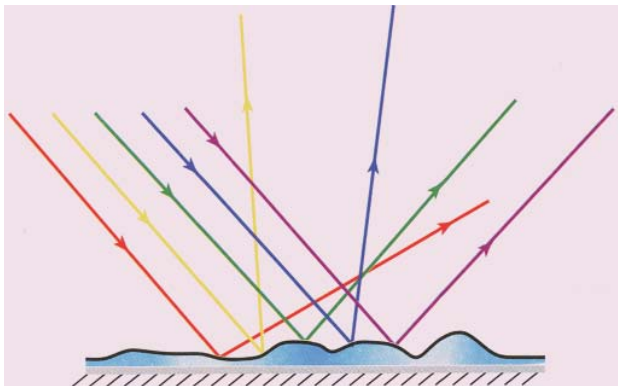
فإن جزءا منه سيمتص من قبل المادة والجزء الآخر سيرتد. وهذا التغير في اتجاه مسار الضوء يعرف بالانعكاس *reflection* .

ويعتمد نمط انعكاس الضوء عن سطح المادة على طبيعة السطح، فإذا كان السطح خشنًا كالورق والملابس والخشب غير المصقول فإن الضوء سينعكس في اتجاهات مختلفة كما هو موضح في الشكل (٥– ٩)، ويسمى هذا النوع من الانعكاس بالإنعكاس المشتت (غير المنتظم) *diffuse reflection*.

أما إذا كان السطح أملسًا كالمرآة أو الماء، فإن الضوء سينعكس في اتجاه واحد ويطلق على هذا النوع من الانعكاس بالانعكاس المنتظم . *specular reflection*

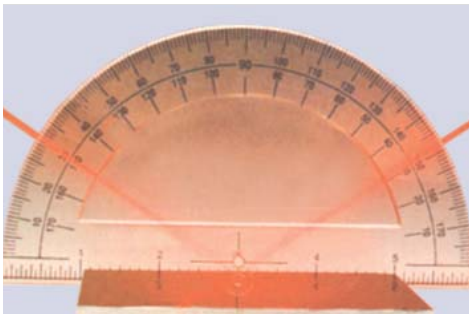


الانعكاس المنتظم



الانعكاس المشتت

الشكل (٥–٩) : الانعكاس المنتظم والانعكاس المشتت



الشكل (٥–١٠)

وعند وضع مرآة مستوية على طاولة أمام منقلة، كما هو موضح في الشكل (٥–١٠) وتسليط ضوء من الليزر على المرآة فإن الشعاع الساقط سينعكس عن المرآة ، فإذا تم رسم خط عمودي على المرآة فإنه يمكننا تعريف زاويتين: الأولى هي زاوية السقوط وهي الزاوية التي يصنعها الشعاع الساقط مع العمودي على المرآة ويرمز لها بالرمز θ_i ، والثانية هي زاوية الانعكاس *angle of reflection* وهي الزاوية التي يصنعها الشعاع المنعكس مع العمودي ويرمز لها بالرمز θ_r .

وتلاحظ من الرسم أن كلاً من هاتين الزاويتين تصنع زاوية مقدارها 60^o مع الخط العمودي على المرآة ، أي أن هاتين الزاويتين متساويتين، وهذا هو قانون الانعكاس .

زاوية السقوط (θ_i) = زاوية الانعكاس (θ_r)

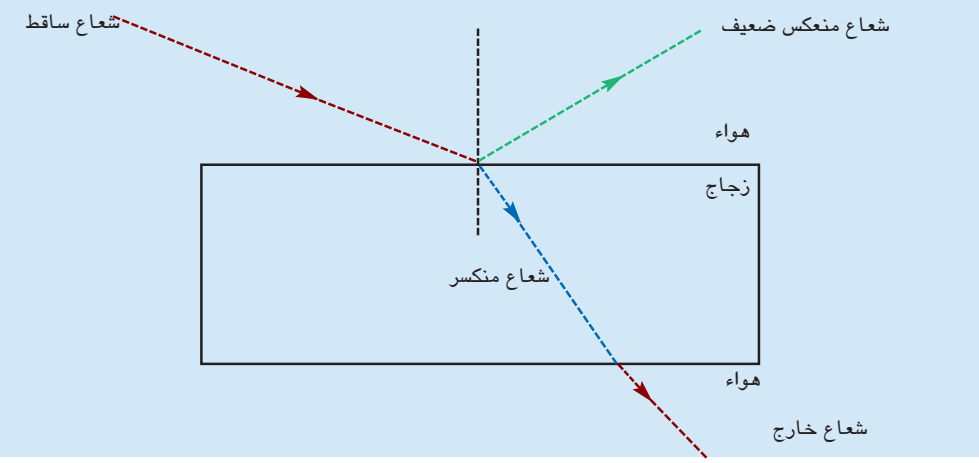
- انكسار الضوء *Refraction of Light*

ينتقل الضوء في المواد الشفافة كالزجاج والماء والبلاستيك، ولهذا السبب يمكننا رؤية الأجسام خلال الأبواب والنوافذ الزجاجية.

يوضح الشكل (٥– ١١) شعاعًا ضوئيًا ينتقل من الهواء إلى الزجاج ثم إلى الهواء مرة أخرى. عند الحد الفاصل بين الهواء والزجاج يمكننا أن نلاحظ أن الشعاع الضوئي ينحرف عن مساره عندما يدخل الزجاج ويحدث الشيء نفسه عندما يعبر الضوء من الزجاج إلى الهواء، ويطلق على هذا الانحراف عن المسار عند عبور الضوء من وسط شفاف إلى آخر مختلف بالانكسار *refraction*.

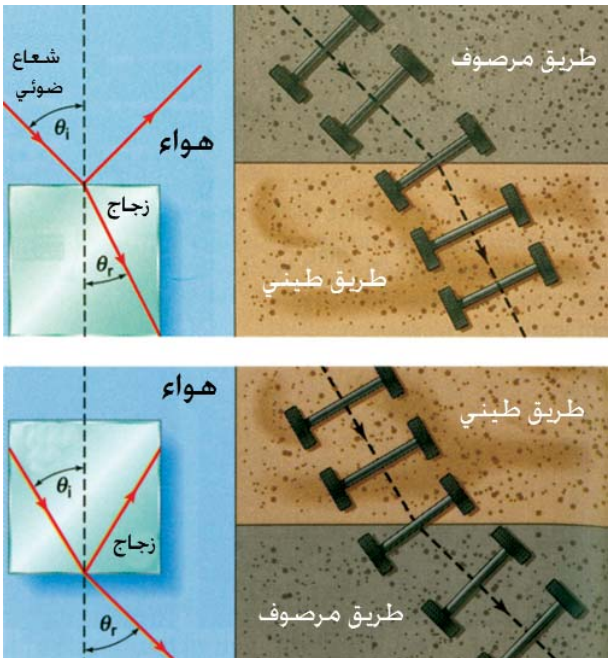
وكما في حالة الانعكاس فإن الزوايا التي يتخذها الشعاع الساقط والشعاع المنكسر تقاس بالنسبة للعمودي على السطح الفاصل بين الوسطين، ولدراسة الانكسار فإن الخط العمودي المقام من نقطة السقوط يتم تمديده إلى الوسط الثاني كما في الشكل (٥– ١١). تسمى الزاوية بين الشعاع المنكسر والعمودي على السطح الفاصل بزاوية الانكسار *angle of refraction* ، ويرمز لها بالرمز θ_r ، ولكن لماذا تحدث هذه الظاهرة ؟

ينتقل الضوء عبر الأوساط البصرية بسرعات مختلفة، فعليسبيل المثال تبلغ سرعة الضوء فيالهواء $3.0 \times 10^8\ m/s$ بينما سرعته في الزجاج $2.0 \times 10^8\ m/s$، ولذلك فإنه عند الحد الفاصل بين هذين الوسطين سيحدث تغير مفاجئ لسرعة الضوء؛ مما يؤدي إلى انحراف مسار الضوء مسببًا الانكسار.



الشكل (٥–١١) : انكسار الضوء

كما تلاحظ من الشكل (٥– ١٢)أنه عند انتقال الضوء من الهواء (الذي تكون فيه السرعة أكبر) إلى الزجاج (الذي تكون السرعة فيه أقل) فإن الشعاع الضوئي ينحرف مقترباً من العمودي على السطح الفاصل بين الوسطين، ويمكن مقارنة ذلك بانحراف زوج من العجلات عند عبورها الحد الفاصل بين طريق مرصوف وطريق طيني ؛ فالعجلة الأولى التي تدخل الطين ستقل سرعتها مما يجعل العجلات تنحرف عن اتجاهها مقتربة من العمودي على الحد الفاصل بين الطريقين، أما عند انتقال الضوء من الزجاج إلى الهواء فإن الشعاع سينحرف مبتعدًا عن العمودي . (ولكن ماذا سيحدث لو كان الشعاع الضوئي الساقط موازياً للعمودي؟).



الشكل (٥–١٢)

قانون سنل Snell's law

بما أن الانكسار يحدث بسبب التغير في سرعة الضوء، فإن العلاقة بين زاوية السقوط وزاوية الانكسار يجب أن تكون مرتبطة بهذا التغير في السرعة ، وأول من أثبت هذه العلاقة هو العالم الدنماركي ويلبرورد سنل *Willebrord snell* (١٥٨٠م – ١٦٢٦م) في عام ١٦٢١م. وينص قانون سنل على أن النسبة بين جيب زاوية السقوط وجيب زاوية الانكسار هي مقدار ثابت.

ولشعاع ضوئي قادم من الفراغ إلى وسط آخر، فإن هذا الثابت يطلق عليه معامل الانكسار *Index of refraction*، ويكتب قانون سنل كالتالي:

$$\frac{\sin\theta_i}{} = n \qquad (٢–٥)$$

حيث n : هو معامل الانكسار ، θ_i هي زاوية السقوط، θ_r هي زاوية الانكسار.

ويعرف معامل الانكسار n على أنه النسبة بين سرعة الضوء في الفراغ وسرعته في الوسط الذي ينتقل فيه وبالتالي:

$$n = \frac{c}{v} \qquad (٣–٥)$$

حيث c هي سرعة الضوء في الفراغ أو الهواء و v هي سرعة الضوء في الوسط، ويوضح الجدول (٥–١) قائمة بمعاملات الانكسار لعدد من المواد.

ماذا يحدث عندما ينتقل الضوء من وسط لآخر؟

بما أن سرعة الضوء تتغير بتغيّر الوسط، فإن لكل وسط معامل انكساره الخاص. فإذا كان n_i هو معامل الانكسار للوسط الأول و n_r هو معامل الانكسار للوسط الثاني، فإن المعادلة (٥–٢) تكتب بشكل عام كالآتي:

$$n_i \sin\theta_i = n_r \sin\theta_r \qquad (٥-٤)$$

حيث: θ_i هي زاوية السقوط، θ_r هي زاوية الانكسار

الوسط	معامل الانكسار، n	سرعة الضوء $10^8\ ms^{-1}$
الماس	4.2	1.25
الزجاج	حوالى *1.5	حوالى 2
البرسبكس	1.5	2
الماء	1.33	2.25
الثلج	1.3	2.3
الهواء	1.000293	2.999
بالنسبة للزجاج، يتراوح معامل الانكسار بين 1.48 و 1.96 معتمداً على تركيب الزجاج		

الجدول (٥–١)

مثال (١):

شعاع ضوئي طوله الموجي $589\ nm$ يتحرك في الهواء، اصطدم بشريحة من الزجاج الأملس المسطح بزاوية مقدارها 30^o مع العمودي على السطح، أوجد زاوية الانكسار.

الحل:

نلاحظ من الجدول أن : $n_i = 1.00$ ، $n_r = 1.52$

باستخدام قانون سنل: بما أن $\theta_i = 30^o$

$$\sin\theta_r = \frac{n_i \sin\theta_i}{n_r} = \frac{\sin 30}{1.52} = 0.329$$

$$\therefore\ \theta_r = 19.2^o$$

ملاحظة: عند انتقال الضوء من وسط معين إلى وسط آخر معامل انكساره أكبر من الوسط الأول ، فإن زاوية

الانكسار ستكون أقل من زاوية السقوط أي أن الشعاع الضوئي ينحرف مقتربًا من العمودي على السطح الفاصل بين الوسطين، أما إذا انتقل إلى وسط آخر معامل انكساره أقل من الوسط الأول ، فإن زاوية الانكسار ستكون أكبر من زاوية السقوط أي أن الشعاع الضوئي ينحرف مبتعدًا عن العمودي على السطح الفاصل بين الوسطين.

اختبر فهمك (٢):

١- في المعادلة (٥-٣) لماذا تكون n دائما أكبر من 1 ؟

٢- موجة كهرومغناطيسية قادمة من الفراغ بطول موجي $589\ nm$ ، أكمل الفراغات في الجدول الآتي مستعينًا بالجدول (٥-١):

الوسط الأول	الوسط الثاني	θ_i	θ_r
الهواء	؟	14.5^o	9.80^o
الهواء	الألماس	31.6^o	؟

الاستكشاف (١) قانون سنل

سؤال علمي: كيف يمكن حساب معامل انكسار الزجاج؟

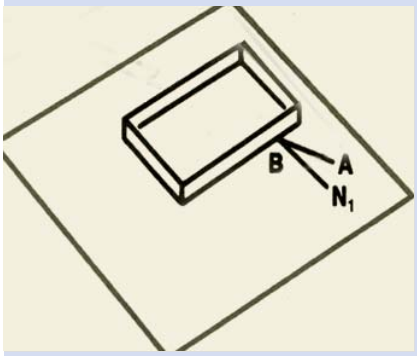
المواد والأدوات: طبق زجاجي مستطيل الشكل- ورقة- مسطرة - منقلة - قلم رصاص

الإجراءات:

١- ضع الطبق الزجاجي في مركز الورقة ثم تتبع محيط الطبق بالقلم وارسمه على الورقة.

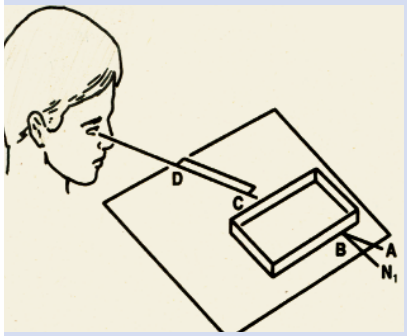
٢- أبعد الطبق عن الورقة، ثم قم برسم خط عمودي (N_1B) على أعلى الطرف الأيسر لمحيط الطبق، كما هو موضح في الشكل (٥-١٣أ).

٣- استخدم المسطرة والمنقلة لرسم خط مستقيم (AB) يصنع زاوية مقدارها 30^o مع العمودي (N_1B)، حيث تمثل الزاوية (ABN_1) زاوية السقوط θ_i.



الشكل (٥-١٣أ)

٤- أعِد الطبق إلى موضعه على الورقة، ثم قم بالنظر على طول حد الطبق من الجهة المقابلة للخط (AB) حتى تستطيع رؤية الخط (AB) من خلال الزجاج، ثم ضع المسطرة بحيث يظهر حدها وكأنه مكمل للخط (AB) . ارسم الخط (CD) كما هو موضح في الشكل (٥-١٣ب).

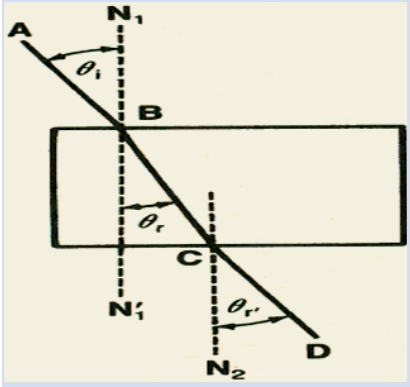


الشكل (٥-١٣ب)

٥- أبعد الطبق وارسم خطًّا آخر (BC) يربط بين الخطين (CD) و (AB) عن الورقة، ثم قم بمد الخط (N_1B) خلال المستطيل لتشكل خطًّا جديدًا ، كما هو موضح في الشكل (٥-١٣ج) .

٦- استخدم المنقلة لقياس الزاوية (CBN_1) ، وهي زاوية الانكسار θ_r . وسجِّل النتيجة في الجدول (٥-٢)، ثم احسب معامل الانكسار وسجله في الجدول.

٧- ارسم العمودي (N_2) على النقطة C ، ثم احسب الزاوية DCN_2 $(\theta_{\grave{r}})$.



الشكل (٥-١٣ج)

θ_i	θ_r	$\sin\theta_i$	$\sin\theta_r$	$\theta_{\grave{r}}$	n
30^o					
45^o					

الجدول (5-2)

٨- اقلب الورقة وأعد الخطوات السابقة مستخدمًا زاوية سقوط مقدارها 45^o وسجّل النتائج في الجدول (٥- ٢).

التحليل والتفسير:

١- هل تتفق النتائج التي حصلت عليها لمعامل الانكسار مع بعضها البعض؟

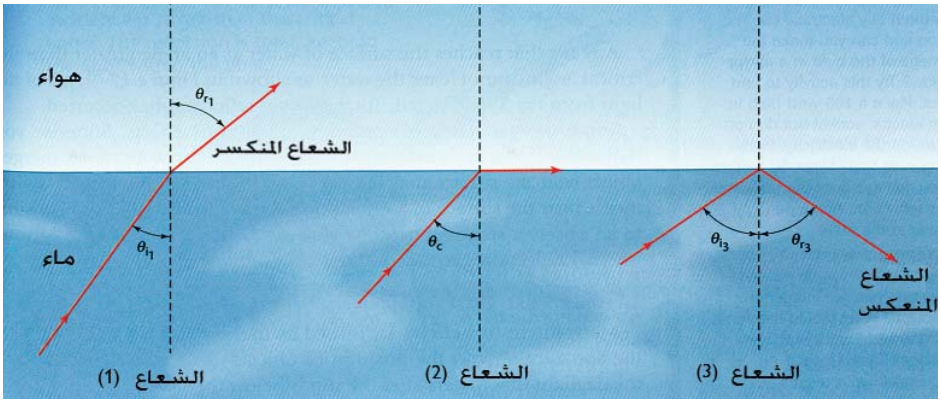
٢- حسب المخطط الذي رسمته، هل ينكسر الضوء مقترباً من العمودي على نقطة السقوط أم مبتعدًا عنه خلال مروره بزاوية سقوط معينة من الهواء إلى الزجاج؟ فسّر إجابتك.

٣- حسب المخطط الذي رسمته، هل ينكسر الضوء مقتربا من العمودي على نقطة السقوط أم مبتعدا عنه خلال مروره بزاوية سقوط معينة من الزجاج إلى الهواء؟ فسّر إجابتك.

٤- قارن بين الزاويتين θ_i و θ_r .

- الانعكاس الداخلي الكلي *Total Internal Reflection*

لقد علمت الآن أن الضوء عندما يعبر وسطًا تكون سرعته فيه صغيرة إلى وسط آخر سرعته فيه أكبر، فإن زاوية الانكسار ستكون أكبر من زاوية السقوط، وهذا يؤدي إلى ظاهرة يطلق عليها الانعكاس الداخلي الكلي. وتحدث هذه الظاهرة عندما يعبر الضوء وسطا سرعته فيه أقل إلى وسط آخر سرعته فيه أكبر وبزاوية سقوط مناسبة بحيث لا يحدث أي انكسار للضوء كما يظهر في الشكل (٥- ١٤) ، حيث إن الشعاع (1) يسقط على سطح الماء بزاوية θ_{i1} ويغادره بزاوية انكسار θ_r ، والشعاع (2) يسقط بزاوية θ_{i2} بحيث إن الشعاع ينكسر موازيًا لسطح الماء وتكون زاوية الانكسار 90.0^o ، فكم ستكون قيمة θ_{i2} في هذه الحالة؟



الشكل (٥-١٤)

بتطبيق قانون سنل :

$$n_{water}\ sin\theta_i = n_{air}\ sin\theta_r$$
$$(1.33)\ sin\theta_i = (1.00)\ sin\ 90^o$$
$$sin\theta_i = 0.752$$
$$\therefore \theta_i = 48.8^o$$

وهذا يعني أن الشعاع الضوئي الذي يعبر الماء إلى الهواء بزاوية سقوط 48.8^o ستكون زاوية انكساره 90.0^o .

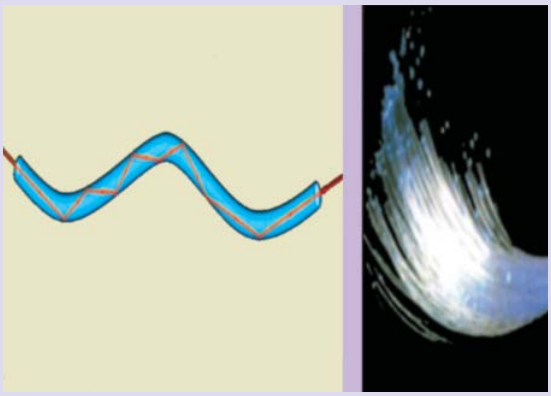
وزاوية السقوط التي تجعل الشعاع المنكسر يقع موازيًا للسطح الفاصل بين الوسطين تعرف بالزاوية الحرجة ***critical angle*** ويرمز لها بالرمز θ_c ، وهي تعتمد على نوع مادة الوسط، ويمكن حسابها باستخدام قانون سنل.

وبالتالي فإن أي شعاع يصل إلى سطح الماء بزاوية أكبر من الزاوية الحرجة لا يمكن أن يغادر الماء وهذا ما حدث للشعاع (3) في الشكل (٥-١٤) حيث حدث لها انعكاس داخلي كلي.

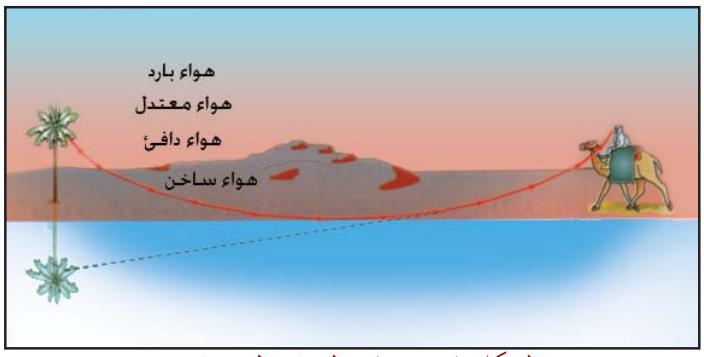
إن ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي يمكن ملاحظتها في العديد من الظواهر الحياتية كظاهرة السراب. والسراب هو عبارة عن ظاهرة طبيعية تحدث بسبب الاختلاف في كثافة طبقات الهواء القريبة من سطح الأرض، وحدوث الانعكاس الداخلي الكلي في إحداها عندما تزيد زاوية سقوط الأشعة فيها عن الزاوية الحرجة. وتفسيرًا لما يشاهده المسافر في الصحراء وفي المناطق القطبية أثناء النهار من صور مقلوبة للأشياء كالأشجار والحيوانات، فإن ذلك يعود إلى ظاهرة السراب. فعندما تكون الشمس ساطعة ترتفع درجة حرارة سطح الأرض فتسخن طبقة الهواء التي فوقها فتكون درجة حرارة الهواء في الطبقة التي تليها أقل سخونة، وهكذا تنتقل الأشعة الصادرة عن الأجسام على سطح الأرض من منطقة هواء بارد نسبيًا (وهي تمثل وسطًا ذا كثافة بصرية أعلى) إلى أخرى أسخن (تمثل وسطًا ذا كثافة بصرية أقل) فتنكسر الأشعة عند

تطبيقات حياتية:

من أهم التطبيقات على ظاهرة الانعكاس الداخلي الكلي الألياف البصرية ، حيث تصنع هذه الألياف من قلب زجاجي أو بلاستيكي له معامل انكسار عالي ثم تغطى بزجاج له معامل انكسار أقل . عندما يدخل الضوء عبر الليفة البصرية سيعاني انعكاسًا داخليًا على الأسطح . وتستخدم الألياف البصرية حاليا بشكل واسع في الاتصالات الهاتفية حيث يمكنها حمل معلومات أكثر من الأسلاك النحاسية، بالإضافة إلى أنها خفيفة الوزن وأسهل في التصنيع من النحاس .



السطح الفاصل بينهما مبتعدة عن العمود المقام على السطح الفاصل من نقطة السقوط، وتستمر كذلك إلى أن تصل زاوية السقوط إلى زاوية أكبر من الزاوية الحرجة فتنعكس انعكاس داخلي كلي . ونتيجة لذلك يسير الضوء إلى عين الناظر عبر المسار المبين في الشكل (٥– ١٥) على أنه خيال مقلوب. وقد ورد ذكر هذه الظاهرة في القرآن الكريم في **قوله تعالى**

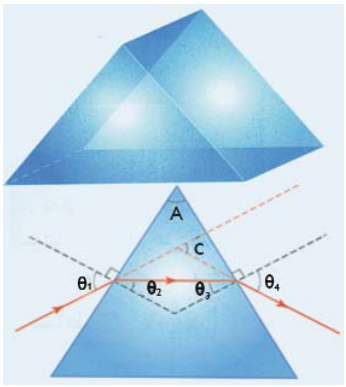


الشكل (٥–١٥) : السراب الصحراوي

وَٱلَّذِينَ كَفَرُوٓاْ أَعۡمَٰلُهُمۡ كَسَرَابِۭ بِقِيعَةٖ يَحۡسَبُهُ ٱلظَّمۡـَٔانُ مَآءً حَتَّىٰٓ إِذَا جَآءَهُۥ لَمۡ يَجِدۡهُ شَيۡـٔٗا وَوَجَدَ ٱللَّهَ عِندَهُۥ فَوَفَّىٰهُ حِسَابَهُۥۗ وَٱللَّهُ سَرِيعُ ٱلۡحِسَابِ ﴿٣٩﴾ **(الآية ٣٩ من سورة النور).**

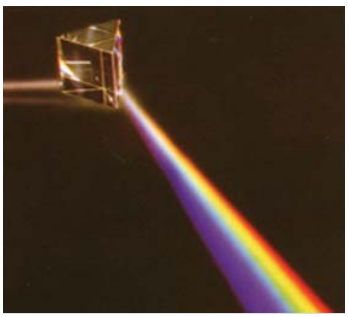
– انكسار الضوء في المنشور:

المنشور عبارة عن قطعة من الزجاج أو البلاستيك تحده أسطح مستوية وله قاعدتان وأسطح جانبية كل منها على شكل مستطيل. والمنشور الثلاثي تكون كل من قاعدتيه على شكل مثلث. وتلاحظ في الشكل (٥– ١٦) منشورًا ثلاثيًا زاوية رأسه (A)، عندما يسقط شعاع ضوئي على أحد أوجهه ينكسر أولا عند انتقاله من الهواء إلى داخل المنشور، ثم ينكسر ثانية عند مغادرته المنشور إلى الهواء. وتلاحظ في الشكل(٥– ١٦) أن الشعاع الضوئي سقط على أحد أوجه المنشور ثم نفذ منحرفًا نحو قاعدة المنشور، وهذا الانحراف في مسار الشعاع الضوئي يعبر عنه بالزاوية (c) التي تسمى زاوية الانحراف الكلي، وهي الزاوية المحصورة بين امتداد الشعاع الساقط على المنشور وامتداد الشعاع الخارج من المنشور.



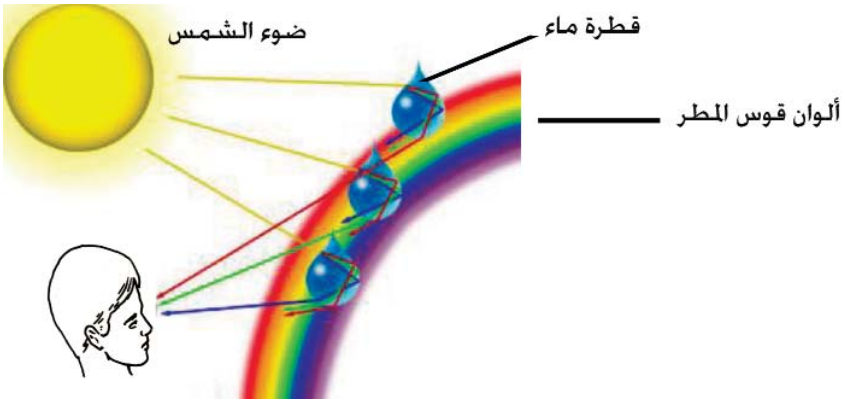
الشكل (٥–١٦) : المنشور الثلاثي

يتكون ضوء الشمس من مجموعة من الألوان تسمى ألوان الطيف ولكل منها معامل انكسار خاص به، فتكون زاوية انكسار كل منها مختلفة عن زاوية انكسار الألوان الأخرى، ويمكن استخدام المنشور للحصول على ألوان الطيف


الشكل (٥–١٧)

بشكل واضح كما هو موضح في الشكل (٥–١٧).

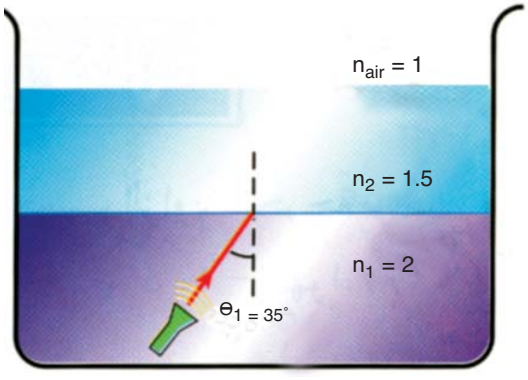
وما يحدث للضوء في المنشور يحدث مثيل له عند سقوط ضوء الشمس على قطرات المطر كما هو مبين في الشكل (٥–١٨)، وينتج عن تحلل ضوء الشمس في قطرات الماء ظاهرة قوس المطر (قوس قزح) ***rainbow***



الشكل (٥–١٨) : قوس المطر

اختبر فهمك (٣):

سقط شعاع ضوئي من مصباح موجود في قعر وعاء يحتوي طبقتين شفافتين من مادتين مختلفتين في معامل انكسارهما، حيث $n_2 = 1.5 , n_1 =$ كما هو مبين في الشكل (٥ – ١٩). فإذا سقط شعاع ضوئي من قاع الإناء بزاوية مقدارها 35^o ، تتبع مسار الشعاع مبينًا هل يمكن أن يخرج إلى الهواء؟ اعتبر معامل انكسار الهواء *(1)*.



الشكل (٥–١٩)

٥–٥ العدسات والمرايا Mirrors and Lenses

إن الأشعة الضوئية يمكن أن تسلك مسارات معقدة عند عبورها الأشكال المختلفة من المرايا والعدسات، وجميع الأجهزة البصرية التي نستخدمها في حياتنا اليومية كالنظارات والعدسات المكبرة والكاميرات تطبق قوانين الانعكاس والانكسار.

– المرايا Mirrors

تعتبر المرايا من أقدم الأجهزة البصرية التي استخدمها الإنسان وسنعالج طرق تشكُّل الصورة في نوعين من المرايا هما : المرايا المستوية، والمرايا الكروية.

أولا: المرايا المستوية Plane Mirrors

للتعرُّف على خصائص الصور المتكونة في المرايا المستوية قم بإجراء الاستكشاف الآتي:

الاستكشاف (٢): الصور المتكونة في المرايا المستوية

سؤال علمي: ما خصائص الصور المتكونة في المرآة المستوية؟

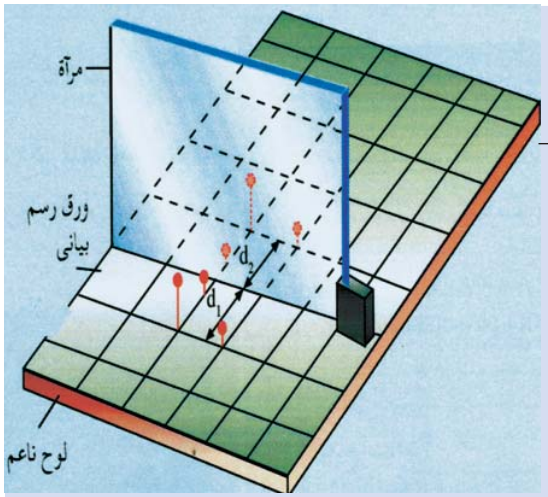
الأدوات والمواد: مرآة مستوية– ثلاثة دبابيس– ورقة رسم بياني– حامل خشبي.

الإجراءات:

١– رتِّب الأدوات كما هو مبين في الشكل (٥ – ٢٠).

٢– لاحظ الصورة المتكونة.

٣– قم بعد المربعات بين الدبابيس والمرآة، وأيضًا بين الصورة والمرآة لإيجاد المسافات d_o و d_i على التوالي. قارن بين هاتين المسافتين.



الشكل (٥–٢٠)

التحليل والتفسير:

١– ما خصائص الصورة المتكونة في المرآة؟

٢– ماذا تمثل المسافتين d_o و d_i اللتين قمت بقياسهما؟ وما العلاقة بينهما؟

يمكن تلخيص خصائص الصورة التي كونتها المرآة المستوية كما يلي:

١- لها نفس حجم الجسم الأصلي.

٢- منعكسة جانبيًا (انعكاس اليسار إلى اليمين ، فإذا نظرت إلى نفسك في مرآة مستوية وأنت ترفع يدك اليمنى مثلاً، ستظهر صورتك على المرآة وكأنك ترفع يدك اليسرى كما هو موضح في الشكل (٥-٢١).

٣- معتدلة رأسيًا.

٤- تقديرية (لا يمكن استقبال الصورة على شاشة؛ لأن الأشعة الضوئية لا تلتقي فعليًا في موضع الصورة كما ستظهر الصورة وكأنها قادمة من الجانب الآخر من المرآة).

٥- المسافة التي يبعدها الجسم عن المرآة d_o تساوي بعد الصورة عن المرآة d_i .

الشكل (٥-٢١)

كيف يمكن تحديد موقع الصورة في المرآة؟

يمكن تحديد موقع الصورة في المرآة باستخدام مخططات الأشعة *ray diagrams* . والقانون الذي يحدد كيفية تشكل صورة الجسم بالمرآة هو قانون الانعكاس. فكل شعاع ضوئي صادر من أية نقطة في الجسم يسقط بزاوية معينة مع العمودي على المرآة، ومن ثم ينعكس بزاوية مساوية لزاوية السقوط. وبما أن هذا القانون ينطبق على أي شعاع قادم من أي نقطة في الجسم، فإننا نستطيع تبسيط رسم الصورة المتكونة في المرآة، وذلك باعتبار النقاط الطرفية للجسم (أعلى وأدنى نقطة في الجسم)، فهذه النقاط تفي بالغرض. ولرسم الصورة اتبع الطريقة الآتية:

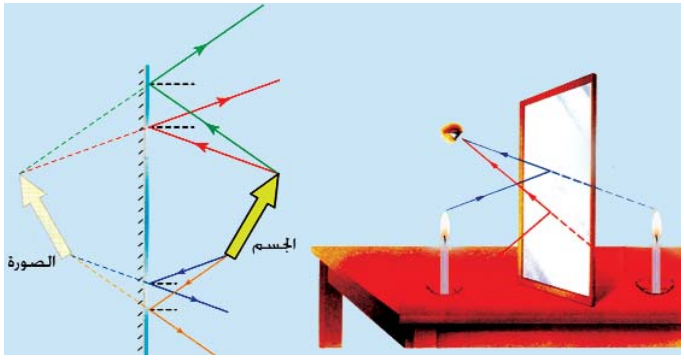
١- ارسم من أعلى الجسم وأسفله شعاعين ضوئيين ساقطين على المرآة.

٢- عند نقطة السقوط ارسم عمودًا على سطح المرآة وحدد بالمنقلة زاوية السقوط.

٣- ارسم الأشعة المنعكسة عن المرآة، بحيث تكون زاوية السقوط تساوي زاوية الانعكاس.

٤- لاحظ أن الأشعة المنعكسة عن المرآة المستوية لا تلتقي، ولكن امتداداتها تلتقي خلف المرآة لتكون صورة تقديرية (وهمية)، حيث تبدو الأشعة وكأنها قادمة من الصورة.

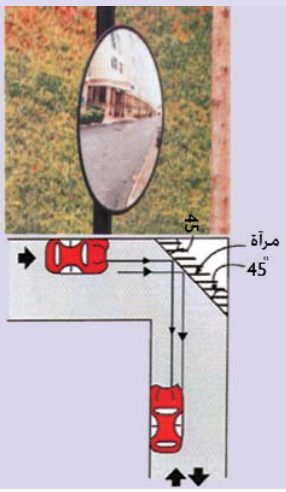
٥- قارن الشكل الذي حصلت عليه بالشكل (٥- ٢٢).



الشكل (٥-٢٢)

تطبيقات حياتية:

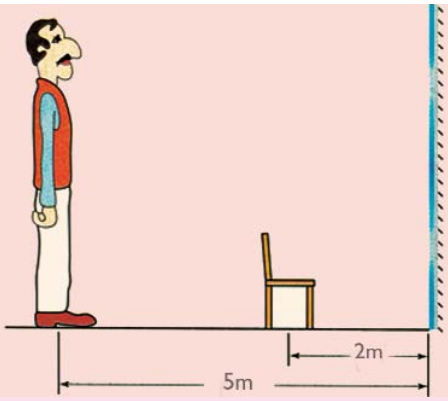
تستخدم المرايا المستوية لفحص النظر حيث تقلب الحروف المضيئة عرضيًا حتى يراها المريض صحيحة في المرآة، كما تستخدم المرايا المستوية في جهاز البيروسكوب لرؤية الأشياء المخبأة ، كما يتم تركيب مرآة مستوية عند زاوية على الطريق يسمح للسائقين بالرؤية حول المنحنيات العمياء .



اختبر فهمك (٤):

١- علل: تكتب كلمة إسعاف معكوسة جانبيًا على مقدمة سيارة الإسعاف!

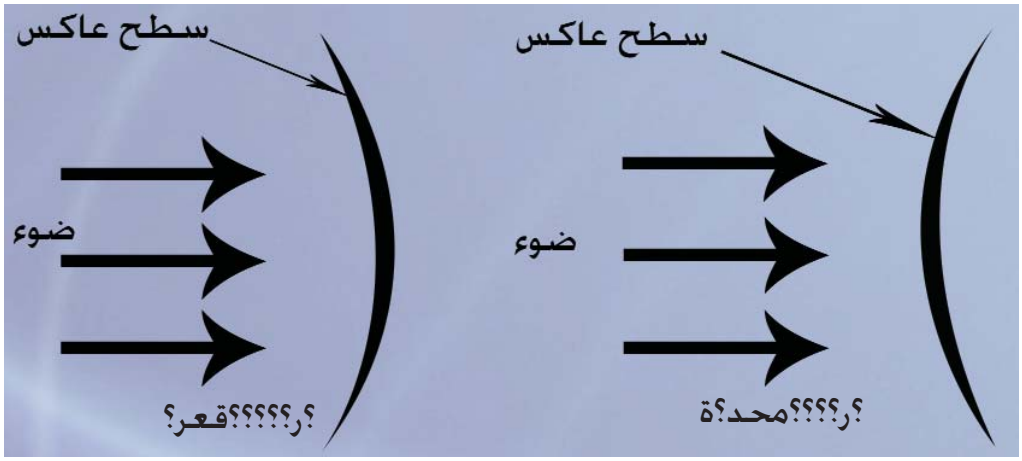
٢- في الشكل (٥- ٢٣) يقف شخص أمام مرآة مستوية على بعد 5 m منها وأمامه كرسي يبعد عن المرآة 2 m ، فما مقدار المسافة بين الشخص وصورة الكرسي؟



الشكل (٥-٢٣)

ثانيًا: المرايا الكروية Spherical Mirrors

ليس شرطًا أن تكون السطوح العاكسة مستوية ، ومن المرايا المنحنية الشائعة المرايا الكروية والتي تعني أنها تمثل مقطعًا من كرة. والمرايا الكروية إما أن تكون محدبة *convex* إذا كان الانعكاس يحدث من السطح الخارجي للمرآة بحيث أن مركز سطح المرآة يبرز باتجاه الناظر، وإما أن تكون مقعرة *concave* إذا كان السطح العاكس في السطح الداخلي للمرآة بحيث أن مركز سطح المرآة يغوص مبتعدًا عن الناظر كما هو موضح في الشكل (٥– ٢٤). وتستخدم المرايا المقعرة عادة في الحلاقة والتجميل، بينما تستخدم المرايا المحدبة في السيارات والشاحنات وفي المحلات التجارية للمراقبة.



الشكل (٥–٢٤)

ولكل نوع من المرايا الكروية ما يلي كما هو موضح في الشكل (٥– ٢٥):

– مركز التكور *center of curvature (C)* : وهو مركز الكرة الذي أخذت منه المرآة.

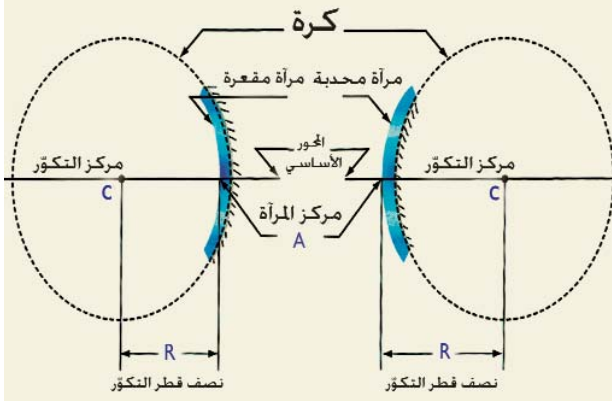
– نصف قطر التكور *radius of curvature (R)* : وهو نصف قطر الكرة.

– مركز المرآة *vertex (A)*.

– المحور الأساسي *principal axis* :هو الخط العمودي على محور المرآة في مركزها.

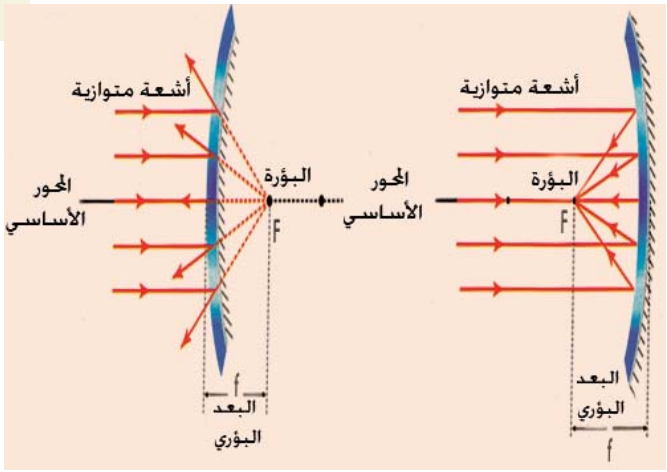
– البؤرة *focal point (F)* : وهي منتصف المسافة بين مركز المرآة ومركز التكور.

– البعد البؤري *focal length (f)* : وهو المسافة من مركز المرآة إلى البؤرة.



الشكل (٥-٢٥)

عندما تسقط أشعة ضوئية على سطح المرآة موازية للمحور الأساسي، فإن كل شعاع سينعكس بزاوية مساوية لزاوية سقوطه ويقطع المحور الأساسي في نقطة محددة وهي البؤرة كما هو موضح في الشكل (٥-٢٦). وبما أن الشمس على مسافة بعيدة جدًّا من الأرض فإن أي أشعة قادمة من الشمس ستسقط على المرآة موازية للمحور الأساسي، وبالتالي ستنعكس وتمر بالبؤرة.



الشكل (٥-٢٦)

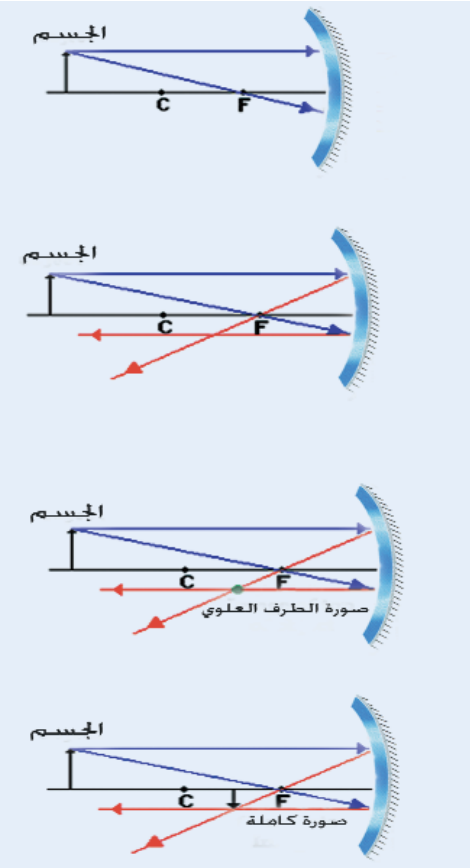
- الصور المتكونة في المرايا المقعرة:

إن الصور المتكونة في المرايا المقعرة قد تكون مكبرة أو مصغرة أو بنفس حجم الجسم، وقد تكون مقلوبة أو معتدلة وذلك يعتمد على موقع الجسم.

ولمعرفة طرق رسم مخططات الأشعة لأجسام موضوعة في مواضع مختلفة أمام مرآة مقعرة، سنتتبع خطوة بخطوة طرق رسم الأشعة لجسم موضوع أبعد من مركز التكور، وهذه الطريقة يمكن أن تطبق لأي موضع آخر للجسم.

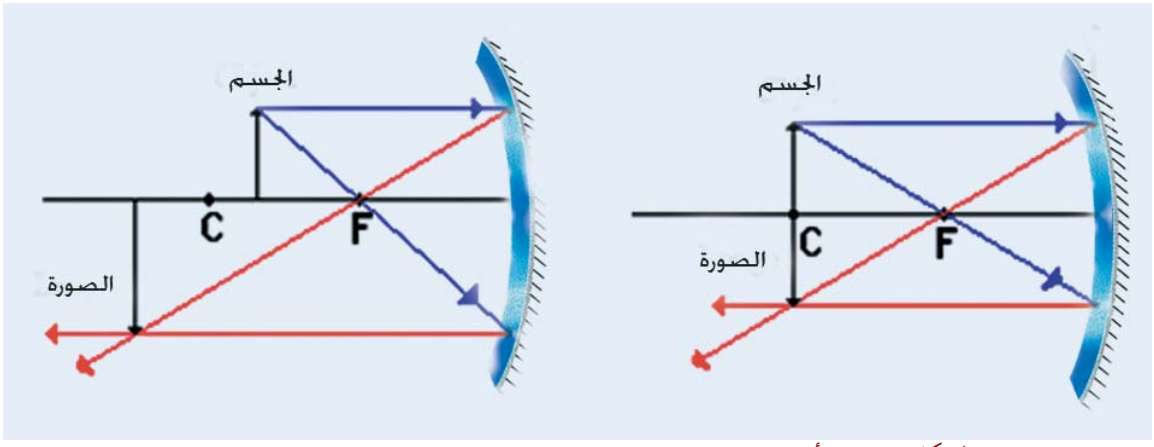
١- اختر أعلى نقطة في الجسم وارسم شعاعين ساقطين منها باتجاه المرآة المقعرة، بحيث أن أحدهما يمر خلال البؤرة باتجاه المرآة والآخر يمر موازيًا للمحور الأساسي.

٢- ارسم الشعاعين المنعكسين عن هذين الشعاعين، بحيث أن الشعاع الساقط المار بالبؤرة سينعكس موازيًا للمحور الأساسي، والشعاع الساقط الموازي للمحور الأساسي سينعكس مارا بالبؤرة.
٣- ضع علامة على نقطة التقاء الأشعة المنعكسة لتمثل موقع صورة رأس الجسم.
٤- كرر الخطوات السابقة للطرف السفلي للجسم، ولأن الطرف السفلي يقع على المحور الأساسي فإن الأشعة الساقطة على المرآة ستكون أيضًا على المحور الأساسي وستنعكس على نفس ذلك المحور وعلى نفس المسافة التي تشكلت فيها صورة الطرف العلوي. وبالتالي يمكن تحديد صورة الجسم، كما هو موضح في الشكل (٥-٢٧).



