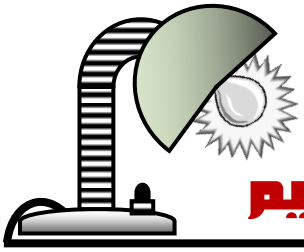
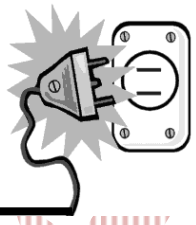


الفصل الخامس
إزدواجية الموجة و الجسيم



الدرس العاشر 10

مقدمة :

❁ الفيزياء الكلاسيكية :

يشمل هذا الفرع من الفيزياء كل ما سبق دراسته .

مجالاتها :

١. تفسر هذه الفيزياء مشاهداتنا اليومية و تجاربنا المعتادة .

٢. لا تستطيع تفسير الظواهر التي يتعامل فيها الضوء أو الإشعاع الكهرومغناطيسي مع الإلكترون أو الذرة ، و لذا تم وضع الفيزياء الحديثة .

❁ مجالات الفيزياء لحديثـة :

١. تتعامل الفيزياء الحديثة مع مجموعة كبيرة من الظواهر العلمية التي لا نراها بصورة مباشرة في حياتنا اليومية .

٢. تتناول الكثير من آثار هذا الكون التي لا تستطيع الفيزياء الكلاسيكية تفسيرها ، و خاصة عند التعامل علي المستوي الذري أو دون الذري .

٣. يفسر هذا النوع من الفيزياء كل الظواهر الإلكترونية الحديثة ، و هي أساس نظم الإلكترونيات و الاتصالات الحديثة .

٤. تفسر التفاعلات الكيميائية علي مستوي الجزيئات و التي تمكن العالم أحمد زويل من تصوير بعضها باستخدام كاميرا الليزر فائقة السرعة .

٥. تعتبر الفيزياء الحديثة مدخلاً مهمًا لفيزياء الكم .

إشعاع الأجسام الساخنة

❁ طبيعة الضوء حسب النظرية الكلاسيكية :

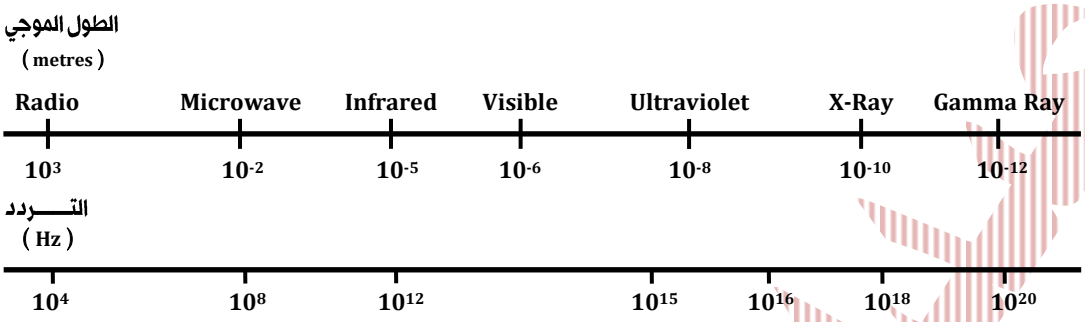
اقتصر فهمنا للضوء حتى الآن علي أن :

١. موجات الضوء تنعكس و تنكسر و تعاني التداخل و الحيود .

٢. الضوء المرئي جزء محدود من الطيف الكهرومغناطيسي .

٣. الموجات الكهرومغناطيسية تختلف عن بعضها في التردد و الطول الموجي و لكنها تنتشر بسرعة ثابتة في الفراغ ($c = 3\times10^8\ m/s$) ، كما أنها لا تحتاج إلي وسط مادي تنتشر فيه .