الشكل (٥-٢٧)

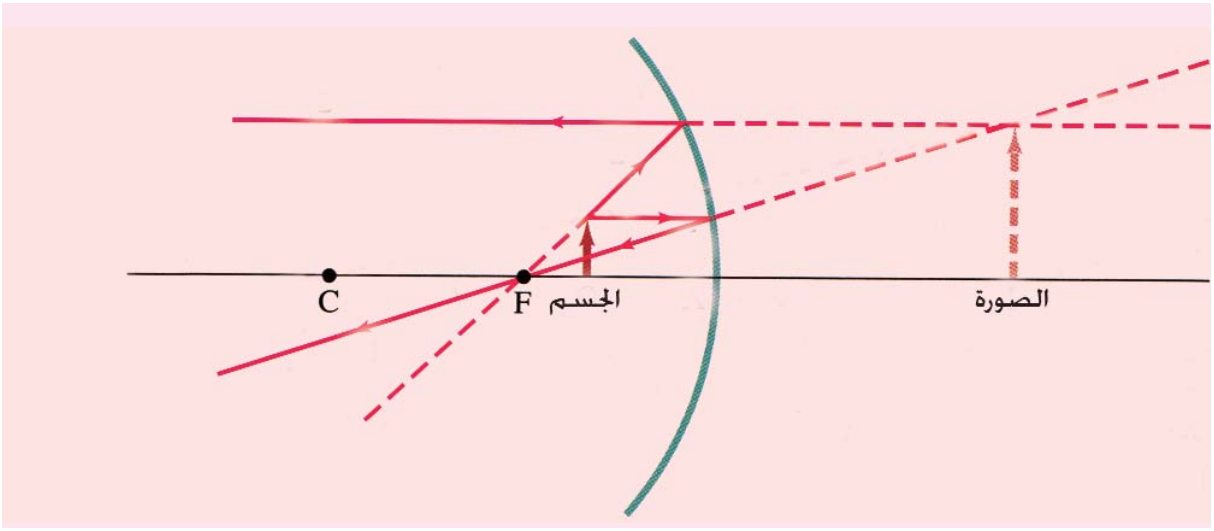
إن الشكل (٥- ٢٧) يزودنا بمعلومات حول طبيعة الصورة المتكونة حيث نلاحظ أنها تقع بين البؤرة ومركز التكور، كما أنها مصغرة ومقلوبة وحقيقية (أمام المرآة)، إذ إن الشعاعين يتقاطعان. ويمكن تطبيق الخطوات السابقة لتحديد طبيعة الصور المتكونة في مواقع مختلفة للجسم. والشكلان (٥-٢٨أ) و (٥-٢٨ب) يوضحان على التوالي كيفية تحديد موقع الصورة واتجاهها وحجمها في حالة وضع الجسم في مركز التكور وفي حالة وضعه بين مركز التكور والبؤرة.



الشكل (٥–٢٨ أ)

الشكل (٥–٢٨ب)

وفي الثلاث حالات السابقة لموضع الجسم، نلاحظ أن الأشعة المنعكسة تتجمع في نقطة واحدة وفي هذه الحالة تتشكل صورة حقيقية للجسم ، مما يعني أن المرايا المقعرة تشكل صورًا حقيقية إذا وضع الجسم على مسافة أكبر أو مساوية للبعد البؤري. كما يمكن أن تتشكل صورة تقديرية للجسم (خلف المرآة) في المرايا المقعرة، وذلك في حالة وضع الجسم على مسافة أقل من البعد البؤري للمرآة، كما هو موضح في الشكل (٥– ٢٩).



الشكل (٥–٢٩)

تطبيقات حياتية:

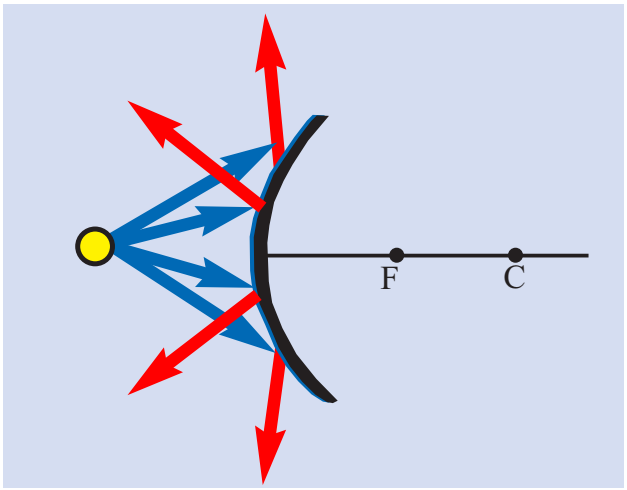
تعمل المرآة المقعرة على تجميع الأشعة الضوئية ، لذا يمكن الاستفادة منها في تجميع الطاقة الشمسية ، ففي فرنسا استطاع المهتمون بأبحاث الطاقة الشمسية تجميع قدر كاف منها بوساطة المرايا لصهر الفولاذ، كما تستخدم المرايا المقعرة في تجميع الأشعة الضوئية في التلسكوب الفلكي العاكس مثل تلسكوب جبل بالومار في كاليفورنيا الذي تستخدم فيه مرآة قطرها $5\ m$.

اختبر فهمك (٥):

١- ما نوع الصورة المتكونة في مرآة مقعرة لجسم موضوع على مسافة مقدارها بعد بؤري واحد من المرآة؟ وضح إجابتك بالرسم.

- الصور المتكونة في المرايا المحدبة:

إن التحليل الذي استخدمناه لدراسة الصور التي تشكلها المرايا المقعرة يمكن تطبيقها على المرايا المحدبة. ويوضح الشكل (٥ – ٣٠) أشعة ضوئية ساقطة على مرآة محدبة. لاحظ أنه في هذه الحالة تكون البؤرة ومركز التكور في الجانب الآخر من المرآة (خلف المرآة)، ولهذا فإن المرآة المحدبة بعدها البؤري سالب.كما تلاحظ أن الأشعة المنعكسة تتشتت بعد سقوطها على سطح المرآة وبالتالي لن تتقاطع هذه الأشعة في نقطة معينة على الجانب الذي يوجد فيه الجسم، ولهذا السبب تنتج المرايا المحدبة صورًا تقديرية تكون في مكان ما خلف المرآة. وحتى يتم تحديد موقع الصورة يتم تمديد الخطوط المنعكسة إلى الخلف حتى تتلاقى في نقطة معينة هي موقع صورة الجسم كما هو موضح في الشكل (٥–٣٠).



الشكل (٥–٣٠)

ويكفي أن يكون لدينا شعاعين لتحديد موقع الصورة باستخدام مخطط الأشعة، وستعدل قواعد الانعكاس التي استخدمناها في المرايا المقعرة كالتالي:

١– أي شعاع يسقط على المرآة موازيًا للمحور الأساسي سينعكس بحيث يمر امتداده خلال البؤرة.

٢– أي شعاع يسقط بحيث يكون امتداده مارًا بالبؤرة فإنه سينعكس موازيًا للمحور الأساسي.

وتستخدم القاعدتين السابقتين لرسم مسارات الأشعة للمرايا المحدبة، وذلك لتزويدنا بمعلومات تقديرية حول موقع الصورة من المرآة وحجمها واتجاهها كالتالي:

١– اختر نقطة على الطرف العلوي من الجسم وارسم منه شعاعين ساقطين على المرآة :

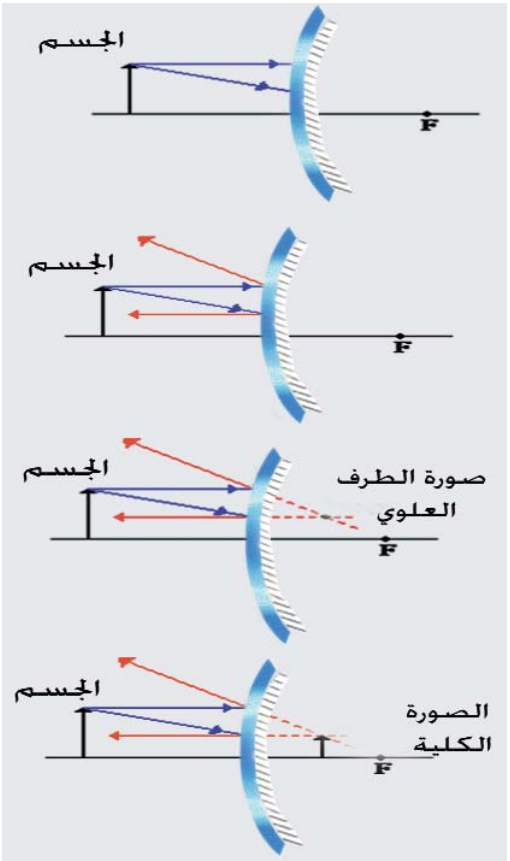
– أحد الشعاعين يسقط باتجاه البؤرة على الطرف الآخر من المرآة، وهذا الشعاع سيسقط على المرآة قبل أن يصل إلى البؤرة، وبالتالي قِف عند نقطة سقوط هذا الشعاع على المرآة.

– ارسم الشعاع الآخر بحيث يكون موازيًا للمحور الأساسي.

٢– عند سقوط الشعاعين على المرآة، سينعكسان حسب قاعدتي الانعكاس للمرايا المحدبة كالتالي:

– الشعاع الساقط على المرآة بحيث يكون امتداده مارًا بالبؤرة سينعكس موازيًا للمحور الأساسي.

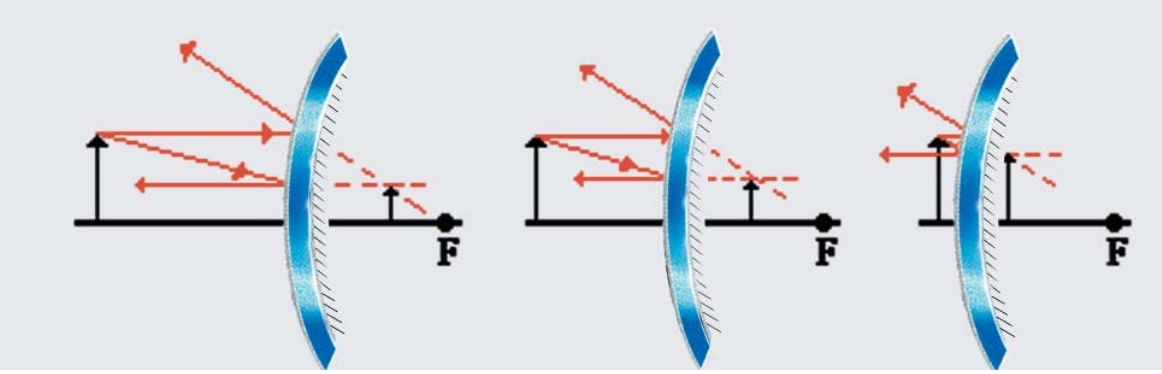
– الشعاع الساقط الموازي للمحور الأساسي سينعكس بحيث يمر امتداد الشعاع المنعكس بالبؤرة (لاحظ أن الشعاعين سيتشتتان بعد الانعكاس).



الشكل (٥–٣١)

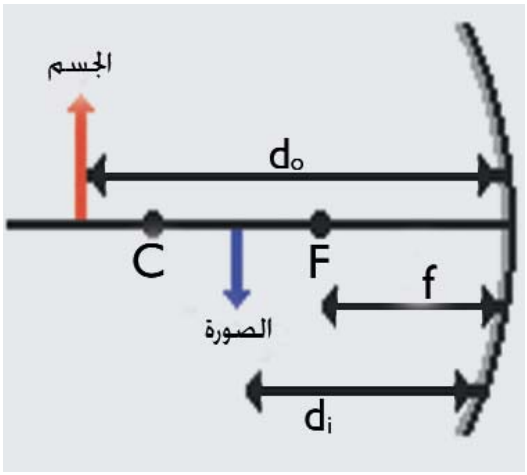
٣- حدد موضع صورة الطرف العلوي للجسم.
لأن الشعاعين المنعكسين يتفرقان، قم برسم امتداداتهما مستخدما خطًّا متقطعًا حتى يتقاطعان. إن نقطة تقاطع الشعاعين هي نقطة موضع صورة الطرف العلوي للجسم. إذا قمت برسم شعاع ثالث ساقط باتجاه المرآة فإن الشعاع المنعكس سيمر امتداده بهذه النقطة.
٤- كرر الخطوات السابقة للطرف السفلي للجسم كما تم توضيحه في المرآة المقعرة.

نلاحظ من الشكل (٥-٣١) أن الصورة المتكونة بواسطة المرآة المحدبة هي صورة تقديرية (تقع خلف المرآة) كما أنها معتدلة وأصغر من الجسم. ولكن هل هذه دائما خصائص الصور التي تشكلها المرايا المحدبة، أم أنه يمكن للمرايا المحدبة أن تشكل صورًا حقيقية أو مقلوبة أو مكبرة؟
وللإجابة عن هذا السؤال تمعّن في الأشكال الثلاثة الآتية (٥-٣٢أ،ب،ج) التي توضح مسارات الأشعة لأجسام موضوعة في مواقع مختلفة على طول المحور الأساسي لمرآة محدبة.



الشكل (٥-٣٢)

ويوضح الشكل السابق أنه في كل حالة تكون خصائص الصورة المتكونة في المرآة المحدبة كالتالي:
- تقديرية (خلف المرآة) - معتدلة - مصغرة
فبخلاف المرآة المقعرة، فإن الصور التي تشكلها المرآة المحدبة تشترك في هذه الصفات، حيث أن موضع الجسم لا يؤثر على خصائص الصورة المتكونة ،وبالتالي فإن خصائص الصور التي تشكلها المرايا المحدبة من السهل التنبؤ بها.



إن مخططات الأشعة تزودنا بمعلومات تقديرية حول موقع الصورة وحجمها ولكنها لا تزودنا بمعلومات كمية عددية حول الموقع والحجم، وحتى نحصل على مثل هذه المعلومات فإننا نستخدم معادلة المرايا *Mirror Equation* ومعادلة التكبير *Magnification Equation*، وتعبر معادلة المرايا عن العلاقة الكمية بين موقع الجسم d_o وموقع الصورة d_i ، والبعد البؤري f وتنص على:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i} \qquad (٥-٥)$$

أما معادلة التكبير فهي تربط بين نسبة موقع الصورة إلى موقع الجسم وبين نسبة ارتفاع الصورة h_i ، إلى ارتفاع الجسم h_o وتكتب المعادلة كالآتي:

$$M = -\frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o} \qquad (٦-٥)$$

مع مراعاة الإشارات في الحالات التالية:

	موجبة	سالبة
بعد الجسم (d_o)	الجسم أمام المرآة (الجسم حقيقي *)	الجسم خلف المرآة (الجسم خيالي*)
بعد الصورة (d_i)	الصورة أمام المرآة (حقيقية)	الصورة خلف المرآة (تقديرية)
البعد البؤري (f)	المرآة مقعرة (مجمعة)	المرآة دبة (مشتتة)
التكبير (M)	الصورة أمام المرآة ومقلوبة	الصورة خلف المرآة ومعتدلة

* الجسم الحقيقي هو الذي تتفرق منه الأشعة، أما الجسم الخيالي فهو الذي تتجمع فيه الأشعة.

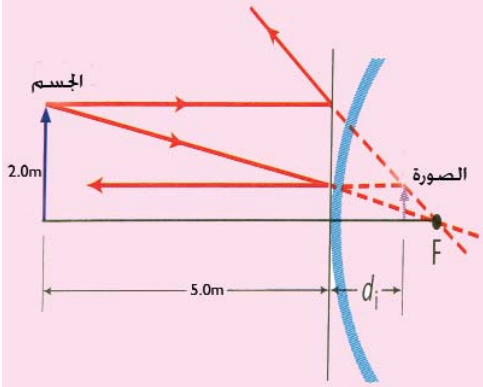
مثال (٢):

مرآة محدبة تستخدم للمراقبة في مستودع للبضائع والسلع، مركز تكورها يساوي *1.0 m* . تقع رافعة طولها *2.0 m* على بعد *5.0 m* من المرآة. ما موضع وحجم الصورة المتكونة؟

الحل:

نرسم هذه الحالة وذلك بتحديد موضع الجسم من المرآة ، ثم رسم الشعاعين الأساسيين كما هو موضح في الشكل (٥-٣٣).

بما أن العدسة محدبة فالبعد البؤري لها سالب ويساوي:



الشكل (٥-٣٣)

$$f = -\frac{R}{2} = -\frac{1.0}{2} = -0.5\ m$$

نستخدم معادلة المرايا لإيجاد موضع الصورة

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{f} - \frac{1}{d_o}$$

$$\frac{1}{d_i} = \frac{1}{-0.5} - \frac{1}{0.5}$$

$$\therefore d_i = -0.45\ m$$

أي أن الصورة تقديرية

$$M = -\frac{h_i}{h_o} = -\frac{d_i}{d_o}$$

$$h_i = \frac{-d_i h_o}{d_o} = -\frac{-0.45 \times 2.0}{5.0} = 0.18\ m$$

أي أن الصورة معتدلة ومصغرة.

تطبيقات حياتية:

بما أن المرآة المحدبة تكوّن دائما صورًا تقديرية معتدلة ومصغرة فهي مفيدة في توسيع مجال الرؤيا، ولهذا الغرض يستخدمها طبيب الأسنان وطبيب العيون ، كما تستخدم في المتاجر الكبيرة للمراقبة وكمرآة جانبية في السيارة.

اختبر فهمك (٦):

١- وضع قلم رصاص أمام مرآة محدبة بعدها البؤري $8.00\ m$ فتكونت صورة معتدلة للقلم طولها $2.50cm$ على مسافة $4.44\ cm$ خلف المرآة. أوجد:

أ- بعد الجسم من المرآة ب- التكبير ج- طول القلم

٢- وضع مصباح ضوئي طوله $4.00\ cm$ على مسافة مقدارها $45.7\ cm$ من مرآة مقعرة بعدها البؤري $15.2\ cm$ ، حدد موضع صورة المصباح وحجمها.

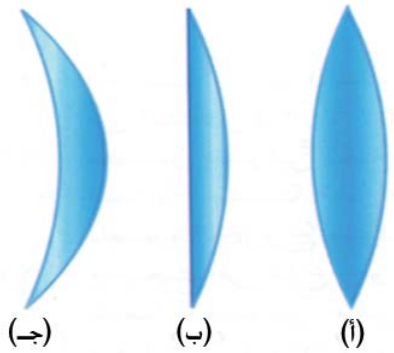
قم بإجراء الدرس العملي (٤) للتعرف على خصائص الصور المتكونة في المرايا المحدبة والمقعرة

العدسات الرقيقة Thin Lenses

تتكون العدسة من جسم شفاف يحده سطحان كرويان، وقد تكون من الزجاج أو البلاستيك، وهي تستخدم بشكل واسع في النظارات والكاميرات وأجهزة العرض وغيرها من الأجهزة البصرية. ويمكن تعريف العدسة الرقيقة على أنها عدسة سمكها صغير مقارنة ببعدها البؤري.عندما يسقط الضوء على الأجزاء المختلفة من سطح العدسة ستكون له زوايا سقوط مختلفة، وبالتالي زوايا انكسار مختلفة. وتصنف العدسات إلى مجموعتين رئيسيتين:

١- العدسات المحدبة Convex Lenses

ويكون وسطها أسمك من أطرافها وتصنع بأشكال مختلفة، كما هو موضح في الشكل (٥– ٣٤).

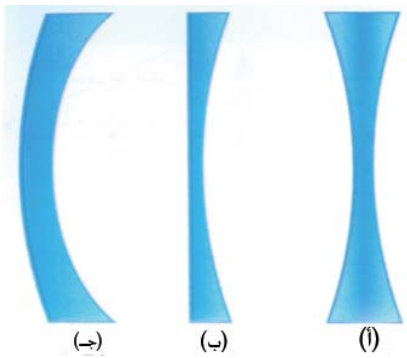


الشكل (٥–٣٤)

٢- العدسات المقعرة Concave Lenses

وتكون أطرافها أسمك من وسطها وتصنع بأشكال مختلفة، كما هو موضح في الشكل (٥– ٣٥).

يبيّن الشكل (٥– ٣٦) العمل الأساسي للعدسات الرقيقة. فالعدسة المحدبة تقوم بتجميع الأشعة الضوئية لذا تسمى بالعدسة المجمعة *converging lens* ، بينما تقوم العدسة المقعرة بتشتيت الأشعة لذا تسمى بالعدسة المشتتة *diverging lens*.



الشكل (٥–٣٥)

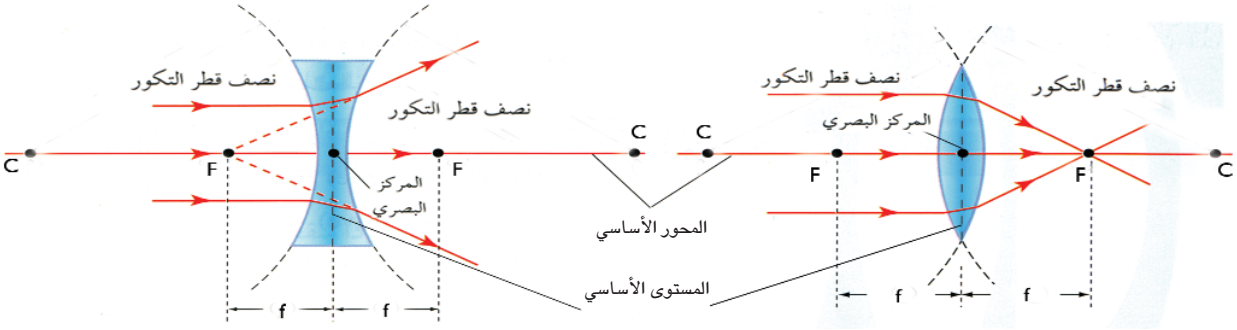
كما يظهر في الشكل (٥–٣٦) بعض المصطلحات التي تفيدك أثناء دراستك للعدسات وهي:

١– المركز البصري *optical center* : وهو منتصف المسافة بين سطحي العدسة في محورها الأساسي، والأشعة المارة بالمركزالبصري لا تنكسر.

٢– المحور الأساسي *principal axis* : الخط الأفقي المار خلال المركز البصري للعدسة.

٣– البؤرة *focal point (F)* : النقطة التي تلتقي عندها جميع الأشعة الموازية للمحور الأساسي بعد انكسارها بواسطة العدسة.

٤– البعد البؤري *focal length(f)* : المسافة بين المركز البصري والبؤرة.



الشكل (٥–٣٦)

وإذا أمعنت النظر في الشكل السابق ستلاحظ أن الأشعة الضوئية تنكسر على سطح العدسات الرقيقة مرتين: واحدة أثناء دخول العدسة، وأخرى أثناء خروجها (فسَّر ذلك بالاعتماد على قانون سنل).

وبما أن الحديث هنا عن العدسات الرقيقة، فإننا نعتبر أن الانكسار يحدث في العدسة عند المستوى الأساسي الموضح في الشكل (٥–٣٦).

الاستكشاف (٣): مشاهدة بؤرة العدسة

سؤال علمي: هل يمكن مشاهدة بؤرة العدسة المحدبة أو المقعرة؟

المواد والأدوات: عدسة محدبة – عدسة مقعرة – مسحوق طباشير – حامل عدسات– مصدر ضوئي – قطعة كرتونية– مسطرة

الإجراءات:

١– ضع العدسة المحدبة على الحامل.

٢– أضيء المصباح وسلط ضوءه على العدسة.

٣– انثر غبار الطباشير على الجهة المقابلة للمصدر الضوئي، ولاحظ مسار الأشعة.

٤– قم بتغيير موقع المصدر الضوئي وانثر غبار الطباشير، هل يتغير موقع تجمع الأشعة الضوئية؟

٥– حرِّك القطعة الكرتونية حتى تحصل على أصغر بقعة مضيئة (نقطة تجمع الأشعة)، ماذا نسمي هذه النقطة؟

٦– اطلب من زميلك قياس المسافة ما بين العدسة والقطعة الكرتونية، ماذا تسمى المسافة التي قمت بقياسها؟

٧– قم بقلب العدسة بحيث يسقط الضوء على الوجه الآخر، وأعد الخطوات السابقة. ماذا تلاحظ؟

٨– ضع عدسة مقعرة بدلاً من المحدبة، ثم أعد الخطوات (١– ٧) وسجِّل ملاحظاتك.

التحليل والتفسير:

١– ماذا نسمّي النقطة التي تتجمع عندها الأشعة الضوئية؟

٢– ماذا يحدث عند قلب العدسة؟

٣– في هذا النشاط، ما الفرق بين نتائج العدسة المحدبة ونتائج العدسة المقعرة؟

- الصور المتكونة بواسطة العدسات المحدبة :

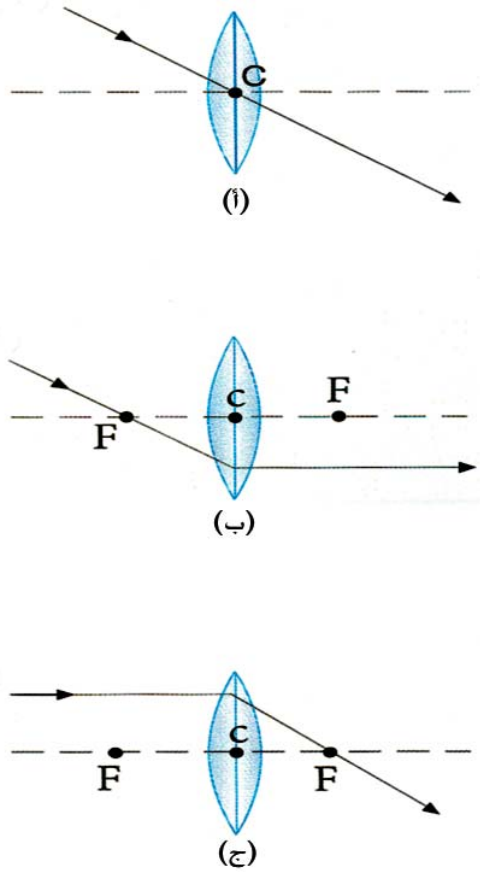
لرسم الصور المتكونة في العدسات المحدبة هندسيًا تستخدم المسارات الآتية للأشعة:

١– الشعاع المار بالمركز البصري لا ينكسر، لاحظ الشكل (٥–٣٧أ).

٢– الشعاع المار بالبؤرة ينكسر موازيًا للمحور الأساسي، لاحظ الشكل (٥–٣٧ب).

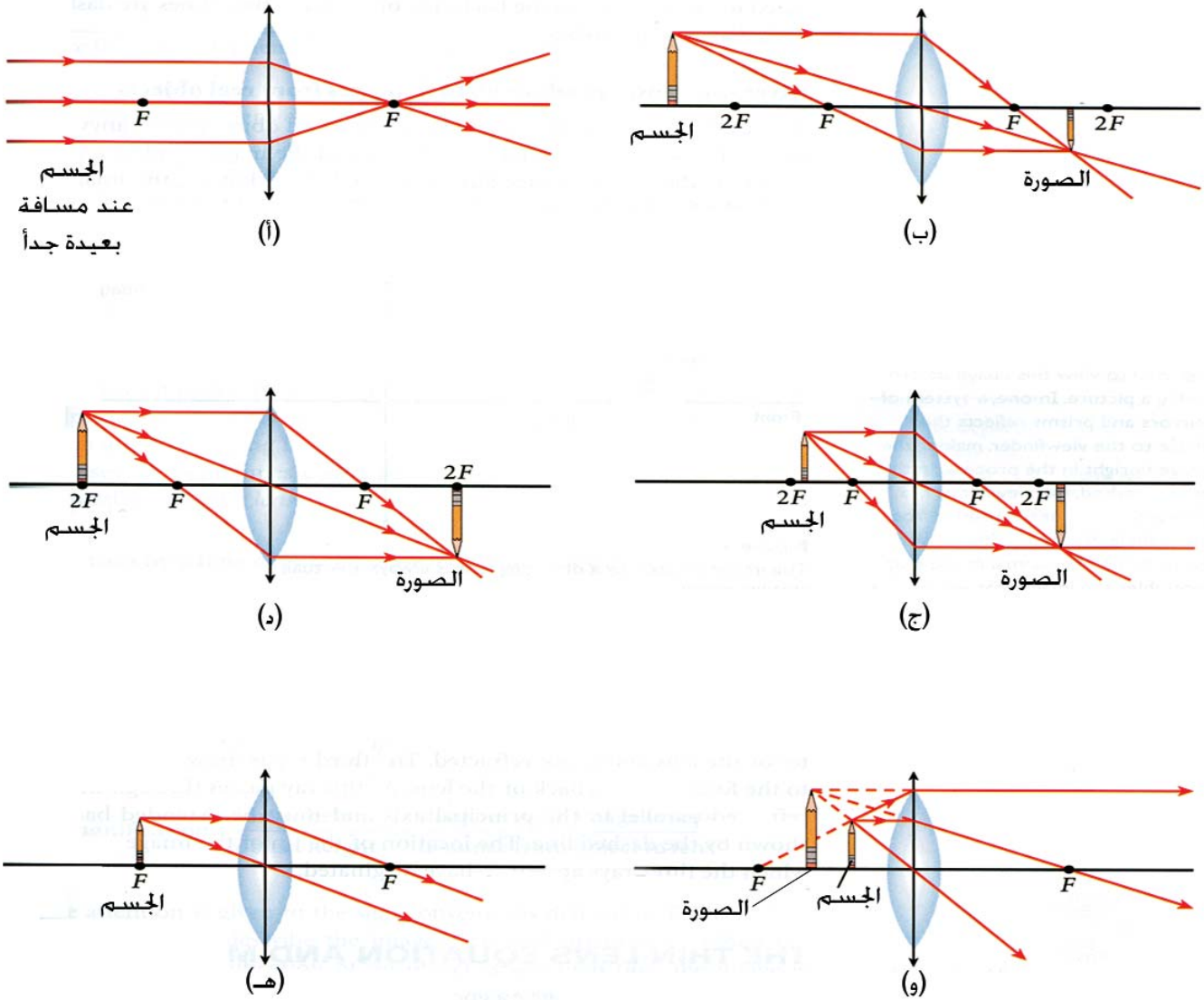
٣– الشعاع الموازي للمحور الأساسي ينكسر مارًا في البؤرة. لاحظ الشكل (٥–٣٧ج).

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن رسم الصور المتكونة سواء في العدسة المحدبة أم المقعرة مستخدمين شعاعين فقط من هذه الأشعة الثلاثة.



الشكل (٥–٣٧)

ويلخص الشكل (٥ –٣٨) العلاقات المحتملة بين موقع الجسم وموقع الصورة للعدسات المحدبة.


F
F
الجسم
عند مسافة
بعيدة جداً
(أ)
الجسم
2F
F
F
2F
الصورة
(ب)
2F
F
F
2F
الجسم
الصورة
(د)
2F
F
F
2F
الجسم
الصورة
(ج)
F
F
الجسم
(هـ)
F
الصورة
الجسم
F
(و)

الشكل (٥–٣٨)

ويلاحظ من خلال الشكل (٥– ٣٨) أن العدسات المحدبة يمكن أن تشكل صورا حقيقية أو تقديرية (خيالية) للجسم ؛ حيث أن الجسم الذي يقع على مسافة بعيدة جدًّا من العدسة (الشمس مثلا) تتكون له صورة نقطية عند البؤرة وهذه الصورة حقيقية (يمكن استقبالها على حائل أو شاشة). وعندما يقترب الجسم من البؤرة، تصبح الصورة أكبر وأبعد كما يظهر في الأشكال (٥– ٣٨ ب، ج، د). عندما يصبح الجسم بين العدسة والبؤرة ، فإن الأشعة القادمة من الجسم تتفرق عند مرورها خلال العدسة كما هو موضح في الشكل (٥– ٣٨ و)، وهذه الصورة تظهر للناظر من خلف العدسة وكأنها في نفس الجانب من العدسة الذي يقع فيه الجسم.

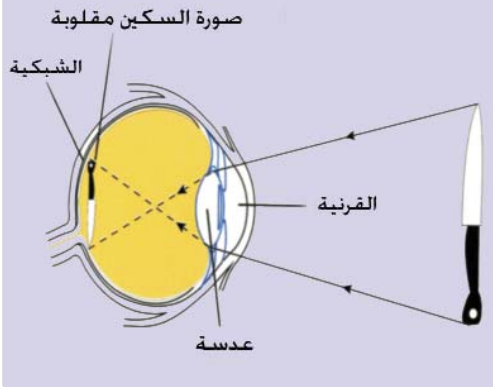
معلومة تهمك:

هل تعلم أنك ولدت بزوج من العدسات المجمعة في عينيك؟

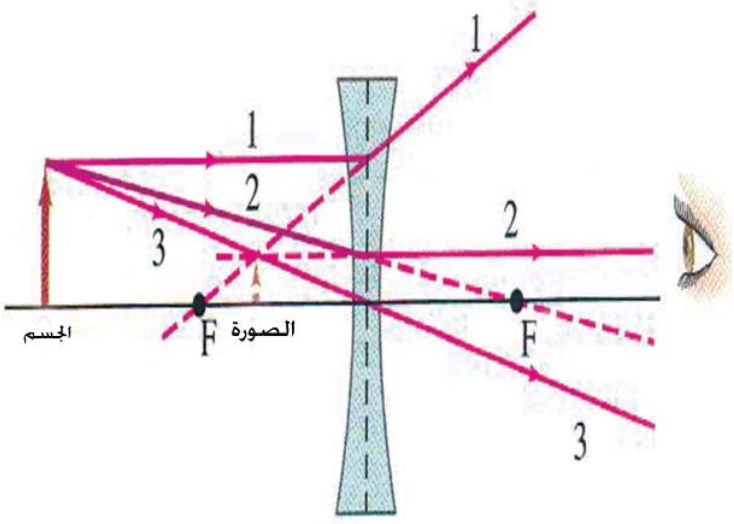
تعمل العين بنظام بسيط ، حيث تسقط الأشعة الضوئية وتتجمع عند مرورها خلال القرنية . والعدسة خلف القرنية تساعد على تجميع وتركيز الأشعة لتشكيل صورة حادة ومقلوبة في الشبكية، وترسل الصورة المتكونة إلى عقلك الذي يقوم بتعديل الصورة لتظهر معتدلة .

- الصور المتكونة بواسطة العدسات المقعرة :

تشكل العدسات المقعرة صورًا تقديرية (خيالية) للأجسام الحقيقية الموضوعة في أي مكان بالنسبة للعدسة، والتكبير دائما أقل من 1، مما يعني أن صورة الجسم تكون مصغرة، بالإضافة إلى ذلك تظهر الصورة بين البؤرة والمركز البصري لأي موضع للجسم الحقيقي.



وترسم مسارات الأشعة للعدسات المشتتة باستخدام القواعد التي درستها للعدسات المحدبة كما هو موضح في الشكل (٥– ٣٩). حيث أن الشعاع الأول الموازي للمحور يظهر وكأنه قادم من البؤرة على جانب العدسة الذي يوجد فيه الجسم، وهذا الشعاع يشار إليه بالخط المتقطع. أما الشعاع الثاني فيرسم كأنه متجه إلى البؤرة خلف العدسة، عندما يمر هذا الشعاع خلال العدسة سينكسر موازيًا للمحور الأساسي وبالتالي يجب مدُه إلى الخلف كما هو موضح بالخط المتقطع ، أما الشعاع الثالث المار بمركز العدسة فهو لا ينكسر، ويكون موضع الصورة هو النقطة التي تظهر أن الأشعة تولدت عنها.



الشكل (٥–٣٩)

ومن الجدير بالذكر أنه يمكن رسم الصور المتكونة في العدسة المقعرة باستخدام شعاعين من هذه الأشعة الثلاثة.

- معادلة العدسات

تعطي مخططات الأشعة تقديرا جيدا حول حجم الصورة وموقعها ولكن من الممكن حساب هذه القيم رياضيًا باستخدام معادلة المرايا (٥– ٥)، ويطلق عليها في حالة العدسات معادلة العدسة الرقيقة لأنها مشتقة على افتراض أن العدسة رقيقة جدًا، وبعبارة أخرى تنطبق هذه المعادلة عندما يكون سمك العدسة أصغر بكثير من البعد البؤري. وتنص هذه المعادلة على أن:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_o} + \frac{1}{d_i}$$

حيث : d_o موقع الجسم و d_i ، موقع الصورة و f البعد البؤري

ويمكن تطبيق هذه المعادلة على كلٍّ من العدسات المحدبة والمقعرة، مع مراعاة إشارة كل متغير وذلك كالآتي:

	موجبة	سالبة
بعد الجسم (d_o)	الجسم أمام العدسة (حقيقي)	الجسم خلف العدسة (خيالي)
بعد الصورة (d_i)	الصورة خلف العدسة (حقيقية)	الصورة أمام العدسة (تقديرية)
البعد البؤري (f)	العدسة محدبة (مجمعة)	العدسة مقعرة (مشتتة)

اختبر فهمك (٧):

املأ الفراغات في الجدول الآتي بالإجابات المناسبة:

نوع العدسة	d_o	d_i	f	M
دبة	?	-3.0 cm	6.0 cm	?
	?	7.0 cm	2.9 cm	?
مقعرة	4.0 cm	?	-6.0 cm	?
	5.0 cm	?	?	0.50

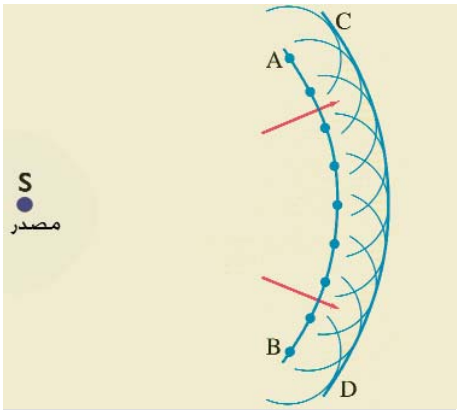
قم بإجراء الدرس العملي (٥) للتعرف على خصائص الصور المتكونة في العدسات المحدبة والمقعرة.

٥–٦ تداخل وحيود الضوء *Interference and Diffraction of Light*

درسنا حتى الآن سلوك الضوء في العدسات والمرايا ، وسنرى الآن أن الطبيعة الموجية للضوء تؤدي إلى ظواهر أخرى كالتداخل والحيود التي تشبه كثيرا ما قابلناه عند دراسة الموجات الميكانيكية كالصوت والموجات المتكونة في حبل مشدود والموجات المائية.

– مبدأ هيجنز وقانون الانكسار *Huygens principle and the law of refraction*

إن إنكسار الضوء عند انتقاله بين وسطين مختلفين يمكن تفسيره باستخدام مبدأ هيجنز *Huygens principle* الذي وضعه العالم هيجنز *Huygens* (١٦٢٩م– ١٦٩٥م).

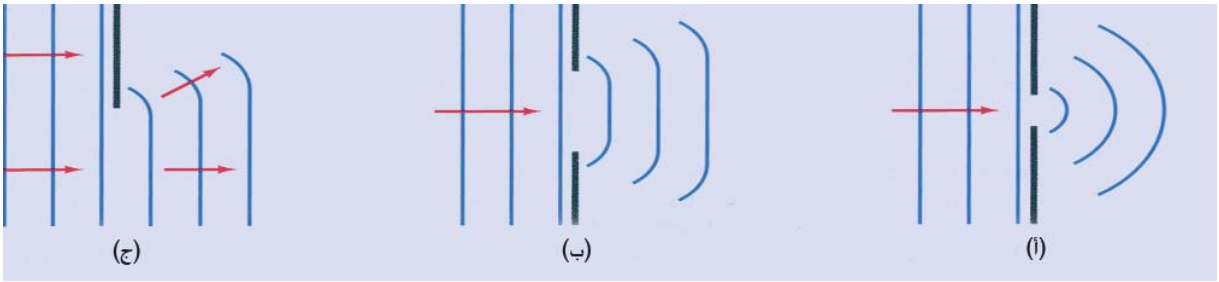


الشكل (٥–٤٠)

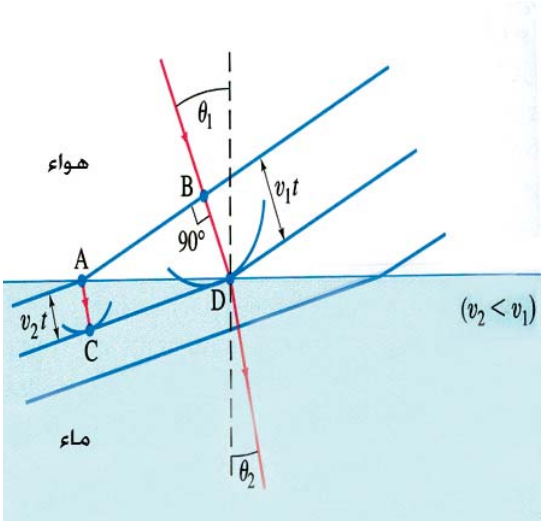
وحسب هذا المبدأ فإن جميع النقاط في جبهة موجة الضوء يمكن اعتبارها مصادر جديدة لموجات أصغر ، وهذه الموجات تنتشر في جميع الاتجاهات، ومصدر الضوء يتكون من عدد لا متناهي من المصادر النقطية التي تولد جبهات لموجات مستوية.

على سبيل المثال ، افترض جبهة موجة ***AB*** كما في الشكل (٥–٤٠) مبتعدة عن مصدر الموجات ***S*** ، سنعتبر أن الوسط متجانس أي أن سرعة الموجات ***v*** ثابتة في جميع الاتجاهات. لإيجاد جبهة الموجة بعد زمن قصير مقداره ***t*** بعد أن كان عند الموضع ***AB*** ، يتم رسم دوائر صغيرة جدًّا بنصف قطر مقداره $r = vt$. إن مراكز هذه الدوائر ممثلة بالنقاط الزرقاء في جبهة الموجة الأصلية ***AB***. وتمثل الدوائر موجات هيجنز والمماس لجميع هذه الموجات (الممثل بالخط ***CD***) هو الموضع الجديد لجبهة الموجة.

ويعتبر مبدأ هيجنز مفيدًا في تحليل ماذا يحدث للموجات عند اصطدامها بحائل أو مرورها عبر فتحة ضيقة، حيث تنبأ هيجنز أن الموجات ستنحني خلف الحائل، كما يظهر في الشكل (٥–٤١) وكما يحدث لموجات الماء (التي درستها في الفصل الثالث) وهو ما يعرف بظاهرة الحيود.



الشكل (٥–٤١)



الشكل (٥–٤٢)

فإذا افترضنا شعاعًا ضوئيًا انتقل بين وسطين بحيث انحرف باتجاه العمود المقام على السطح الفاصل بين الوسطين (مثلا بين الهواء والماء) كما هو موضح في الشكل (٥–٤٢)،بحيث أن سرعة الضوء في الوسط الثاني أقل من سرعته في الوسط الأول $(v_2 < v_1)$ ، وفي زمن مقداره t فإن النقطة B في جبهة الموجة AB تنتقل مسافة $v_1 t$ حتى تصل النقطة D، والنقطة A تنتقل مسافة مقدارها $v_2 t$ حتى تصل إلى النقطة C $(v_2t < v_1t)$.

ويطبق مبدأ هيجنز عند النقطة A وB للحصول على الموجات الموضحة في C و D. وجبهة الموجة هي المماس لهذه الموجات وبالتالي فإن جبهة الموجة الجديدة يمثلها الخط CD، وبالتالي ستنحرف الأشعة باتجاه العمودي في حالة أن $(v_2 < v_1)$.

ويمكن اشتقاق قانون سنل للانكسار مباشرة من مبدأ هيجنز، حيث أن الزاوية ADC هي θ_2 والزاوية BAD هي θ_1، وبالتالي فللمثلثين المشتركين في الضلع AD ، نجد أن:

$$\sin\theta_1 = \frac{v_1 t}{AD} \quad , \quad \sin\theta_2 = \frac{v_2 t}{AD}$$

وبقسمة المعادلتين نحصل على:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_1}{v_2}$$

وبما أن $v_1 = \frac{c}{n_1}$ ، $v_2 = \frac{c}{n_2}$ نجد أن :

$$n_1 \sin\theta_1 = n_2 \sin\theta_2$$

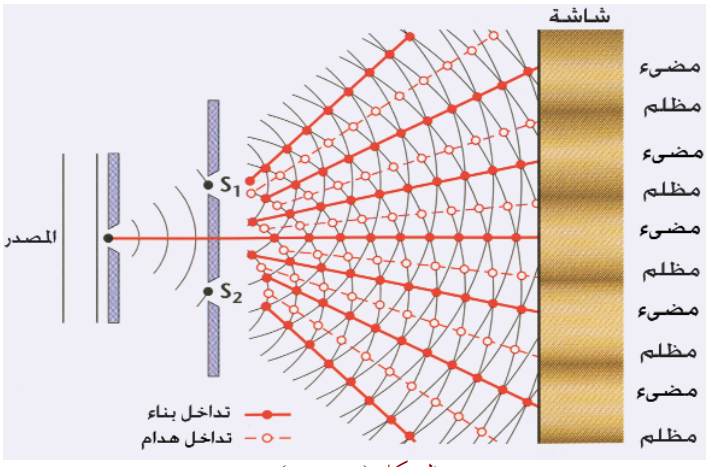
وهو قانون سنل للانكسار، وعندما ينتقل الضوء من وسط إلى آخر، فإن تردده لا يتغير ، وإنما يتغير طوله الموجي كما يظهر في الشكل (٥–٤٢)، حيث يمثل كل خط أزرق جبهة موجة لقمة (وبالتالي فإن vt تمثل المسافة بين قمتين متتاليتين أي طول موجي واحد λ)وبالتالي:

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{v_2 t}{v_1 t} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_1}{n_2}$$

أو:

$$\frac{\sin\theta_1}{\sin\theta_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (٥-٧)$$

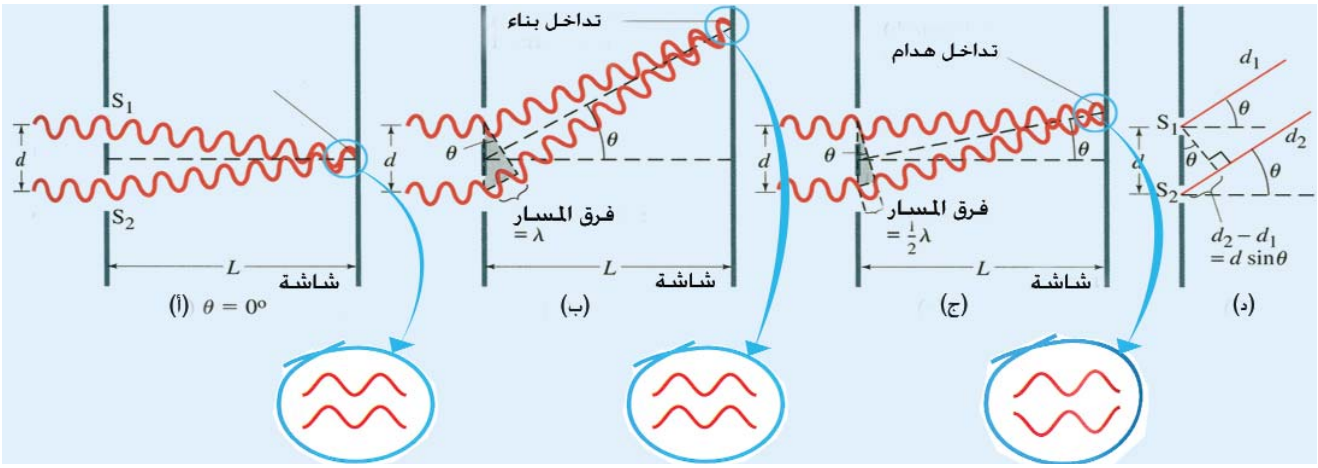
- التداخل- تجربة شقي يونج *Interference- Young's two slit experiment*



الشكل (٥-٤٣)

في عام ١٨٠١م قام العالم الإنجليزي توماس يونج *Thomas Young* (١٧٧٣م- ١٨٢٩م) بإجراء تجربة مكّنته من القيام بقياسات دقيقة للطول الموجي للضوء باستخدام ظاهرة الحيود، كما زودته بإثبات إضافي حول الطبيعة الموجية للضوء.

قام العالم يونج بتسليط شعاع ضوئي أحادي اللون (طول موجي واحد)على شقين رفيعين متقاربين في حاجز (S_1, S_2) كما هو موضح في الشكل (٥-٤٣)، وقد تعرض هذا الشعاع للحيود أثناء عبوره الشقين، ثم تداخلت الأشعة القادمة من الشقين وسقطت على شاشة وضعت في الجهة المقابلة للحاجز، وقد ظهرت سلسلة من الخطوط المضيئة والمظلمة أسماها يونج أهداب التداخل *interference fringes* ، وقد فُسّر تكون الأهداب بالتداخل الهدام والبناء للموجات القادمة من الشقين.ولتفسير نمط التداخل في تجربة يونج سنستخدم الشكل (٥- ٤٤) ، حيث يوضح موجات طولها الموجي λ تسقط على حاجز به شقين (S_1, S_2) المسافة بينهما d ، حيث تنتشر الموجات في جميع الاتجاهات بعد عبورها الشقين، ويوضح الشكل ثلاث زوايا فقط للانتشار. في الشكل (٥- ٤٤أ) تصل الموجات مركز الشاشة بزاوية ($\theta = 0$)، أي أن الموجات من الشقين تتحركان نفس المسافة وبالتالي فهما متطاورتان (قمة إحدى الموجتين تصل في نفس الوقت الذي تصل فيه قمة الموجة الأخرى)، وبالتالي تُجمع سعة الموجتين لتشكيل موجة ذات سعة أكبر وهذا هو التداخل البناء ، لذا تتشكل منطقة مضيئة على الشاشة. كما يحدث التداخل البناء أيضا عندما يكون الفرق بين مسار الشعاعين القادمين من



الشكل (٥–٤٤)

الشقين طول موجي واحد أو أي عدد صحيح من الأطوال الموجية كما هو موضح في الشكل (٥– ٤٤ب)، أما إذا تحرك أحد الشعاعين مسافة إضافية مقدارها نصف طول موجي ($\frac{\lambda}{2}$) أو(.. $\frac{5}{2}\lambda$ ، $\frac{3}{2}\lambda$)، فإن الموجتين تكونان غير متطاورتين (قمة إحدى الموجتين تصل في نفس الوقت الذي يصل فيه قاع الموجة الأخرى)، وبالتالي يحدث تداخل هدام وتتكون منطقة مظلمة على الشاشة كما في الشكل (٥– ٤٤ ج). لذلك ستكون هناك سلسلة من المناطق المضيئة والمظلمة على الشاشة، ولتحديد مواضع المناطق المضيئة لاحظ الشكل (٥– ٤٤د)، إن الزاوية (θ) هي الزاوية التي تصنعها الأشعة مع الأفقي، كما أن المسافة ***(d)*** تعتبر صغيرة جدًّا مقارنة بالمسافة ***(L)*** التي تمثل بعد الشاشة عن الحاجز. ومن مساحة المثلث المضللة في الأشكال (٥–٤٥ ب وج) يمكننا استنتاج أن المسافة الإضافية التي يقطعها الشعاع السفلي هي $d\sin\theta$ ويطلق عليها فرق المسار. وبالتالي يحدث التداخل البناء عندما يكون فرق المسار مساويًا لعدد صحيح من الأطوال الموجية، أي أن:

$$d\sin\theta = m\lambda \qquad m = 0,1,2,3 \qquad (٨–٥)$$

وتعرف ***m*** بأنها رتبة التداخل ، على سبيل المثال ***m= 0*** تمثل الهدب المركزي و **m=1** هي الهدب المضيء الأول على جانبي الهدب المركزي.

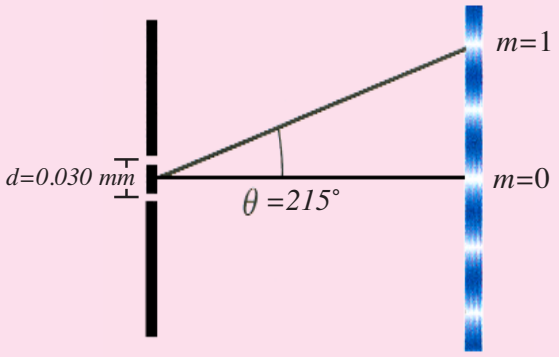
أما التداخل الهدام فيحدث عندما يكون فرق المسار يساوي:

$$d\sin\theta = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda \qquad m = 0,1,2,3 \qquad (٩–٥)$$

قم بإجراء الدرس العملي رقم (٦) لتجربة شقي يونج

مثال (٣):

إذا كانت المسافة بين الشقين في تجربة يونج تساوي $0.030\ mm$، والهدب المضيء الثاني تكوَّن على زاوية مقدارها 2.15^{o} من الهدب المركزي، احسب الطول الموجي للضوء.



الحل:

$$d \sin\theta = m\lambda$$

$$\lambda = \frac{d\sin\theta}{m}$$

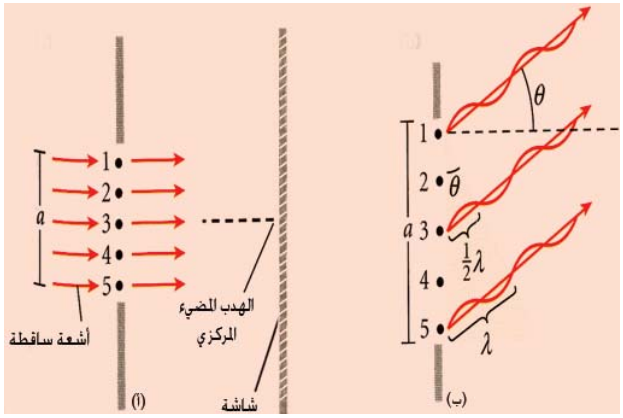
$$\lambda = \frac{(3.0 \times 10^{-5})(\sin 2.15^{o})}{2}$$

$$\lambda = 5.6 \times 10^{-7}\ m = 5.6 \times 10^{2}$$

- الحيود بواسطة شق مفرد *Diffraction from a single- slit*

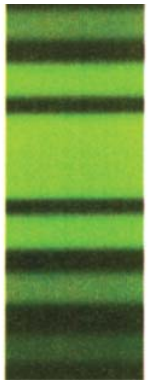
وضعت تجربة شقي يونج أسس راسخة للنظرية الموجية للضوء، إلا أن التقبل الكامل لهذه النظرية جاء بعد دراسة الحيود، فعندما يمر الضوء خلال فتحة ضيقة يحدث له حيود وتتشكل سلسلة من المناطق المضيئة والمظلمة لنمط مشابه لنمط التداخل في تجربة شقي يونج.

إن نمط الحيود المتكون يشبه نمط التداخل لأنهما ينشآن من التداخل البناء والهدام ، ولكن في حالة التداخل نفترض أن الشقين يعملان كمصادر نقطية للضوء، أما في الحيود فإن عرض الشق المفرد هو الذي يؤخذ في الاعتبار. وحسب مبدأ هيجنز فإن كل جزء من الشق يعمل كمصدر للموجات وبالتالي فإن الضوء القادم من أي جزء من الشق يمكن أن يتداخل مع الضوء القادم من الجزء الآخر، ومحصلة الشدة للضوء على الشاشة تعتمد على الزاوية θ التي حدث عندها حيود للضوء.



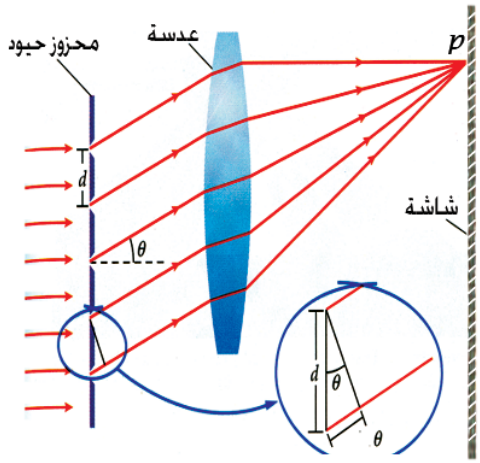
الشكل (٥–٤٥)

ولفهم نمط الحيود عن شق مفرد نتخيل الشكل (٥–٤٥أ) الذي يوضح موجات مستوية تعبر خلال شق عرضه **a** ، حيث أن كل نقطة في الشق هي مصدر لموجات هيجنز، ويعتبر الشكل(٥–٤٥) مبسطا جدًّا لأنه يعرض ٥ نقاط من العدد اللامتناهي من هذه النقاط. وكما في حالة الشق المزدوج فإن الشاشة تكون على مسافة كبيرة جدًّا بالنسبة لعرض الشق. في منتصف الشاشة فإن كل الأشعة القادمة من الشق تتحرك نفس المسافة وبالتالي يتشكل هدب مضيء (الهدب المركزي)، كما يمكن أن تتداخل الموجات القادمة من المصادر الخمسة تداخلاً هدامًا عند وصولها إلى الشاشة كما هو موضح في الشكل(٥–٤٥ب) وذلك عندما تكون المسافة الإضافية التي تتحركها الموجة المتولدة من النقطة **3** أطول بمقدار نصف طول موجي من الموجة المتولدة من النقطة **1**،حيث تتداخل هاتان الموجتان تداخلاً هدامًا على الشاشة. وفي نفس الوقت، فإن الموجة الصادرة من النقطة**5** تتحرك مسافة أكبر بنصف طول موجي من الموجة القادمة من النقطة **3** وبالتالي تتداخل الموجتان تداخلاً هدامًا، وبالتالي تكون مناطق سوداء على الشاشة.هذا بالنسبة للزوايا التي يحدث عندها تداخل هدام، ولكن هناك زوايا أخرى لا تلغى فيها جميع موجات الضوء ، وعند هذه الزوايا يظهر الضوء كجزء من المناطق المضيئة علي الشاشة . وتظهر أقصى إضاءة عند مركز نمط الحيود على الشاشة ، كما هو موضح في الشكل (٥–٤٦).


الشكل (٥–٤٦) : نمط حيود الضوء

- محزوز الحيود *Diffraction Grating*

محزوز الحيود هو العدد الكبير من الشقوق المتوازية التي تقع على أبعاد متساوية ، وهو يصمم لنقل الضوء أو انعكاسه باستخدام ظاهرة التداخل والحيود لتفريق الضوء إلى مكوناته من الألوان.بما يشبه تأثير المنشور الزجاجي. ويوضح الشكل (٥–٤٧) مقطعًا لمحزوز الحيود حيث تسقط أشعة ضوئية مستوية أحادية اللون عمودية على سطح المحزوز، والموجات التي تخرج متوازية تقريبا من المحزوز تتجمع عند النقطة **p** على الشاشة بواسطة العدسة.إن شدة النمط المتكون على الشاشة يعتمد على تأثير التداخل والحيود، حيث إن كل شق يحدث



الشكل (٥–٤٧)

عنده حيود للضوء، ثم تتداخل الأشعة مع بعضها البعض لتكوين النمط على الشاشة. إن الموجات يجب أن تتحرك مسارات أطوالها مختلفة قبل أن تصل النقطة p على الشاشة، فإذا كان فرق المسار $d\sin\theta$ بين الموجات من أي شقين يساوي طول موجي واحد أوعدد صحيح من الأطوال الموجية ، أي أن

$$d\sin\theta = \pm m\lambda \qquad m = 0,1,2,3, \ldots\ldots \qquad (٥-١٠)$$

فإن الموجات الصادرة عن الشقين ستكون متطاورة عند النقطة p ، وستتكون منطقة مضيئة في هذه الحالة. وهذه المعادلة يمكن استخدامها لحساب الطول الموجي للضوء بمعرفة المسافة الفاصلة بين الشقوق وزاوية الانحراف. أما m فهي رتبة الهدب المضي. وإذا كان الضوء الساقط يحتوي على العديد من الأطوال الموجية فإن كل لون سينحرف بزاوية معينة يمكن استنتاجها من المعادلة (٥– ١٠).

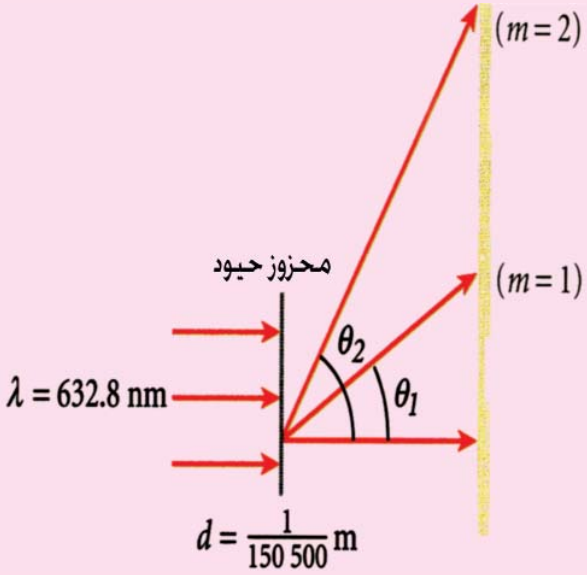
و يوضح الشكل (٥–٤٨) النمط الناتج عن محزوز الحيو وهو مشابه لنمط التداخل الناتج عن الشق المزدوج، ولكن المناطق المضيئة هنا تكون أكثر حدةً ووضوحًا، والمناطق المظلمة أوسع من التي تنتج عن الشق المزدوج، وبالتالي يمكن تمييز الألوان بسهولة كما أن الأطوال الموجية يمكن قياسها بدقة أكبر.

الشكل (٥–٤٨)

مثال (٤):

سقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي $632.8\ nm$ عموديًا على سطح محزوز حيود يحتوي على $150500\ line/m$، أوجد الزوايا التي يمكن من خلالها ملاحظة الهدب المضيء الأول والهدب المضيء الثاني.

الحل:



$$d\sin\theta = \pm m\lambda$$

$$\theta_1 = \sin^{-1}\frac{m\lambda}{d}$$

- $m = 1$

$$\theta_1 = \sin^{-1}\frac{\lambda}{d} = \sin^{-1}\frac{6.328 \times 10^{-7}}{\frac{1}{150500}}$$

$$\theta_1 = 5.465^{o}$$

- $m = 2$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\frac{2\lambda}{d}$$

$$\theta_2 = \sin^{-1}\frac{2\,(6.328 \times 10^{-7})}{\frac{1}{150500}}$$

$$\theta_2 = 10.98^{o}$$

اختبر فهمك (٨):

١- سقط شعاع ضوئي على شقين المسافة بينهما $2.02 \times 10^{-6}\ m$ ، فتكون الهدب المضيء الأول على زاوية مقدارها 16.5° بالنسبة للهدب المركزي، أوجد الطول الموجي للضوء المستخدم.

٢- مر شعاع ضوئي خلال محزوز حيود يحتوي على $3550\ lines/cm$ فتشكل الهدب المضيء الأول على زاوية مقدارها 12.07^{o} .

أ- ما الطول الموجي للضوء؟

ب- ما الزاوية التي سيظهر عندها الهدب المضيء الثاني؟

أسئلة الفصل

السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة

١- أي من العبارات التالية صحيحة حول سرعة أشعة جاما وموجات الراديو في الفراغ:

أ- أشعة جاما أسرع من موجات الراديو.

ب- موجات الراديو أسرع من أشعة جاما.

ج- يتحركان بنفس السرعة في الفراغ.

د- سرعتهما تعتمد على ترددهما في الفراغ.

٢- يتأثر الضوء بزيادة معامل الانكسار كالتالي:

أ- يزداد تردده. ب- يقل تردده. ج- تزداد سرعته. د- تقل سرعته.

استخدم خط الأشعة في الشكل (٥- ٤٩) للإجابة عن الأسئلة ٣-٥:

٣- ما نوع المرآة الموضحة في الشكل:

أ- مستوية ب- محدبة ج- مقعرة د- لا توجد معلومات كافية لتحديد نوع المرآة.

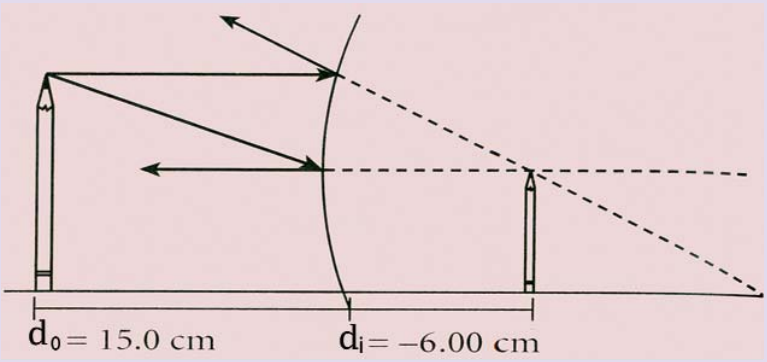
٤- الصور المتشكلة على المرآة تكون:

أ- تقديرية ومعتدلة ومصغرة.

ب- حقيقية ومقلوبة ومصغرة.

ج- تقديرية ومعتدلة ومكبرة.

د- حقيقية ومقلوبة ومكبرة.

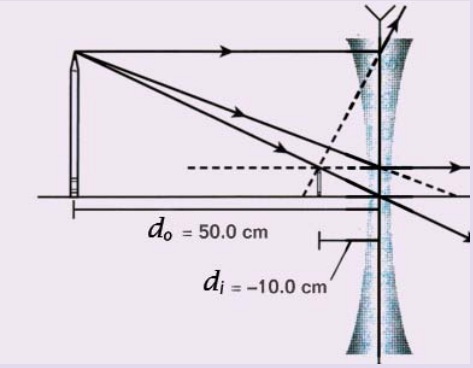


الشكل (٥-٤٩)

٥- البعد البؤري للمرآة يساوي:

أ- -10.0 cm ب- -4.30 cm ج- 4.30 cm د- 10.0 cm

استخدم مخطط الأشعة في الشكل (٥–٥٠) للإجابة عن الأسئلة ٦–٧:



الشكل (٥–٥٠)

٦– البعد البؤري للعدسة يساوي:

أ– -12.5 cm　　ب– -8.33 cm

ج– 12.5 cm　　د– 8.33 cm

٧ الصورة المتشكلة بواسطة العدسة تكون:

أ– حقيقية ومقلوبة ومكبرة.　　ب– حقيقية ومقلوبة ومصغرة.

ج– تقديرية ومعتدلة ومكبرة.　　د– تقديرية ومعتدلة ومصغرة.

٨– إذا تم مراقبة جسم ما في الهواء من أسفل سطح الماء، فإن الجسم يظهر:

أ– فوق موقعه الحقيقي　　ب– في موقعه الحقيقي　　ج– أسفل موقعه الحقيقي

د– لا يمكن مشاهدة الجسم من أسفل سطح الماء.

٩– يمكن ملاحظة حيود الصوت بصورة أسهل من حيود الضوء المرئي بسبب:

أ– ملاحظة الصوت أسهل من ملاحظة الضوء المرئي.

ب– الأطوال الموجية للصوت أكبر من الضوء المرئي، وبالتالي تنحرف بصورة أكبر حول الحواجز.

ج– الموجات الصوتية موجات طولية، وبالتالي تحيد بشكل أكبر من الموجات المستعرضة.

د– سعة الموجات الصوتية أكبر من الضوء المرئي.

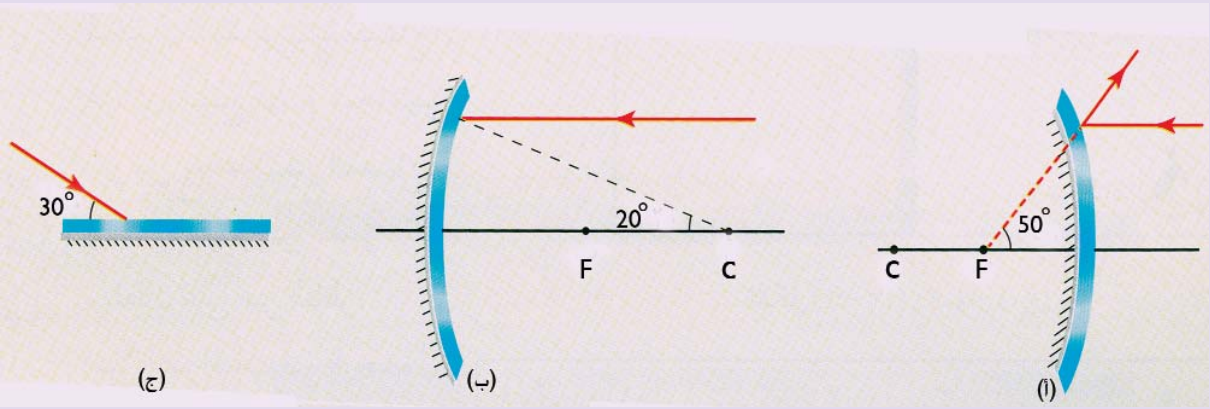
١٠– أشعة تحت حمراء طولها الموجي 750 nm تمر خلال شقين ضيقين، فإذا كانت المسافة بين الشقين 25 μm، فإن الزاوية التي يظهر عندها الهدب المضيء الرابع على الشاشة تساوي:

أ– 4.3^o　　ب– 6.0^o　　ج– 6.9^o　　د– 7.8^o

السؤال الثاني: أجب عن الأسئلة التالية:

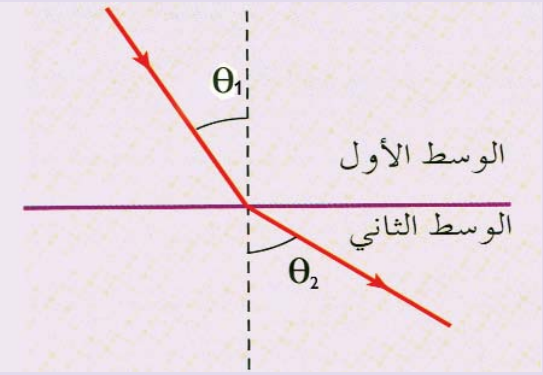
١- في الأشكال الآتية، بيّن كلا من :

أ- الشعاع المنعكس ب- العمود المقام ج- زاوية السقوط د- زاوية الانعكاس ومقدار كل منهما:



٢- علل: عند سقوط المطر أثناء قيادة السيارة ليلاً يعاني بعض السائقين من التوهج الناتج من مصابيح السيارات!

٣- سقط شعاع ضوئي من الوسط الأول إلى الوسط الثاني كما في الشكل (٥-٥١):



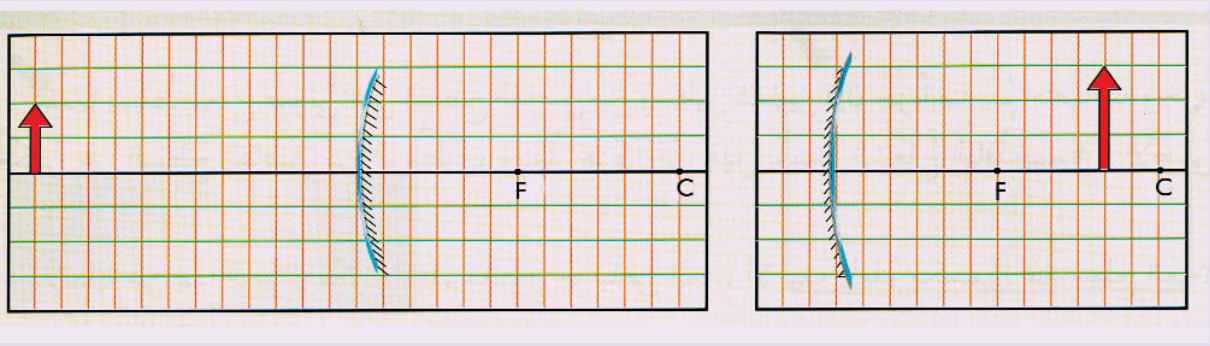
الشكل (٥-٥١)

أ- أي الوسطين ذا معامل انكسار أكبر؟

ب- في أي الوسطين سرعة الضوء أكبر؟

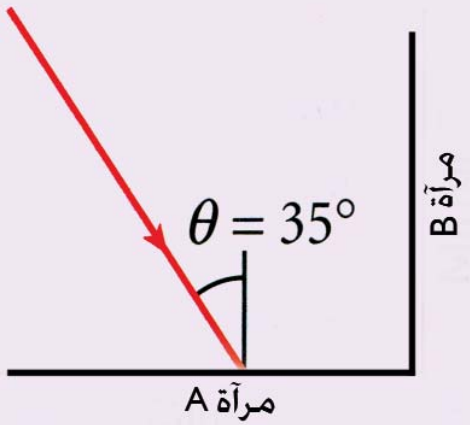
ج- هل يمكن أن يحدث انعكاس داخلي كلي لشعاع ضوئي ساقط من الوسط الأول على السطح الفاصل بين الوسطين. لماذا؟

٤- في الشكل (٥-٥٢) بين بالرسم بعد الصورة المتكونة وطولها في كل حالة، بعد ذلك استخدم قانون المرايا وقانون التكبير لحساب بعد الصورة وطولها، قارن إجاباتك باستخدام الطريقتين.



الشكل (٥-٥٢)

٥- مرآتان مستويتان تصنعان زاوية 90° مع بعضهما كما هو موضح في الشكل (٥-٥٣)، شعاع ساقط يصنع زاوية 35° مع العمودي على المرآة A . حدد زاوية الانعكاس من المرآة B.



الشكل (٥-٥٣)

السؤال الثالث:

١- مرآة جانبية في السيارة نصف قطر تكورها $11.3\ cm$ ، وتشكل المرآة صورة تقديرية لثلث حجم الجسم، كم يبلغ بعد الجسم عن السيارة؟

٢- مرآة حلاقة مقعرة نصف قطر تكورها $25.0\ cm$ ، احسب مقدار التكبير وخصائص الصورة المتكونة في المرآة لقلم رصاص معتدل في كلٍّ من الحالات التالية:

أ- موضوع على مسافة مقدارها $45.0\ cm$ من المرآة.

ب- موضوع على مسافة مقدارها $25.0\ cm$ من المرآة.

ج- موضوع على مسافة مقدارها $5.0\ cm$ من المرآة.

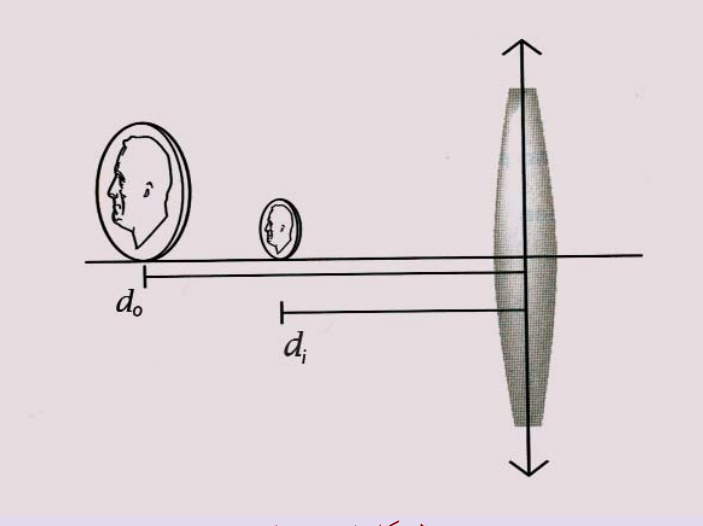
٣- أراد أحد هواة جمع العملات المعدنية ملاحظة تفاصيل العملة فوضعها على مسافة 5.0 cm أمام عدسة محدبة، فتكونت صورة لها على مسافة 7.5cm أمام العدسة كما هو موضح في الشكل (٥-٥٤).

أ- ما البعد البؤري للعدسة؟

ب- كم مقدار تكبير صورة العملة؟

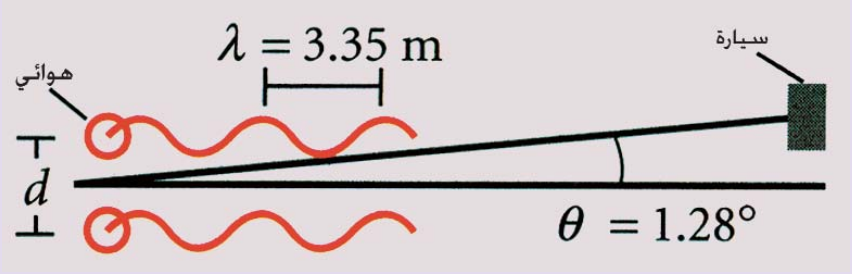
ج- إذا كان قطر العملة المعدنية 2.8 cm ، فكم يكون قطر الصورة؟

د- هل الصورة حقيقية أم تقديرية؟ معتدلة أم مقلوبة؟



الشكل (٥-٥٤)

٤- هوائيي راديو يصدران في نفس الوقت إشارات طولها الموجي 3.35 m كما هو موضح في الشكل (٥- ٥٥)، ويستقبل راديو سيارة تقع على بعد عدة أميال من الهوائيين وتسير موازية للخط المستقيم بينهما هذه الإشارات، فإذا كان الهدب الثاني يتكون على زاوية مقدارها 1.28^{o} أعلى الهدب المركزي للإشارات المتداخلة، فما المسافة d بين الهوائيين؟

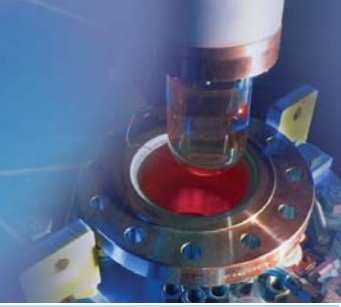


الشكل (٥-٥٥)

٥- احسب زاوية الهدب المضيء الثاني لضوء أحادي اللون طوله الموجي 550 nm إذا تم تسليطه على:

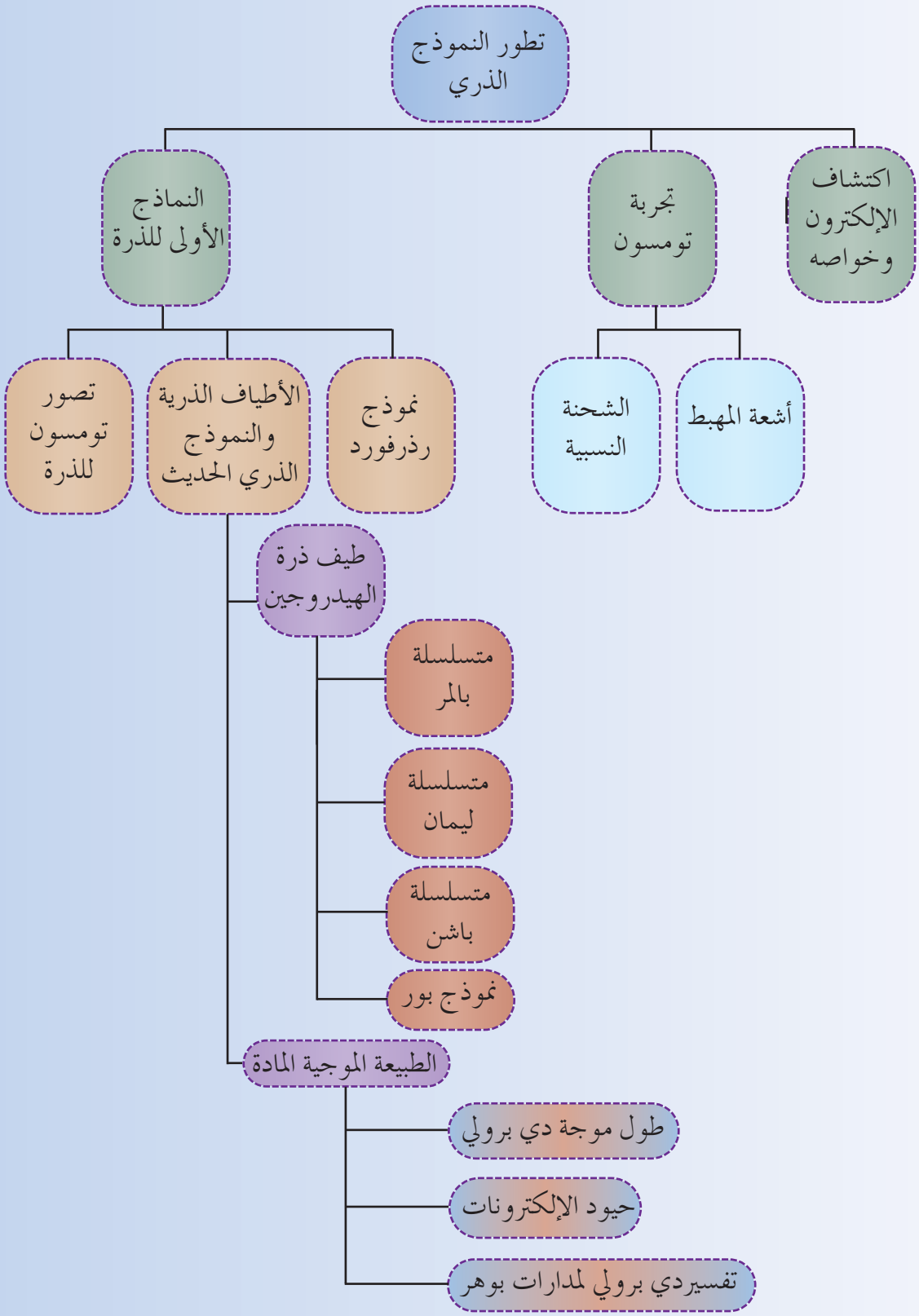
أ- شقين المسافة بينهما 2.0×10^{-6} m .

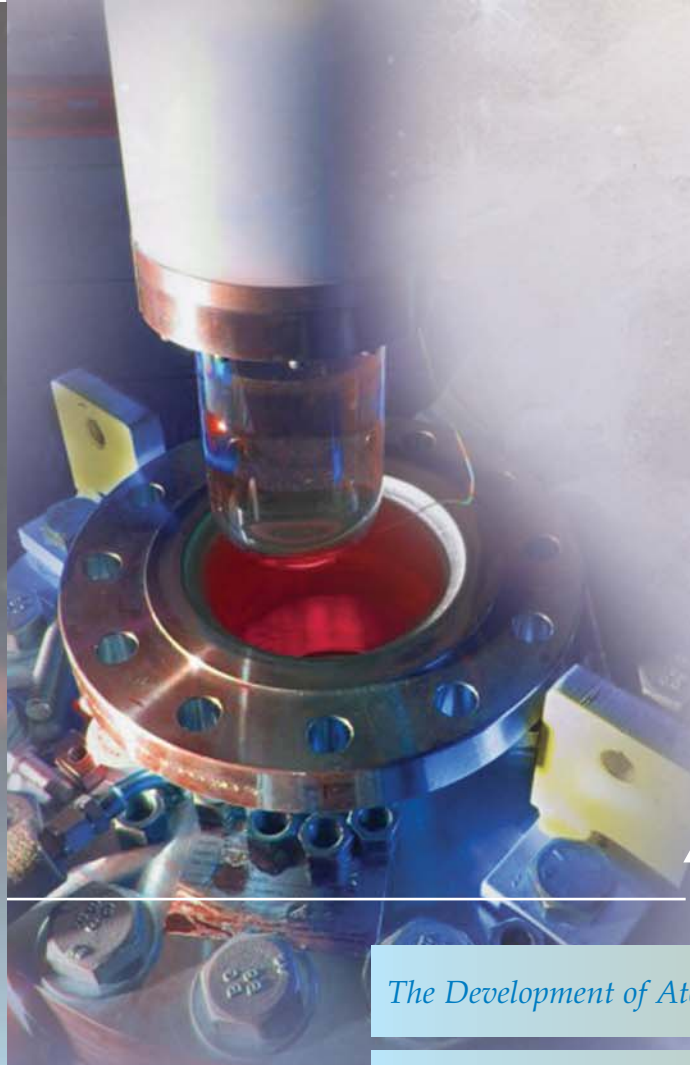
ب- محزوز حيود يحتوي على 10500 شق لكل 1.0 m .



خارطة مفاهيـم

الفصل السابع


تطور النموذج الذري
اكتشاف الإلكترون وخواصه
تجربة تومسون
النماذج الأولى للذرة
أشعة المهبط
الشحنة النسبية
نموذج رذرفورد
الأطياف الذرية والنموذج الذري الحديث
تصور تومسون للذرة
طيف ذرة الهيدروجين
متسلسلة بالمر
متسلسلة ليمان
متسلسلة باشن
نموذج بور
الطبيعة الموجية المادة
طول موجة دي برولي
حيود الإلكترونات
تفسيردي برولي لمدارات بوهر



الوحدة الرابعة

الفيـزياء الذريـة

Atomic Physics

الفصل السابع:	تطور النموذج الذري *The Development of Atomic Model*
الفصل الثامن:	الطاقة النووية *Nuclear Energy*

مقدمة الوحدة:

كثيرا ما يرتبط مصطلح الفيزياء الذرية بالطاقة النووية، ويرجع ذلك إلى استخدام الناس مصطلح النووية كمرادف للذرية في اللغة، إلا أن علماء الفيزياء يميزون بين الفيزياء الذرية كعلم يعنى بدراسة الذرة كنظام معزول مكون من الإلكترونات والنواة. وهي تعنى في المقام الأول بترتيب الإلكترونات حول النواة والعمليات التي تؤثر على هذا النظام، في حين أن الفيزياء النووية تعنى بدراسة النواة وخصائصها ومكوناتها الأولية وتفاعلها فيما بينها.

تنقسم هذه الوحدة إلى فصلين هما: الفصل السابع وهو تطور النموذج الذري بدءًا باكتشاف الذرة ومراحل تطورها وما صاحب ذلك من نماذج وأطياف خطية، والفصل الثامن الذي من خلاله تدرس خصائص النواة الذرية، وما يرتبط بالنواة من تفاعلات مثل النشاط الإشعاعي والانشطار النووي والاندماج النووي.

ومن دراستك في هذه الوحدة سوف تكون قادرًا على الإجابة عن التساؤلات التي ربما تتبادر إلى ذهنك يومًا ما مثل:

١. لماذا يطلق على نموذج رذرفورد للذرة بالنموذج الكواكبي؟

٢. كيف يمكن لجسم ما أن يسلك سلوكًا موجيًّا خلافًا لطبيعته المادية؟

٣. ما النتائج القريبة والبعيدة المدى التي ترتبت على إلقاء القنبلة النووية على مدينتي هيروشيما وناجازاكي في اليابان عام ١٩٤٥م؟

٤. كيف يمكن استغلال الطاقة النووية في معالجة مشكلة الطلب العالمي المتزايد للطاقة؟

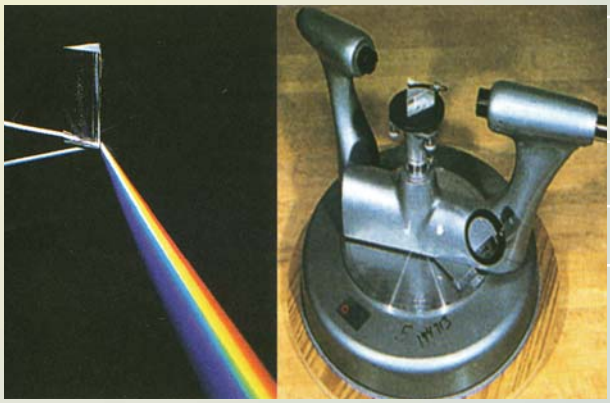
الفصل السابع
تطور النموذج الذري
The Development of Atomic Model

مقدمة الفصل:

يرتبط مفهوم الذرة عند عامة الناس بالدقة المتناهية في الصغر، فقد ذكر علماء اليونان قديمًا بأن الذرة هي أصغر شي تتكون منه المادة، كما ورد ذكرها في القرآن الكريم في قوله تعالى ﴿ فَمَن يَعْمَلْ مِثْقَالَ ذَرَّةٍ خَيْرًا يَرَهُ ﴾ سورة الزلزلة، الآية (٧) وورد ذكر الذرة عند العلماء العرب حيث قال جابر بن حيان "إن في الذرة لقوة عظيمة من شأنها أن تدمر...." ولقد تطور علم الذرة عبر العصور مع كل عالم، واكتشافاته، وتصوره لها.

وفي هذا الفصل سوف نقوم بدراسة مراحل اكتشاف مكونات الذرة بدءًا بتجربة تومسون للتعرُّف على طبيعة الإلكترون والجسيمات الذرية الأخرى، ثم تجربة رذرفورد التي أظهرت بعضًا من خصائص الذرة، حيث أصبح نموذج رذرفورد للذرة الأساس للبناء الذري الحديث، كما سنتعرض لتعديل بور لهذا النموذج، ودراسته لنموذج ذرة الهيدروجين الذي حقق من خلاله أكبر النجاحات في وقت مبكر من خلال إدراجه لنظرية الكم إلى النموذج الذري مما دفع العديد من العلماء إلى إجراء المزيد من الدراسات على النموذج الذري، والتي لا تزال مستمرة حتى يومنا هذا.

الموضوعات الرئيسة



٧ – ١ اكتشاف الإلكترون وخصائصه.

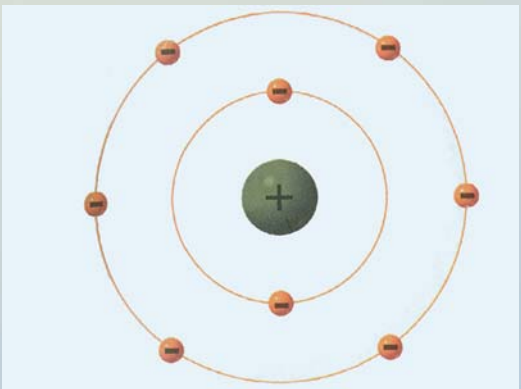
٧ – ٢ تجربة تومسون.

٧ – ٣ النماذج الأولى للذرة.

٧ – ٤ الأطياف الذرية، والنموذج الذري الحديث.

٧ – ٥ الطبيعة الموجية للمادة.

المصطلحات العلمية الجديدة

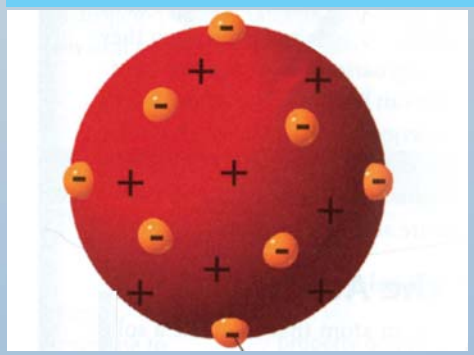


أشعة المهبط ..... *Cathode Ray*

الشحنة النسبية ..... *Specific Charge*

الأطياف الذرية ..... *Atomic Spectra*

عناوين الاستكشافات:

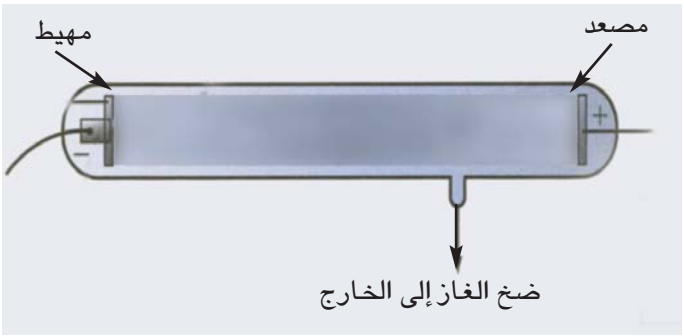


الاستكشاف (١) :استكشاف النموذج الذري.

٧ – ١ اكتشاف الإلكترون وخواصه *Discovery of the electron and its properties*

درست سابقًا أن المادة تتكون من ذرات وأن الذرة هي أصغر جزء من المادة، وقد أكتُشف أن هناك مكونات أصغر من الذرة وهي الإلكترونات والبروتونات و النيوترونات، وتلعب الإلكترونات الدور الأساسي في فهمنا للكهرباء والمغناطيسية. إلا إن اكتشافها لم يكن حيز الذكر حتى عام ١٨٩٠م.

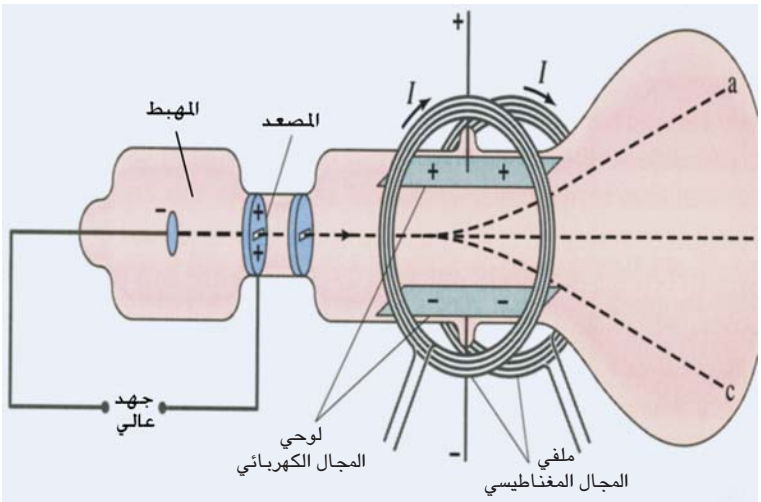
ففي أواخر القرن التاسع عشر ، بدأت الدراسات حول قدرة التيار الكهربائي على المرور خلال أنابيب التفريغ الغازي كما في الشكل(٧ – ١) ، حيث تم توصيل الأنبوبة الزجاجية بقطبين كهربائيين و أفرغت من الهواء – إلا من كمية قليلة من غاز خامل بقي في الداخل – عند وجود فرق جهد عالي جدًّا بين الأقطاب الكهربائية لوحظ مرور شعاع غامق يمتد من المهبط باتجاه نهاية الأنبوب مما يؤدي إلى توهجها. وعند وضع شاشة صغيرة عند نهاية الأنبوبة فإن الوهج يظهر على شكل بقعة صغيرة تبدو كأنها امتداد لأشعة ساقطة من المهبط ؛ ولذا سميت هذه الأشعة بـ "أشعة المهبط ***cathode ray***". كان هناك الكثير من النقاش في ذلك الوقت حول ماهية هذه الأشعة، فقد اعتقد بعض العلماء أنها فوتونات شبيهة بفوتونات الضوء، ولكن لوحظ أن البقع المضيئة التي تظهر في نهاية الأنبوبة يمكن أن تنحرف عن مسارها عند تعرضها لمجال مغناطيسي؛ مما يعني أنها جسيمات مشحونة؛ ومن خلال اتجاه انحرافها اكتشف أن هذه الجسيمات سالبة الشحنة.



الشكل (٧ – ١) : أنبوبة تفريغ غازي

٧ – ٢ تجربة تومسون Thomson Experiment

في عـام ١٨٩٧م تم تـقـديـر قـيـمـة الشحنة النسبية *specific charge* لجسيمات أشـعـة المهـبـط وهـي تـعـنـي شـحـنـة هـذه الجسيمات نسبة إلى كتلتها *(e/m)*، وفي العام نفسه استطاع العالم تومسون *Thomson* (١٨٥٦م–١٩٤٠م) قياس هذه الكمية مباشرة حيث استخدم جهازاً كالموضح في الشكل(٧ – ٢)، ويتكون هذا الجهاز من لوحين متوازيين داخل أنبوب ينتجان مجالاً كـهـربـائـيًـا، وزوج من الملفات تنتج المجال المغناطيسي في نفس منطقة المجال الكهربائي وعموديًا عليه، قام تومسون بتعجيل أشعة المهبط داخل الأنبوب باستخدام جهد عالي بين اللوحين المتوازيين. وعند استخدام المجال الكهربائي فقط، حيث اللوح العلوي موصل بالطرف الموجب لمصدر الجهد لاحظ أن أشعة المهبط تنحرف إلى أعلى، وعند استخدامه للمجال المغناطيسي فقط، بحيث كان اتجاهه إلى الداخل فقد لاحظ أن أشعة المهبط تنحرف إلى الأسفل.



الشكل(٧ – ٢) : أشعة المهبط تنحرف تحت تأثير المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي.

وحيث أن القوة المغناطيسية هي :

$$F_m = evB$$

حيث: B هو شدة المجال المغناطيسي.

e هي شحنة أشعة المهبط، و v هي سرعة أشعة المهبط.

و من المعادلة $F=ma$

وحيث أن أشعة المهبط تتخذ مسارًا دائريًّا، فإن التسارع a هو التسارع المركزي ($\frac{v^2}{r}$)
وبالتالي فإن:

$$F_m = \frac{mv^2}{r}$$

$$\therefore evB = \frac{mv^2}{r}$$

$$\frac{e}{m} = \frac{v}{Br} \qquad (١-٧)$$

حيث: r هو نصف قطر المسار الدائري للأشعة.

وإذا تم تطبيق المجال الكهربائي مع وجود المجال المغناطيسي، وحتى تسير أشعة المهبط في خط مستقيم دون انحراف لابد أن تكون القوة المغناطيسية F_m مساوية للقوة الكهربائية F_E، أي أن

$$F_m = F_E$$
$$evB = eE$$

ومنه نجد أن $$v = \frac{E}{B}$$

حيث v في هذه الحالة هي سرعة أشعة المهبط عند الاتزان.

وبالتعويض عن قيمة السرعة v في المعادلة (١-٧) نجد:

$$\frac{e}{m} = \frac{E}{B^2 r} \qquad (٢-٧)$$

ومن التجارب العملية، فإن القيمة المتعارف عليها للشحنة النسبية هي:

$$\frac{e}{m} = 1.76 \times 10^{11}\ C/kg$$

وتعرف أشعة المهبط اليوم بالإلكترونات.

وقد تمكن العالم مليكان *Millikan* (١٨٦٨ م – ١٩٥٣م) من قياس شحنة الإلكترون ووجدها تساوي $1.6 \times 10^{-19}\ C$.

ومن ثم استطاع العلماء حساب كتلة الإلكترون، حيث وجد أنها تساوي $9.11 \times 10^{-31}\ kg$.

قم بإجراء الدرس العملي (٤) لقياس الشحنة النسبية للإلكترون.

معلومة تهمك:

إن اكتشاف الإلكترون ، شأنه شأن العديد من الاكتشافات فى مجال العلوم ، من الصعب نسبته إلى شخص بعينه، إلا أن الفضل يعود لتومسون عموما، ليس لأنه كان أول من رأى التوهج في الأنبوبة فحسب، بل هو أول من اعتقد أن التوهج في أنبوبة الجيود يرجع إلى الجسيمات السالبة الشحنة وقيامه بالقياسات الدقيقة لشحنتها النسبية وأيضا كان أول من قال بأن هذه الجسيمات هي العناصر المكونة للذرات و ليست الذرات أو الأيونات نفسها كما ظن الكثيرون .

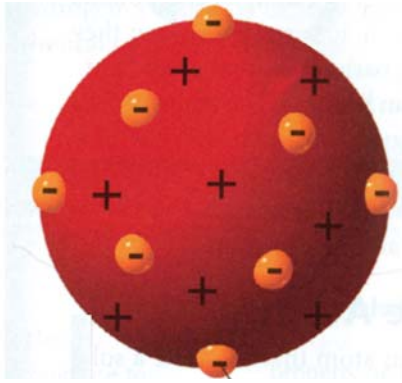
اختبر فهمك (١):

١. ما تفسير كل من:
– انطلاق أشعة المهبط في تجربة تومسون؟
– تأثر أشعة المهبط بالمجالين الكهربائي والمغناطيسي؟
٢. احسب نصف قطر المدار الذي يتحركه إلكترون تم تسريعه من السكون في أنبوبة تومسون تحت فرق جهد كهربائي مقداره $10\ kV$ ، إذا كان المجال المغناطيسي المتولد بين الملفين يساوي $0.4\ T$.

٧ – ٣ النماذج الأولى للذرة *Early Models Of The Atom*

مع اكتشاف الإلكترون، بدأ العلماء يفكرون في شكل الذرة على اعتبار أن لها هيكل، وأن الإلكترونات جزء من هذا الهيكل.

لقد وضع التصور الأول للنموذج الذري في عام ١٨٩٨م، وهذا النموذج هو "نموذج تومسون" حيث وُصفت الذرة بأنها كرة موجبة الشحنة تتوزع داخلها الإلكترونات السالبة وهو الوصف الذي شبّه الذرة بالبرتقالة تتوزع بداخلها البذور كما في الشكل(٧ – ٣).



الشكل (٧ – ٣) : تصور تومسون للذرة

في عام ١٩١١م حصل رذردفورد *Rutherford* (١٨٧١م–١٩٣٧م) وزملاؤه على نتائج تجارب تتناقض مع تصور تومسون للذرة، حيث قام بقذف صفيحة رقيقة من الذهب بجسيمات ألفا (نواة ذرة الهيليوم $_{2}^{4}He$ ويرمز لها بالرمز α ،وهي موجبة الشحنة)، شكل(٧ – ٤). وحصل على النتائج التالية:

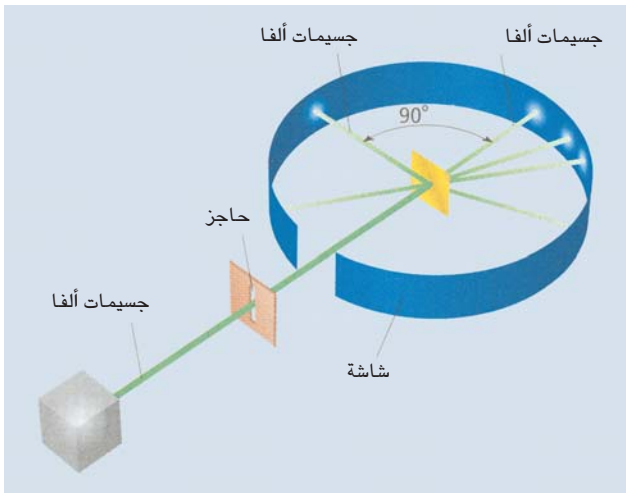
– بعض جسيمات (α) انحرفت عن مسارها وكأنها تنافرت مع جسم ثقيل مشابه لها في الشحنة، وكان من المتوقع حسب تصور تومسون أن جسيمات (α) لن تنحرف حيث أن الإلكترونات كتلتها أقل بكثير من كتلة جسيمات ألفا وبالتالي لن تتأثر.

– الجزء الأكبر من جسيمات ألفا مرت دون أن تعاني أي انحراف ، كما لو كانت الذرة في معظمها فراغ.

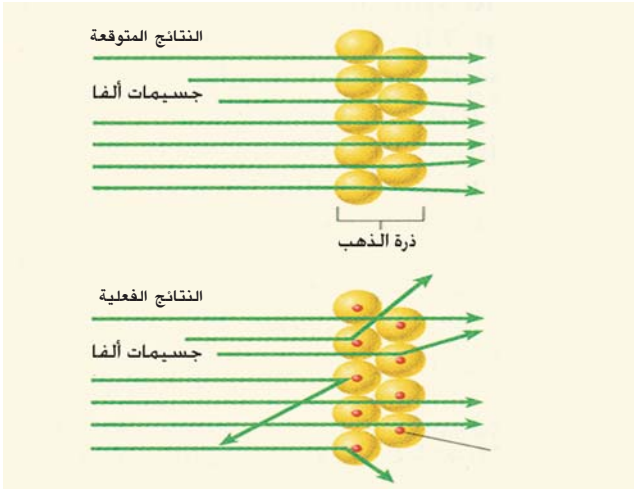
معلومة تهمك

أول من قال أن المادة تتكون من جسيمات صغيرة جداً تسمى الذرات هو الفيلسوف اليوناني ديموكريتس *Democritus* ، وذلك عام ٤٠٠ قبل الميلاد.

– القليل من جسيمات (α) ارتدت إلى الخلف وهذا لايحدث إلا إذا صادفت جسيمات ألفا كتلة هائلة موجبة الشحنة تتركز في منطقة صغيرة جدًّا من الفراغ، انظر الشكل(٧–٤) .



(أ)



(ب)

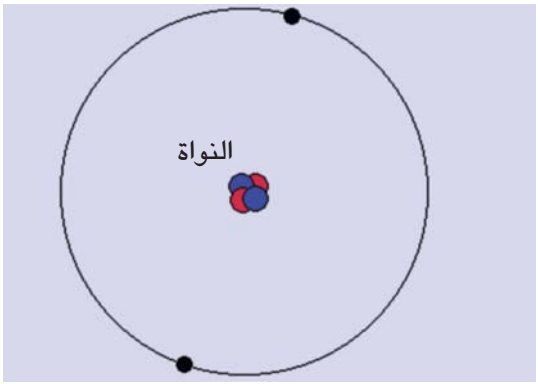
الشكل (٧ – ٤)

(أ) الرسم التخطيطي لتجربة رذرفورد : جسيمات α المنبعثة من الراديوم تصطدم بالصفيحة المعدنية، ويلاحظ أن بعضًا منها ينفذ والبعض ارتد إلى الوراء.

(ب) ارتداد بعض من جسيمات α يفسر وجود تنافر مع النواة الثقيلة موجبة الكتلة.

في ضوء هذه الملاحظات، وضع رذرفورد نموذجًا جديدًا للذرة افترض فيه أن الذرة معظمها فراغ و تتركز كتلتها في حيز صغير جدًّا يسمى النواة وتحمل شحنة موجبة (99.9% من كتلة الذرة)، وتحيط الإلكترونات بالنواة على مسافة بعيدة عنها نسبيًّا ولايمكن أن تكون هذه الإلكترونات ثابتة وإلا سقطت داخل النواة بسبب قوة الجذب الكهربائية ولكنها تتحرك في مدارات حول النواة – يشبه إلى حد كبير تحرك الكواكب حول الشمس –

انظر الشكل(٧ – ٥)، كما أشار رذرفورد من خلال تجاربه أن قطر النواة يجب أن يكون في حدود ($10^{-15}\ m$ إلى $10^{-14}\ m$).



الشكل (٧ –٥) : نموذج رذرفورد للذرة

إن تشبيه رذرفورد الذرة بالمجموعة الشمسية، كان خطوة كبرى للوصول إلى النموذج الذري الحديث، ومع ذلك لم يكن نموذج رذرفورد كاملاً حيث تعرض لعدة انتقادات منها:

(١) إن الإلكترونات بدورانها حول النواة سوف تتسارع ، والإلكترونات المتسارعة سوف تشع طاقة وفق النظرية الكهرومغناطيسية؛ مما يؤدي إلى فقدها لطاقة وضعها تدريجيًّا وسقوطها في النواة، وهذا غير صحيح فالذرات بشكل عام في حالة استقرار، حيث أن المادة من حولنا مستقرة.

(٢) بإشعاع الذرات للطاقة فإن ضوءًا مستمرًا ذا مجموعة من الترددات سوف ينبعث ، في حين أن نتائج التجارب العملية تبيِّن أن ذرات العناصر عند إشعاعها للطاقة تعطي خطوط الطيف الخطي.

الاستكشاف (١): استكشاف النموذج الذري

سؤال علمي: كيف أمكن تحديد حجم وشكل النواة؟

المواد والأدوات : مجموعة من الكرات الزجاجية (الجلول)، أربعة قوالب صلبة، ورق مقوى مستطيل الشكل، قلم رصاص.

الإجراءات

١. ضع الورق المقوى فوق أربعة من الكتب (أو القوالب)، بحيث يكون كل قالب أسفل أحد زوايا الورقة.

٢. اطلب إلى أحد زملائك أن يضع جسمًا ما تحت الورقة دون أن تراه.

٣. دحرج بلطف كرة زجاجية أسفل الورقة في خط مستقيم، حاول تخيل مسار الكرة الزجاجية ثم ارسم خطًّا على الوجه العلوي من الورقة يمثل ذلك المسار.

٤. أعد الخطوة ٣ وذلك بدحرجة المزيد من الكرات من اتجاهات متعددة ورسم اتجاه الكرة في كل مرة، حاول تحديد شكل الجسم الموجود أسفل الورقة.

التحليل والتفسير :

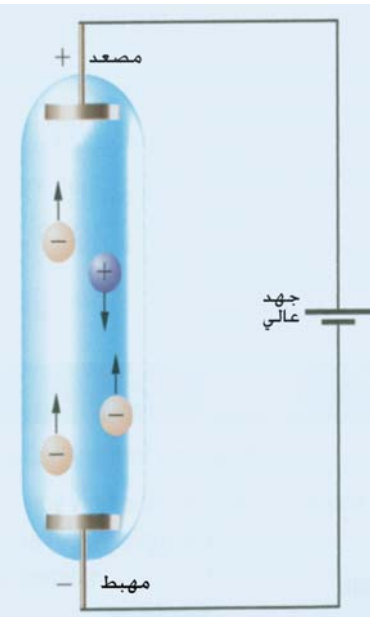
١. اكتب وصفًا مختصرًا حول شكل وحجم وموقع الجسم الموضوع أسفل الورقة.
٢. أي النماذج يمثل هذا الاستكشاف؟

اختبر فهمك (٢):

١. كيف استطاع رذرفورد إثبات خطأ نموذج تومسون للذرة؟
٢. ما الذي يحفظ الإلكترونات في مداراتها حول النواة حسب نموذج رذرفورد ؟
٣. في تجربة رذرفورد، على ماذا يدل تشتت جسيمات α حول نواة الذرة؟

٧ – ٤ الأطياف الذرية والنموذج الذري الحديث
Atomic Spectra And The New Structure of the Atom

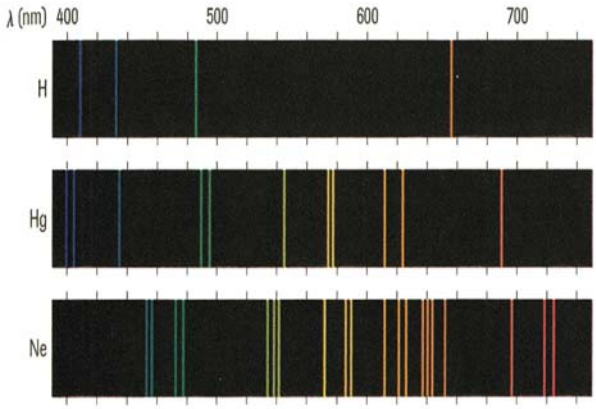
درست في الوحدة الثالثة كيف أن الأجسام الساخنة تشع موجات مستمرة ذات أطوال موجية مختلفة. إن هذا الإشعاع يحدث بسبب تذبذب الذرات والجزيئات، حيث تتفاعل كل ذرة أو جزيء مع الذرات والجزيئات المجاورة لها نتيجة القوى الكهربائية.لقد لوحظ في أوائل القرن التاسع عشر إن إثارة الغازات في أنبوبة التفريغ كما في الشكل(٧ – ٦) تحت ضغط منخفض وفرق جهد عال يؤدي إلى انبعاث أطيافًا منفصلة ذات أطوال موجية معينة،



الشكل (٧ –٦) : أنبوبة التفريغ الغازي

و قد شوهدت هذه الأطياف بوضوح على شكل خطوط عندما تم تحليل هذه الإشعاعات بواسطة كشاف الطيف ***spectroscope*** أو مقياس الطيف ***spectrometer***، ويبيِّن الشكل (٧ –أ٧) كشافالطيف ذا المنشور الذي يمكنه تحليل الإشعاعات المنبعثة من الغاز المثارة ، كما يبيِّن الشكل(٧ – ٧ب) خطوط الطيف المنبعثة من قبل عدد من العناصر المختلفة.

الشكل (٧ –أ٧) : المطياف ذا المنشور. إذا كان الضوء يحتوي على أكثر من طول موجي واحد، فإن عددًا من خطوط الطيف ستظهر على اللوح الفوتوغرافي للمطياف.

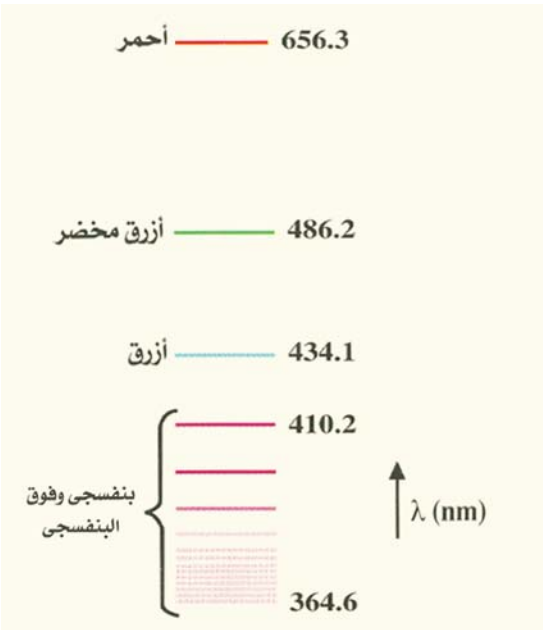


الشكل (٧ –٧ب) : خطوط الطيف لبعض العناصر المختلفة

طيف ذرة الهيدروجين *Hydrogen Spectrum*

تعدُّ ذرة الهيدروجين أبسط الذرات – إذ تحتوي على إلكترون واحد فقط في المدار، كما أن لديها أبسط طيف ذري. فانتظام ألوان الطيف لمعظم الذرات يظهر ضعيفًا، إلا أن التباعد بين خطوط طيف ذرة الهيدروجين يقل بانتظام، الشكل(٧ –٨). وفي عام ١٨٨٥م توصل العالم جى جى بالمر ***J.J.Balmer*** (١٨٢٥م–١٨٩٨م) إلى الصيغة الرياضية لحساب الأطوال الموجية لخطوط الطيف لذرة الهيدروجين، وتعرف هذه الصيغة بـ " متسلسلة بالمر ***Balmer Series*** "وهي:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 3,4,.....$$



الشكل (٧ –٨) : متسلسلة بالمر لخطوط ذرة الهيدروجين.

حيث R هو ثابت ريدبيرج ***Rydberg Constant*** و قيمته $1.097 \times 10^7\ m^{-1}$ وتقع هذه المتسلسلة في منطقة الطيف المرئي، كما هو مبين في الشكل(٧ –٨). ويمكن تطبيق معادلة بالمر مع أعداد صحيحة غير متناهية من n ، ويلاحظ أن الخطوط بالقرب من الطول الموجي $364.6\ nm$ أصبحت متقاربة من بعضها حيث يمكن اعتبار $n = \infty$.

في وقت لاحق أظهرت التجارب على ذرة الهيدروجين أن هناك متسلسلات أخرى لخطوط طيف ذرة الهيدروجين في منطقة الأشعة فوق البنفسجية ومنطقة الأشعة تحت الحمراء ذات نمط شبيه بمتسلسلة بالمر، وأشهر هذه المتسلسلات هي:

– متسلسلة ليمان ***lyman series*** وتقع في منطقة الأشعة فوق البنفسجية، والصيغة الرياضية لها هي:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{1^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 2,3,.....$$

– متسلسلة باشن ***Paschen Series*** وتقع في منطقة الأشعة تحت الحمراء، والصيغة الرياضية لها هي:

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad n = 4,5,.....$$

ولأن نموذج رذرفورد لم يكن كافيًا لفهم السلوك الذري وأطياف الذرات، فقد قدم العالم نيلز بور عام ١٩١٣م نموذجًا جديدًا استطاع بواسطته تفسير أطياف الذرات.

نموذج بور *The Bohr Model*

درس بور *Bohr* (١٨٨٥م – ١٩٦٢م) نموذج رذرفورد للذرة وكان على اقتناع بصحة ذلك النموذج، ولكن لكي يكون عمليًا فقد افترض مبدئيًا أن الإلكترونات في الذرة لا يمكن أن تفقد الطاقة بصورة مستمرة ولكن ذلك يحدث على شكل رزم سماها كمّات.

وبعد ذلك بسنوات طوّر بور نظريته و افترض عددًا من الفروض للتغلب على المشاكل التي واجهت نموذج رذرفورد، وهذه الفروض هي :

١. إن الالكترونات تتحرك حول النواة في مدارات ثابتة دون إشعاع أي كمية من الطاقة.

٢. كمية التحرك الزاوية للإلكترونات كمية مكممة تساوي مضاعفات صحيحة للمقدار ($\frac{h}{2\pi}$)، حيث h هو ثابت بلانك.

٣. يحدث إشعاع للطاقة عندما يقفز الإلكترون من مداره إلى مدار آخر مختلف في الطاقة، ويكون مقدار الطاقة المشعة مساويًا لفرق طاقة الإلكترون في المدارين. وهذا الإشعاع يكون على هيئة كمات.

وبالرغم من أن الفرض الأول لبور يتعارض مع قوانين الإشعاع الكهرومغناطيسي، فالإلكترون حسب هذا الفرض يتسارع حول النواة ولكنه لايشع أي طاقة، إلا أن تطابق حساب الأطول الموجية لذرة الهيدروجين بناءً على هذه الفروض مع النتائج المقاسة تجريبًا لطيف الهيدروجين دعم نظرية بور لبناء الذرة.

معلومة تهمك

إن من نفذ تجربة قذف صفيحة الذهب بأنوية الهيليوم فعليًا تحت إشراف رذرفورد هما العالمان : أرنست مارسدن وهانس جايجر وكانا يعملان مساعدي باحث في مختبر رذرفورد، وإن العالم بور الذي طور هذا النموذج عمل أيضًا في مختبر رذرفورد كباحث علمي لمدة ستة شهور وذلك عام ١٩١٢م .

لمزيد من المعلومات عن الأطياف الذرية، قم بزيارة الموقع التالي على شبكة المعلومات العالمية للاتصالات الدولية (*Inter Net*).

http://zebu.uoregon.edu/~soper/Light/atomspectra.html

نصف قطر مدار الإلكترون حول النواة:

من الفرض الثاني لبور نلاحظ أن كمية التحرك الزاوية للإلكترونات تساوي مضاعفات صحيحة للمقدار $\left(\frac{h}{2\pi}\right)$.

وحيث أن الجسم يتحرك حركة دائرية، فإن كمية التحرك الزاوية تساوي mr^2w حيث w هي السرعة الزاوية وتساوي $w = \frac{v}{r}$، وبالتالي فإن كمية التحرك للأجسام التي تتحرك حركة دائرية هي (mvr)، أي أن:

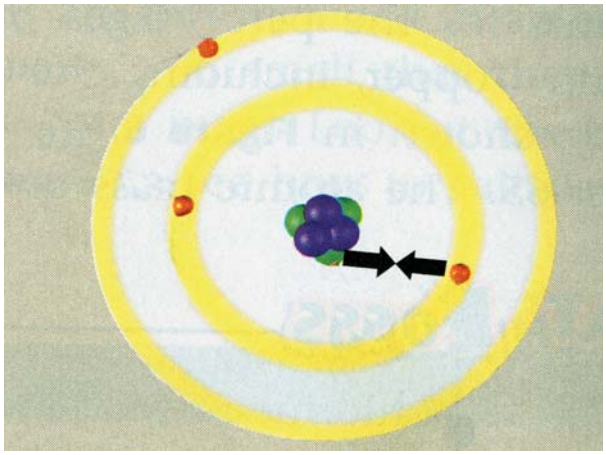
$$mvr_n = \frac{nh}{2\pi} \qquad (٣-٧)$$

حيث r_n هو نصف قطر المدار الذي يتحرك فيه الإلكترون.

إن هذا الافتراض أتاح لنا معرفة كيفية حساب طاقة الإلكترون في المدار، فكيف تم ذلك؟

نحن نعلم أن قوة الجذب الكهربائي بين الإلكترونات السالبة و النواة الموجبة وفقًا لقانون كولومب كما في الشكل (٧ – ٩)، هي:

$$F = k\frac{(Ze)(e)}{r_n^2}$$



الشكل (٧ – ٩) : القوة الكهربائية تحافظ على الإلكترون في مداره حول النواة موجبة الشحنة حسب قانون كولومب.

حيث: e هي شحنة الإلكترون.

Ze هي شحنة النواة؛ و Z هو عدد الشحنات الموجبة (أو البروتونات). وفي حالة ذرة الهيدروجين فإن $Z = +1$ وبما أن الإلكترون يتحرك حركة دائرية، فإن هذه القوة لابد أن تساوي القوة المركزية، أي أن :

$$k\frac{(Ze)(e)}{r_n^2} = \frac{mv^2}{r_n}$$

$$r_n = \frac{kZe^2}{mv^2} \qquad (٤-٧)$$

من المعادلة (٧ – ٣) نجد أن قيمة v هي $v = \frac{nh}{2\pi m r_n}$ ، وبالتالي يمكن إيجاد قيمة r من المعادلة (٧ – ٤) كالتالي:

$$r_n = \frac{kZe^2 4\pi^2 m r_n^2}{n^2 h^2} \qquad (٧ - ٥)$$

$$r_n = \frac{n^2 h^2}{4\pi^2 mkZe^2}$$

هذه المعادلة تعطي أنصاف أقطار مدارات الإلكترون حول النواة، ويلاحظ أن المقدار $\frac{h^2}{4\pi^2 mKZe^2}$ هو مقدار ثابت ويساوي $0.529 \times 10^{-10}\ m$ ، يسمى هذا المقدار نصف قطر بور وهو يمثل نصف قطر المدار الأول للإلكترون، وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (٧ – ٢) كالآتي:

$$r_n = r_1 n^2$$

ويلاحظ أن أنصاف الأقطار تزداد بازدياد رقم المدار:

$$r_2 = 4r_1 = 2.11 \times 10^{-10}\ m$$

$$r_3 = 9r_1 = 4.74 \times 10^{-10}\ m$$

الطاقة الكلية للإلكترون في مداره:

إن كل إلكترون يتحرك في مداره تكون له طاقة محددة، تساوي مجموع طاقة الوضع وطاقة الحركة، حيث:

طاقة الوضع هي: $PE = qV$

حيث : شحنة الإلكترون $q = -e$ و $V = k\frac{Q}{r} = k\frac{Ze}{r}$

$$\therefore PE = -eV = -k\frac{Ze^2}{r}$$

– طاقة الحركة هي $KE = \frac{1}{2}mv^2$

وبالتالي فإن الطاقة الكلية للمدار (E_n) تساوي :

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 + -k\frac{Ze^2}{r}$$

بالتعويض عن قيمة v من المعادلة (٧ – ١) ، وقيم r من المعادلة (٧ – ٢) نجد أن:

$$E_n = -\frac{2\pi^2Z^2e^4mk^2}{n^2h^2} \qquad n = 1,2,3,4,.....$$

ويلاحظ أن المقدار $\frac{2\pi^2Z^2e^4mk^2}{h^2}$ هو مقدار ثابت ويساوي $13.6\ eV$ ، وبالتالي يمكن حساب طاقة أي مدار من العلاقة:

$$E_n = -\frac{13.6}{n^2}\ eV \qquad (٧ – ٦)$$

وفي حالة ذرة الهيدروجين عندما يكون إلكترونها في المدار الأول ($n = 1$) وحيث ($Z = 1$) فإن:

$$E_1 = -13.6\ eV$$

أما في المدار الثاني فإن: $E_2 = -\frac{13.6}{2^2} = -3.40\ eV$

وفي المدار الثالث فإن: $E_3 = -\frac{13.6}{3^2} = -1.51\ eV$

وبالتالي يمكن كتابة المعادلة (٧ – ٦) على الصورة :

$$E_n = \frac{E_1}{n^2} \qquad (٧ - ٧)$$

وبناءً على فرض بور الثالث، فإن الطاقة التي يشعها الإلكترون (ΔE) تساوي التغير في الطاقة، وتعطى بالعلاقة:

$$\Delta E = E_m - E_n$$

حيث: E_m طاقة المدار الأعلى ، E_n طاقة المدار الأدنى.

وحيث أن الطاقة المشعة تكون على شكل كمات، فإن طاقة الكمة (hf) تساوي:

$$hf = E_m - E_n$$

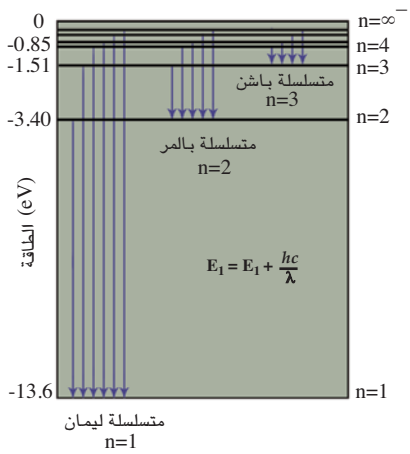
$$\frac{hc}{\lambda} = E_1 \left[\frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right]$$

$$\frac{1}{\lambda} = -\frac{E_1}{hc} \left[\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right] \qquad (٧ - ٨)$$

ويمكن من المعادلة (٧ – ٨) حساب الطول الموجي للأطياف المنبعثة من ذرة الهيدروجين .

وبمقارنة نتائج بور في المعادلة (٧ – ٨) بمتسلسلات ليمان وبالمر وباشن يمكن أن نتصور النجاح الذي حققه بور من خلال فروضه الثلاثة في تفسير النتائج العملية لقياس الأطوال الموجية لذرة الهيدروجين، فثابت ريدبيرج (R) في معادلات ليمان وبالمر وباشن هو المقدار $-\frac{E_1}{hc}$ في معادلة بور (٧ – ٨)، والقيمة $\left(\frac{1}{1^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ في متسلسلة ليمان تمثل في معادلة بور انتقال الإلكترون من المدارات ($m = 2,3,.....$) إلى المدار الأول ($n=1$)، والقيمة $\left(\frac{1}{2^2}-\frac{1}{n^2}\right)$ في متسلسلة بالمر تمثل في معادلة بور انتقال الإلكترون من المدارات ($m= 3,4,....$) إلى المدار الثاني ($n=2$) وهكذا. بالإضافة إلى ذلك فقد قام بور بحساب المقدار $-\frac{E_1}{hc}$ فوجده يساوي $1.097 \times 10^{7}\ m^{-1}$ أي ثابت ريدبيرج، فأكد بما لايدع مجالاً للشك نجاح نظريته في تفسير الطيف الخطي للهيدروجين.

ونظرًا لأن طاقة الإلكترون في مداره هي التي تحدد الطول الموجي للفوتون المنبعث فقد تم استخدام" مستويات الطاقة في الذرة " بدلاً من استخدام المدارات كأشكال هندسية، ويمكن تمثيل مستويات الطاقة على شكل رسم بياني يوضح انتقال الإلكترون بين هذه المستويات و ما تصدره الذرة من أطياف، وكذلك الطاقة الكلية للإلكترونات إذا ماشغلت هذه المستويات، ويوضح الشكل (٧ – ١٠) الرسم البياني لطيف ذرة الهيدروجين.

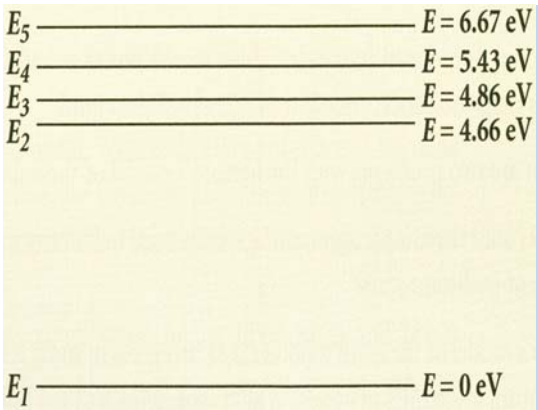


الشكل (٧ – ١٠) : مستويات الطاقة لذرة الهيدروجين ، تبين منشأ خطوط الطيف لمتسلسلات ليمان، وبالمر، وباشن.

اختبر فهمك (٣):

١. احسب نصف قطر المدار الرابع للإلكترون في ذرة الهيدروجين، بناءً على نموذج بور، علمًا بأن $r_1 = 5.29 \times 10^{-11}\ m$ ، ثم احسب كلاً من سرعة الإلكترون وطاقته في هذا المدار.

٢. يبيِّن الشكل(٧ – ١١) خمسة مستويات للطاقة في ذرة بخار الصوديوم، ما تردد الفوتون المنبعث من ذرة الصوديوم عند انتقال إلكترون من المستوى E_5 إلى E_1 ؟



الشكل (٧ – ١١)

electron microscope

٧ – ٥ الطبيعة الموجية للمادة *Waves Nature of Matter*

في عام ١٩٢٣م افترض العالم الفرنسي لويس دي برولي ***de Broglie*** (١٨٩٢م – ١٩٨٧م) فكرة الطبيعة الثنائية للجسيم (المادية – الموجية)، فإذا كان الضوء يسلك سلوكًا موجيًّا أحيانًا وجسيميًا أحيانًا أخرى، فقد يكون للجسيمات الذرية – مثل الالكترونات وغيرها من الأجسام المادية – خصائص موجية أيضًا. افترض دي برولي أن الطول الموجي للجسيمات المادية يرتبط بكمية تحركها بالمعادلة $P = \frac{h}{\lambda}$، كما هو في حالة الفوتون، فإذ كان جسيم ما كتلته m يتحرك بسرعة v ، فإن طوله الموجي λ يعطى بالعلاقة:

$$\lambda = \frac{h}{mv} \qquad (٧ - ٩)$$

حيث h هو ثابت بلانك ويساوي $6.63 \times 10^{-34}\ J.s$

و يعرف الطول الموجي في المعادلة(٧ – ٩) بطول موجة دي برولي للجسيمات.

تطبيقات حياتية

فرضية الطبيعة الموجية للإلكترون أدت إلى تطوير المجهر الضوئي إلى مجهر إلكتروني *electron microscope* الذي تظهر فيه الصورة بحجم كبير جدًا و بدقة أكبر مقارنة بالمجهر الضوئي ؛ نظرًا لأن الطول الموجي للإلكترون أصغر بكثير من الطول الموجي للضوء العادي . هناك نوعين من المجاهر الإلكترونية : مجهر إلكتروني نافذ *transmission electron microscope* الذي يُظهر الصورة في بُعدين، و مجهر إلكتروني *scanning electron microscope* ماسح الذي يظهر الصورة في ثلاثة أبعاد . في كلا النوعين يُستخدم المجال المغناطيسي للتأثير على الإلكترونات بقوة، بحيث يتم توجيهها للحصول على رؤية واضحة .

مثال (١):

احسب طول موجة دي برولي لكرة كتلتها $0.20\ kg$ تتحرك بسرعة $15\ m/s$.

الحل :

$$\lambda = \frac{h}{mv}$$

$$\lambda = \frac{6.63 \times 10^{-34}}{(0.20)(15)}$$

$$= 2.2 \times 10^{-34}\ m$$

ومن هذا المثال، نلاحظ مدى صغر الطول الموجي المصاحب للكرة.

وفي الواقع فإن الطول الموجي للأجسام المادية تكون من الصغر بحيث لايمكن قياسها أو ملاحظتها، وبالتالي فإن سلوكها الموجي، مثل التداخل و الحيود، لايمكن ملاحظته لأن كتلتها كبيرة جدًّا وبالتالي يكون طولها الموجي صغير جدًّا؛ مما جعل الخصائص الموجية للأجسام الكبيرة مهملة، ولكن يمكن دراسة الخصائص الموجية للجسيمات الذرية، مثل الإلكترونات. إذ إن كتلتها الصغيرة جدًّا تكسبها طولاً موجيًّا كبيرًا.

مثال (٢):

حدد الطول الموجي لإلكترون تم تسريعه تحت فرق جهد $100\ V$.

الحل :

من قانون حفظ الطاقة، فإن الفقد في طاقة الوضع PE يساوي الكسب في طاقة الحركة KE والعكس، وبالتالي:

$$\frac{1}{2}\ mv^2 = eV$$

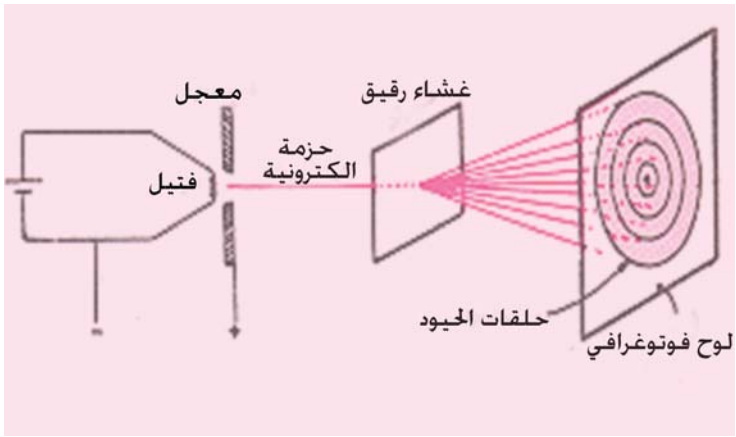
من هذه المعادلة:

$$v = \sqrt{\frac{2eV}{m}} = \sqrt{\frac{(2)(1.6 \times 10^{-19})(100)}{9.1 \times 10^{-31}}} = 5.9 \times 10^{6}\ m/s$$

$$\therefore \lambda = \frac{h}{mv} = \frac{(6.63 \times 10^{-34})}{(9.1 \times 10^{-31})(5.9 \times 10^{6})} = 1.3 \times 10^{6}\ m$$

$$= 0.13\ nm$$

ومثل هذه القيمة للطول الموجي يمكن ملاحظتها وقياسها، ولذا قام العديد من العلماء بمحاولة اكتشاف ذلك عمليًا، إذ أجرى العالمان دافيسون *Davisson* (١٨٨١م – ١٩٥٨م) وجيرمر *Germer* (١٨٩٦م – ١٩٧١م) تجربة حاسمة؛ عندما قاما بانتزاع الإلكترونات من سطح معدن في أوائل ١٩٢٧م ، ولاحظا أن الالكترونات تتحرك على شكل نبضات؛ فُسِّرت هذه النبضات على أنها نمط من السلوك الموجي، وقاما بحساب الطول الموجي للنبضات المتولدة باستخدام معادلة دي برولي. كما قام العالم تومسون بتجربة اكتشف من خلالها السلوك الموجي للإلكترونات، انظر الشكل (٧ – ١٢). وأظهرت التجارب في وقت لاحق أن البروتونات والنيوترونات تمتلك الخصائص الموجية أيضًا.



الشكل (٧ – ١٢) : نمط من حيود الإلكترونات المنتزعة من لفافة ألومونيوم ، كما تظهر مصورة على فيلم حساس.

وهكذا فإن الطبيعة المزدوجة تنطبق على الأجسام المادية كما هي الحال بالنسبة للضوء، إلا أن السلوك الموجي للأجسام الكبيرة غير مرئي.

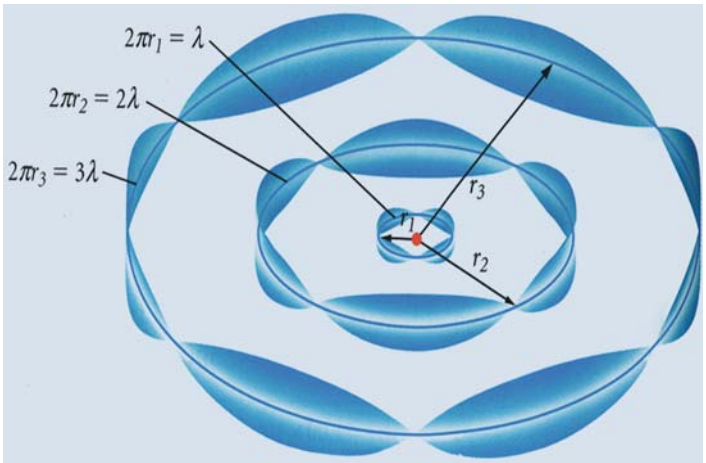
قم بإجراء الدرس العملي (٨) لدراسة السلوك الموجي للجسيمات الذرية كظاهرة الحيود مثلاً.

تفسير دي برولي لمدارات بور:

في البداية لم يستطيع أحد أن يفسر لماذا تكون مدارات الذرة مستقرة. ومن ثم استطاع دي برولي إيجاد صلة بين فروض نظريته عن الطبيعة الموجية للمادة والمدارات المستقرة في نموذج بور. افترض دي برولي أن مدار الإلكترون لايكون مستقراً إلا إذا احتوى على عدد صحيح من الأطوال الموجية المصاحبة للإلكترون، كما هو مبين في الشكل(٧ – ١٣).

فالمدار الأول عبارة عن طول موجي واحد، والمدار الثاني عبارة عن اثنين من الأطوال الموجية، وهكذا.

افتراضات دي برولي هذه تم مقارنتها بالموجات الموقوفة المتكونة في حبل مشدود، كما سبق مناقشته في الفصل الثالث، إذ لا يمكن أن نحصل على نمط مستقر إلا إذا كانت حركة الموجات عبارة عن نمطٍ متكاملٍ من الموجات الموقوفة وقياسا على ذلك فإن مدار الإلكترون افتراضا هو محيط دائرة يحتوي على عدد صحيح من الأطوال الموجية، أي أن:



الشكل(٧ – ١٣) : تفسير دي برولي لمدارات بور

$$2\pi r = n\lambda \qquad n = 1,2,3,4,.....$$

اختبر فهمك (٤):

١. هل تدعم ظاهرة حيود الإلكترونات الخاصية الجسيمية أم الخاصية الموجية للإلكترون؟ فسّر ذلك.

٢. إذا اكتسب كل من الإلكترون و البروتون تسارعًا من السكون عند نفس فرق الجهد، أيهما يملك طول موجي أكبر؟ فسِّر إجابتك.

٣. في جهاز التلفزيون يتم تسريع الإلكترونات من السكون داخل أنبوب التفريغ الغازي تحت تأثير فرق الجهد بين المهبط والمصعد، فإذا كان طول موجة دي برولي المصاحبة للإلكترون يساوي $1 \times 10^{-11}\ m$ ، احسب فرق الجهد المستخدم.

أسئلة الفصل

السؤال الأول : اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة :

١. في تجربة قذف شريحة الذهب بجسيمات ألفا، لاحظ رذرفورد ارتداد بعض من جسيمات ألفا وهذا يدل على أن:

أ. النواة تحمل شحنة موجبة. ب. النواة تحمل شحنة سالبة.

ج. النواة لا تحمل شحنة. د. معظم الذرة فراغ.

٢. بروتون و إلكترون لهما نفس طول موجة دي برولي. إذا كانت طاقة حركة البروتون هي KE_p، وطاقة حركة الإلكترون هي KE_e، فأي العلاقات الآتية صحيحة بين KE_p و KE_e ؟

أ. $KE_p > KE_e$ ب. $KE_p < KE_e$

ج. $KE_p = KE_e$ د. $KE_p = 1/KE_e$

٣. تنتج سلسلة باشن من انتقال الإلكترون من المستويات الأعلى في الذرة إلى المستوى:

أ. الأول ب. الثاني ج. الثالث د. الرابع

٤. تكون طاقة الفوتون المنبعث من ذرة الهيدروجين أكبر مايمكن عندما ينتقل الإلكترون من المستوى

أ. $n = 5$ إلى $n = 4$

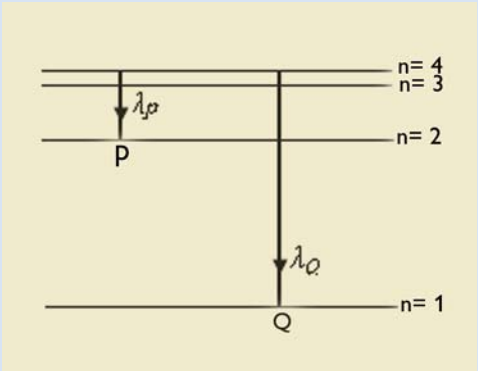
ب. $n = 4$ إلى $n = 3$

ج. $n = 3$ إلى $n = 2$

د. $n = 2$ إلى $n = 1$

٥. يوضح الشكل(٧-١٤) مستويات الطاقة الأربعة الأولى لذرة الهيدروجين، فإذا كان السهمان Q و P يمثلان الانتقال المحتمل للإلكترون بين المستويات بحيث يشع فوتونات ذات أطوال موجية مقدارها λ_Q و λ_p على التوالي، فإن النسبة $\lambda_Q : \lambda_p$ تساوي:

أ. 3:1 ب. 3:2 ج. 8:3 د. 128:27



الشكل (٧-١٤)

٦. تحتوي كل من ذرة الهيدروجين H وأيون الهيليوم He^+ على إلكترون واحد مفرد يدورحول نواتاهما، فإذا كان مقدار الشحنة الموجبة في نواة ذرة الهيدروجين يساوي $+e$ ،ومقدار الشحنة الموجبة لنواة أيون He^+ يساوي $+2e$، وكان مقدار الطاقة في المستوى الأول لذرة الهيدروجين يساوي $-E$ ، فإن مقدار الطاقة في المستوى الأول لذرة الهيليوم يساوي:

أ. $-\frac{1}{4}E$ ب. $-\frac{1}{2}E$ ج. $-4E$ د. $-2E$

٧. النسبة بين طاقات مستويات ذرة الهيدروجين الثلاثة الأولى مقدارها:

أ. $1:2:3$ ب. $1:4:9$ ج. $1:\frac{1}{2}:\frac{1}{3}$ د. $1:\frac{1}{4}:\frac{1}{9}$

٨. إذا كان طول موجة دي برولي لجسيم كتلته m هو λ ، فإن طاقة حركة الجسيم (KE) تساوي:

أ. $\frac{h^2}{2m\lambda^2}$ ب. $\frac{\lambda^2}{2mh^2}$ ج. $\frac{h}{2m\lambda}$ د. $\frac{2mh^2}{\lambda^2}$

٩. إذا كان طول موجة دي برولي لإلكترون يتحرك بسرعة مقدارها v يساوي λ ، مامقدار الطول الموجي إذا انخفضت سرعته إلى $\frac{1}{2}v$ ؟

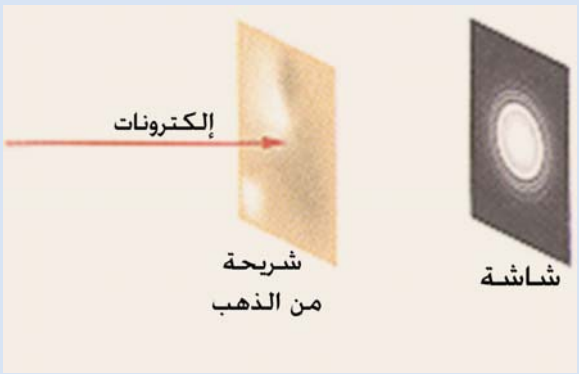
أ. 4λ ب. 2λ ج. $\frac{1}{2}\lambda$ د. $\frac{1}{4}\lambda$

١٠. إذا كان نصف قطر مدار الإلكترون في ذرة الهيدروجين في المستوى الأول يساوي r ، فإن طول موجة دي برولي:

أ. $2\pi r$ ب. πr ج. $2r$ د. r

١١. يوضح الشكل (٧–١٥) تجربة عملية لدراسة الطبيعة الموجية للإلكترون، حيث تم تسليط شعاع من الإلكترونات بزاوية 90^{o} على طبقة رقيقة من الذهب و ظهرت حلقات الحيود على شاشة فسفورية. إذا زادت طاقة الإلكترونات الساقطة على رقيقة الذهب، ماذا تتوقع أن يحدث لحلقات الحيود؟

أ. لا تتغير
ب. تصبح أقل إضاءة
ج. يزداد عرضها
د. يقل اتساعها



الشكل (٧–١٥)

السؤال الثاني : أجب عن الأسئلة الآتية:

١. لماذا يعتقد العلماء أن معظم كتلة الذرة تتركز في النواة؟

٢. في تجربة تومسون كيف نحدد ما إذا كان انحراف الإلكترون ناتج بسبب المجال الكهربائي أم المجال المغناطيسي؟

٣. اشرح الاختلافات بين تصور رذرفورد وبور للذرة.

٤. كيف يمكن لطيف ذرة الهيدروجين أن يحوي العديد من خطوط الطيف بالرغم من أن الذرة تحتوي على إلكترون واحد فقط؟

٥. لماذا يمكن حسب متسلسلة بالمر ملاحظة ودراسة خطوط طيف ذرة الهيدروجين بشكل أفضل مما هو في متسلسلة ليمان و متسلسلة باشن؟

٦. أثبت أن سرعة الإلكترون في المدار n في ذرة الهيدروجين تعطى بالعلاقة: $v_n = \frac{2\pi k e^2}{nh}$

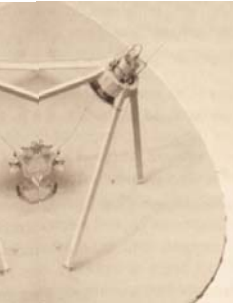
السؤال الثالث : أجب عن الأسئلة الآتية:

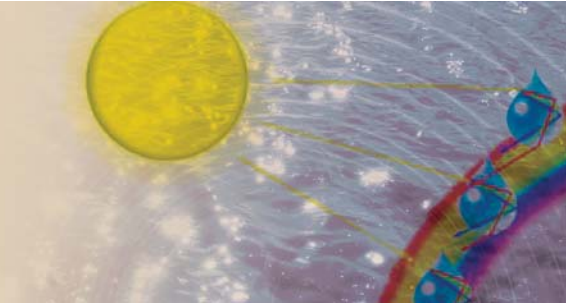
١. احسب الطول الموجي لخطوط الطيف الأربعة في متسلسلة بالمر.

٢. قذفت إلكترونات طاقتها $10.9\ eV$ نحو غاز من ذرات الهيدروجين. ماهو الطول الموجي للإشعاع الذي ينبعث من الغاز؟

٣. احسب طول موجة دي برولي المصاحبة لكلٍّ من:
(أ) كرة كتلتها $2\ kg$ ألقيت بسرعة $15\ m/s$.
(ب) بروتون تم تحريكه بسرعة $1.3 \times 10^5\ m/s$.
(ج) إلكترون يتحرك بسرعة $5 \times 10^4\ m/s$.

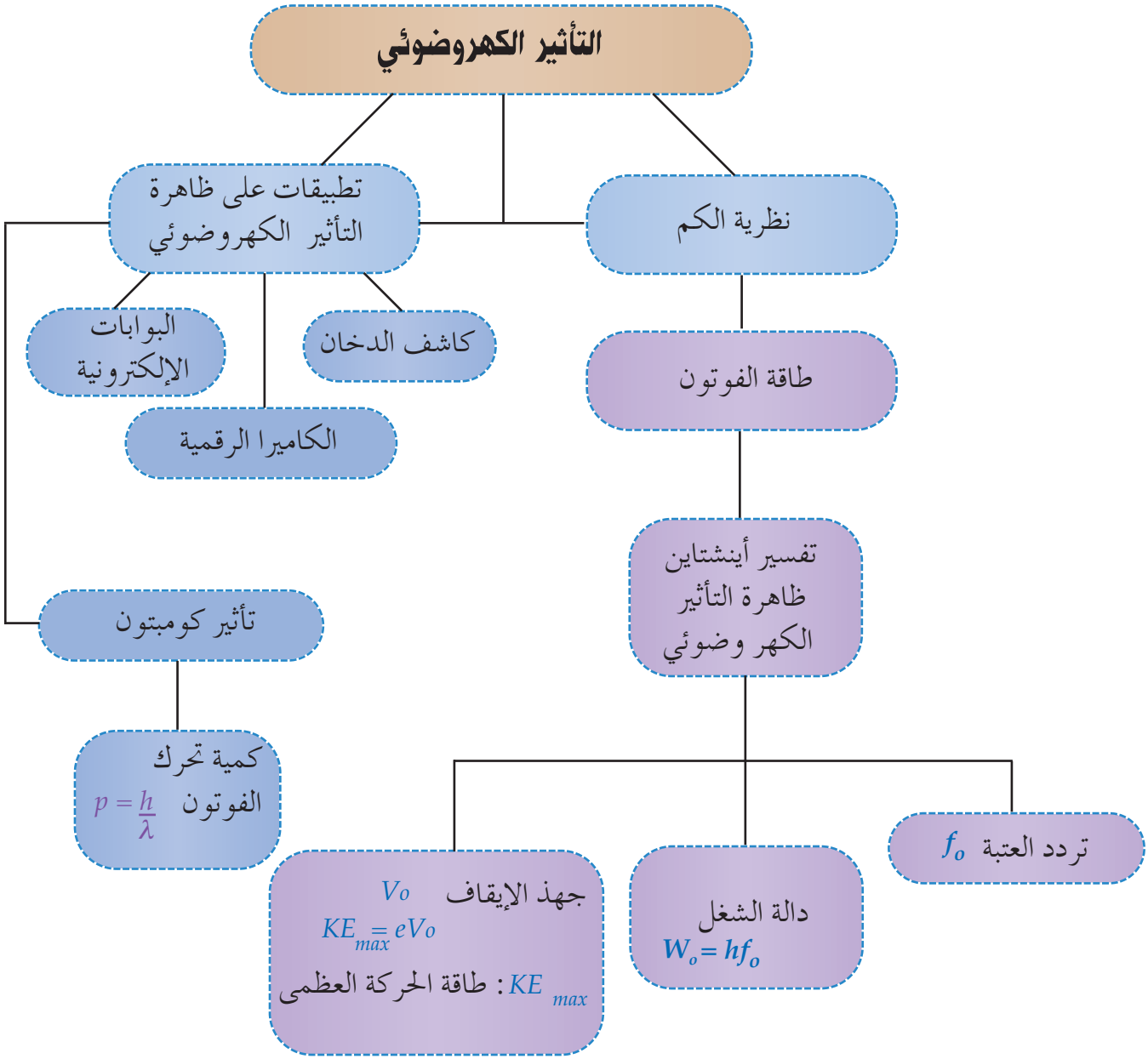
٤. جسيم مجهري يتحرك بسرعة $1.2 \times 10^5\ m/s$ ، فإذا علمت أن طول موجة دي برولي المصاحبة لهذا الجسيم يساوي $8.4 \times 10^{-14}\ m$ احسب كتلته.





خارطة مفاهيم

الفصل السادس


التأثير الكهروضوئي
نظرية الكم
تطبيقات على ظاهرة التأثير الكهروضوئي
طاقة الفوتون
البوابات الإلكترونية
كاشف الدخان
الكاميرا الرقمية
تفسير أينشتاين ظاهرة التأثير الكهر وضوئي
تأثير كومبتون
كمية تحرك الفوتون $p = \frac{h}{\lambda}$
تردد العتبة f_o
دالة الشغل $W_o = hf_o$
جهد الإيقاف Vo
$KE_{max} = eVo$
KE_{max} : طاقة الحركة العظمى

الفصل السادس

التأثير الكهروضوئي
Photoelectric Effect

مقدمة:

أهم اكتشافين في عالم الفيزياء في أوائل القرن العشرين كانا النظرية النسبية و نظرية الكم، حيث أدّى كلاهما إلى تغيرات هامة في عالم الفيزياء. تم اكتشاف النظرية النسبية عام ١٩٠٥م من قبل عالم واحد و هو آينشتاين، أما نظرية الكم فقد تطورت على مدى ثلاثين عامًا من قبل عدة علماء، بداية من عام ١٨٩٠م مع تفسير إشعاع الجسم الأسود للعالم بلانك و بلغت ذروتها عام ١٩٢٠م عندما استخدم بعض العلماء مثل شرودينجر *Shrodinger* (١٨٨٧م–١٩٦١م) و العالم هيزنبرغ *Heisenberg* (١٩٠١م–١٩٧٦م) نظرية الكم لشرح سلوك الإلكترون في الذرة .

لقد درست في الفصل السابق أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية تحمل خصائص الموجات من تداخل و حيود و انكسار، و في هذا الفصل ستدرس أن الضوء بالإضافة إلى كونه يحمل طبيعة موجية، فهو يملك طبيعة جسيمية أيضًا و له كمية تحرك من خلال التعرض لبعض الظواهر الدالة على ذلك كظاهرة التأثير الكهروضوئي و تأثير كومبتون، بالإضافة إلى دراسة بعض التطبيقات العملية على التأثير الكهروضوئي.

الموضوعات الرئيسة

٦–١ تكميم الطاقة.
٦–٢ نظرية الكم.
٦–٣ التأثير الكهروضوئي.
٦–٤ تطبيقات على التأثير الكهروضوئي.
٦–٥ تأثير كومبتون.

المصطلحات العلمية الجديدة

* عدد كمي	*Quantum number*
* الكمة	*Quanta*
* ثابت بلانك	*Plank's Constant*
* الفوتون	*Photon*
* إلكترونات ضوئية	*Photoelectrons*
* جهد الإيقاف	*Stopping Voltage*
* دالة الشغل	*Work Function*
* تردد العتبة	*Threshold Frequency*
* وصلة ثنائية ضوئية	*Photodiode*

عناوين الاستكشافات

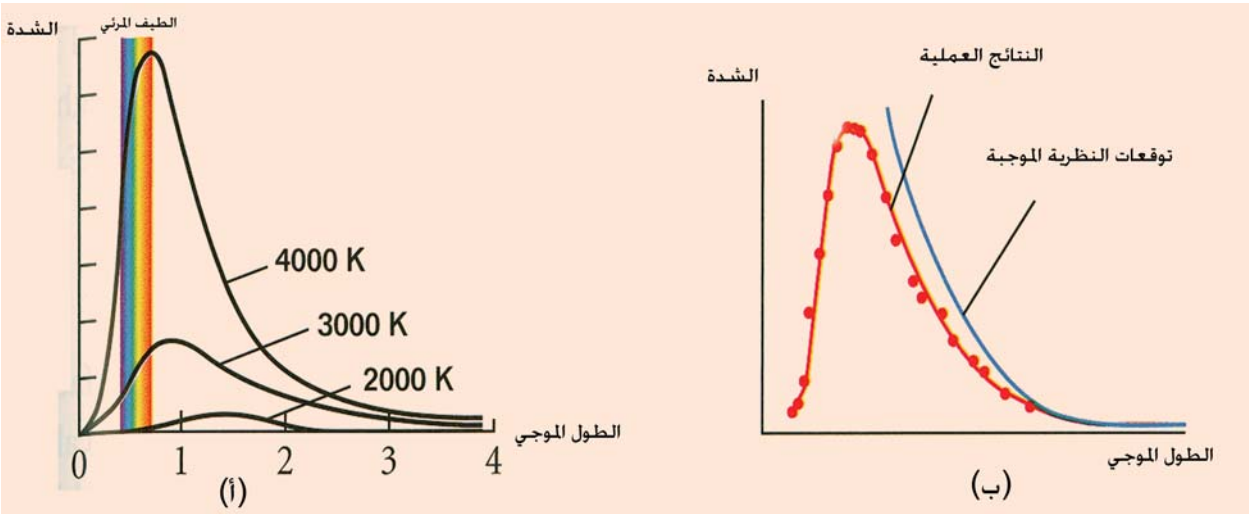
الاستكشاف (١): انطلاق الكرات

٦-١ تكميم الطاقة Quantization of Energy

درست في الفصل السابق أن الضوء عبارة عن موجات كهرومغناطيسية و أن جميع الأجسام المتذبذبة تشع موجات كهرومغناطيسية ، إلا أنه في القرن التاسع عشر ظهرت مشكلة طيف الموجات الكهرومغناطيسية الصادرة عن الجسم الساخن أو المتوهج و التي لم تستطع النظرية الموجية أن تفسره .

إشعاع الجسم الأسود Black Body Radiation

إذا شاهدت من خلال منشور الضوء القادم من مصباح متوهج، فإنك سترى جميع الألوان في قوس ألوان الطيف، كما أن المصباح المتوهج يشع أشعة تحت الحمراء أيضاً إلا إنك لا تستطيع أن تراها.جميع الأجسام الساخنة تشع موجات كهرومغناطيسية تختلف شدتها باختلاف الطول الموجي و الذي يعتمد على درجة حرارة الجسم الساخن، فعند درجات الحرارة العالية (أعلى من 2000 K) يشع الجسم الساخن موجات كهرومغناطيسية في منطقة الضوء المرئي و منطقة الأشعة تحت الحمراء، و إذا تم تسخين الجسم بدرجة كافية فإنه يشع موجات في منطقة الأشعة فوق البنفسجية. يُسمى الجسم الساخن الذي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه ولا يعكس منها شيئًا بالجسم الأسود، وتُسمى الإشعاعات الصادرة عنه بإشعاع الجسم الأسود.



الشكل (٦-١)

(أ) منحنى الإشعاع للجسم الأسود.

(ب) مقارنة بين النتائج العملية و توقعات النظرية الموجية لمنحنى الإشعاع للجسم الأسود.

يوضح الشكل (٦–١ أ) النتائج العملية للإشعاع الصادر عن جسم ساخن عند ثلاث درجات حرارة مختلفة، حيث يمثل المحور الصادي الشدة (متوسط معدل الطاقة المشعة لوحدة المساحات)، بينما يمثل المحور السيني الطول الموجي للإشعاع الصادر من الجسم الساخن. نلاحظ من الرسم البياني ما يلي :

– تمثل المنحنيات الطاقة المنبعثة لوحدة المساحات للجسم الأسود عند أطوال موجية مختلفة.

– عندكل درجة حرارة هناك قيمة معينة للطول الموجي (قيمة عظمى) تكون عندها الطاقة المنبعثة لوحدة المساحات أكبر ما يمكن.

– كلما زادت درجة حرارة الجسم فإن قمة المنحنى تنزاح تدريجيًّا باتجاه الطول الموجي الأقل (تردد أكبر)، و بالتالي ينتقل الإشعاع تدريجيًّا إلى منطقة الطيف المرئي.

– بزيادة درجة الحرارة تزداد المساحة تحت المنحنى، أي تزداد الطاقة الإجمالية لوحدة المساحات المنبعثة من الجسم الأسود.

من خلال الشكل (٦–١ ب) يمكن المقارنة بين النتائج العملية لإشعاع الجسم الأسود و النتائج النظرية المتوقعة حسب النظرية الموجية لماكسويل، فحسب نظرية ماكسويل فإن الموجات الكهرومغناطيسية تنبعث من الأجسام الساخنة نتيجة تذبذب ذرات المادة، و كلما زادت درجة حرارة الجسم الساخن يزداد تردد الذرات و بالتالي يزداد تردد الإشعاع الكهرومغناطيسي المنبعث .

إلاّ أن حسب توقعات النظرية الموجية ، كلما اقترب الطول الموجي من الصفر فإن الطاقة المنبعثة تصل إلى ما لا نهاية، و لكن ما تم ملاحظته من النتائج العملية أنه كلما اقترب الطول الموجي من الصفر فإن الطاقة المنبعثة تقترب أيضًا من الصفر، و بالتالي فإن النظرية الموجية لم تستطع إعطاء تفسير مقبول لسبب ظهور منحنى إشعاع الجسم الأسود بهذا الشكل (شكل ٦–١ أ)، و لم يستطع العلماء آنذاك تفسير ذلك حتى ظهرت بداية نظرية الكم مع العالم ماكس بلانك *Max Plank* عام ١٩٠٠م.

معلومة تهمك

إذا قمت بزيادة الجهد الكهربائي تدريجيًّا للمصباح المتصل بجهاز للتحكم في شدة التيار الكهربائي، فإنك في هذه الحالة تزيد من درجة حرارة الفتيل المتوهج. يتغير اللون من الأحمر الداكن مرورًا بالبرتقالي إلى الأصفر حتى يصل إلى اللون الأبيض، و لأن زيادة درجة الحرارة يؤدي إلى انبعاث إشعاعات ذات ترددات عالية فإن معظم الإشعاعات الصادرة تكون في نهاية اللون البنفسجي فيظهر لون المصباح أكثر بياضًا، و يعتمد مدى رؤيتك للألوان على نسبة الانبعاث عند الترددات المختلفة و على مدى حساسية عينك للألوان .

لمزيد من المعلومات عن إشعاع الجسم الأسود، قم بزيارة الموقع الآتي على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية :
http://www.egglescliffe.org.uk/physics/astronomy/blackbody/bbody.html

٦-٢ نظرية الكم Quantum Theory

تمكّن العالم الألماني ماكس بلانك *Max Plank* (١٨٥٨م–١٩٤٧م)من تفسير منحنى إشعاع الجسم الأسود عن طريق وضع افتراض معين، فقد افترض بلانك أن الذرات أو الجزيئات المتذبذبة في الجسم الساخن تتذبذب عند قيم معينة للطاقة، وأن هذه الطاقة لا تنبعث بشكل مستمر وإنما تكون على شكل رزم منفصلة وتأخذ قيمًا محددة ، وسمى بلانك هذه الرزم بالكمات *quanta*، كما أنه أشار إلى أن طاقة الكمة الواحدة تُحسب من المعادلة:

$$E = hf \qquad (٦-١)$$

حيث E : طاقة الكمة.

f: تردد الجسم المتذبذب.

h : ثابت بلانك *Plank's constant* و يساوي $6.63 \times 10^{-34}\ J.s$، و قد توصل إلى قيمة الثابت من خلال التجارب العملية.

كما افترض بلانك أن طاقة الكمة تأخذمضاعفات صحيحة من أقل طاقة للكمة أي أن:

$$E = nhf \qquad n= 1,2,3.....$$

و يُطلق على n بالعدد الكمي. ***Quantum number***

ولكن كيف استطاعت فرضية بلانك تفسير إشعاع الجسم الأسود؟

بما أن الطاقة عبارة عن رزم منفصلة و كل رزمة لها طاقة محددة حسب تردد الجسم المتذبذب، إذًا فرزمة منطقة الضوء الأحمر تملك طاقة أقل من رزمة منطقة الضوء فوق البنفسجي؛ لأن تردد الضوء الأحمر أقل من تردد الضوء فوق البنفسجي.

باستخدام هذا النموذج الكمي و بعض العمليات الإحصائية استطاع بلانك تفسير الشكل الناتج لمنحنى (شدة

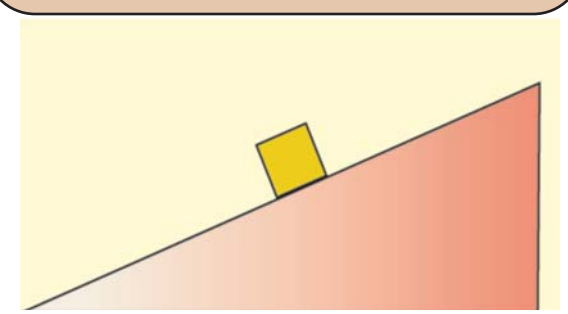
الموجات الكهرومغناطيسية – الطول الموجي) للجسم الأسود لكل مساحات طيف إشعاع الجسم الأسود عند أي قيمة لدرجة الحرارة.

يمكن توضيح فكرة تكميم الطاقة عن طريق المقارنة بين التغير في طاقة الوضع التثاقلية لجسم يتحرك على طريق منحدر، كما هو موضح في الشكل (٦–٢ أ) و بين التغير في طاقة الوضع التثاقلية لنفس الجسم و يتحرك إلى نفس الارتفاع و لكن على سلم، كما هو موضح في الشكل (٦–٢ ب).

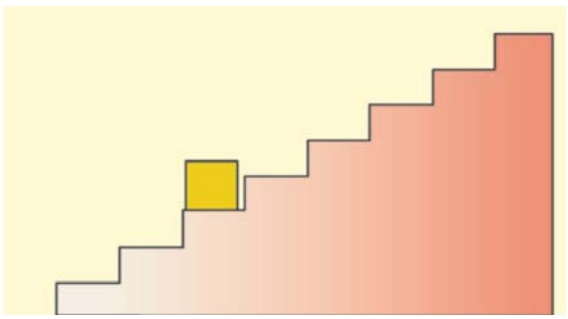
بناءً على النظرية الموجية فإن الجسم في الحالة (أ) يأخذ مدى مستمراً من طاقة الوضع التثاقلية في أثناء انتقاله من أسفل الطريق المنحدر إلى أعلى ارتفاع، أما في الحالة (ب) و حسب نظرية الكم فإن الجسم يأخذ قيمًا محددة من طاقة الوضع التثاقلية عند كل ارتفاع على السلم. و هذا ينطبق على الأجسام المتذبذبة الساخنة، فهي لا تشع طاقة بشكل مستمر، و إنما تشع كميات محددة للطاقة تعتمد على تردد الإشعاع الصادر من الجسم.

غالبًا ما تُستخدم وحدة إلكترون فولت ***(eV)*** لحساب طاقة الكمة،والعلاقة التي تربط بين وحدة الإلكترون فولت ***(eV)*** ووحدة الجول ***(J)*** كالتالي:

$$1\ eV = 1.60 \times 10^{-19}\ J$$



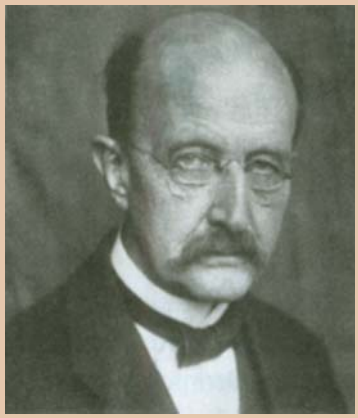
أ



ب

الشكل (٦–٢)

معلومة تهمك



عمل العالم ماكس بلانك في جامعة برلين و بدأ البحث في إشعاع الجسم الأسود عام ١٨٨٩م .و في عام ١٩١٨م نال جائزة نوبل، بسبب اكتشافه لتكميم الطاقة الصادرة من الموجات الكهرو مغناطيسية، وتحفيزًا لعمل بلانك، أصبح آينشتاين أول المؤيدين لنظرية الكم.

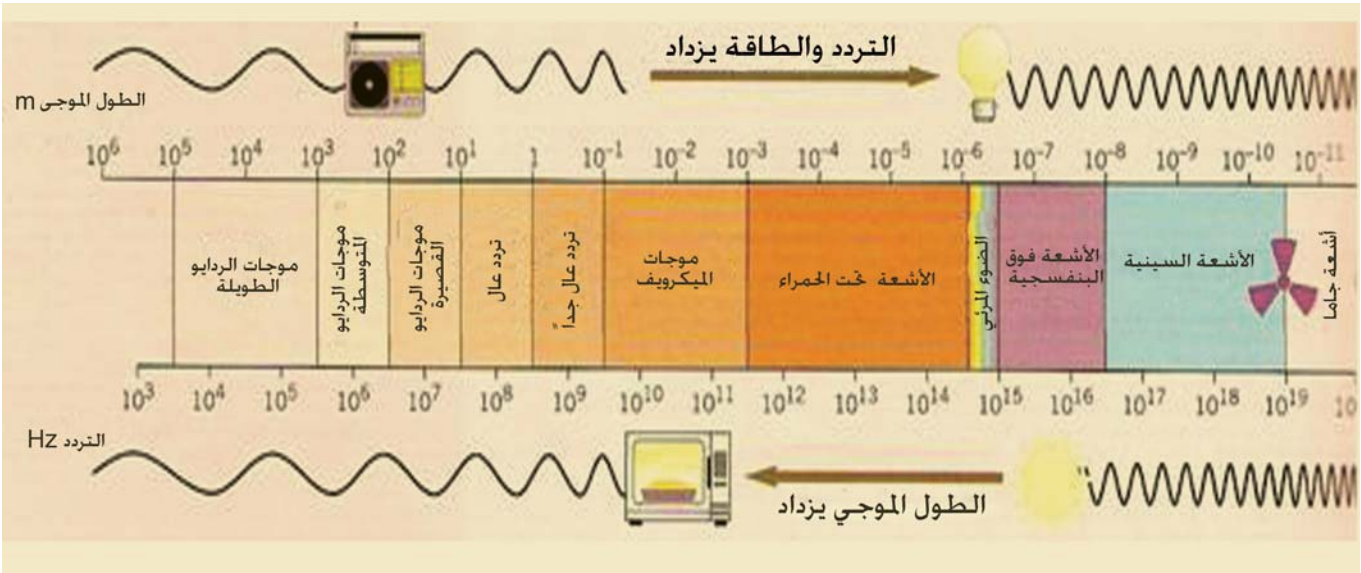
آينشتاين و تكميم الضوء Einstein and the quantization of light

توقف بلانك عند خطوة تكميم الطاقة، إلا أن ألبرت آينشتاين Albert Einstein (١٨٧٩م–١٩٥٥م) وسّع فكرة التكميم لتشمل الموجات الكهرومغناطيسية أيضًا و كان نقاشه يدور حول النقاط الآتية:

– يمكن للجسم المتذبذب أن يكتسب أو يفقد طاقة بمقادير قليلة، أي أن $\Delta E = h\Delta f$ حيث Δf هو التغير في التردد و ΔE هي الطاقة المكتسبة أو المفقودة.

– الطاقة التي يكتسبها الجسم المتذبذب أو يفقدها تكون على شكل موجات كهرومغناطيسية، لذا فإن الإشعاع الكهرومغناطيسي لابد أن يكون على شكل كمات، و كل كمة تمتلك طاقة مقدارها ΔE .

تُسمى هذه الكمات في وقتنا الحالي بالفوتونات photons حيث إن كل فوتون له تردده الخاص و تُحسب طاقته من المعادلة (٦–١)، وهذا يعني أن الإشعاعات الصادرة من الجسم الأسود ليست إشعاعات مستمرة وإنما



الشكل (٦–٣) : طيف الموجات الكهرومغناطيسية

هي عبارة عن مجموعة من الفوتونات (كمات منفصلة) و كل فوتون يملك طاقة خاصة به، و بالتالي يمكن تصنيف مناطق الطيف الكهرومغناطيسي حسب طاقة الفوتون كما هو موضح في الشكل (٦–٣).

و يمكن حساب طاقة الفوتون لكل طيف بمعرفة تردد الموجات الكهرومغناطيسية في تلك المنطقة. استخدم آينشتاين فكرته هذه في تفسير ظاهرة أخرى حيّرت الفيزيائيين و هي التأثير الكهروضوئي.

مثال (١):

احسب الطاقة بوحدة الجول و الإلكترون فولت لكلٍّ من:

أ) فوتون للضوء الأزرق بتردد مقداره $6.67\times10^{14}\ Hz$.

ب) فوتون للضوء الأحمر بطول موجي مقداره $635\ nm$.

ج) فوتون لأشعة سينية طولها الموجي $1\ A^o$.

الحل:

نطبق نظرية بلانك لحساب طاقة الفوتون.

أ)

$$E = hf$$
$$= (6.63\times10^{-34})(6.67\times10^{14})$$
$$= 4.42\times10^{-19}\ J$$
$$1eV = 1.6\times10^{-19}\ J$$
$$\therefore E = \frac{4.42\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 2.76\ eV$$

ب)

$$C = \lambda f$$

بالتعويض عن قيمة f من المعادلة السابقة و تعويضها في المعادلة (٦–١) نحصل على:

$$\therefore E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63\times10^{-34})(3\times10^{8})}{6.35\times10^{-7}}$$
$$E = 3.13\times10^{-19}\ J$$
$$\therefore E = \frac{3.13\times10^{-19}}{1.6\times10^{-19}} = 1.96\ eV$$

ج)

$$E = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63\times10^{-34})(3\times10^{8})}{1\times10^{-10}} = 1.989\times10^{-15}\ J$$

$$\therefore E = \frac{1.989\times10^{-15}}{1.6\times10^{-19}} = 1.2\times10^{4}\ eV$$

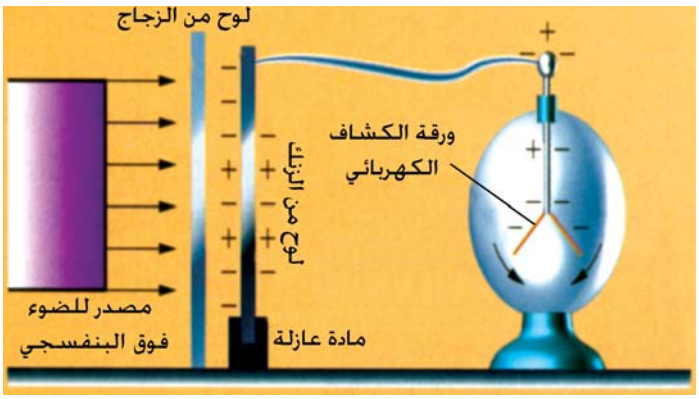
وهي طاقة هائلة جداً.

اختبر فهمك (١):

١- فوتون لضوء مرئي معين يحمل طاقة مقدارها $5\times10^{-19}\ J$. ما هو تردد هذا الضوء؟

٦-٣ التأثير الكهروضوئي Photoelectric Effect

اكتشف العالم هينرج هيرتز *Heinrich Hertz* (١٨٥٧م-١٨٩٤م) وفي أثناء إجرائه لبعض التجارب للتحقق من نظرية ماكسويل للموجات الكهرومغناطيسية عام ١٨٨٧م، أنه عند تسليط ضوء فوق البنفسجي على سطح معدن معين، فإنه يفقد إلكتروناته، حيث قام بتوصيل لوح مصقول من معدن الزنك بقرص الكشاف الكهربائي كما هو موضح في الشكل (٦-٤)، ثم سلط ضوء فوق البنفسجي على اللوح مما أدى إلى تحرير إلكترونات من سطح المعدن، و قد استدل هيرتز على ذلك عن طريق انفراج ورقتي الكشاف الكهربائي نتيجة تراكم الشحنات الموجبة

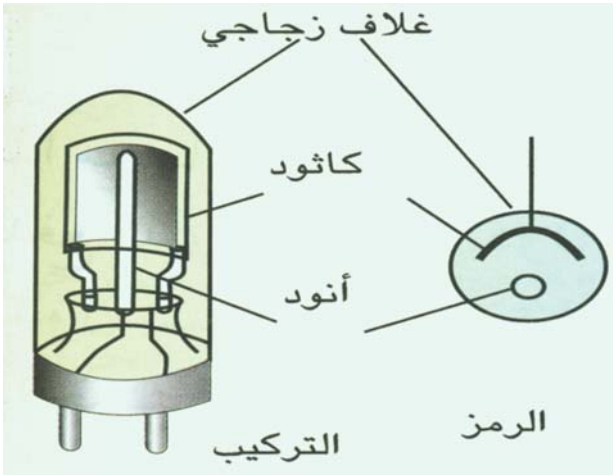


الشكل (٦-٤) : تجربة هيرتز

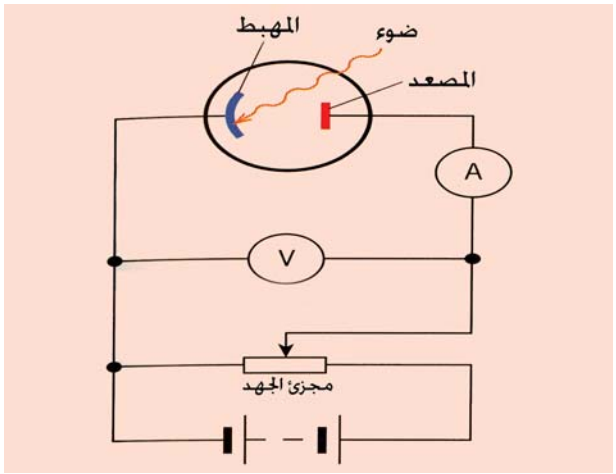
عليه.أطلق على هذه الظاهرة بالتأثير الكهروضوئي،وتُعرف بأنها: " انبعاث الإلكترونات من أسطح الفلزات عند تعرضها لموجات كهرومغناطيسية مناسبة" وسُمِّيت الإلكترونات المتحررة بالإلكترونات الضوئية *photoelectrons* .

وفي وقتنا الحالي يمكن توضيح التأثير الكهروضوئي باستخدام الضوء المرئي وخلية كهروضوئية *photoelectric cell* .

تتكون الخلية الكهروضوئية، كما هو موضح في الشكل (٦–٥) من أنبوبة من الزجاج أو الكوارتز مفرغة من الهواء يوجد بداخلها صفيحة معدنية على شكل نصف أسطوانة مغطاة بطبقة من السيزيوم (أو أحد العناصر الأخرى). توصل هذه الصفيحة في الدائرة الكهربائية بالطرف السالب للبطارية و يسمى بالمهبط *cathode*، و يتمركز في محور الأسطوانة سلك معدني أو شبكة أسطوانية معدنية توصل بالطرف الموجب للبطارية ويُسمى بالمصعد *anode* ،وكل المكونات مثبتة على قاعدة عازلة. ويوضح الشكل (٦– ٦) الدائرة الكهربائية المستخدمة لدراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي، حيث يتم في المرحلة الأولى من التجربة تسليط ضوء بتردد مناسب وبشدة معينة على سطح المهبط المعدني، مما يؤدي إلى انبعاث إلكترونات ضوئية من سطح المهبط.



الشكل (٦–٥)

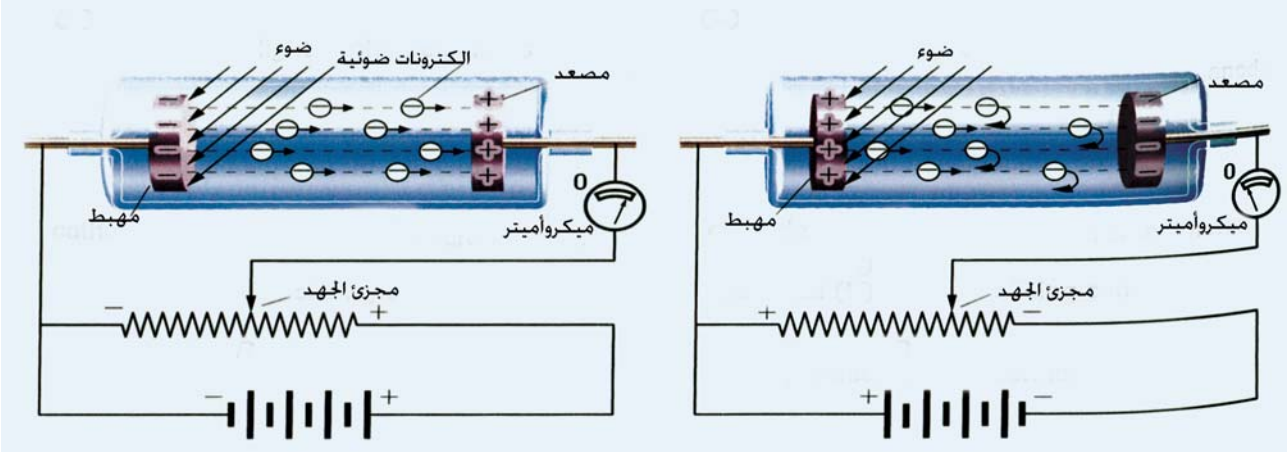


الشكل (٦– ٦) : الدائرة الكهربائية لتجربة التأثير الكهروضوئي

تتجه هذه الإلكترونات الضوئية في الأنبوبة المفرغة من الهواء إلى المصعد نتيجة وجود فرق في الجهد الكهربائي بين المصعد و المهبط، الأمر الذي يؤدي إلى مرور تيار كهربائي يمكن قياسه باستخدام جهاز الميكروأميتر، كما هو موضح في الشكل (٦–أ٧).

في المرحلة الثانية من التجربة، يتم تقليل الجهد الكهربائي للمصعد باستخدام مجزئ الجهد حتى يصبح سالبًا بالنسبة للمهبط، أو عن طريق عكس قطبي البطارية، عندها تتنافر الإلكترونات الضوئية البطيئة مع المصعد ولاتصل إليه إلا الإلكترونات الضوئية السريعة، و بالتالي يمر تيار كهربائي في الدائرة و لكن أقل.

إذا زاد الجهد الكهربائي العكسي تدريجيًّا للمصعد، فإن الإلكترونات الضوئية السريعة تتنافر مع المصعد و لا تستطيع أن تصل إليه، و بالتالي يصبح التيار الكهربائي مساويًّا للصفر (الشكل (٦–٧ ب).



(أ) (ب)

الشكل (٦–٧)

يُسمَّى الجهد الكهربائي الذي يمنع وصول الإلكترونات الضوئية السريعة إلى المصعد بجهد الإيقاف ***stopping voltage (Vo)***، ويُعرف على أنه " أقل جهد يلزم لإيقاف الإلكترونات ذات أقصى طاقة حركة من الوصول إلى المصعد " ويمكن عن طريقه حساب طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية، وذلك بتطبيق قانون حفظ الطاقة(الفقد في طاقة الحركة = الزيادة في طاقة الوضع الكهربائية) أي أن:

$$KE_{max} = e\ V_o \qquad (٦-٢)$$

حيث : KE_{max} طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية

e : شحنة الإلكترون

الربط بعلم الفلك

يمكن للأقمار الصناعية و المركبات الفضائية أن تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية، حيث يسبب كل من الفراغ الموجود في الفضاء الخارجي و الأشعة فوق البنفسجية إلى شحن المركبات الفضائية بالشحنة الموجبة و يتم تفريغ هذه الشحنة الموجبة عندما تهبط المركبة الفضائية.

والآن دعنا نقارن بين النظرية الموجية ونظرية الفوتون لآينشتاين في تفسير التأثير الكهروضوئي.

أولاً: النظرية الموجية:

تتوقع هذه النظرية ما يلي:

١– إذا زادت شدة الضوء الساقط، فإن عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة من سطح المعدن وطاقة الحركة العظمى لها لابد أن تزداد،وهذه الزيادة في شدة الضوء يؤدي إلى زيادة في شدة المجال الكهربائي، و بالتالي زيادة في سرعة الإلكترونات المنبعثة.

٢– لا يؤثر تردد الضوء الساقط على طاقة الحركة للإلكترون الضوئي، و إنما شدة الضوء هو العامل الوحيد الذي يؤثر على طاقة الحركة للإلكترونات الضوئية المنبعثة، إلا أن ما تم ملاحظته من خلال التجربة العملية أن شدة الضوء يؤثر فقط على عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة، و يُستدل على ذلك من خلال الزيادة في شدة التيار الكهربائي المار في الدائرة.

٣– تتوزع طاقة الضوء بانتظام على سطح المعدن، وإذا كانت شدة الضوء الساقط ضعيفة فسيكون هناك تأخير في انبعاث الإلكترونات الضوئية؛ نظراً لأنها ستحتاج إلى بعض الوقت لتكتسب طاقة كافية حتى تتحرر من سطح المعدن، ولكن لوحظ من خلال التجربة أنه بمجرد سقوط ضوء مناسب على سطح الفلز يحدث انبعاث كهروضوئي مباشرة.

ثانيًا: نظرية الفوتون لآينشتاين:

حسب هذه النظرية فإن:

١– في الضوء الأحادي اللون (أحادي الطول الموجي) جميع الفوتونات تمتلك نفس الطاقة (hf)، و بالتالي فإن الزيادة في شدة الضوء تؤدي إلى زيادة في عدد الفوتونات إلا أن طاقة الفوتونات لا تتغير طالما أن التردد ثابت، و بناءً على نظرية آينشتاين فإن كل فوتون يصطدم بإلكترون واحد و يعطيه طاقته، بمعنى آخر كل طاقة الفوتون تنتقل إلى الإلكترون، ونظراً لأن الإلكترون مرتبط مع النواة بقوة تجاذب فهو يحتاج إلى طاقة تمكّنه من التحرر من سطح المعدن، تُسمى هذه الطاقة بدالة الشغل *work function* (W_o) وهي تختلف من مادة لأخرى كما هو

موضح في الجدول (٦–١)، و تُعرف على أنها:" أقل طاقة لفوتون تسمح بانبعاث إلكترون ضوئي من سطح فلزما ".

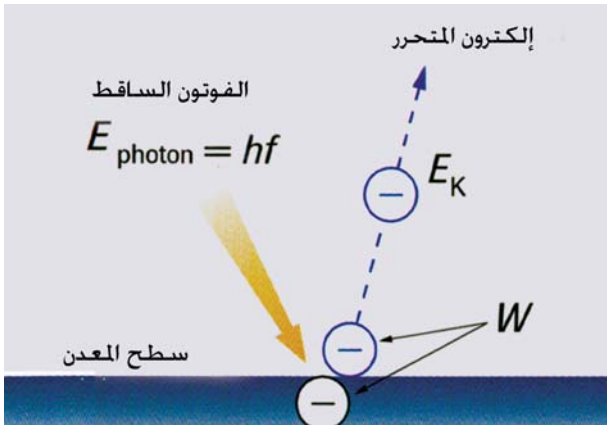
نوع المادة	دالة التشغيل W_o/eV
الصوديوم	2.28
الألومنيوم	4.08
النحاس	4.7
الزنك	4.31
الفضة	4.73
بلاتينيوم	6.35
الرصاص	4.14
الحديد	4.5
البوتاسيوم	1.81

الجدول (٦–١) : دالة الشغل لمعادن مختلفة

٢– إذا كان تردد الضوء الساقط قليل بحيث $hf < W_o$ فإن طاقة الفوتون $(E = hf)$ لن تكون كافية لتحرير الإلكترون من سطح المعدن، أما إذا كان $hf > W_o$ فإن جزءاً من طاقة الفوتون يُستنفد لتحرير الإلكترون الضوئي من سطح الفلز (W_o) و الجزء الباقي يظهر على شكل طاقة حركة عظمى يكتسبها الإلكترون الضوئي عند خروجه من سطح المعدن (KE_{max})، كما هو موضح في الشكل (٦–٨).

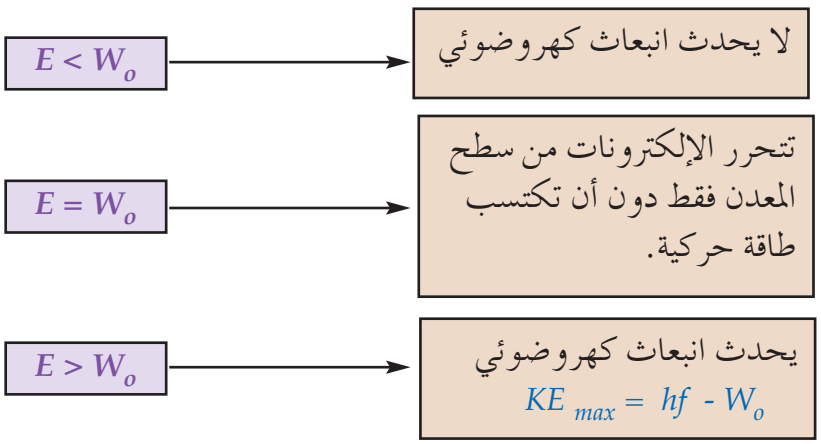
أي أن :

$$hf = KE_{max} + W_o \qquad (٦–٣)$$



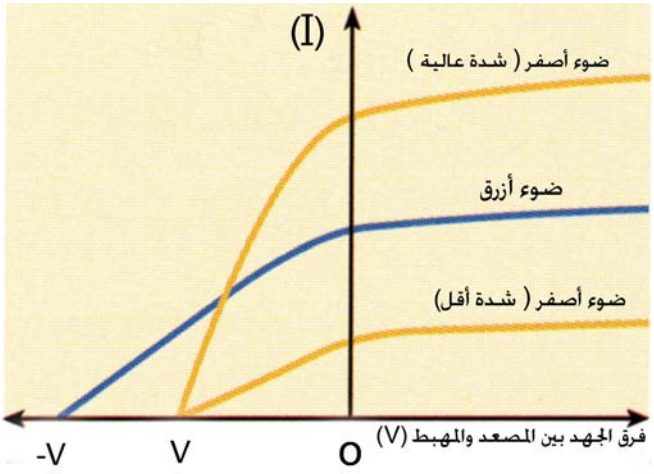
الشكل (٦–٨)

يوضح الشكل (٦–٩) العلاقة بين طاقة الفوتون و دالة الشغل.



الشكل (٦–٩)

يتضح من الشكل (٦–١٠) أن شدة التيار المار في الدائرة تقل كلما قلت شدة الإضاءة لنفس الضوء، إلا أن جهد الإيقاف (V_o) يبقى ثابتًا لنفس معدن المهبط طالما أن التردد لم يتغير، حيث يعتمد جهد الإيقاف على تردد الضوء الساقط على سطح الفلز كما هو واضح من المعادلتين (٦–٢) و (٦–٣)، فكلما زاد تردد الضوء الساقط زاد جهد الإيقاف.



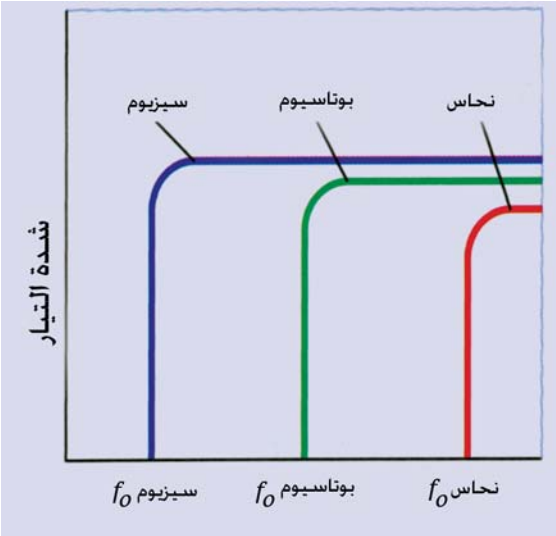
الشكل (٦–١٠) : العلاقة بين شدة التيار و فرق الجهد بين المصعد و المهبط في الخلية الكهروضوئية

و يمكن تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي حسب نظرية آينشتاين في النقاط التالية:

١– بزيادة شدة الضوء الساقط تزداد عدد الفوتونات، وبالتالي تزداد عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة، و بما أن طاقة الفوتون ثابتة ، إذًا طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة لا تتأثر بزيادة شدة الضوء.

٢– إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد معين يُطلق عليه تردد العتبة *threshold frequency* (f_o) حيث $W_o = hf_o$ لن يكون هناك انبعاث كهروضوئي مهما زادت شدة الضوء ويختلف تردد العتبة من معدن لآخر كما هو موضح في الشكل (٦–١١).

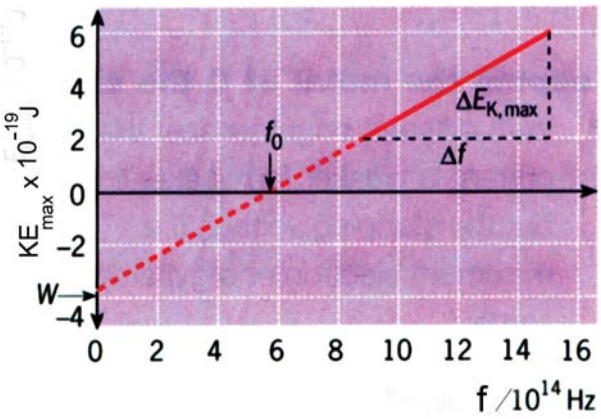
٣– إذا زاد تردد الضوء الساقط، تزداد طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة نظراً للتناسب الطردي بينهما، و الذي يتضح من المعادلة (٦–٣) و من الشكل (٦–١٢).وتمثل نقطة التقاطع مع محور السينات الموجب تردد العتبة f_o ، بحيث إذا كان تردد الضوء الساقط يساوي تردد العتبة فإن الإلكترونات الضوئية لن تكتسب طاقة حركية و بالتالي ستكون مساوية للصفر.



الشكل (٦–١١) : العلاقة بين شدة التيار و التردد في تجربة التأثير الكهروضوئي

٤– إذا تم تسليط ضوء بتردد مناسب على معدن ما، فإنه سيحدث انبعاث كهروضوئي مباشرة دون تأخير و هذا ما أثبتته التجارب أيضاً.

تختلف هذه التفسيرات عن النظرية الموجية للضوء في تفسيرها لظاهرة التأثير الكهروضوئي، و في العامين ١٩١٣م و١٩١٤م تم إجراء تجارب عملية دقيقة من قبل العالم ميليكان *Millikan* ،وكانت النتائج مطابقة لنظرية الفوتون لآينشتاين.



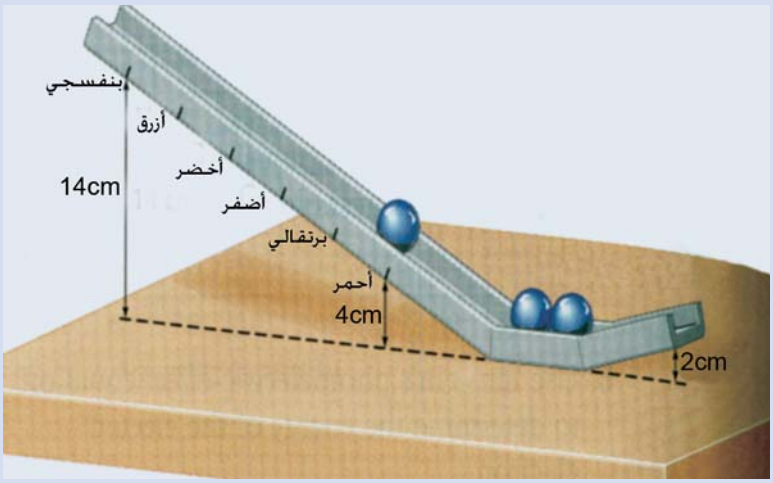
الشكل (٦–١٢) : العلاقة بين طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية و التردد

الاستكشاف (١): انطلاق الكرات

سؤال علمي: ما سبب انبعاث إلكترونات من سطح معدن عند سقوط ضوء عليه ؟

المواد و الأدوات: مسار مقوس كما هو موضح في الشكل (٦-١٣)،كرات حديدية عدد (٣) أو كرات زجاجية، ورق لاصق بالألوان التالية: الأحمر، البرتقالي، الأصفر، الأخضر، الأزرق، البنفسجي.

الإجراءات:



الشكل (٦-١٣)

١- ضع المسار المقوس على سطح طاولة، كما هو موضح في الشكل (٦-١٣)، وفي حالة إذا كان المسار غير مقسّم ، استخدم الورق اللاصق ذي اللون الأحمر وضع إشارة عند نقطة على المسار ترتفع مسافة 4 cm من على قاعدة المسار.

٣- استخدم ورقًا لاصقًا ذا اللون البنفسجي و ضع إشارة عند نقطة على المسار ترتفع مسافة 14 cm من على قاعدة المسار ، ثم ضع إشارات للألوان المختلفة على المسار مابين اللونين الأحمر والبنفسجي بشكل منتظم بحيث يفصل بينهما مسافة 2cm من قاعدة المسار ، كما هو موضح في الشكل (٦-١٣).

٤- ضع كرتين من الحديد أو من الزجاج على الجزء السفلي من المسار، كما هو موضح في الشكل (٦-١٣)،بحيث تمثل هذه الكرات إلكترونات المدار الأخير للذرة .

٤- امسك بكرة أخرى حديدية أو زجاجية عند الموضع المشار إليه باللون الأحمر على المسار. تمثل هذه الكرة فوتون الضوء الأحمر الذي يملك أقل طاقة مقارنة بالألوان المشار إليها على المسار.

٥- اترك الكرة تسقط ولاحظ ماذا يحدث للكرتين في أسفل المسار.

٦- كرر الخطوات (٤-٦) لكل لون مشار إليه على المسار.

التحليل و التفسير:

١- عند أي لون استطاعت الكرة المنزلقة من إخراج الكرات من أسفل المسار؟

٢- هل هناك ارتفاع معين استطاعت عنده الكرة المنزلقة من إخراج الكرتين معًا من المسار؟

٣- فسّر ما لاحظته في ضوء نظرية الفوتون لآنيشتاين .

مثال (٢):

سقط ضوء بتردد $1\times10^{15}\ Hz$ على سطح معدن الصوديوم، فوجد أن الإلكترونات الضوئية المنبعثة تمتلك طاقة حركة عظمى مقدارها $1.78\ eV$. احسب تردد العتبة لهذا المعدن.

الحل:

لابد من حساب طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة من المعادلة

$$KE_{max} = e\ V_o$$

$$KE_{max} = (1.78)(1.6\times10^{-19}) = 2.85\times10^{-19}\ J$$

ترتبط طاقة الحركة العظمى بتردد العتبة من خلال المعادلة:

$$KE_{max} = hf - hf_o$$

$$\therefore f_o = \frac{hf - KE_{max}}{h}$$

$$= \frac{(6.63\times10^{-34})(1\times10^{15}) - (2.85\times10^{-19})}{6.63\times10^{-34}}$$

$$f_o = 5.7\times10^{14}\ Hz$$

الربط بعلم الأحياء

في عملية التمثيل الضوئي تحتاج صبغة الكلوروفيل إلى تسعة فوتونات من ضوء الشمس لتحويل جزئ واحد من غاز ثاني أكسيد الكربون CO_2 إلى كربوهيدرات نافعة و غاز الأكسجين O_2، كما أنها تمتص بشكل فعّال فوتونات الضوء المرئي التي يتراوح طولها الموجي من $650\ nm$ إلى $700\ nm$.

مثال (٣):

سقط ضوء بطول موجي يساوي $410\ nm$، ثم سقط ضوء آخر بطول موجي $550\ nm$.

احسب:

أ) طاقة الحركة العظمى و السرعة القصوى للإلكترونات الضوئية المنبعثة.

ب) جهد الإيقاف V_o .

علمًا بأن دالة الشغل للمعدن تساوي $2.28\ eV$.

الحل:

أ) عندما تكون $\lambda = 410\ nm$

نحسب طاقة الفوتون من المعادلة:

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63\times10^{-34})(3\times10^{8})}{410\times10^{-9}} = 4.85\times10^{-19}\ J = 3.03\ eV$$

ترتبط طاقة الفوتون بطاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية من المعادلة:

$$KE_{max} = hf - W_o$$

$$= 3.03 - 2.28 = 0.75\ eV$$

$$KE_{max} = (0.75)\times(1.6\times10^{-19}) = 1.2\times10^{-19}\ J$$

$$KE_{max} = \frac{1}{2}mv^2$$

$$\therefore v_{max} = \sqrt{\frac{2KE_{max}}{m}} = \sqrt{\frac{2(1.2\times10^{-19})}{9.1\times10^{-31}}} = 5.1\times10^{5}\ m/s$$

عندما تكون $\lambda = 550\ nm$

$$hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.63\times10^{-34})(3\times10^{8})}{550\times10^{-9}} = 3.61\times10^{-19}\ J = 2.26\ eV$$

بما أن طاقة الفوتون الساقط أقل من دالة الشغل، إذًا لا يحدث انبعاث كهروضوئي.

ب)

$$KE_{max} = eV_o$$

$$\therefore V_o = \frac{KE_{max}}{e} = \frac{1.2 \times 10^{-19}}{1.6 \times 10^{-19}} = 0.75\ V$$

اختبر فهمك (٢):

١- باستخدام الشكل (٦-١١) و الجدول (٦-١):

أ) حدد نوع المعدن المستخدم في التجربة.

ب) احسب ثابت بلانك.

٢- مستعينًا بالمعادلتين (٦-٢) و (٦-٤) أثبت أن $V_o = (\frac{h}{e})f - \frac{W_o}{e}$

٣- كلما زادت درجة حرارة الجسم المتوهج يتغير اللون الصادر منه من الأحمر إلى البرتقالي إلى الأصفر و أخيرًا إلى اللون الأبيض. فسَّر ذلك في ضوء نظرية الكم.

٦-٤ تطبيقات عملية لظاهرة للتأثير الكهروضوئي Applications for photoelectric effect

كثير من الأجهزة العملية في حياتنا اليومية تعتمد على التأثير الكهروضوئي، و تعتبر الوصلة الثنائية الضوئية *photodiode* إحدى مكونات هذه الأجهزة التي تتأثر بالظاهرة الكهروضوئية، حيث إن امتصاص الفوتونات يؤدي إلى انبعاث الكترونات، و بالتالي تتغير قدرة الوصلة الثنائية الضوئية على التوصيل.

من هذه الأجهزة منبه لإنذار السرقة و بوابات المرآب و البوابات الإلكترونية . عندما يتم اعتراض الضوء المسلط على الوصلة الثنائية الضوئية، فإن النقص المفاجئ في قيمة التيار يؤدي إلى حث المفتاح الكهربائي لكي يعمل؛ مما ينتج عنه إطلاق صوت الإنذار في منبه لإنذار السرقة و يؤدي إلى فتح البوابات الإلكترونية. وتستخدم أحيانًا الأشعة تحت الحمراء، وذلك لأنها غير مرئية للعين المجردة،كذلك فإن بعض أجهزة التحكم عن بُعد لجهازي التلفاز والفيديو تعمل بنفس الطريقة.

بالإضافة إلى الأجهزة السابقة، فإن جهاز كاشف الدخان يعتمد أيضًا على الظاهرة الكهروضوئية، حيث تعمل دقائق الدخان على اعتراض الضوء و بالتالي تقل شدة التيار الكهربائي و ينتج عنه إطلاق صوت الإنذار.و تعمل الخلايا الضوئية في الكاميرا على قياس مستوى الضوء و بالتالي التحكم في اتساع فتحة الكاميرا.كما تُستخدم الخلايا الضوئية في مصابيح الإنارة في الطرق.

لمزيد من المعلومات عن التأثير الكهروضوئي، قم بزيارة المواقع الآتية على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية:

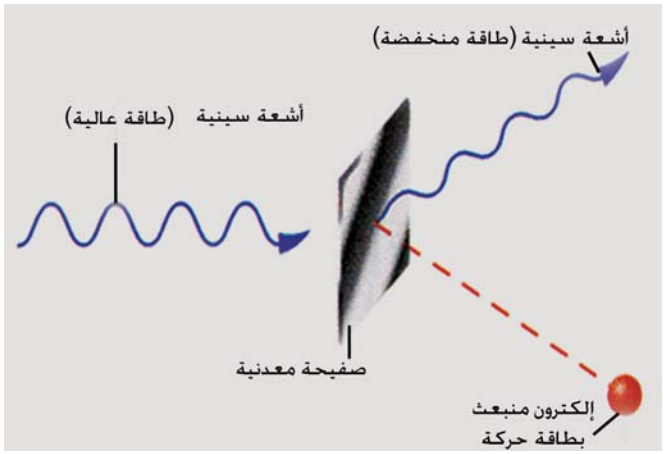
http://www.hazemsakeek.com/physics_leacture/modernphysics/modernphysics_leacture_3.htm

http://en.wikipedia.org/wiki/photoelectric_effect.

٦-٥ تأثير كومبتون Compton Effect

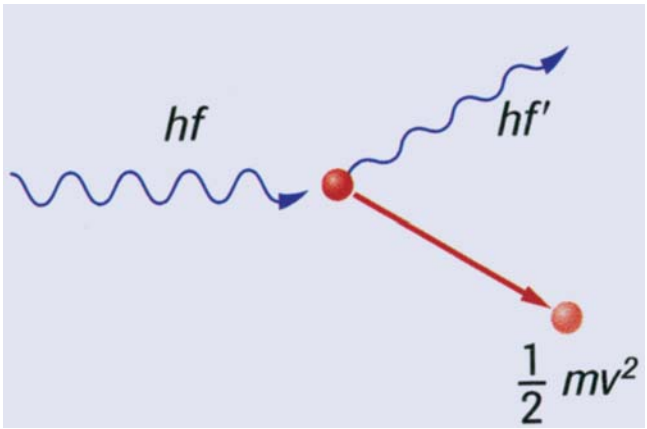
في عام ١٩٢٣م قام العالم الأمريكي كومبتون *A.H Compton* (١٨٩٢م-١٩٦٢م) بتسليط فوتونات للأشعة السينية ذات طاقة عالية على صفيحة رقيقة من المعدن، و كما هو متوقع حسب التأثير الكهروضوئي فقد لاحظ كومبتون انبعاث إلكترونات من سطح المعدن، إلا أنه اكتشف أيضًا انبعاث فوتونات للأشعة السينية ذات طاقة أقل وبالتالي ذات تردد أقل من فوتونات الأشعة السينية الساقطة على صفيحة المعدن في البداية.

بالإضافة إلى ذلك، فقد لاحظ كومبتون أن الإلكترونات انبعثت بزاوية مع فوتونات الأشعة السينية ذات الطاقة الأقل.سمِّيت ظاهرة انبعاث فوتونات للأشعة السينية ذات طاقة أقل عن طريق قذف صفيحة من المعدن بفوتونات الأشعة السينية ذات طاقة عالية بـــ " تأثير كومبتون" ،كما هو موضح في الشكل (٦-١٤).



الشكل (٦-١٤) : تأثير كومبتون

لم يستطع كومبتون تفسير ما لاحظه باستخدام النظرية الموجية التي تفترض أن الطول الموجي للموجات المنبعثة أو المبعثرة بزاوية ما يساوي الطول الموجي للموجات الساقطة، و بالتالي لايمكن للموجات الساقطة أن تفقد مقداراً من الطاقة باعتبار أنه ليس لها كتلة. لذا افترض كومبتون أن الفوتونات يمكن أن تسلك سلوك الجسيمات و تدخل في تصادمات مرنة مع الإلكترونات، حيث إن الفوتونات الساقطة على معدن معين تصطدم مع الإلكترونات التي تكون في حالة سكون قبل التصادم، وينتقل جزء من طاقة الفوتون الساقط و كمية تحركه إلى الإلكترون الذي ينبعث بزاوية، أما الجزء المتبقي من طاقة الفوتون الساقط فينتقل إلى الفوتون المنبعث الذي سيمتلك بالتالي طاقة أقل من الفوتون الساقط.



الشكل (٦-١٥)

وبناءً على هذا الافتراض يمكن تطبيق قانون حفظ الطاقة على التصادم المرن كالآتي كما يوضحه الشكل (٦–١٥):

$$E_{x\text{-}ray_i} = E_{x\text{-}ray_f} + E_{electron}$$

$$hf_i = hf_f + \frac{1}{2}mv^2$$

حيث:

$E_{x\text{-}ray_i}$ الطاقة الابتدائية لفوتون الأشعة السينية الساقط (قبل التصادم).

$E_{x\text{-}ray_f}$ الطاقة النهائية لفوتون الأشعة السينية المنبعث (بعد التصادم).

f_i تردد الفوتون الساقط للأشعة السينية.

f_f تردد الفوتون المنبعث للأشعة السينية بعد التصادم.

$\frac{1}{2}mv^2$ طاقة حركة الإلكترون المنبعث بعد التصادم .

بالإضافة إلى الطاقة فإن كمية التحرك $\vec{p}$ أيضًا محفوظة في التصادم المرن، أي أن:

$$\vec{P}_{x\text{-}ray_i} = \vec{P}_{x\text{-}ray_f} + \vec{P}_{electron}$$

ولكن حتى يتحقق قانون حفظ كمية التحرك لابد أن يكون للفوتون كتلة، فكيف يمكن للفوتون الذي يحمل طاقة أن تكون له كتلة؟استخدم كومبتون نظرية آينشتاين لتكافؤ الكتلة و الطاقة (ستدرس هذه النظرية في الوحدة الرابعة)، وطبق معادلة آينشتاين و هي:

$$E = mc^2$$

$$\therefore m = \frac{E}{c^2} \qquad (1)$$

حيث C^2 هي سرعة الضوء.

كمية التحرك تُعطى بالعلاقة

$$\vec{P} = m\vec{v} \qquad (2)$$

بالتعويض عن قيمة m من المعادلة (1) في المعادلة (2)

$$\vec{P} = \left(\frac{E}{c^2}\right)\vec{v}$$

بالتعويض عن قيمة الطاقة من نظرية بلانك نحصل على

$$\vec{P} = \left(\frac{hf}{c^2}\right)\vec{v}$$

$$\vec{P} = \left(\frac{hc}{\lambda c^2}\right)\vec{v} \qquad (3)$$

يمكن التعويض عن v بسرعة الضوء (c) ؛ لأن الفوتونات عبارة عن أمواج كهرومغناطيسية تتحرك بسرعة الضوء.
إذًا قيمة كمية التحرك للفوتون من المعادلة (3) تساوي :

$$\vec{P} = \frac{h}{\lambda} \qquad (٤-٦)$$

حيث: h ثابت بلانك .

λ الطول الموجي المرافق للفوتون .

أثبتت تجارب كومبتون صحة نظرية آينشتاين في تفسير التأثير الكهروضوئي، بالإضافة أنه وضح أن الفوتون يدخل في تصادمات مع الجسيمات و يتبادل الطاقة مع تلك الجسيمات بناءً على قانون حفظ الطاقة، و بهذا فهو دعّم فكرة أن للضوء طبيعة موجية و جسيمية، فهو يمتلك طاقة بالإضافة إلى أنه يمتلك كمية تحرك، و قد حصل كومبتون على جائزة نوبل لاكتشافه عام ١٩٢٧م.

معلومة تهمك

في تأثير كومبتون طاقة فوتونات الأشعة السينية الساقطة عالية جدًا و تبلغ $5 \times 10^4\ eV$ مقارنة بدالة الشغل للمعدن المستخدم التي هي أقل من $10\ eV$ ، لذا فإن دالة الشغل لا تؤخذ بعين الاعتبار عند تطبيق قانون حفظ الطاقة في التصادم المرن بين الفوتونات الساقطة و الإلكترونات .

مثال (٤):

فوتون للأشعة السينية طاقته تساوي $25\ eV$ اصطدم مع إلكترون على سطح معدن ما.
احسب قيمة كمية التحرك للفوتون الساقط.

الحل:

قيمة كمية التحرك للفوتون تساوي

$$P = \frac{h}{\lambda}$$

بالتعويض عن قيمة λ من معادلة بلانك:

$$\lambda = \frac{hc}{E}$$

$$\therefore p = \frac{hE}{hc} = \frac{E}{c}$$

$$p = \frac{(25) \times (1.6 \times 10^{-19})}{3 \times 10^{8}}$$

$$p = 1.3 \times 10^{-26}\ N.s$$

تفاعلات الفوتونات مع المادة Interactions of Photons with Matter

من دراستنا للتأثير الكهروضوئي و لتأثير كومبتون، نلاحظ أنه عند سقوط الفوتونات على سطح معدن من الممكن حدوث أحد الاحتمالات التالية:

١- يمكن للفوتون أن يحرر إلكترون ويكسبه طاقة حركة كما في التأثير الكهروضوئي، حيث يتم امتصاص الفوتون في هذه الحالة.

٢- يحرر الفوتون إلكترونًا من سطح المعدن كما في تأثير كومبتون، إلاّ أن الفوتون يستمر في الحركة بعد التصادم بسرعة الضوء و لكن بطاقة أقل و بكمية تحرك أقل و بالتالي يكون تردده أقل.

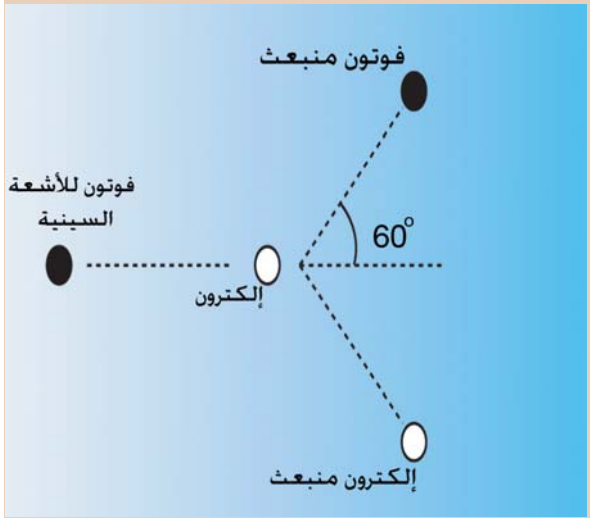
٣- يمكن للفوتون أن يتفاعل مع كل ذرة من ذرات المادة على حدة ، بحيث يمكن أن يختفي الفوتون تمامًا، وستدرس هذا النوع من التفاعل في الفصل السابع.

اختبر فهمك (٣):

١- أي الكميات الآتية تزداد للفوتونات المنبعثة بعد عملية التصادم مع الإلكترونات؟ :

أ) التردد ب) الطول الموجي ج) الطاقة

٢- فوتون للأشعة السينية يحمل طاقة مقدارها 85 eV اصطدم مع إلكترون على سطح معدن ما. فانبعثت فوتونات بزاوية 60^o مع خط التصادم بطول موجي مقداره. 214 nm احسب:



أ) كمية التحرك للفوتون الساقط.

ب) كمية التحرك للفوتون المنبعث بعد التصادم.

ج) طاقة حركة الإلكترون.

د) سرعة الإلكترون.

أسئلة الفصل

السؤال الأول: اختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة:

١- أي من الملاحظات العملية الآتية لظاهرة التأثير الكهروضوئي تؤدي إلى فكرة تكميم الطاقة ؟

أ) كلما زادت شدة الإضاءة تزداد عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة.

ب) تنبعث الإلكترونات من سطح الفلز عندما يُسلط عليه ضوء مناسب.

ج) عندما تحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي، فإن الفلز يصبح موجب الشحنة.

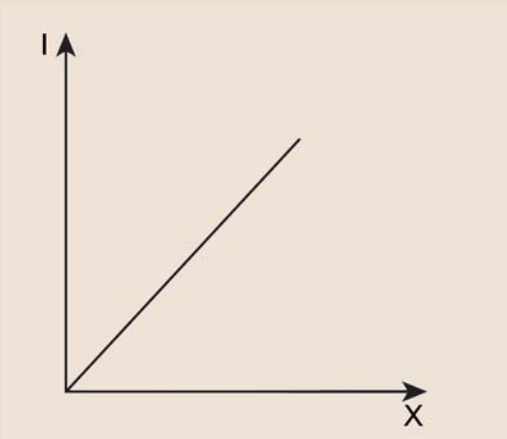
د) تعتمد طاقة حركة الإلكترونات الضوئية على تردد الضوء الساقط و ليس على شدته.

٢- يوضح الشكل (٦-١٦) العلاقة بين شدة التيار و أحد المتغيرات وليكن (x) في خلية كهروضوئية.

المتغير (x) هو:

أ) شدة الإضاءة　　ب) فرق الجهد (V)

ج) تردد (f)　　د) دالة الشغل (W_o)



الشكل (٦-١٦)

٣) يمكن زيادة طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة من سطح فلزفي ظاهرة التأثير الكهروضوئي عن طريق استخدام:

أ) ضوء بشدة قليلة.　　ب) معدن ذي دالة شغل أقل.

ج) ضوء بشدة أكبر.　　د) معدن ذي دالة شغل أكبر.

٤- إذا كانت دالة الشغل لمعدن ما تساوي $2.4\ eV$ ، فإن هذا يعني أن:

أ) طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المتحررة من سطح المعدن تساوي $2.4\ eV$.

ب) أقل طاقة تحتاجها الإلكترونات الضوئية لكي تتحرر من سطح المعدن تساوي $2.4\ eV$.

ج) أقل فرق في الجهد الكهربائي لمنع الإلكترونات الضوئية من التحرر من سطح المعدن يساوي $2.4\ eV$.

د) أقل فرق في الجهد الكهربائي تحتاجها الإلكترونات الضوئية لكي تكتسب طاقة حركة يساوي $2.4\ eV$.

٥- أي العبارات الآتية صحيحة عن ظاهرة التأثير الكهروضوئي؟

أ) لا يحدث انبعاث كهروضوئي إذا كانت شدة الإضاءة ضعيفة.

ب) عدد الإلكترونات الضوئية المنبعثة لا تعتمد على شدة إضاءة الضوء الساقط.

ج) تقل طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة بزيادة تردد الضوء الساقط.

د) كلما كان الطول الموجي للضوء الساقط أقل زادت السرعة القصوى للإلكترونات الضوئية المنبعثة.

٦- في تأثير كومبتون، تردد الفوتونات المنبعثة بعد التصادم مقارنة بتردد الفوتونات الساقطة يكون:

أ) أقل ب) أكبر ج) مساوٍ د) الفوتونات المنبعثة ليس لها تردد.

٧- كلما زاد الطول الموجي للفوتون فإن كمية تحركه:

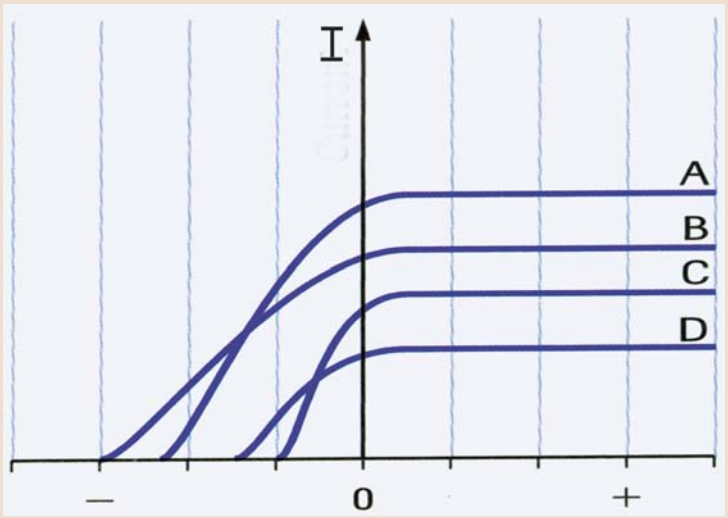
أ) تبقى ثابتة ب) تزداد ج) تقل د) تعتمد على شدة الإضاءة.

٨- طبقًا للنظرية الموجية، فإن إحدى الخصائص الآتية للفوتون تحدد الفترة الزمنية اللازمة لانبعاث الإلكترونات الضوئية من سطح المعدن في ظاهرة التأثير الكهروضوئي:

أ) التردد ب) الطاقة ج) شدة الإضاءة د) الطول الموجي.

استخدم الشكل (٦–١٧) للإجابة عن الأسئلة (٩–١١).

يوضح الشكل (٦–١٧) نتائج تجربة التأثير الكهروضوئي، حيث يبيِّن المنحنى العلاقة بين شدة التيار الكهربائي و فرق الجهد بين المصعد والمهبط في خلية كهروضوئية عندما تسقط أربعة أنواع من الأشعة الضوئية بأطوال موجية مختلفة على سطح الفلز في الخلية.



الشكل (٦–١٧)

٩–أي من الإشعاعات الضوئية لها أكبر تردد؟

أ) A ب) B ج) C د) D

١٠– أي من الإشعاعات الضوئية تملك أطول طول موجي؟

أ) A ب) B ج) C د) D

١١– الإشعاع الذي له أكبر كمية تحرك هو:

أ) A ب) B ج) C د) D

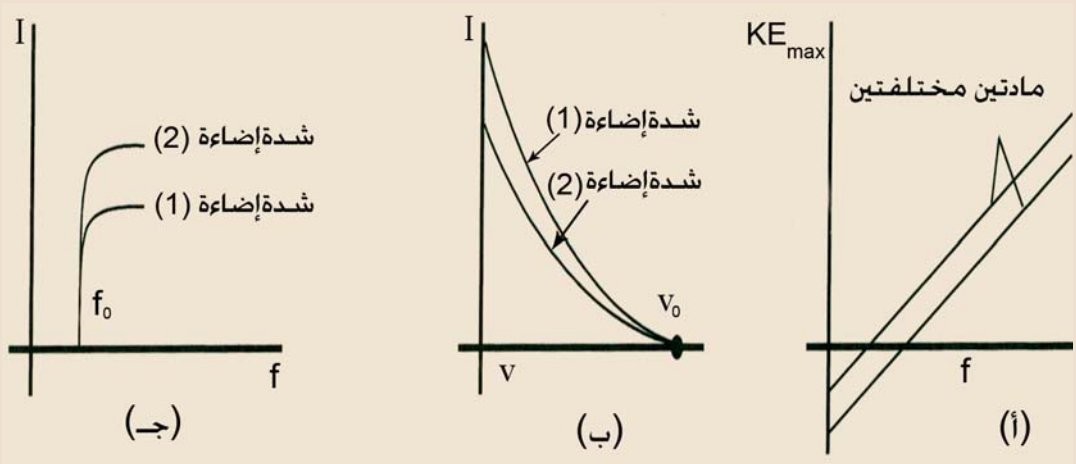
السؤال الثاني: أجب عن الأسئلة الآتية:

١- إذا تم ملاحظة ظاهرة التأثير الكهروضوئي على أحد المعادن باستخدام ضوء بطول موجي معين، هل يمكن الاستنتاج أنه يمكن ملاحظة نفس التأثير على معدن آخر باستخدام نفس الضوء؟ فسر اجابتك.

٢- هل تتوقع أن يكون هناك أي تأثير لدرجة الحرارة على ظاهرة التأثير الكهروضوئي؟

٣- أثبت أن وحدة قياس $\frac{h}{\lambda}$ هي وحدة قياس كمية التحرك $(N.s)$.

٤- فسّر المنحنيات الآتية:

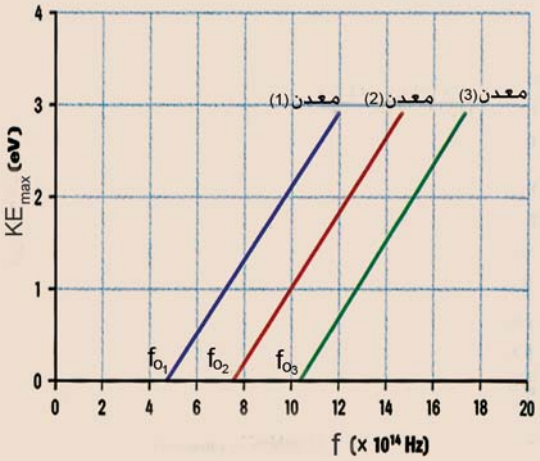


الشكل (٦-١٨)

٥- علل لما يأتي:

أ) بالرغم من أن تردد العتبة يختلف من معدن لآخر، إلا أن جميع العلاقات البيانية في الشكل (٦-١٩) ميلها متساو.

ب) لم تستطع النظرية الموجية تفسير سبب حدوث انبعاث كهروضوئي مباشرة بمجرد سقوط ضوء مناسب على سطح الفلز.



الشكل (٦-١٩)

ج) بالرغم من أن الضوء يؤثر على أفلام الكاميرا الحساسة، إلا أن المصوّر يستخدم الضوء الأحمر في غرفة تحميض الأفلام.

٦- بالرجوع إلى الجدول (٦-١)، أيهما يحتاج إلى طاقة أكبر لتحرير الإلكترونات الضوئية: الصوديوم أم النحاس؟

السؤال الثالث: أجب عن الأسئلة الآتية:

١- سقط فوتون بطول موجي مقداره $632\ nm$ على معدن دالة الشغل له يساوي $2.3\ eV$.

أ) هل ستحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي للمعدن؟ أعط تبريراً لإجابتك.

ب) إذا كانت الإجابة(لا) في (أ)، فكم مقدار الطول الموجي اللازم لكي تحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي؟

٢- يوضح الجدول (٦-٢) قيمتي التردد وجهد الإيقاف.

التردد $Hz/(f)$	جهد الإيقاف (V/V_o)
7.2×10^{14}	0.7
7.7×10^{14}	0.95
8.05×10^{14}	1.1
10.4×10^{14}	2.0
12.5×10^{14}	2.85

الجدول (٦-٢)

أ) ارسم العلاقة للبيانات الموضحة في الجدول على ورقة رسم بياني.

ب) استخدم المعادلة $V_o = (\frac{h}{e}) f - (\frac{W_o}{e})$ لإيجاد قيمة ثابت بلانك (h) و دالة الشغل (W_o) من الرسم البياني.

ج) إذا زادت قيمة دالة الشغل بمقدار 1.5 مرة عن القيمة التي قمت بإيجادها في (أ)، هل سيؤثر ذلك على ميل المنحنى؟

د) باستخدام المعادلة الموضحة في (ب)، احسب طاقة الحركة العظمى للإلكترونات الضوئية المنبعثة إذا سقط فوتون على معدن ما بطول موجي مقداره $230\ nm$.

٣- احسب أقل تردد للضوء الساقط على معدن دالة الشغل له تساوي $7.2 \times 10^{-19}\ J$ حتى تحدث ظاهرة التأثير الكهروضوئي.

٤- ما مقدار كمية التحرك لفوتون طاقته تساوي $1.5 \times 10^{2}\ eV$ ؟

٥- انبعثت اشعاعات من جسم إنسان بطول موجي مقداره $940\ \mu m$.

أ) كم يساوي تردد هذا الإشعاع؟

ب) ما نوع الموجات الكهرومغناطسية المنبعثة؟

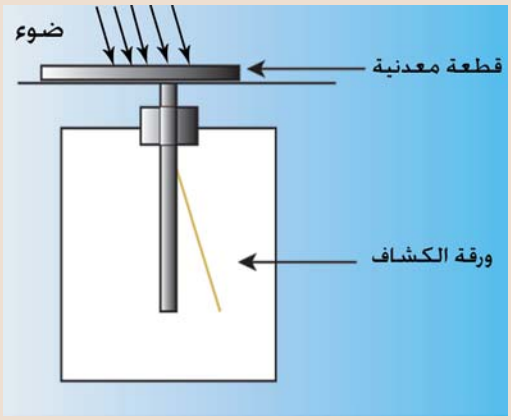
ج) ما مقدار الطاقة التي تحملها كمة واحدة من هذا الإشعاع بوحدة eV ؟

٦- في خلية كهروضوئية عندما أصبحت قيمة جهد المصعد $-2.5\ V$ بالنسبة للمهبط، أصبح التيار المار فيها مساويًا للصفر. إذا كانت طاقة كل فوتون يصطدم بالمهبط يساوي $3.75\ eV$.

أ) ما قيمة دالة الشغل لمعدن المهبط؟

ب) هل يمكن لفوتون تردده $5 \times 10^{14}\ Hz$ أن يحرر إلكترونات من سطح المهبط؟ و لماذا؟

٧- تم تسليط شعاعين ضوئيين أحدهما أحمر اللون و الآخر بنفسجي على قطعة من المعدن موضوعة فوق قرص كشاف كهربائي، كما هو موضح في الشكل (٦-٢٠)، ولوحظ تأثير هذين الشعاعين على ورقتي الكشاف عند شحنه بشحنة موجبة ثم شحنه بشحنة سالبة، و يوضح الجدول أدناه نتائج التجربة.



الشكل (٦-٢٠)

نوع الشعاع الضوئي	شحنة الكشاف الكهربائي	التأثير على ورقتي الكشاف
الأحمر	موجبة	لا يوجد تأثير
الأحمر	سالبة	لا يوجد تأثير
البنفسجي	موجبة	يزداد انفراج الورقتين
البنفسجي	سالبة	يقل انفراج الورقتين

أ) اشرح النتائج الموضحة في الجدول.

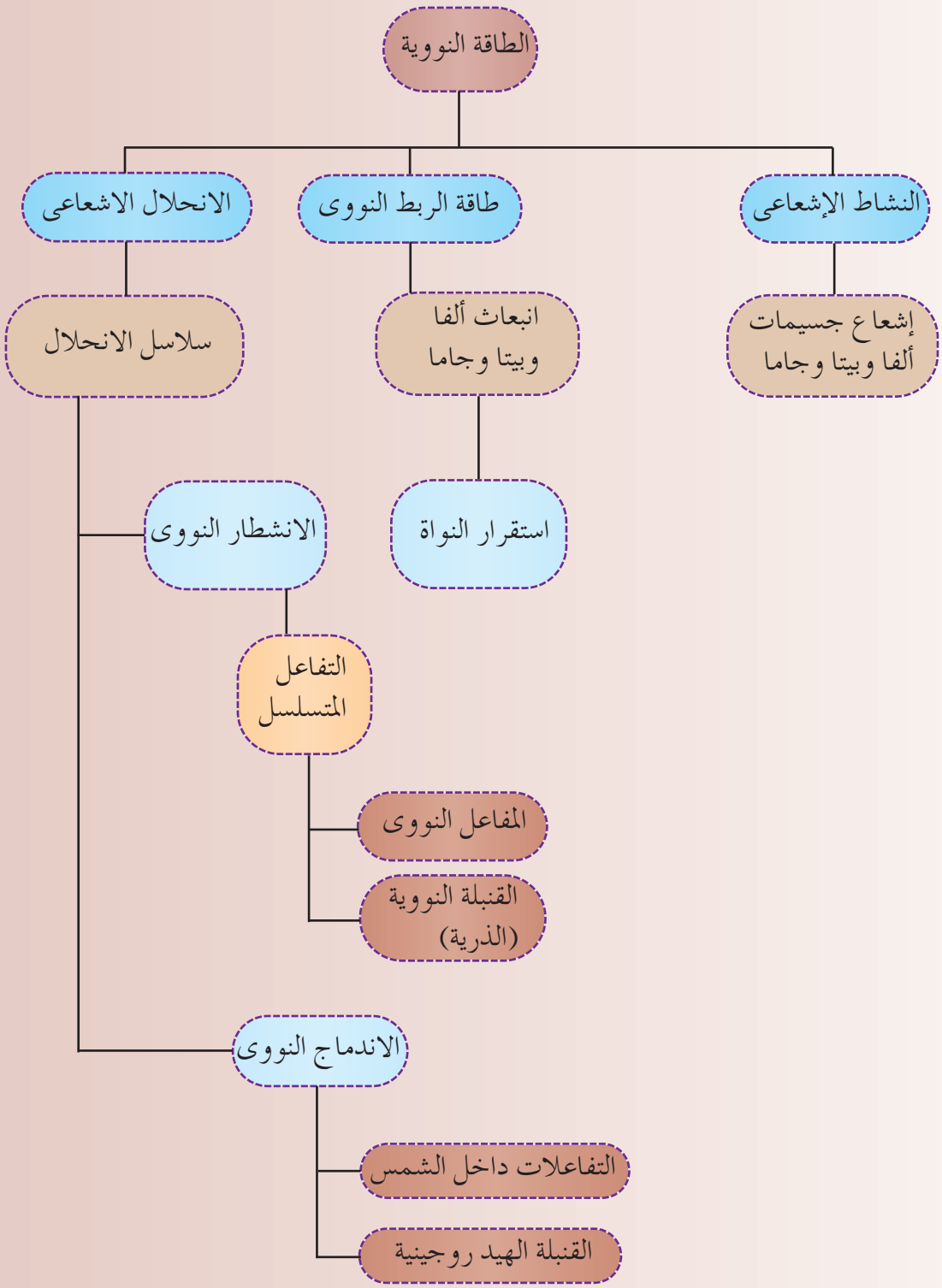
ب) إذا كان الطول الموجي للضوء البنفسجي يساوي $400\ nm$، احسب دالة الشغل لهذا المعدن.

ج) إذا زادت شدة إضاءة اللون الأحمر، هل سيؤثر ذلك على النتائج في الجدول أعلاه؟ فسّر إجابتك.

د) إذا زادت شدة إضاءة اللون البنفسجي، اشرح التغير الذي يمكن ملاحظته على النتائج في الجدول أعلاه.

خارطة مفاهيم

الفصل الثامن

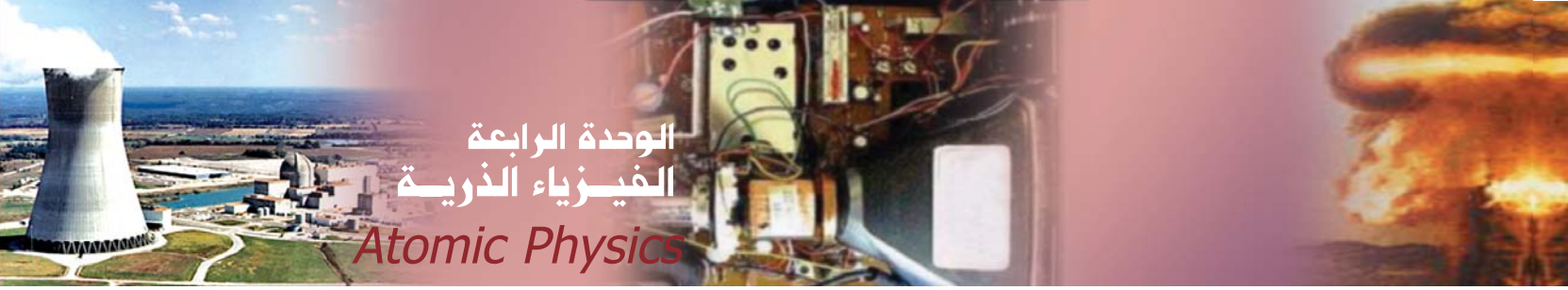

الطاقة النووية
النشاط الإشعاعى
طاقة الربط النووى
الانحلال الاشعاعى
إشعاع جسيمات ألفا وبيتا وجاما
انبعاث ألفا وبيتا وجاما
سلاسل الانحلال
استقرار النواة
الانشطار النووى
التفاعل المتسلسل
المفاعل النووى
القنبلة النووية (الذرية)
الاندماج النووى
التفاعلات داخل الشمس
القنبلة الهيد روجينية

الفصل الثامن
الطاقة النووية
Nuclear Energy

مقدمة

تهتم الفيزياء النووية بدراسة نواة الذرة من حيث سبر الجسيمات الأولية في قلب النواة وتفاعلها فيما بينها، بالإضافة إلى تفسير خصائص النواة. ويعتبر عام ١٨٩٦م فاصلاً تاريخيًّا في حياة البشرية حيث تم اكتشاف النشاط الإشعاعي من قبل العالم الفرنسي هنري بيكريل *Henri Becquerel* (١٨٥٢م–١٩٠٨م)، ثم توالت بعد ذلك الأبحاث والنظريات التي ركزت على خصائص النواة والطاقة الناتجة عنها.

وفي دراستنا للطاقة النووية سوف نتّعرض في هذا الفصل إلى طاقة الربط النووي بين مكونات النواة، كذلك سنتّعرف على الطاقة المتحررة نتيجة الانشطار والاندماج النوويين ، كما سنستعرض التفاعل المتسلسل وكيفية الاستفادة منه واستخدامه في إنتاج طاقة المفاعلات النووية ، ونتعرّف على الانشطار والاندماج النوويين.في نهاية الفصل سيخرج بمعرفة تامة عن الطاقة النوية.



الموضوعات الرئيسة

٨–١ النشاط الإشعاعي	٨–٦ الانشطار النووي
٨–٢ طاقة الربط النووي	٨–٧ التفاعل المتسلسل
٨–٣ استقرار النواة وإشعاع جسيمات ألفا وبيتا	٨–٨ المفاعل النووي
٨–٤ الانحلال الإشعاعي وعمر النصف	٨–٩ الاندماج النووي
٨–٥ سلاسل الإنحلال	

المصطلحات العلمية الجديدة

– القوى النووية	*Nuclear Force*
–عمر النصف	*Half life*
–النشاط الإشعاعي	*Radioactivity*
–النظائر	*Isotopes*
–النشاط الإشعاعي الطبيعي	*Natural Radioactivity*
–النشاط الإشعاعي الاصطناعي	*Artificial Radioactivity*
–طاقة الربط النووي	*Nuclear Binding Energy*
–وحدة الكتل الذرية	*Atomic Mass Unit*
–الانحلال الإشعاعي	*Radioactive decay*
–ثابت الانحلال	*Decay Constant*
–الانشطار النووي	*Nuclear Fission*
–التفاعل المتسلسل	*Chain Reaction*
–الإندماج النووي	*Nuclear Fusion*

عناوين الاستكشافات

الاستكشاف (١): تناقص نشاطية المواد المشعة عبر الزمن.

الاستكشاف (٢): تفاعل سلسلة قطع الدومنة.

٨-١ النشاط الإشعاعي *Radioactivity*

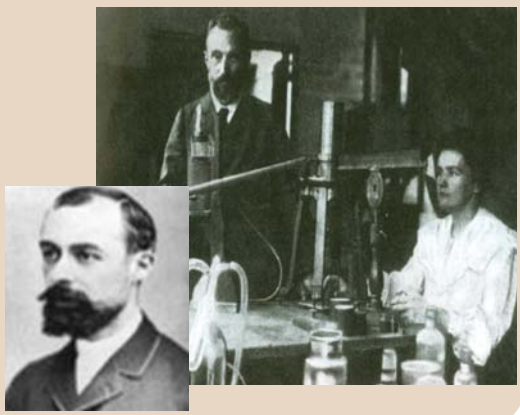
كانت بداية الفيزياء النووية عام ١٨٩٦م. ففي تلك السنة وجد العالم هنري بكريل بالصدفة أن بعض المعادن (التي تحتوي على اليورانيوم) من شأنها أن تؤثر على لوح التصوير الفوتوغرافي حتى عندما تكون مغلفة بعازل للضوء. واستنتج من ذلك أن بعض المعادن تبعث ذاتيًّا نوعًا جديدًا من الإشعاع وأطلق على هذه الظاهرة النشاط الإشعاعي *radioactivity* .

وبعد فترة وجيزة من اكتشاف بكريل، تمكنت ماري كوري (١٨٦٧م–١٩٣٤م)وزوجها بيير كوري (١٨٥٩م–١٩٠٦م)، من عزل اثنين من العناصر التي لم تكن معروفة سابقا وكانا ذوي نشاطٍ إشعاعيٍ عالٍ جدًّا، هما البولونيوم والراديوم. وسرعان ما اكتشفت كذلك العناصر المشعة الأخرى. وسرعان ما أصبح من الواضح أن مصدر الإشعاع يجب أن يكون متأصلاً داخل الذرة ، وأنه يجب أن ينبع من النواة.

ولفهم طبيعة هذه الإشعاعات الصادرة من العناصر المشعة سنتطرق إلى مكونات الذرة، حيث تحتوى نواة الذرة على نوعين من الجسيمات هما: البروتونات والنيوترونات. تحمل البروتونات الشحنة الموجبة للذرة، بينما لا تحمل النيوترونات أي نوع من الشحنات، وبالتالي فهي متعادلة. أما الجسيم الثالث في الذرة فهي الإلكترونات التي تدور حول النواة وتحمل الشحنة السالبة.

معلومة تهمك

تقاسم كلاً من بيكريل وبيير وماري كوري جائزة نوبل للفيزياء عام ١٩٠٣م لعزلهم عنصر الراديوم. وقد ماتت كوري متأثرة بداء سرطان الدم وربما يرجع ذلك لتعرضها المفرط للإشعاع.



ويطلق على عدد البروتونات داخل النواة بالعدد الذري *atomic number* والذي يرمز له بالرمز Z،بينما يطلق على عدد البروتونات والنيوترونات العدد الكتلي *mass number* ويرمز له بالرمز A، ويوضح الشكل (٨–١) كيفية كتابة الصيغة الكيميائية للذرة. تحتوي جميع ذرات العنصر الواحد على عددٍ متساوٍ من البروتونات ؛ولكن عدد النيوترونات قد يختلف في العنصر الواحد وتسمى جميع ذرات ذلك العنصر بالنظائر isotopes ، فنواة نظير الكربون $^{12}_{6}C$ تحتوي على 6 بروتونات و6 نيوترونات، بينما يحتوي نظير

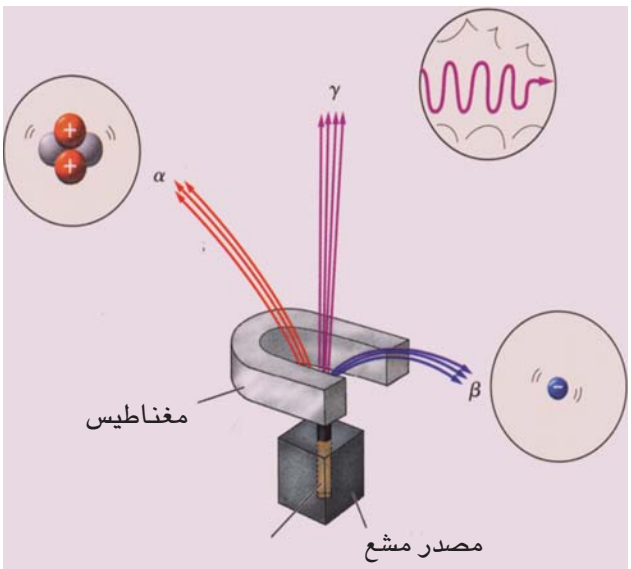
الشكل (٨–١)

الكربون $^{14}_{6}C$ على 6 بروتونات و 8 نيوترونات.

توجد كثير من النظائر غير المستقرة في الطبيعة، والنشاط الإشعاعي الناجم عنها يدعي النشاط الإشعاعي الطبيعي *natural radioactivity* ،كما أن هناك نظائر غير مستقرة يمكن إنتاجها في المختبرات النووية و يسمى النشاط الإشعاعي في هذه الحالة النشاط الإشعاعي الاصطناعي *artificial radioactivity* .

بدأ رذرفورد ورفاقه بدراسة طبيعة الأشعة المنبعثة من النظائر المشعة في عام ١٨٩٨م. ووجدوا أن الأشعة يمكن تصنيفها إلى ثلاثة أنواع وفقا لقدرتها على اختراق الأجسام هي ألفا (α) ، و بيتا (β) ، و جاما (γ) على التوالي.

وعند تعريض هذه الإشعاعات إلى المجالات الكهربائية والمغناطيسية وجد أن كل نوع من هذه الإشعاعات يحمل شحنة مختلفة، أنظر الشكل (٨–٢)؛ حيث تحمل أشعة α شحنة موجبة،بينما تحمل β أشعة سالبة الشحنة، أما γ فهي متعادلة الشحنة (غير مشحونة). وسرعان ما تبين إن هذه الأنواع الثلاثة هي إشعاعات معروفة لدى العلماء. فأشعة جاما ماهي إلا فوتونات ذات طاقة عالية جدًّا. وبيتا هي الإلكترونات مثل تلك التي تدور حول النواة (لكنها تنشأ داخل النواة نفسها في هذه الحالة)، وجسيمات ألفا هي ببساطة نوى ذرات الهيليوم $^{4}_{2}He$.



الشكل (٨–٢) : تنحرف جسيمات ألفا وبيتا في اتجاهين متعاكسين داخل المجال المغناطيسي ، في حين أن أشعة جاما لا تتأثر بالمجال المغناطيسي على الإطلاق.

ويلخص الجدول (٨–١) خصائص هذه الأنواع الثلاثة من الإشعاعات:

الخصائص	ألفا	بيتا	جاما
طبيعته	موجبة الشحنة عبارة عن نواة ذرة الهليوم	سالبة الشحنة عبارة عن إلكترون	موجات كهرومغناطيسية ذات طول موجي قصير جدًّا.
التأثر بالمجالات الكهربائية والمغناطيسية	تتأثر	تتأثر	لا تتأثر
القدرة على الاختراق	يمكن إيقافها بواسطة ورقة أو طبقة الجلد	يمكن إيقافها بواسطة شريحة من الألمونيوم بسمك 3 mm	يمكن إيقافها بواسطة لوح سميك من الرصاص
القدرة على تأين الوسط	كبيرة	ضعيفة	ضعيفة جدًّا
السرعة	10% من سرعة الضوء	50% من سرعة الضوء	مساوية لسرعة الضوء

الجدول (٨–١): خصائص إشعاعات النواة

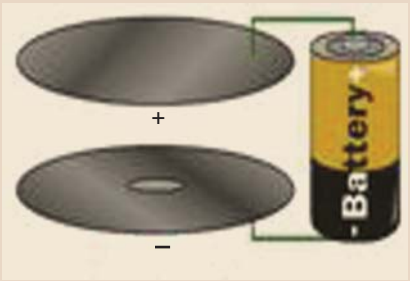
إشعاع ألفا *Alpha Radiation*

عندما تنبعث جسيمات ألفا α من نواة عنصر ما، ستتغير مكونات النواة الأم و يتكون عنصر جديد يقل عدده الذري بمقدار 2 ويقل عدده الكتلي بمقدار 4 ، فعلى سبيل المثال، فإن الراديوم $^{226}_{88}Ra$ عندما يشع جسيم α ينتج عنصر جديد هو الرادون $^{222}_{86}Rn$ كما هو موضح في المعادلة الآتية:

$$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He$$

تطبيقات حياتية

يوجد داخل كاشف الدخان مقدارًا ضئيلاً من عنصر الأمريكيوم $^{241}_{95}Am$ لا تتعدى كتلته $1/5000$ من الجرام، وهو عنصر مشع عمر النصف له $432\ yr$ لذا فهو مصدر جيد للإشعاعات خصوصاً جسيمات ألفا. حيث يحتوي كاشف الدخان على $0.9\ mCi$ من الأمريكيون تملك جسيمات ألفا المتولدة عن الأمريكيوم $^{241}_{95}Am$ خاصية القدرة على تأيين ذرات الأكسجين و النيتروجين في الهواء، حيث تنطلق جسيمات ألفا من الفتحة في الصفيحة السفلى فتأين جزيئات الهواء بين الصفيحتين حيث تنجذب الإلكترونات المتحررة في اتجاه الصفيحة المتصلة بالقطب الموجب للبطارية، بينما تتجه أيونات ذرات الأكسجين والنيتروجين الموجبة إلى الصفيحة المتصلة بالقطب السالب للبطارية، وبهذا يمكن اعتبار أن تيارًا كهربائيًا يمر باستمرار خلال الدائرة الكهربائية بقيمة ثابتة. ولكن عندما يصبح هناك دخان في الجو فإن جزيئات الدخان سوف تعمل على التصادم مع أيونات الذرات الموجبة والتي تعمل على تشتتها مما يقلل التيار الكهربائي عن القيمة الثابتة. هذا الانخفاض في التيار الكهربائي يعمل على تنبيه الكاشف بوجود دخان في الغرفة فيعمل على إطلاق صفارة الإنذار.



إشعاع بيتا *Beta Radiation*

يحدث إشعاع بيتا نتيجة إنبعاث إلكترون واحد من نواة العنصر، فعلى سبيل المثال عند إشعاع ذرة الثوريوم $^{234}_{90}Th$ لجسيم بيتا فإنها تتحول إلى عنصر عدده الذري يزيد بمقدار 1 فيصبح 91 وهو عنصر البروتاكتينيوم على النحو التالي :

$$^{234}_{90}Th \longrightarrow {}^{234}_{91}Pa + {}^{0}_{-1}e$$

حيث يشير الرمز $^{0}_{-1}e$ إلى الإلكترون (جسيم بيتا). لا يحدث فقد في مكونات النواة عند انبعاث الإلكترون إذ إن إجمالي عدد النيوترونات أو البروتونات هو نفسه في النواة الوليدة كما في النواة الأم.

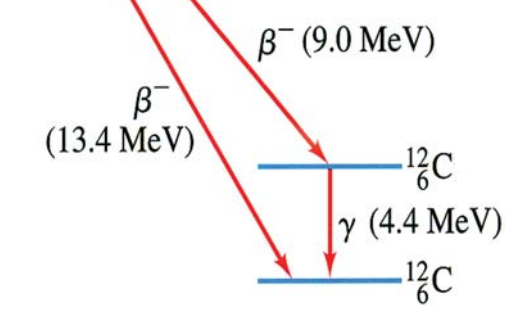
ولا بد من الإشارة إلى أن جسيمات بيتا المنبعثة ليست من الإلكترونات الموجودة في مدارات الذرة، وإنما تنشأ الإلكترونات المنبعثة من داخل النواة نفسها، وذلك عندما يتحول أحد النيوترونات إلى بروتون، وفي عملية (لحفظ الشحنة) يتولد جسيم بيتا الذي يحمل نفس شحنة و خصائص الإلكترون.

إن العمليات التي تحدث داخل النواة معقدة جدًّا حيث أن النواة لا تحتوي على إلكترونات، ولكي يتم الإشعاع يجب أن يتحول نيوترون إلى بروتون وإلكترون وتحتفظ النواة بالبروتون بينما ينبعث الإلكترون خارج النواة.

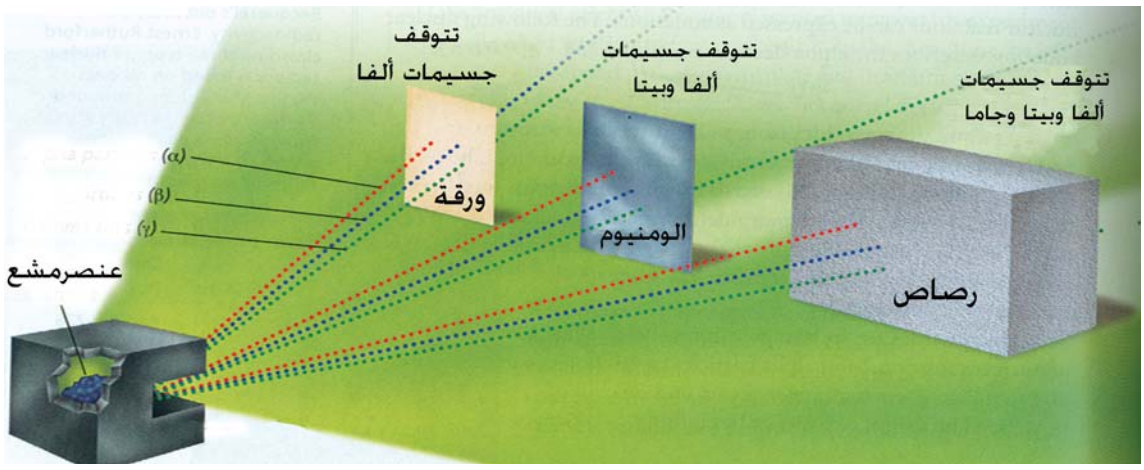
إشعاع جاما *Gamma Emission*

أشعة جاما هي فوتونات ذات طاقة عالية جدًّا، وعندما تنبعث من نواة عنصر ما فإنها تكون عبارة عن موجات كهرومغناطيسية شبيهه إلى حد كبير بتلك المنبعثة نتيجة إثارة الذرات (انتقال الإلكترون من مستوى ذي طاقة أعلى إلى مستوى ذي طاقة أقل)، وتتراوح طاقة الفوتونات المنبعثة من بضعة ***KeV*** إلى عدة ***MeV*** .

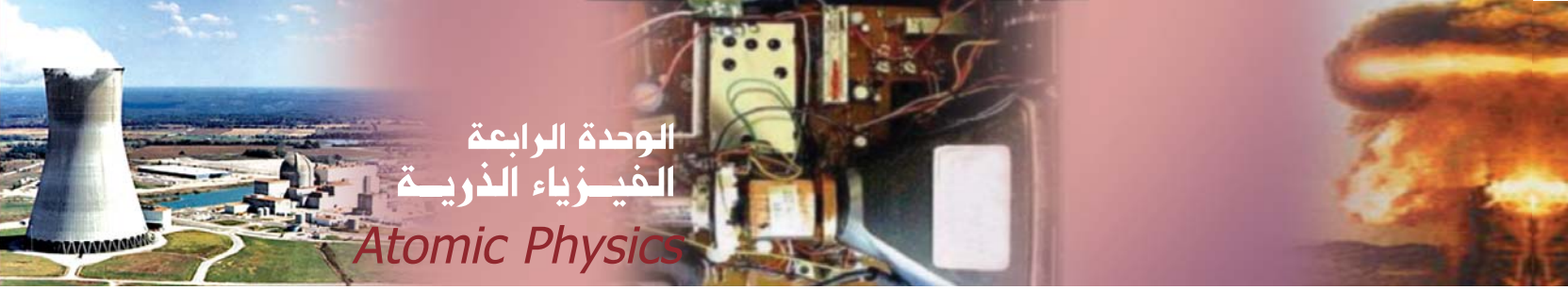
إن إشعاع جاما لا يحمل أي شحنة كهربائية، ولذا لا يطرأ أي تغيير في العنصر نتيجة إشعاع جاما.وتنبعث أشعة جاما من أنوية العناصر عندما تكون في حالة عدم استقرار (طاقتها زائدة عما في حالة الاستقرار) وبالتالي تتخلص هذه النواة من الطاقة الزائدة بإشعاع جاما. ويبيّن الشكل (٨–٤) قدرة إشعاعات النواة على اختراق الأجسام.



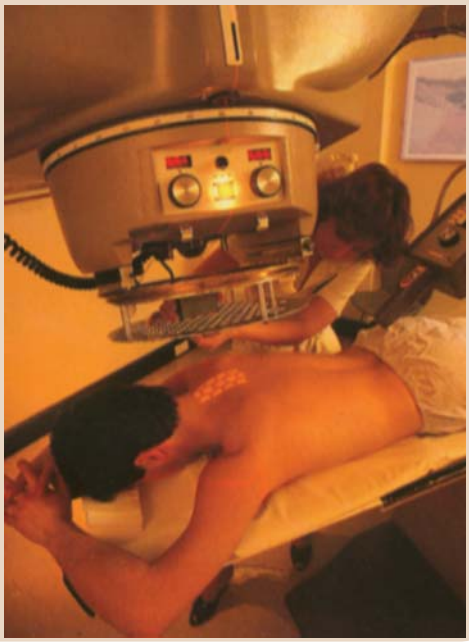
الشكل (٨–٣) : النواة المثارة تشع حتى تصل إلى الاستقرار



الشكل (٨–٤)



تطبيقات حياتية



يعالج المرضى المصابون بالسرطان بالإشعاع، وفي هذه الآلة تركز أشعة جاما المنبعثة من أحد النظائر المشعة على المنطقة المصابة لقتل خلاياها ومنع السرطان من الانتشار إلى مناطق أخرى من الجسم. كما تستخدم أشعة جاما في تعقيم المعدات الطبية.

*التأثير البيولوجي للإشعاع *The Biological Effect of Radiation*

يمثل الإشعاع وبصورة دائمة خطراًعلى الأنظمة البيولوجية، وان هذا الخطر يتناسب طرديًا مع مقدار جهل العامل في حقول الإشعاع لطبيعة هذه الإشعاعات وكيفية تداولها واتقاء المخاطر الناجمة عنها. إذ يمكن اختزال الخطر إلى حدوده الدنيا المقبولة بالتزام التحفظات المناسبة، ومراعاة قواعد الأمن و السلامة في التعامل معها. ولما أصبح الكشف عن النشاط الإشعاعي ـ مهما صغر ـ ميسوراً، فإن الخطر المتوقع لم يعد بالمشكلة المستعصية في الوقت الراهن وخاصة بالنسبة للمختبرات التي تتعامل مع مواد كيميائية مشعة والتي تم تصميمها بشكل ملائم وروعيت فيها مقاييس السلامة والأمان.

لقد وُجد أن طاقة الإشعاع اللازمة لإحداث تغيرات بيولوجية في جسم الإنسان هي كميات قليلة. فعلى سبيل المثال إن كمية الإشعاع الكافية لقتل الثدييات لا تسبب إلا ارتفاعاً طفيفاً في درجة حرارة أجسامها لا يتجاوز $0.01C^{o}$ (واحد في المائة فقط من الدرجة المئوية). وإن هذا الارتفاع في درجة الحرارة ناتج عن تحول طاقة الإشعاع إلى طاقة حرارية. إن طاقة الإشعاع هذه تنتشر خلال مرورها بالأعضاء الحية، وأثناء ذلك تقوم بتأيين وإثارة ذرات أو جزيئات المادة المارة بها .وتتسبب عملية التأيين هذه في تخريب مباشر لجسم الكائن الحي جراء تكسر

الروابط الكيميائية التي تربط ذرات الجزيئات ببعضها داخل نسيج الخلية الحية.

إن مقدار الضرر البيولوجي يعتمد على عوامل عدة منها نوع الإشعاع (كأشعة ألفا أو بيتا، و الإشعاعات الكهرومغناطيسية كالأشعة السينية وأشعة جاما) ومقدار طاقة هذا الإشعاع، وسرعة دخوله الجسم الحي ونوع العضو المعرض لهذا الإشعاع (عين أو كبد أو عظم أو رئة)، وأخيرا عمر الجسم المعرض للإشعاع وحالته الصحية إن كان بشرا.

هناك نوعان للتعرض للإشعاع أحدهما خارجي أي أن يكون الجسم المشع خارج الجسم، و الآخر داخلي بمعنى دخول مصدر الإشعاع داخل الجسم. و في النوع الأول من التعرض للإشعاع تعتبر الأشعة السينية من أكثر الأشعة خطرًا على الإنسان بسبب قدرتها الفائقة على الاختراق والنفوذ. أما جسيمات ألفا فلا خطر منها إذا أتت من مصدر خارجي، إذ إنها لا تستطيع النفاذ إلا إلى طبقات الجلد السطحية غير الحساسة. لكنها تعتبر الأشعة الأشد خطرًا فيما لو أصبحت مصدرا داخليا للإشعاع، أي إذا دخلت جسم الإنسان واستقرت في أحد أعضائه بشكل عنصر مشع أو مركب فيه عنصر مشع لهذه الدقائق.

اختبر فهمك (١):

أكمل المعادلة التالية مع ذكر اسم الدقيقة المنبعثة

$$ {}^{1}_{1}H + {}^{27}_{13}AL \longrightarrow {}^{24}_{12}Mg + \ldots\ldots $$

٨-٢ طاقة الربط النووي *Nuclear Binding Energy*

***خصائص القوى النووية**

بما أن البروتونات ذات شحنة موجبة و توجد قوة تنافر كهربائية فيما بينها تحاول إبعادها عن بعضها البعض، إلا أن النواة تبقى مستقرة تمامًا. إن ذلك يشير إلى وجود نوع من القوى تعمل على جذب مكونات النواة وبالتالي استقرارها ، وتعرف هذه القوى بالقوى النووية *nuclear force* وهي التي تجعل مكونات النواة ترتبط فيما بينها.

ومن أهم خصائص هذه القوى:

١- أنها قوى تجاذب كبيرة جدًّا، لذلك تهمل بالنسبة لها باقي القوى داخل النواة مثل القوة الكهربائية.

٢- لا تعتمد على كون النيوكليون (بروتون أو نيوترون) يحمل شحنة كهربائية أو متعادلة، بمعنى آخر أنها متساوية بين (البروتون والنيوترون)، أو بين (النيوترون والنيوترون)، أو بين (البروتون والبروتون).

٣– ذات مدى قصير جدًّا ، بمعنى أن نيوكليونين يؤثران على بعضهما بقوى لمسافة قصيرة تصل إلى أقل من $5 \times 10^{-15} m$ ،و يتجاذبان بشدة كلما قلت هذه المسافة إلى إن تصل إلى $0.5 \times 10^{-15} m$ حيث تتحول بعدها هذه القوى إلى قوى تنافر.

٤– على الرغم من شدة هذه القوى إلا أنها تكون عاجزة عن ربط عدد كبير من البروتونات معًا، فعلى عكس قوة التنافر التي هي بعيدة المدى حيث يؤثر كل بروتون على بروتون آخر داخل النواة،فإن قوى التجاذب قصيرة المدى ولا يشعر بها سوى الجسيمات القريبة من بعضها داخل النواة.

٥– تعمل هذه القوى داخل حدود النواة فقط، بينما تعمل القوى الكهربائية خارج النواة.

وبالرجوع إلى معادلات إشعاع ألفا وبيتا و جاما لاحظ العلماء وجود نقص في كتلة النواة الأم، بحيث إنها تقل عن كتلة مكوناتها. فمثلاً كتلة الكربون ${}^{12}_{6}C$ أقل من كتل 6 بروتونات و 6 نيوترونات.

ولتفسير هذا النقص استخدم العالمان الإنجليزيان جون كوك كروفت *John Cockcroft* (١٨٩٧م–١٩٦٧م) و أرنست والتون *Ernest T.S. Walton* (١٩٠٣م–١٩٩٥م) في عام ١٩٣٢م قانون آينشتاين الذي يربط بين الكتلة و الطاقة.

$$E = \Delta m \times c^2 \qquad (١-٨)$$

حيث تشير Δm إلى النقص في الكتلة و c إلى سرعة الضوء ، حيث افترض آينشتاين أن الفقد في الكتلة يتحول إلى طاقة والعكس صحيح . فقد قاما بقصف نواة الليثيوم ببروتون ذي سرعة عالية فانبعثت دقائق ألفا وتحررت كمية كبيرة من الطاقة، وقد لاحظا أن التفاعل النووي السابق صاحبه نقص في الكتلة مقداره $0.0186\ u$ حيث u هي وحدة الكتل الذرية *atomic mass unit* وتساوي $931.494\ MeVc^2$.

وقد وجد كوك كروفت ووالتون أن مقدار الطاقة المنبعثة من التفاعل تماثل مقدار الطاقة التي يمكن حسابها من معادلة آينشتاين ، وبذلك تم إثبات صحة قانون آينشتاين وإمكانية تحويل الكتلة إلى طاقة.

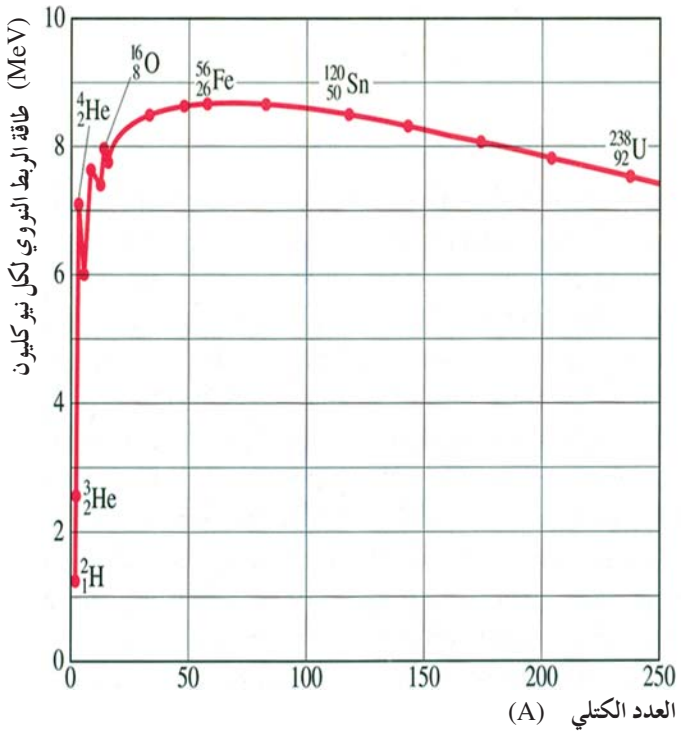
وعرفت هذه الطاقة بطاقة الربط النووي *Nuclear Building Energy* وهي " الشغل اللازم لتفكيك الذرة إلى مكوناتها الأساسية، أو هي الطاقة التي تتحرر عند تجميع مكونات الذرة " . وإن هذه الطاقة هي التي تربط بين النيوكليونات داخل النواة. ويبين الشكل(٨–٣) طاقة الربط النووي لكل نيوكليون .

ونلاحظ من هذا المنحنى:

– باستثناء العناصر الخفيفة، فإن متوسط طاقة الربط النووي للنيوكليون للعناصر المختلفة هو مقدار ثابت وتساوي *8 MeV* . أي أن كل نيوكليون يساهم بما مقداره *8 MeV* من كتلته لينضم إلى النواة، أما في العناصر الخفيفة فتقل عن ذلك وتصل إلى *1.112 MeV* كما في نواة عنصر الديوترون.

– إن المنحنى يصل إلى أعلى قيمة له عند العناصر التي عددها الكتلي يساوى *60* ، وهذا يعني أن أنوية هذه العناصر التي تقع وسط الجدول الدوري هي أكثر الأنوية استقرارًا، حيث إن طاقة الربط النووي لها أكبر ما يمكن.

– إن طاقة الربط النووي لكل نيوكليون تصل إلى قيمة ثابتة تقريبًا بعد العدد الكتلي *40* ، فكما كنا نتوقع فالنيوكليون يحتاج إلى طاقة ربط كبيرة لكي يرتبط مع عدد أكبر من النيوكليونات، وبالتالي كلما زاد العدد الكتلي لابد من زيادة متوسط طاقة الربط النووي. ومعنى ذلك أن النيوكلون يرتبط فقط مع النيوكليونات القريبة منه فقط وليس مع كل النيوكليونات، وهذا ما يعرف **بدرجة التشبع للعنصر**.



الشكل (٨–٥) : منحنى طاقة الربط النووي لكل نيوكليون لأنوية بعض العناصر

– إن أكثر العناصر استقرارًا هي التي تقع في منتصف الجدول الدوري والتي تتراوح أعدادها الكتلية بين *(20 - 160)* ويزيد متوسط طاقة الربط النووي لكل نيوكليون لديها عن *8 MeV* ،ويمكننا حساب طاقة الربط النووي E_b لنواة عنصر ما كالتالي:

إذا اعتبرنا أن كتلة البروتونات في النواة $= Zm_p$ حيث Z هو العدد الذري و m_p هي كتلة البروتون وكتلة لنيوترونات $= (A-Z)m_p$ حيث A هو العدد الكتلي و m_n هي كتلة النيوترون، فإن مجموع كتل مكونات النواة يساوي $(A-Z)m_n + Zm_p$

وباعتبار أن كتلة النواة الأم هي M_n

فإن طاقة الربط النووي = الفرق في الكتلة (Δm)

$$\Delta m = [(A - Z)m_n + Zm_p) - (M_N)]\ u$$

ومن علاقة آينشتاين لتحويل الكتلة إلى طاقة :

$$E_b = \Delta m \times c^2$$

$$E_b = [(A - Z)\, m_n + Z m_p) - (M_N)\,]\; u \times c^2 \qquad (٢-٨)$$

$$\because 1\, u = \frac{931.494\ MeV}{c^2}$$

$$\therefore c^2 = \frac{931.494\ MeV}{1\, u} \qquad (1)$$

بالتعويض عن قيمة C^2 من المعادلة (١) في المعادلة (٢-٨) نحصل على :

$$E_b = [(A - Z)\, m_n + Z m_p) - (M_N)\,] \times 931.494\ MeV \qquad (٣-٨)$$

ويمكن حساب طاقة الربط النووي لكل نيوكليون E_n من العلاقة:

$$E_n = \frac{E_b}{A} \qquad (٤-٨)$$

مثال (١):

أوجد طاقة الربط النووي لكل نيوكليون للأنوية التالية :

أ- اليورانيوم $^{238}_{92}U$ ب- الحديد $^{56}_{26}Fe$ إذا علمت أن:

الحل:

$m_p = 1.0078\ u\ ,\ m_n = 1.0086\ u$

$m\ ^{238}_{92}U = 238.0507u\ ,\ m\ ^{56}_{26}Fe = 55.9349\ u$

أ-

$^{238}_{92}U \rightarrow E_b = [\ (146 \times 1.0086\ ) + (\ 92 \times 1.0078\ ) - (\ 238.0507\ )] \times 931.494$

$E_b = 1867.9249\ MeV$

$E_n = \frac{E_b}{A} = \frac{1867.9249}{238} = 7.8484\ MeV$

ب- $^{56}_{26}Fe \rightarrow E_b = [\ (30 \times 1.0086\ ) + (\ 26 \times 1.0078\ ) - (55.9349)\ ] \times 931.494$

$E_b = 491.5493\ MeV$

$E_n = \frac{E_b}{A} = \frac{491.5493}{56} = 8.7776\ MeV$

اختبر فهمك (٢):

١- احسب طاقة الربط النووي لنواة ذرة الهليوم $^{4}_{2}He$ علمًا أن كتل الأنوية هي كالتالي:

$^{4}_{2}He = 4.0026\ u$ و $^{2}_{1}H = 1.008\ u$

٢- من المعادلة التالية أحسب الطاقة المتحررة:

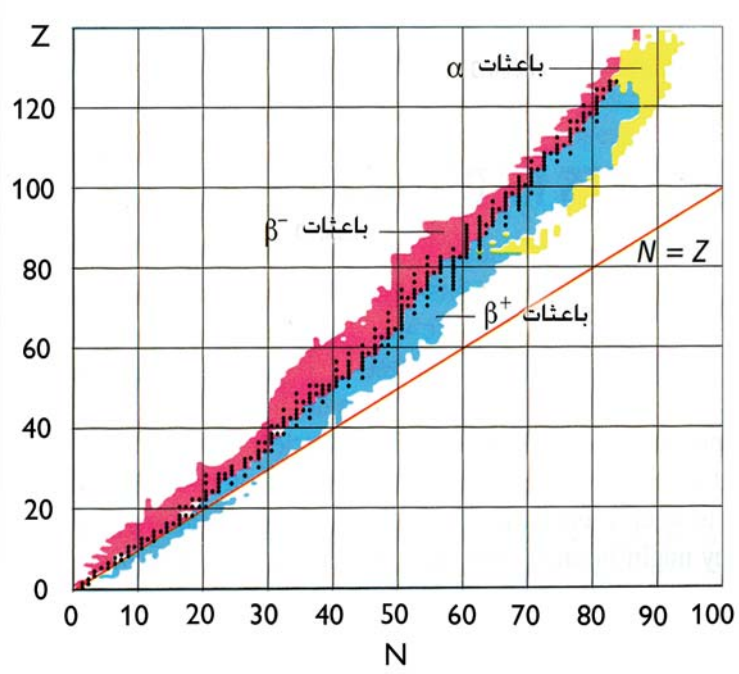
$^{226}_{88}Ra \longrightarrow {}^{222}_{86}Rn + {}^{4}_{2}He +$ طاقة

علمًا أن كتل كلاً من: $^{226}_{88}Ra = 226.0254\ u$ و $^{222}_{86}Rn = 222.00\ u$ و $^{4}_{2}He = 4.0026\ u$

٨–٣ استقرار النواة وإشعاع جسيمات ألفا وبيتا

Nuclear Stability and the Emission of Alpha and Beta Particles

يوضح الشكل (٨–٤) العلاقة بين عدد البروتونات والنيوترونات و القوى النووية داخل النواة.ومن خلال المنحنى يوضح الخط المتصل موقع الأنوية التي تحتوي على عدد متساوٍ من البروتونات والنيوترونات (N=Z)، لاحظ أن الأنوية الخفيفة فقط تقع على هذا الخط بينما العناصر الثقيلة فإنها تقع أعلى هذا الخط.



الشكل (٨–٦) : منحنى الإستقرار

وهذا يعني أن الأنوية الثقيلة أو المتوسطة تكون مستقرة عندما يكون عدد النيوترونات فيها أكبر من عدد البروتونات ويمكن فهم ذلك حسب خصائص القوة النووية، حيث إن زيادة عدد النيوترونات ضروري من أجل تخفيف الشحنة الموجبة للبروتونات ومن ثم خفض التأثير التنافري لقوى كولوم. و لكي تحتفظ النواة بحالة الاستقرار وتصل الأنوية إلى حالة الاستقرار فإنها تقوم بإشعاع جسيمات ألفا و بيتا و تصحبها أشعة جاما لتصل إلى العناصر المستقرة في عملية يطلق عليها الانحلال الإشعاعي.

إنبعاث جسيم ألفا *Alpha Emission*

لكي تستطيع النواة الأم أن تبعث جسيم ألفا لابد أن يكون مجموع كتلتها أكبر من مجموع كتل الأنوية الناتجة عن إنحلالها، ومثال على ذلك انحلال عنصر البولونيوم حسب المعادلة

$$^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow {}^{206}_{82}\mathrm{Pb} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} + \gamma$$

فإذا جمعنا كتل الأنوية الناتجة حتمًا سنجدها أقل من كتلة النواة الأصلية أو الأم والسبب يعود إلى أن الفقد في هذه الكتلة يتحول إلى طاقة حركية تكتسبه جسيمات ألفا المشعة. إذ تكتسب هذه الجسيمات 98% من الطاقة ،

بينما تستخدم (2%) منها في الحركة الارتدادية للنواة الناتجة، وذلك للحفاظ على كمية التحرك الخطي ثابتة. ويصاحب انبعاث جسيم ألفا خروج أشعة جاما.

إنبعاث جسيم بيتا *Beta Emission*

عندما تبعث النواة جسيم بيتا فإنها تطلق إما إلكترون أو بوزيترون (البوزيترون له نفس كتلة الإلكترون، ولكنه يحمل شحنة موجبة ${}^{0}_{+1}\mathbf{e}$)، وبالتالي فإن العدد الذري للعنصر الناتج إما أنه يزداد أو يقل بمقدار واحد عن العنصر الأصلي على سبيل المثال:

$$ {}^{14}_{6}\mathbf{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathbf{N} + {}^{0}_{+1}\mathbf{e} $$

ومن الحقائق المحيرة حول انبعاث جسيمات بيتا هو أن كمية تحرك الإلكترون المنطلق ليست مساوية ومضادة في الاتجاه لكمية تحرك ارتداد النواة. وهذا يتعارض مع مبدأ حفظ كمية التحرك الخطية .لذلك فقد افترض العلماء وجود جسيم آخر ينبعث سويًّا مع جسيم بيتا، وإن كتلة هذا الجسيم السكونية تساوي صفراً و لا شحنة له وقد سمي هذا الجسيم بالنيوترينو ويرمز له بالرمز ${}^{0}_{0}\upsilon$

وبالتالي تصبح المعادلة: $ {}^{14}_{6}\mathbf{C} \longrightarrow {}^{14}_{7}\mathbf{N} + {}^{0}_{+1}\mathbf{e} + {}^{0}_{0}\upsilon $

والنيوترينو جسيم صغير للغاية ، يصعب الكشف عنه وكتلته الحركية صغيرة للغاية. ويترافق خروجه مع انحلال بيتا ، وهو نوعان :

١– النيوترينو (υ) : ويخرج مع انحلال بيتا الموجب (البوزيترون)

$$ {}^{12}_{7}\mathbf{N} \longrightarrow {}^{12}_{6}\mathbf{C} + {}^{0}_{+1}\mathbf{e} + {}^{0}_{0}\upsilon $$

٢– النيوترينو المضاد ($\overline{\upsilon}$) : ويخرج مع انحلال بيتا السالب (الإلكترون)

$$ {}^{12}_{5}\mathbf{B} \longrightarrow {}^{12}_{6}\mathbf{C} + {}^{0}_{-1}\mathbf{e} + {}^{0}_{0}\overline{\upsilon} $$

إن السبب الرئيسي لخروج النيوترينو هو تخليص النواة من باقي الطاقة الزائدة و التي تبقت بعد انحلال بيتا.

مثال (٢):

أوجد الطاقة المنبعثة من التفاعل التالي

$$^{210}_{84}Po \longrightarrow {}^{206}_{82}Pb + {}^{4}_{2}He + \gamma$$

علما أن الكتل الذرية لأنوية العناصر في التفاعل هي

$^{4}_{2}He = 4.003\ u$ $^{206}_{82}Pb = 205.974\ u$ $^{210}_{84}Po = 209.983\ u$

الحل :

$$\Delta m = 209.983 - (205.974 + 4.003) = 0.006\ u$$

$$\because E_b = \Delta m \times c^2$$

$$\therefore E_b = 0.006 \times 931.494 = 5.5889\ MeV$$

اختبر فهمك (٣):

١- من خلال الشكل (٨-٥) وبالاستعانة بالجدول الدوري للعناصر:

سمِّي أربعة عناصر مستقرة؟و أربعة عناصر غير مستقرة؟

٢- ينحل نظير الحديد $^{56}_{26}Fe$ إلى نظير الكوبالت $^{56}_{27}Co$

أ- اكتب معادلة الانحلال لهذه العملية.

ب- احسب الطاقة المنبعثة من العملية السابقة.علمًا أن كتل الأنوية كالتالي:

$^{56}_{26}Fe = 55.9349\ u$ ، $^{56}_{27}Co = 55.9398\ u$

٨–٤ الانحلال الإشعاعي وعمر النصف *Radioactivity and the Half life*

تحتوي أي عينة لنظير مشع على عدد ضخم من الأنوية المشعة التي لا تنحل جميعها في وقت واحد. بل تنحل على مدى فترة من الزمن ، وتعتبر هذه العملية عشوائية إذ لا يمكن التنبؤ بالوقت الذي تبدأ فيه أي نواة بالانحلال، ولكن يمكننا تحديد كمية الأنوية المتبقية من عملية الانحلال بعد فترة زمنية معينة على أساس احتمالي.

إن عدد ما ينحل من الأنوية ΔN في فترة زمنية قصيرة جدًا من الزمن Δt تتناسب طرديًا مع العدد الأصلي للأنوية المشعة N :

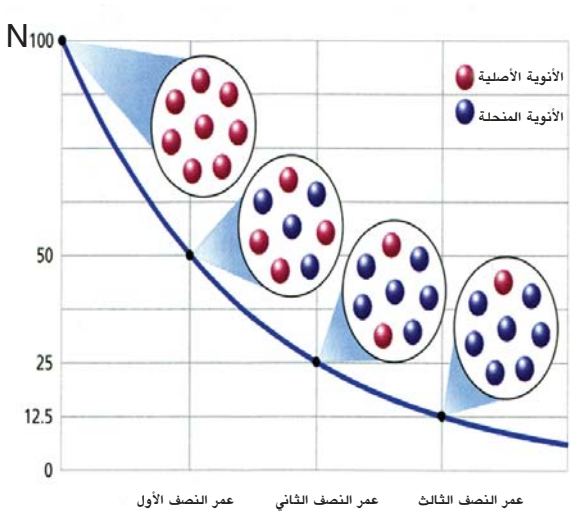
$$\frac{\Delta N}{\Delta t} \alpha N$$

وبالتعويض عن الثابت

$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = -\lambda N$$

والإشارة السالبة تدل على أن عدد الإنحلالات تقل مع الزمن وبالتالي:

$$\Delta N = -\lambda N . \Delta t \qquad (٨-٥)$$



T الشكل (٨–٧) : العدد N من النوى الأم في العينة يتناقص للنصف في كل مرة

حيث λ هو ثابت التناسب ويسمى ثابت الانحلال ***decay constant***، والذي يختلف باختلاف النظائر. فكلما زاد مقدار λ، ازداد معدل الانحلال. ويطلق على المقدار $\frac{\Delta N}{\Delta t}$ بالنشاطية الإشعاعية أو معدل الانحلال ويعرف بأنه عدد ما ينحل من أنوية في الثانية الواحدة. كما يوضحها الشكل (٨–٧) ويقاس بوحدة البيكرل ***(Bq)*** ، وهي تساوي إنحلال لكل ثانية $\frac{1\ Decay}{1s}$ وهناك وحدة أخرى وهي الكوري **Ci** ، حيث إن: $1Ci = 3.7 \times 10^{-10}\ Bq$

الاستكشاف (١) : تناقص نشاطية المواد المشعة عبر الزمن.

سؤال علمي: كيف تتناقص نشاطية المواد المشعة عبر الزمن؟

المواد والأدوات : 40 قطعة من العملات المعدنية (فئة 50 - 25 - 10 - 5 بيسة) – ورقة رسم بياني

الإجراءات:

١. ارسم جدولاً لتسجيل البيانات كما هو مبين.

٢. أختر أحد أوجه العملة وأدر باقي العملات بحيث يكون ذلك الوجه مقابل لك. حيث يشير ذلك إلى أن النواة لم تبدأ بالانحلال.

٣. ارمِ العملات إلى الأعلى بحيث تدور في الهواء ثم انظر إلى الوجه الذي تسقط عليه.

٤. سجِّل عدد العملات التي سقطت على نفس الوجه الذي اخترته في البداية، وأستبعد العملات التي سقطت

عدد المحاولات	مجموعتك	المجموعات الأخرى		
	عدد العملات المتبقية	عدد العملات المتبقية	عدد العملات المتبقية	عدد العملات المتبقية
الأولى				
الثانية				
الثالثة				

جدول (٨–٢) : نتائج المحاولات

على الوجه الآخر، وسجِّل النتائج في الجدول التالي:

٥. كرر الخطوة (٣–٤) مع ما تبقى لديك من العملات.

٦. تبادل البيانات الخاصة بك مع المجموعات الأخرى، وانقلها في جدول البيانات الخاص بك .

التحليل والتفسير :

١. هل حصلت كل مجموعة على نفس العدد من العملات بعد كل محاولة؟

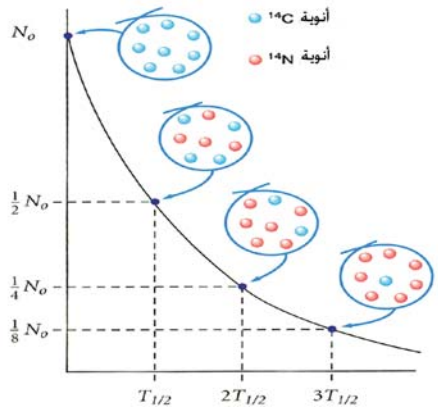
٢. ارسم بيانيًّا العلاقة بين عدد العملات المتبقية في كل محاولة (على المحور الرأسي)، وعدد المحاولات (على المحور الأفقي).

٣. قارن العلاقة البيانية التي حصلت عليها بالشكل(٨–٧).

عمر النصف Half Life

إن معدل انحلال أي من العناصر المشعة غالبا ما يحدده معرفة عمر النصف. ويعرف عمر النصف لنظير مشع بأنه الوقت الذي يستغرقه لتنحل نصف كميته الأصلية. على سبيل المثال، عمر النصف لنظير الكربون $^{14}_{6}C$ حوالي 5730 سنة، فإذا كان عدد الأنوية في هذه العينة يساوي 1022 نواة ، فبعد 5730 yr سيصبح عدد النوى $\frac{1022}{2}$ وبعد 5 730 yr سنة أخرى سوف يصبح عدد النو $\frac{1022}{4}$ وهكذا، كما هو مبين في الشكل(٨–٦) حيث يوضح انحلال عنصر الكربون عبر الزمن.

إن عمر النصف للنظائر المشعة المعروفة تختلف من حوالي 10^{-22} s إلى حوالي 10^{21} yr. ويوضح الجدول(٨–٣) عمر النصف لبعض النظائر المشعة، ويتضح أن عمر النصف يتناسب عكسيًّا مع ثابت الانحلال فكلما زاد عمر النصف للنظير المشع فإن انحلاله يكون بطيئًا أي أن ثابت انحلاله يكون صغيرًا. بمعنى أن العناصر النشطة إشعاعيًّا يكون ثابت انحلالها كبيرًا جدًّا وعمر النصف لها قصير.ويستخدم عمر النصف في تقدير عمر الحفريات التي يكتشفها علماء الآثار وذلك عن طريق أخذ عينة منها و فحص كمية أنوية نظير الكربون المشع $^{14}_{6}C$ المتبقية في هذه العينة. وببعض العمليات الحسابية يستطيع العلماء معرفة عمر هذه الحفرية حيث إن الكربون $^{14}_{6}C$ المشع يبدأ في الانحلال بعد وفاة الكائن الحي مباشرةً.



الشكل (٨–٨)

العنصر	عمر النصف
الرادون $^{222}_{88}Ra$	3.82 days
الثوريوم $^{234}_{90}Th$	24.1 days
الكربون $^{14}_{6}C$	5730 years
اليورانيوم $^{234}_{92}U$	7.04×10^{8} years
البوتاسيوم $^{40}_{19}K$	1.28×10^{9} years

جدول (٨–٣): عمر النصف لبعض العناصر

ويمكن حساب عمر النصف $T_{\frac{1}{2}}$ من العلاقة التالية:

$$T_{\frac{1}{2}} = \frac{0.693}{\lambda} \qquad (٦–٨)$$

مثال (٣):

إذا كان عمر النصف لنظير الراديوم $^{226}_{88}Ra$ هو $5 \times 10^{10}\ s$، فإذا احتوت عينة منه على 3×10^{10} نواة، احسب النشاطية الإشعاعية لهذا العنصر.

الحل:

أولاً: نحسب ثابت الانحلال.

$$\lambda = \frac{0.693}{T_{\frac{1}{2}}} = \frac{0.693}{5 \times 10^{10} s} = 1.4 \times 10^{-11}\ s^{-1}$$

$$\lambda N = (1.4 \times 10^{-11})\ (3.0 \times 10^{10}) = 0.42\ Bq$$

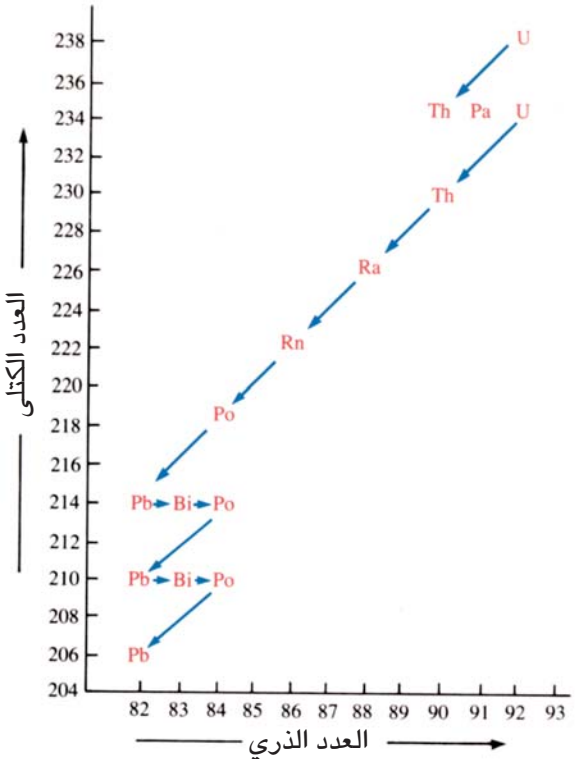
اختبر فهمك (٤):

١- إذ كان عمر النصف لعينة من نظير لعنصر مشع يساوي $1\ yr$، ما الكمية المتبقية من العينة الأصلية في نهاية السنة الثانية؟

٢- إذا كان عمر النصف للبولونيوم $^{210}_{84}Po$ هو $140\ day$. كم تستغرق عينة منه لكي تنحل إلى ثمن العينة الأصلية؟

٨–٥ سلاسل الانحلال Decay Series

في أغلب الحالات عند انحلال أحد النظائر المشعة فإنه يتحول إلى نظير آخر مشع أيضًا. وأحيانًا فإن النواة الوليدة المشعة تنحل هي الأخرى إلى نظير جديد، وتستمر هذه العملية إلى أن تصل إلى عنصر مستقر لا ينحل. هذه العملية المتتالية من الانحلالات تسمى سلسلة الانحلال، وتمثل بيانيًّا كما هو موضح في الشكل (٨–٩). حيث يوضح الشكل أن نظير عنصر اليورانيوم $^{238}_{92}U$ ينحل بإشعاع ألفا إلى نظير عنصر الثوريوم $^{234}_{90}Th$ ، الذي بدوره ينحل بإشعاع بيتا إلى نظير عنصر الباريوم $^{234}_{91}Pa$ ، وتستمر السلسلة كما هو مبين إلى أن تصل إلى نظير عنصر الرصاص المستقر $^{206}_{82}Pb$ ، ويحدث الانحلال أحيانًا بإشعاع ألفا أو بيتا. فعلى سبيل المثال، فإن نظير عنصر البولونيوم $^{218}_{82}Po$ يمكن أن ينحل بإشعاع ألفا إلى نظير عنصر الرصاص $^{214}_{82}Pb$ أو ينحل بإشعاع بيتا إلى نظير عنصر الاستاتين $^{218}_{85}At$.

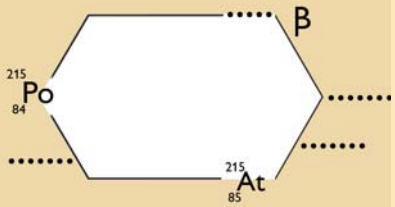


الشكل (٨–٩)

ومن خلال السلسلة السابقة يمثل السهم الأفقي إشعاع بيتا(لا يحدث تغيير في A) ، في حين يمثل السهم المائل إشعاع ألفا (يتغير A بمقدار 4، ويتغير Z بمقدار 2). وهناك العديد من سلاسل الانحلال الأخرى.

اختبر فهمك (٥):

١. أكمل سلسلة الانحلال التالية:



٦-٨ الانشطار النووي Nuclear Fission

كان العالم انريكو فيرمي *Enrico Fermi* (١٩٠١م–١٩٥٤م) في العام ١٩٣٤م يقوم ببعض التجارب للحصول على نظائر العناصر عن طريق قذف الأنوية بالنيوترونات. وعندما وصل إلى عنصر اليورانيوم (العنصر الأخير في الجدول الدوري في ذلك الوقت) . توقع أن قذف العنصر بالنيوترونات سيؤدي إلى وجود نواة غير مستقرة تشع جسيمات بيتا، وبالتالي ازدياد العدد الذري من 92 إلى 99 وإنتاج عنصر جديد في الجدول الدوري، ولكنه لم يحصل على ما توقعه ولم يستطع التعرّف على نواتج التفاعل.

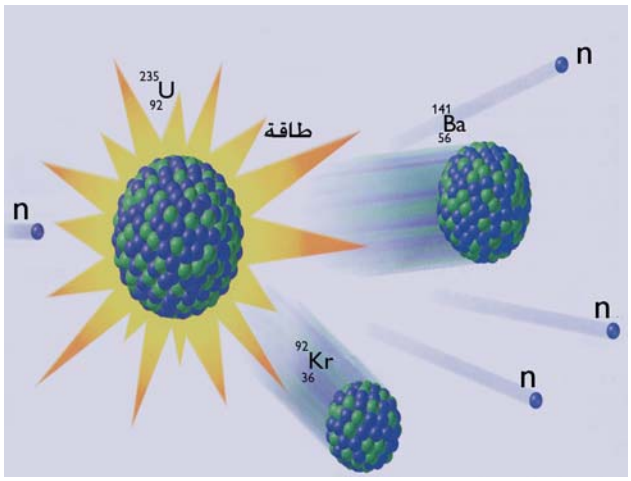
استمرت الأبحاث والدراسات من العام ١٩٣٥م إلى العام ١٩٣٨م حيث قامت عالمة ألمانية تدعى إدا نوداك *Ida Noddack* (١٨٩٦م–١٩٧٨م) بالتعرّف على نواتج التفاعل الذي قام به فيرمي، وأوضحت أن نواة اليورانيوم انشطرت إلى نواتين متوسطتي الكتلة . وقد أكدت الدراسات صحة ما افترضته هذا العالمة . وبذلك يعرف الإنشطار النووي على أنه" انقسام نواة ثقيلة إلى نواتين متوسطتي الكتلة ، وإنتاج كميات هائلة من الطاقة نتيجة تفاعل نووي" ويحدث الانشطار النووي لثلاثة أنواع من النظائر الثقيلة هي :

اليورانيوم $^{235}_{92}U$ والبلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$ و اليورانيوم $^{233}_{92}U$. حيث تعرف هذه العناصر أيضًا بعناصر الوقود النووي. وبأخذ اليورانيوم كمثال يمكن تمثيل الانشطار النووي بالمعادلة:

$$^{1}_{0}n + {}^{235}_{92}U \longrightarrow X + Y + (2-4)\,{}^{1}_{0}n + \text{طاقة} \qquad (٧-٨)$$

ويبيّن الشكل (٨–١٠) كيفية حدوث الانشطار النووي لعنصر اليورانيوم $^{235}_{92}U$.

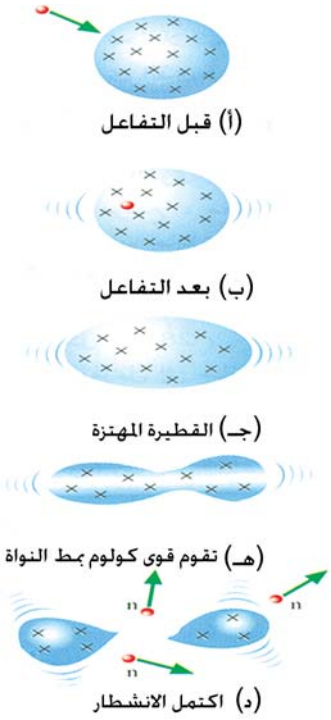
يتبين من المعادلة أن نواة اليورانيوم تنشطر إلى نواتين وعدد من النيوترونات وطاقة تمثل فرق الكتلة بين النواة الأصلية ونواتج الانشطار، والسبب المباشر لحدوث الانشطار هو حالة عدم الاستقرار التي يصل لها نظير اليورانيوم $^{235}_{92}U$ بحيث أنه عند قذفه بالنيوترون يتحول إلى نظير عنصر اليورانيوم $^{236}_{92}U$ وهو نظير غير مستقر



الشكل (٨–١٠)

تمامًا لأن مدة بقائه حوالي 10^{-12} s قبل أن ينشطر إلى نواتين، وتكون عملية انشطار اليورانيوم عملية سريعة جدًّا.

ولفهم عملية الانشطار نفترض أن نواة اليورانيوم الثقيلة هي عبارة عن قطرة سائل ، فعند إضافة نيوترون إلى القطرة تهتز بشكل عشوائي مما يجعل مساحتها تزداد، وبالتالي تتضاءل قوة التجاذب بين جزيئات السائل ثم تبدأ قوى كولوم التنافرية بدفع الجزيئات بعيدًا عن بعضها البعض وبالتالي يحدث الانشطار لقطرة السائل كما هو موضح في الشكل (٨–١١).



الشكل (٨–١١) : عملية الانشطار كما تحدث لقطرة سائل

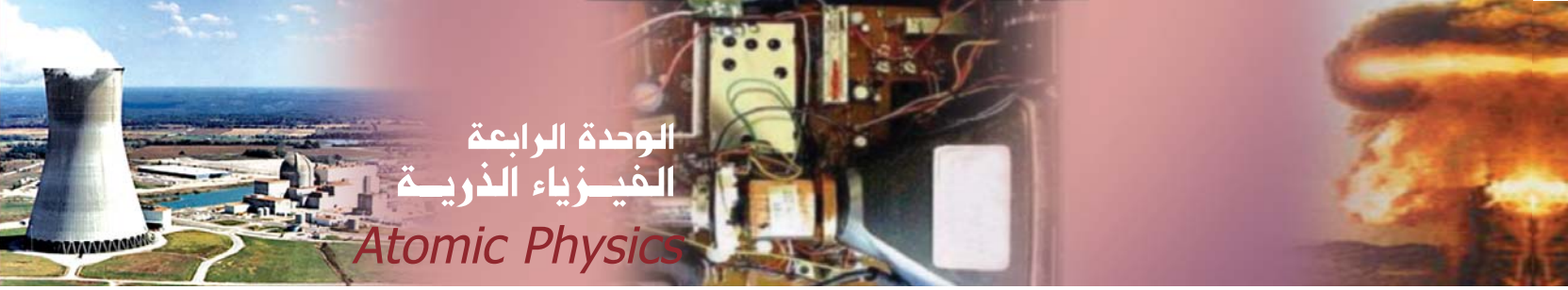
إن النواتج من الأنوية التي تظهر بعد الانشطار والتي أسميناها x و y قد تأخذ ٣٠ احتمالاً أو زوجاً من الأنوية، ومن النادر جدًّا أن تنشطرالنواة إلى أكثر من نواتين ومن هذه الاحتمالات:

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{236}_{92}U \longrightarrow ^{87}_{35}Br + ^{147}_{57}La + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{236}_{92}U \longrightarrow ^{94}_{38}Sr + ^{140}_{54}Xe + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{236}_{92}U \longrightarrow ^{93}_{37}Rb + ^{141}_{55}Cs + 2\,^{1}_{0}n$$

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{236}_{92}U \longrightarrow ^{92}_{36}Kr + ^{141}_{56}Ba + 3\,^{1}_{0}n$$



كما توجد نواة عنصر آخر غير مستقرة وقابلة للانشطار بسهولة إذا قذفت ببروتون سريع، وهي نواة نظير عنصر البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$ الذي لا يوجد في الطبيعة ولكن يتم تصنيعه من خلال مفاعلات التوليد ، حيث يتم تعريض نظير عنصر اليورانيوم $^{238}_{92}U$ لقاذف بروتونات فتحدث سلسلة من التفاعلات ينتج بعدها نظير عنصر البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$. وتبيّن المعادلات التالية سلسلة التفاعلات التي تحدث.

$$^{235}_{92}U + ^{1}_{0}n \longrightarrow ^{235}_{92}U \longrightarrow ^{239}_{93}Np + ^{0}_{-1}e$$

$$^{239}_{93}Np \longrightarrow ^{239}_{94}Pu + ^{0}_{-1}e$$

معلومة تهمك

التخصيب هو عملية فصل اليورانيوم $^{238}_{92}U$ من اليورانيوم $^{235}_{92}U$ ، ويتم بواسطة شبكة معقدة من الأنابيب و أجهزة الطرد المركزي للغاز . حيث يتم إدخال اليورانيوم $^{238}_{92}U$ داخل جهاز الطرد الذي يقوم بفصل اليورانيوم $^{238}_{92}U$ ، وتتكرر العملية حتى يتم الحصول على يورانيوم $^{235}_{92}U$ نقي، وقد تستغرق هذه العملية عدة أشهر أو سنوات .

و نظير البلوتونيوم هذا هو المادة المستخدمة في أغلب أسلحة الانشطار النووي في العالم، بالإضافة الى اليورانيوم.أما طاقة الانشطار النووي فهي تنتج عن انشطار النواة الأصلية وتفكك قوى الترابط بين النيوكليونات، كما ذكرنا سابقًا وتعادل تقريبا (200 MeV) لليورانيوم $^{238}_{92}U$.

اختبر فهمك (٦):

بماذا يختلف الانشطار النووي عن الانحلال الاشعاعي؟

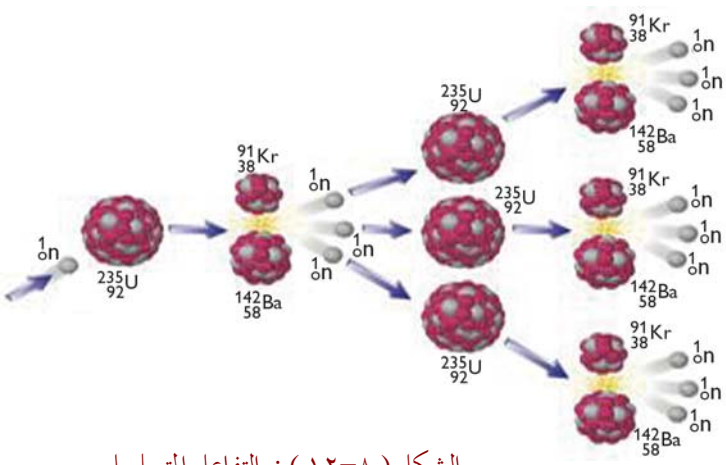
لمزيد من المعلومات قم بزيارة المواقع الإلكترونية التالية على الشبكة العالمية للاتصالات الدولية:

http://www.schoolarabia.net/fezia/nuclear/nuclear_fission/nuclear_1.htm

http://hazemsakeek.com

٨–٧ التفاعل المتسلسل Chain Reaction

عند انشطار نواة ذرة اليورانيوم تنطلق من هذا الانشطار، بالإضافة إلى الأنوية الجديدة والطاقة الهائلة نيوترونات سريعة والتي بدورها يتم امتصاصها من قبل أنوية ذرات يورانيوم أخرى محدثة انشطارات أخرى. فإذا انطلقت ثلاثة نيوترونات من انشطار نظير اليورانيوم $^{236}_{92}U$ فإن كل نيوترون يذهب إلى نواة ذرة يورانيوم $^{235}_{92}U$ ويحولها إلى نظير اليورانيوم $^{236}_{92}U$ ، والذي ينشطر مطلقًا ثلاثة نيوترونات أخرى، وتستمر هذه العملية فيما يعرف بالتفاعل المتسلسل كما هو موضح في الشكل (٨–١٢)، ولا يتوقف هذا التفاعل إلى أن تنتهي كتلة اليورانيوم ، وكلما كانت سرعة النيوترونات بطيئة كانت احتمالية اصطدامها بأنوية اليورانيوم أكبر .



الشكل (٨–١٢) : التفاعل المتسلسل

الاستكشاف (٢) : تفاعل سلسلة قطع الدومنة

سؤال علمي : كيف يتم التفاعل المتسلسل لذرات عنصر اليورانيوم في الانشطار النووي؟

المواد والأدوات: 15 قطعة من قطع الدومنة – ساعة إيقاف.

الإجراءات:

النموذج الأول:

١– قم بترتيب القطع كما في الشكل(٨–١٣).بحيث تكون كل قطعة خلفها قطعتين ثم اسقط القطعة الأمامية ولاحظ ما يحدث.

٢– احسب الزمن الذي تستغرقه قطع الدومنة لتسقط كلها. ابدأ بتشغيل الساعة عند إسقاط القطعة الأولى وأوقفها عند سقوط آخر قطعة.

٣– إذا لم تسقط كل القطع أعد الخطوات السابقة وتأكد من سقوطها جميعًا.

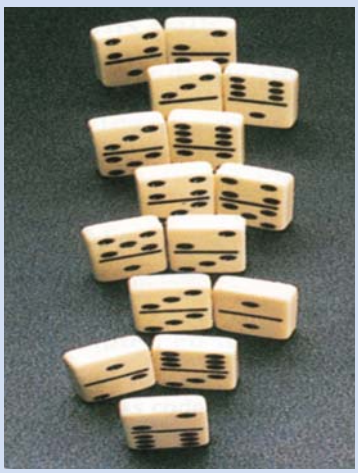
الشكل (٨–١٣)

النموذج الثاني

١- قم بترتيب القطع كما في الشكل(٨-١٤)بحيث تقوم قطعة الدومنة في الصف الأول بإسقاط قطعتي الدومنة في الصف الثاني، بينما تقوم قطعة واحدة من الصف الثاني بإسقاط القطعتين في الصف الثالث وهكذا.

٢- احسب الزمن الذي تستغرقه قطع الدومنة لتسقط كلها. ابدأ بتشغيل الساعة عند إسقاط القطعة الأولى وأوقفها عند سقوط آخر قطعة.

٣- إذا لم تسقط كل القطع أعد الخطوات السابقة وتأكد من سقوطها جميعًا.



الشكل (٨-١٤)

التحليل والتفسير:

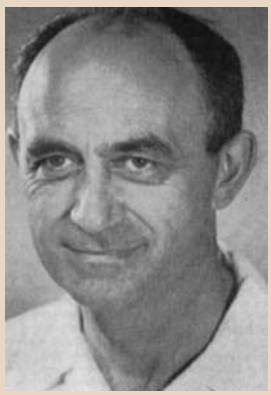
١- أي نموذج يمثل تفاعل غير مسيطر عليهِ؟ وأيهما يمثل تفاعل مسيطر عليه؟

٢- تخيل أن كل قطعة دومنة تعطي طاقة في أثناء سقوطها.أي النموذجين يعطي طاقة أكبر؟

٣- بالمقارنة بالوقت المستغرق، أي النموذجين احتاج لوقت أطول ليعطي طاقة؟ وأيهما احتاج لوقت أقصر؟

معلومة تهمك:

في عام ١٩٣٨م فاز فيرمي بجائزة نوبل في الفيزياء، وبدلاً من العودة إلى إيطاليا واصل سفره إلى الولايات المتحدة ليعمل أستاذاً وباحثاً في جامعة كولومبيا، وكان فيرمي يحلم بإحداث انشطار نووي متسلسل وتفجير طاقة الذرة من خلال شطر أنوية العناصر الثقيلة وبخاصة اليورانيوم، واستطاعت الجامعة أن توفّر له كميات كبيرة من اليورانيوم الخام من كندا والكونغو. وبعد دراسات نظرية وحسابية مضنية بالتعاون مع فريق من الباحثين والمساعدين استطاع فيرمي في عام ١٩٤٢م أن يحقق أول نجاحاته بإحداث انشطار نووي متسلسل مستمر بقوة ذاتية باستخدام سبعة أطنان من اليورانيوم والجرافيت، والاعتماد على قضبان الكادميوم للسيطرة على التفاعل، وقد تم ذلك في أحد ملاعب الاسكواش المهجورة في جامعة شيكاغو.



٨–٨ المفاعل النووي Nuclear Reactor

المفاعل النووي عبارة عن منشأة ضخمة يتم فيها السيطرة على عملية الانشطار النووي، حيث يتم توفير الظروف المناسبة لاستمرار عملية الانشطار النووي دون وقوع انفجارات في أثناء الانشطارات المتسلسلة.

و يستخدم المفاعل النووي لأغراض متعددة منها:

– إنتاج الطاقة الكهربائية.

– تصنيع الأسلحة النووية.

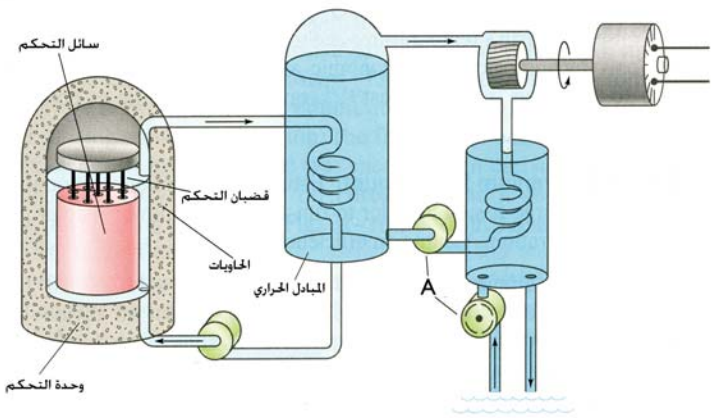
– تحلية المياه.

– إنتاج نظائرذات فعالية اشعاعية.

تم بناء أول مفاعل نووي في العالم عام ١٩٤٢م وكان الغرض الرئيسي من هذا المفاعل هو تصنيع الأسلحة النووية. و في عام ١٩٥١م وللمرة الأولى تم إنتاج الطاقة الكهربائية من مفاعل أيداهو *Idaho* في الولايات المتحدة. و يتكون أي مفاعل نووي من الأجزاء التالية كما يوضحها الشكل (٨–١٥):

١– وحدة التحكم : وهي عبارة عن قلب أو مركز المفاعل، وهو الجزء الذي تتم فيه سلسلة عمليات الإنشطار النووي ويحتوي على:

– قضبان التحكم : والتي عادة ما تكون من مادة البورون أو الكادميوم والتي لها القدرة الكبيرة على امتصاص النيوترونات، ولذلك تسمى بقضبان التحكم وتعمل على السيطرة على التفاعل المتسلسل الذي يحدث في قلب المفاعل.



الشكل (٨–١٥) : تركيب المفاعل النووي

– سائل التحكم (المهدئ): ويستعمل الماء الثقيل عادة H_2O^2 أو الصوديوم المنصهر أو الجرافيت، وذلك لتهدئة النيوترونات الناتجة من الإنشطار النووي، كما يعمل كواقي من الإشعاع المنبعث من العملية.

– الوقود النووي: ويكون غالبًا عنصر اليورانيوم $^{235}_{92}U$ أو البلوتونيوم $^{239}_{94}Pu$. ويكون على شكل قضبان

أسطوانية. و لكي يحدث التفاعل المتسلسل لا بد من أن تكون كتلة الوقود النووي مساويًا لكتله معينة تسمى الكتلة الحرجة. والتي هي عبارة عن الحد الأدنى من كتلة مادة معينة كافية لتعطي سلسلة متعاقبة من الانشطارات.

٢- المبادل الحراري : يتم فيه تبخير الماء بواسطة المهدئ الخارج من قلب المفاعل، ثم توجيه بخار الماء المضغوط إلى التوربينات التي تدير المولدات الكهربائية.

٣-حاويات: تحيط بمركز المفاعل لمنع تسرب الإشعاعات الناتجة من الانشطار النووي.

و يوضح الشكل(٨-١٦) أحد المفاعلات النووية.

الشكل (٨-١٦) : مفاعل نووي من الخارج

ويبدأ المفاعل النووي بالعمل عند إخراج قضبان التحكم بالتدريج من قلب المفاعل بواسطة محركات صغيرة، حيث يبدأ التفاعل المتسلسل وتنتج عنه كمية هائلة من الحرارة التي تعمل على تسخين مادة المهدئ والذي يندفع نحو المبادل الحراري. يسخن الماء العادي في المبادل الحراري ويتحول إلى بخار عالي الضغط ، الذي بدوره يندفع ليدير توربينات تتحرك لتوليد طاقة كهربائية.

معلومة تهمك:

في فجر يوم ٢٦أبريل ١٩٨٦م، تهشّم صمّام الأمان في قلب المفاعل رقم أربعة في محطة تشرنوبيل الأوكرانية (قبيل انهيار الاتحاد السوفيتي وانفصال أوكرانيا عنه)، ثم تلا ذلك انفجارات دمّرا مبنى المحطّة، وتصاعد عمود دخان شعاعي أسود لوّث السماء بلون أحمر، وانتشر في المنطقة، ثمّ امتدّ إلى عدد كبير من الدول الأوروبية والأفريقية والآسيوية، مسبباً أخطر حادث نووي في التاريخ.

إن الطاقة العالية التي تنتج في قلب المفاعل بقدر قليل من الوقود المستخدم تجعل من المفاعلات النووية الحل الأمثل لإنتاج الطاقة والبديل المناسب لمواجهة مشكلة نفاد الطاقة الاحفورية. ولكن هناك مشكلة كبيرة وهي الإشعاعات الناتجة من التفاعل المتسلسل، ففي المفاعل يتم منع هذه التفاعلات عن طريق العازل الأسمنتي، ولكن قد يحدث بعض التسريب نتيجة طول الفترة الزمنية التي يعمل خلالها المفاعل إلى جانب قلة الصيانة للمفاعل خصوصًا عند بعض الدول التي تمتلك المفاعلات النووية ولكنها لا تملك الخبرة أو الإمكانيات اللازمة للمحافظة على سلامة المفاعل وضمان عمله بطريقة سلمية. وبالتالي قد تحدث كوارث بشرية وبيئية كبيرة مثلما حدث في مفاعل تشرنوبيل عام ١٩٨٦م، كما يوضحه الشكل (٨-١٧).

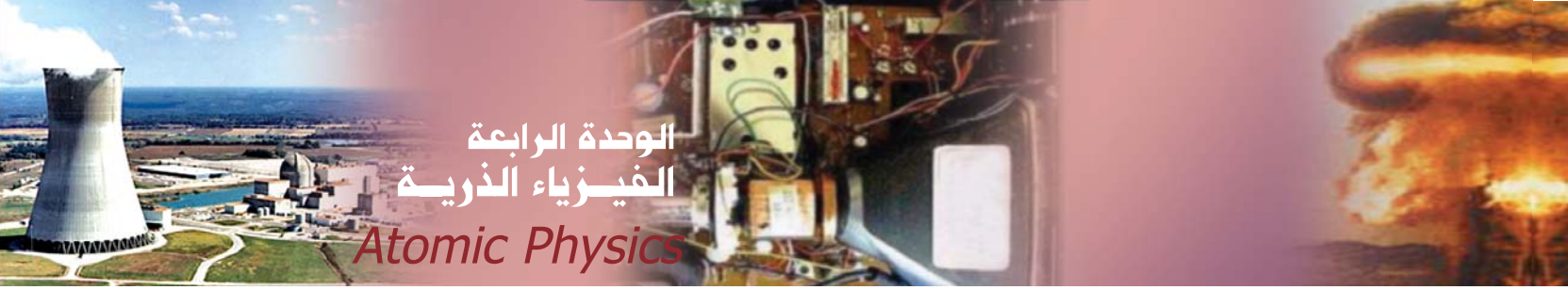
الشكل (٨-١٧) : حادثة تشرنوبيل كارثة هزت العالم

اختبر فهمك (٧):

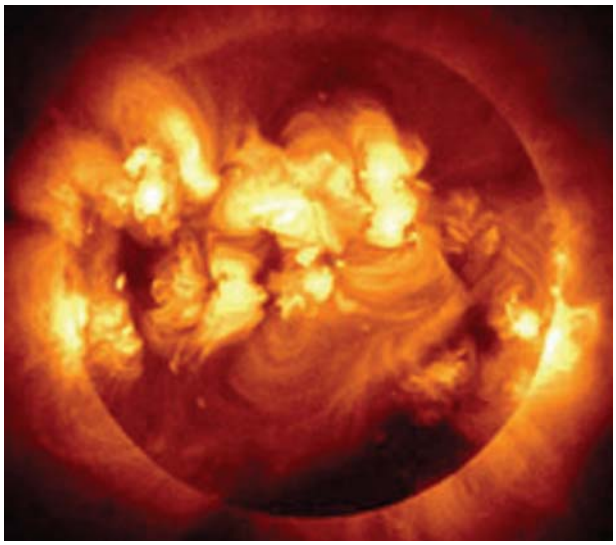
ماذا يحدث إذا تم إخراج جميع قضبان مادة التحكم من قلب المفاعل؟

تطبيقات حياتية

تستخدم المفاعلات النووية في إنتاج الطاقة الكهربائية، كما تستخدم في محطات الأبحاث العلمية التي تبعد عن المناطق التي تتوفر فيها الطاقة الكهربائية، وعوضًا عن استخدام مولدات الديزل تستخدم المفاعلات النووية .



٨–٩ الإندماج النووي Nuclear Fusion



الشكل (٨–١٨) : التفاعل داخل الشمس

علمت أن بعض الأنوية الثقيلة مثل اليورانيوم $^{235}_{92}U$ تنشطر إلى نواتين متوسطتين إذا قذفت بنيوترون بطيء ، وعلمت أن مثل هذا التفاعل يسمى الانشطار النووي . وإذا عكسنا هذا التفاعل أي دمج نواتين خفيفتين معًا لتكوين نواة أثقل فيسمى التفاعل في هذه الحالة بالإندماج النووي، ويعرف على أنه تفاعل نووي يحدث فيه اندماج للنوى الخفيفة كالهيدروجين لإنتاج نوى أثقل كالهليوم وتحرير طاقة نووية كبيرة مصدرها نقص كتلة النواة الناتجة عن مجموع كتلتي النواتين المندمجتين معًا.

ويحدث الاندماج النووي في درجات حرارة عالية جدًّا حتى تمتلك الأنوية طاقة حركية عالية جدًّا تمكنها من التغلب على قوى التنافر الكولومي بينها، وهذا النوع من التفاعلات يسمى أيضًا بالتفاعلات النووية الحرارية.ويحدث هذا التفاعل بشكل طبيعي في الشمس والنجوم كونها شديدة الحرارة، كما يوضحه الشكل (٨–١٨).

ويوجد نوعان أساسيان من تفاعلات الاندماج النووي هما:

١– الاندماج النووي في دورة البروتون $^{1}_{1}H$

٢– الاندماج النووي في دورة الكربون $^{12}_{6}C$

وسنتعرف على النوع الأول فقط من هذه التفاعلات حيث تبدأ بتفاعل اندماج بين بروتونين لإنتاج نواة هيليوم حسب المعادلات التالية:

معلومة تهمك:

القنبلة الهيدروجينية تكتسب طاقتها من الاندماج النووي ، وهي في الواقع قنبلة ذرية محاطة بالديوتريوم . فعندما تنفجر القنبلة الداخلية تتولد حرارة هائلة تجعل أنوية الديوتيريوم تندمج مطلقة طاقة كبيرة جدًا .

١– اندماج بروتونين لتكوين الديوتيريوم وانطلاق بوزيترون و نيوترينو

$$ {}_{1}^{1}\mathrm{H} + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{+1}^{0}\mathrm{e} + {}_{0}^{0}\upsilon $$

حيث ${}_{+1}^{0}\mathrm{e}$ إلكترون موجب (بوزيترون) و ${}_{0}^{0}\upsilon$ نيوترينو .

٢– يتفاعل الديوتيريوم ${}_{1}^{2}\mathrm{H}$ بعد ذلك مع بروتون آخر لإنتاج نظير الهيليوم ${}_{2}^{3}\mathrm{He}$ حسب المعادلة

$$ {}_{1}^{2}\mathrm{H} + {}_{1}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{2}^{3}\mathrm{He} + \gamma $$

٣– تندمج نواتا نظير الهيليوم ${}_{2}^{3}\mathrm{He}$ مع بعضهما لإنتاج نواة الهيليوم ${}_{2}^{4}\mathrm{He}$ وبروتونين

$$ {}_{2}^{3}\mathrm{H} + {}_{2}^{3}\mathrm{H} \longrightarrow {}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\,{}_{1}^{1}\mathrm{H} $$

٤– يندمج البروتونان الناتجان لبدء دورة جديدة.

وتكتب المعادلة الكاملة للاندماج السابق لدورة البروتون كما يلي:

$$ 4\,{}_{1}^{1}\mathrm{H} \longrightarrow 4\,{}_{2}^{4}\mathrm{He} + 2\,{}_{+1}^{0}\mathrm{e} + 2\,\upsilon + 2\,\gamma $$

ولحساب الطاقة الناتجة عن هذا التفاعل، علينا أن نجد الفقد في الكتلة بين كتل النوى الداخلة في التفاعل وهي 4 أنوية هيدروجين وكتلة النواة الناتجة وهي الهيليوم،

حيث كتلة الهيدروجين هي: $4 \times 1.007276 = 4.029104\ u$

وكتلة نواة الهيليوم هي: $4.0026\ u$

وبالتالي يكون فرق الكتلة هو: $4.029104\ u - 4.0026\ u = 0.0265\ u$

والطاقة المكافئة لهذه الكتلة هي: $(0.0276\ u)(931.494\ MeV/u) = 24.7\ MeV$

وقد يبدو للوهلة الأولى أن الإندماج النووي أسهل كثيرًا من الإنشطار النووي ، لأن الديوتيريوم موجود في الطبيعة ويمكن الحصول عليه بكميات وافرة بثمن رخيص ، إلا أن الحال ليس كذلك بسبب زيادة قوة التنافر

الكهربائية عند اقتراب النواتين من بعضهما البعض ولهذا السبب فإنه من أجل إحداث اندماج نووي لا بد من توفير الظروف التالية :

١. حصر الأنوية الخفيفة في حيز صغير جدًّا لزيادة إمكانية تصادمهما والتحامهما معاً .

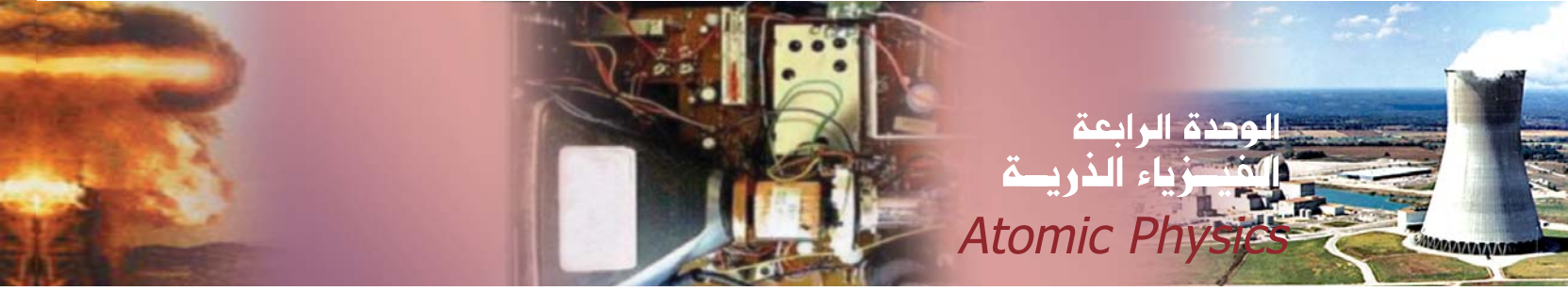
٢. زيادة الضغط الواقع على الأنوية الخفيفة بشكل كبير.

٣. رفع درجة حرارة الأنوية الخفيفة إلى $7.6 \times 10^9\ K$، وذلك لإكسابها طاقة حركية عالية .

و يصعب توفير كل هذه الظروف ، حيث إنه لا يوجد إناء يمكن أن يحتمل مادة درجة حرارتها عالية ومضغوطة بهذا الشكل ، لذلك كان من الصعب تحقيق الاندماجات النووية في المختبرات العلمية .ولكن المحاولات جارية لإيجاد نوى تندمج عند درجات حرارة أقل وربما يصبح الأمر ممكنًا في القريب.

اختبر فهمك (٨):

لماذا تكون نواتج الاندماج النووي أقل خطورة من نواتج الانشطار النووي؟



أسئلة الفصل

السؤال الأول: أختر الإجابة الصحيحة من بين البدائل المعطاة

١- كل مما يلي من خصائص القوى النووية ما عدا:

أ- قوى تجاذب
ب- قصيرة المدى
ج- لا تعتمد على شحنة جسيمات النواة
د- قوى تنافر

٢- طاقة الربط النووي هي تلك الطاقة التي:

أ- تحفظ الالكترونات حول النواة
ب- تلزم لفصل مكونات النواة
ج- تلزم لفصل الالكترونات فصلا تاما
د- تنطلق من النواة حين تنشطر

٣- متوسط طاقة الربط النووي للنيوكليون الواحد:

أ- أكبر لأنوية العناصر الخفيفة
ب- أكبر لأنوية العناصر الثقيلة
ج- أكبر لأنوية العناصر المتوسطة
د- متساوية لجميع أنوية العناصر

٤- يتم تبطئة سرعة النيوترونات في المفاعل النووي بواسطة :

أ- قضبان التحكم
ب- اليورانيوم
ج- المبادل الحراري
د- الماء الثقيل

٥- عند تحول نواة نظير عنصر الثوريوم $^{234}_{90}Th$ إلى نواة ذرة نظير عنصر البروتاكتنيوم $^{234}_{91}Pa$ ينبعث منها:

أ- جسيم ألفا
ب- نيوترون
ج- جسيم بيتا
د- بروتون

٦- إذا كانت طاقة الربط النووي لنواة الهيليوم $^{4}_{2}He$ يساوي $28\ MeV$ فإن متوسط طاقة الربط النووي لها بوحدة MeV يساوي:

أ- 5
ب- 7
ج- 9
د- 28

٧- تقترب أنوية العناصر الخفيفة من وضع الاستقرار بإشعاعها:

أ- بوزيترون ب-أشعة جاما ج- جسيم ألفا د- إلكترون

٨- يستخدم في المفاعل النووي (الوقود النووي، مادة تعمل كمهديء، قضبان للتحكم في التفاعل) والمواد المستخدمة لذلك علي الترتيب هي :

أ- يورانيوم، كادميوم، جرافيت ب- جرافيت، كادميوم، يورانيوم

ج- كادميوم، جرافيت، يورانيوم د- يورانيوم، جرافيت، كادميوم

٩- إذا كانت طاقة الربط النووي لأنوية ذرات العناصر التالية مقدرة بوحدة (*MeV*) كما يلي، فإن أكثر هذه الأنوية استقراراً هي النواة :-

العنصر	$^{4}_{2}He$	$^{39}_{19}K$	$^{12}_{6}C$	$^{9}_{4}Be$
طاقة الربط النووي	28	196	79	56
الإجابة	أ	ب	ج	د

١٠- إذا كانت كتلة نواة ذرة الليثيوم $^{7}_{3}Li$ أقل بمقدار 0.0042 عن مجموع كتل مكوناتها، فإن متوسط طاقة الربط النووي لها بوحدة *MeV* يساوي:

أ- 0.0558 ب- 0.112 ج- 0.211 د- 0.558

١١-إذا كان عمر النصف لنظير عنصر الكوبالت $^{59}_{27}Co$ هو 5.3 *yr* فإن ما يتبقى من أنوية بعد مرور 21.2 *yr* هو :

أ- $\frac{1}{2}$ ب- $\frac{1}{4}$ ج- $\frac{1}{8}$ د- $\frac{1}{16}$

١٢- أشعة جاما عبارة عن:

أ- فوتونات ب- بروتونات ج- نيوترونات د- الكترونات

السؤال الثاني

١- أكمل المعادلات النووية التالية:

أ- $^{1}_{0}n \longrightarrow {}^{1}_{1}H + \ldots\ldots + \ldots\ldots$

ب- $^{228}_{88}Ra \longrightarrow \ldots\ldots + \ldots\ldots + {}^{0}_{-1}e$

ج- $^{209}_{84}Po \longrightarrow {}^{205}_{82}Pb + \ldots\ldots$

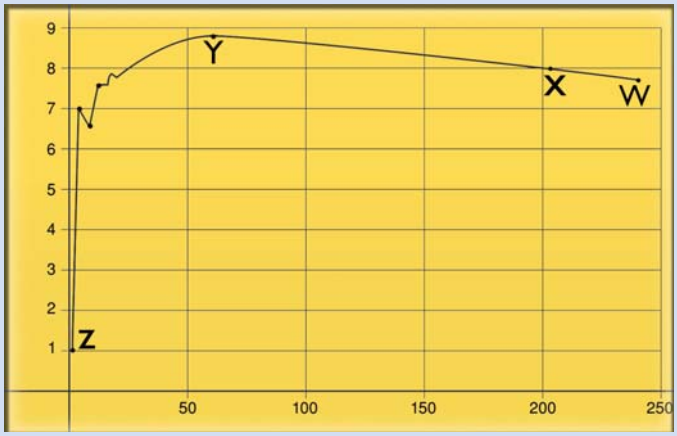
٢- قارن بين الانشطار النووي و الاندماج النووي من حيث :

أ- الوقود المستعمل.

ب- الطاقة الناتجة .

ج- شرط حدوث الانفجار.

٣- يمثل الشكل المجاور العلاقة بين طاقة الربط النووي لكل نيوكليون والعدد الكتلي لمجموعة من العناصر (W,X,Y,Z) اعتمادًا على المنحنى . أجب عن الاسئلة التالية:



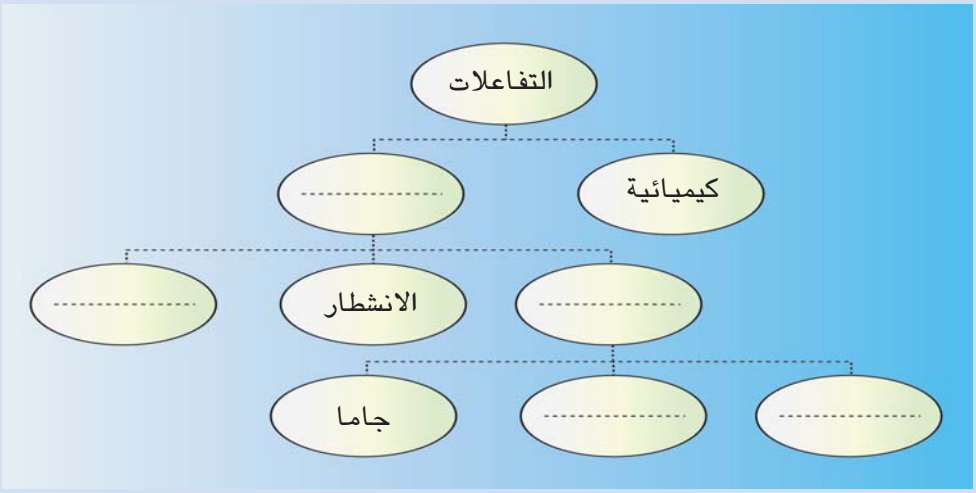
أ- أي هذه العناصر أكثر استقرارًا؟ ولماذا؟

ب- أي هذه العناصر أكثر قابلية للانشطار؟وأيها أكثر قابلية للاندماج عند إحداث تفاعل نووي؟

ج- احسب طاقة الربط النووي لنواة العنصر X؟

٤– علل:
خروج طاقة عالية في التفاعل النووي.

٥– باستخدام المعلومات التي درستها في هذا الفصل أكمل الشكل التالي :



٦ – أي الأنوية التالية تكون أكثر استقرارًا :

$^{23}_{12}Na$ أم $^{7}_{3}Li$

٧– إذ كان لديك كميات متساوية من عنصرين مشعين، عمر النصف لأحدهما قصير، وعمر النصف للعنصر الثاني طويل، أيهما أكثر نشاطية إشعاعية؟ فسر ذلك.

٨– هل من الممكن التنبؤ بدقة عن كتلة النواة من خلال العدد الكتلي؟

٩– نواة البريليوم $^{8}_{4}Be$ عند سلوكها نشاطًا إشعاعيًا فإنها تنقسم إلى نصفين متساويين. ما النواة الناتجة ؟ لماذا يعتبر هذا النوع من الإشعاع هو إشعاع ألفا ؟

١٠– ماذا يحدث إذا كانت طاقة الربط النووي تساوي صفر؟

١١– لماذا تحتاج أنوية العناصر الثقيلة إلى مزيد من النيوترونات حتى تستقر؟

السؤال الثالث: أجب عن الأسئلة الآتية:

١- في التفاعل النووي الآتي:

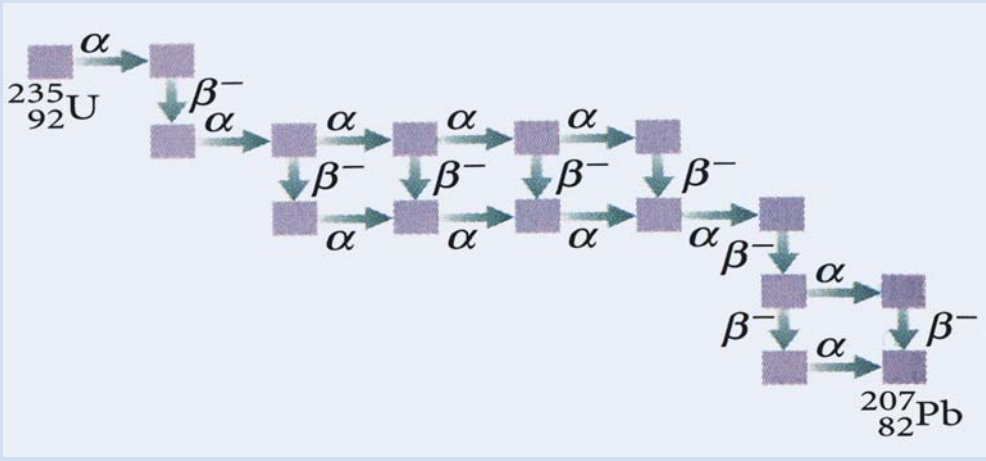
$$^{1}_{0}n + {}^{10}_{5}B \longrightarrow {}^{7}_{3}Li + {}^{4}_{2}He$$

احسب الطاقة المتولدة في هذا التفاعل بوحدة eV. اعتبر أن كلاً من كتل الجسيمات أو أنوية الذرات هي كما يلي:

$^{1}_{0}n = 1.0087\ u$ $\quad$ $^{4}_{2}He = 4.0026\ u$ $\quad$ $^{10}_{5}Be = 10.0160\ u$ $\quad$ $^{7}_{3}Li = 7.0182\ u$

٢- احسب طاقة الربط النووي الكلية وطاقة الربط لكل نيوكليون في نواة عنصر الكالسيوم $^{40}_{20}Ca$ علمًا أن الكتلة الذرية له $39.9625\ u$ وكتلة البروتون $1.0078\ u$ وكتلة النيوترون $1.0086\ u$.

٣- يوضح الشكل انحلال اليورانيوم $^{235}_{92}U$ إلى أن يصل للعنصر المستقر الرصاص $^{207}_{82}Pb$. ارسم الشكل ثم أكمل المربعات بالنظائر الناتجة من كل انحلال.



٤- ما العنصر الناتج من انحلال نظير عنصر البزموث $^{211}_{83}Bi$ عندما يطلق جسيم ألفا؟ اكتب معادلة الانحلال.

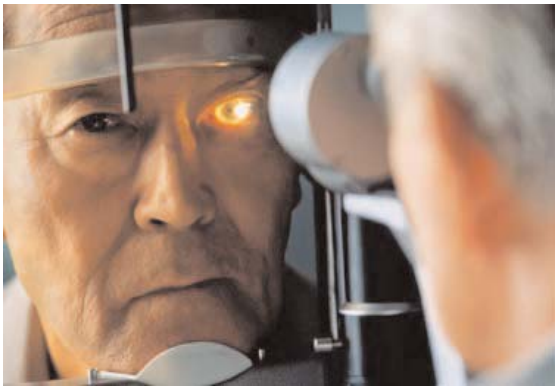
٥- عينة مشعة تحتوي على 5.3×10^{5} من الأنوية. وتنحل بمعدل إشعاعه واحدة كل $4.2\ h$.

أ- احسب ثابت الانحلال لهذه العينة.

ب– عمر النصف لها.

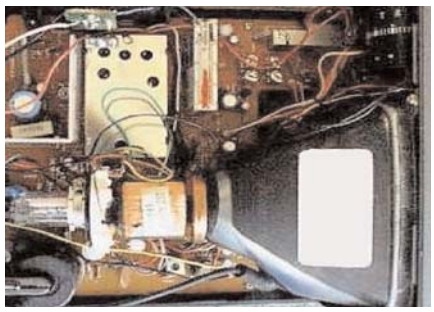
٦– إذا تولدت طاقة مقدارها $22.5 \times 10^{25}\ MeV$ من تفاعل نووي فاحسب النقص في كتلة الوقود النووي ب u ؟

اختصاصي بصريات Optometrists



يتمثل عمل اختصاصي البصريات في تصحيح عيوب النظر باستخدام أجهزة بصرية مثل النظارات الطبية والعدسات اللاصقة، كما يقوم أيضًا بعلاج أمراض العين كالنزول الأسود وتشخيص أمراض العين الناتجة من الأمراض الأخرى كمرض ضغط الدم ومرض السكري.
يقوم اختصاصي البصريات بأخذ التاريخ الطبي للعين، ثم يستخدم المنشور والعدسات لتحديد العلاج المناسب للمريض. وبعد سلسلة من الفحوصات يتم تشخيص المرض ووصف العلاج المناسب ، حيث يمكن أن يكون العلاج النظارات الطبية أو العدسات اللاصقة أو الدواء المناسب لمرض العين.
كما يقوم اختصاصي البصريات غالبا بتوفير الرعاية لمرضى النزول الأبيض قبل وبعد إجراء العملية الجراحية وأيضا للمرضى الذين يقومون بإجراء عمليات تصحيح النظر بالليزر والعمليات الجراحية الأخرى للعين.

فني إصلاح الأجهزة الإلكترونية (جهاز التلفزيون)



تعتمد معظم أجهزة التلفزيون المستخدمة هذه الأيام على جهاز يسمى أنبوبة أشعة المهبط (CRT) لعرض الصور والذي يتكون من أنبوبة مفرغة من الهواء بها المهبط (cathode) يستعمل للدلالة على الطرف السالب والمصعد(anode) يستخدم للدلالة على الطرف الموجب والشعاع الإلكتروني والشاشة الفسفورية.
ويجب على فني إصلاح أجهزة التلفزيون أن يكون ملمًا بهذا التركيب حتى يتمكن من معرفة الخلل الحادث في الجهاز وبالتالي أصلاحه .

عالم الآثار وتقدير عمر الحفريات

يعتمد عالم الآثار في عمله على سلسلة الإنحلالات الإشعاعية التي تحدث للكربون الموجود في جسم الكائن الحي المراد تقدير عمره والذي يدخل إليه عن طريق الأكل. حيث انه كما هو معلوم يبدأ الكربون بالانحلال بعد وفاة الكائن حيث لا يتم تعويضه. ومن خلال مقارنة نسبة الكربون بنسبة الكربون الذي لا ينحل إنما يبقى ثابتًا يستطيع عالم الآثار تقدير عمر الحفرية .

قائمة المراجع

المراجع الأجنبية:

1. *Paul G.Hewitt, John Suchocki, Leslie A.Hewitt, Conceptual Physics Science-Exploration, 1st edition, Addison Wesley, San Francisco, 2003.*

2. *Alan Hirsch, David Martindale, Charles Stewart, Maurice Barry, Physics 12, Thomson Nelson, Canada, 2003.*

3. *Paul W. Zitzewitz, Ph.D., Physics Principles and problems, Glencoe McGraw-Hill, New York, 1999.*

4. *Charles Chew, Leong See Cheng, Comprehensive Physics For IGCCE Level science, 2nd edition, Times Media Private limited, Singapore, 2000.*

5. *Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn, Holt Physics, Holt, Rinehart and Winston, New York, 1999.*

6. *Raymond A. Serway, Jerry S. Faughn, College Physics, 4th edition, Saunders college publishing, Fort Worth, 1995.*

7. *Tom Duncan, Advanced Physics, 4th edition, John Murray publishers, London, 1987.*

8. *H. D.Young, Physics, 8th edition , Addison Wesley, 1992.*

9. *Salters Horners , Advanced Physics AS, Heinemann,2000.*

10. *Jim Breithaupt, Understanding Physics for Advanced Level, Stanley Thornes, Forth edition, UK, 2000.*

قائمة المراجع

المراجع الأجنبية:

11. Tom Duncan, Heather Kennett, IGCSE Physics, Hodder Murray, 2002.

12. Charles Chew, Chow Siew Foong, Ho Boon Tiong, Education, 2007.

13. Ken Dobson and Martin Roberts, Nelson Science Physics, United Kingdom: Nelson Thorens, second edition, 2002.

14. Dobson, Grace and Lovett, Physics, London: Hyper Collins Publishers, second edition, 2002.

15. Douglas C. Giancoli, Physics Principles with Applications, sixth edition, Pearson education International, 2005.

المراجع العربية:

16. John Avison, The World of Physics, United Kingdom: Thomas Nelson and sons, second edition, 1989.

17. Holt Science & Technology Physical science, Holt, Rinehart and Winston, New York, 2001.

18. John D Cutnell, Kenneth W & Others Physics, USA1992.

قائمة المراجع

المراجع العربية:

١. أ. د. علي سالم، د. مجدي العشري، د. محمد عصمت فارس، الفيزياء العملية، جامعة التحدي، الطبعة الأولى ١٩٩٣م، ليبيا.

٢. د. محمد الدبس وآخرون، الموسوعة العلمية الشاملة ، أكاديميا، بيروت لبنان،٢٠٠٦م.

٣. أحمد شفيق الخطيب،الموسوعة العلمية الميسرة، مكتبة لبنان،الطبعة الأولى ١٩٩٨م.

٤. ف. بوش، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للنشر والتوزيع، الطبعة السادسة، ١٩٩٤م.

٥. بوش ، أساسيات الفيزياء ، الدار الدولية للإستثمارات الثقافية ، ٢٠٠٥.

٦. بوش، جيرد، أساسيات الفيزياء، الدار الدولية للاستثمارات الثقافية، الطبعة الأولى، مصر، ٢٠٠١م

٧. دز غازي ياسين القيسي، أساسيات الميكانيكا وخواص المادة، دار المسيرة، الطبعة الأولى، ٢٠٠٧.

٨. الفيزياء للصف العاشر، المملكة الأردنية الهاشمية، وزارة التربية والتعليم، إدارة الكتب والمناهج الدراسية، الطبعة الأولى، ٢٠٠٦م.

٩. خواص المادة والحركة الموجية، مطبعة كلية العلوم بجامعة بغداد، الطبعة الأولى ١٩٨٧.

١٠. الدغمة محمد و المز وغي فرج، أساسيات الكهرباء والمغناطيسية، الكويت: مكتبة الفلاح للنشر والتوزيع، الطبعة الأولى، ٢٠٠٠م.

تم بحمد الله

www.moe.gov.om

عزيزي الطالب، محافظتك على الكتاب المدرسي قيمة حضارية

طبع بمطابع مؤسسة عمان للصحافة والنشر والإعلام