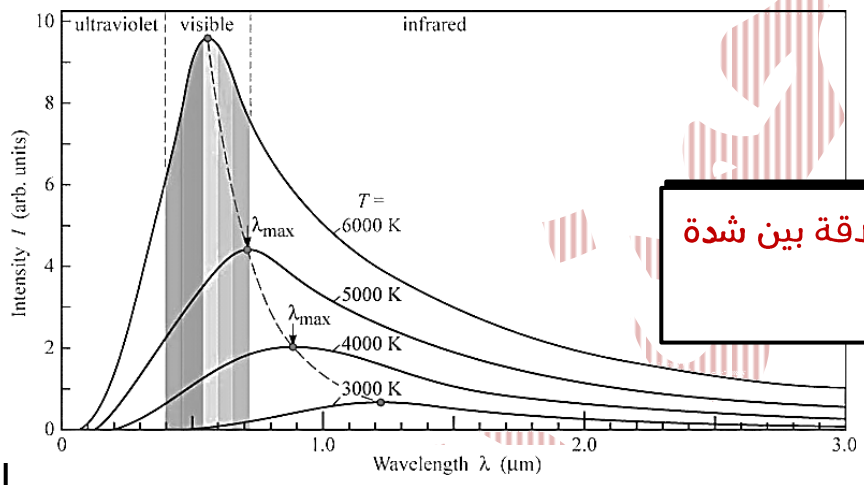
الطيـــف الكهرومغناطيســـــي



❁ إشعاع الأجسام الساخنة :

١. الأجسام الساخنة كالشمس و النجوم و قطعة الفحم المشتعلة و المصباح الكهربي تشع ضوءًا و حرارة ، و نلاحظ أيضًا أن اللون الغالب علي الضوء الصادر من كل هذه المصادر و غيرها متغير .

٢. المصدر المشع لا يشع كل الأطوال الموجية بنفس القدر ، بل تختلف شدة الإشعاع مع الطول الموجي .



منحني بلانك :

هو المنحني الذي يوضح العلاقة بين شدة الإشعاع و الطول الموجي .

ملاحظات هامة

١. كلما زادت درجة الحرارة كلما قصر الطول الموجي الذي عنده قمة عظمي للإشعاع (λ_m) كما بالشكل .

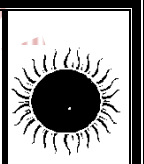
٢. كلما زاد الطول الموجي جدًا أو قصر جدًا فإن شدة الإشعاع تقترب من الصفر .

قانون فـــــين :

الطول الموجي الذي تصاحبه أقصي شدة إشعاع (λ_m) يتناسب عكسيًا مع درجة الحرارة .

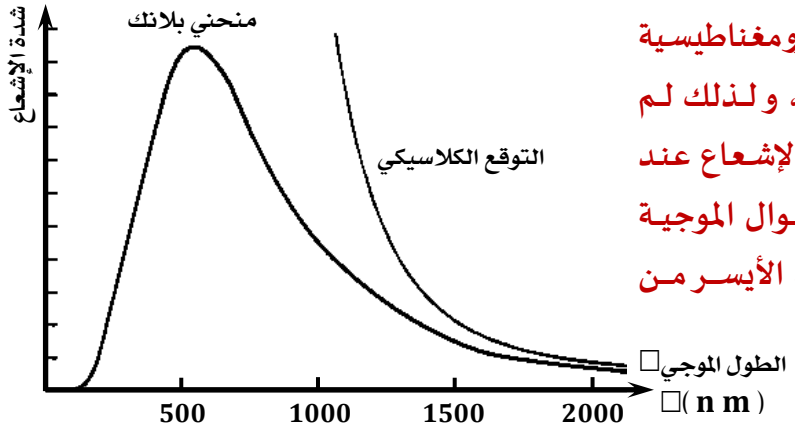
$$\lambda_m \alpha \frac{1}{T} \rightarrow \frac{\lambda_{m_1}}{\lambda_{m_2}} = \frac{T_2}{T_1}$$

الإشعاع الصادر من الأجسام

المصـــدر المشـــع		درجـة الحرارة	λ_m بالميكرون	λ_m بالأنجستروم	توزيع الطاقة الإشعاعية
سطح الشمس		6000°K	0.5 μm	5000 A°	40 % ضوء مرئي 50 % إشعاع حراري 10 % باقي مناطق الطيف
			في نطاق الطيف المرئي		
مصباح كهربي متوهج		3000°K	1 μm	10^4 A°	20 % ضوء مرئي 80% إشعاع حراري
			في نطاق الأشعة تحت الحمراء		
الأرض		288°K	10 μm	10^5 A°	إشعاع حراري
			في نطاق الأشعة تحت الحمراء		

تعليـلات هامة

لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية تفسير منحنيات بلانك للعلاقة بين شدة الإشعاع و الطول الموجي .



ج / لأنها تعتبر الإشعاع موجات كهرومغناطيسية تزداد شدتها كلما زاد ترددها ، و لذلك لم تستطع تفسير انخفاض شدة الإشعاع عند الترددات العالية أي عند الأطوال الموجية القصيرة جدًا كما في الجزء الأيسر من المنحنيات .

إختبر نفسك :

قارن بين كل من :

الإشعاع الصادر عن سطح الشمس و الإشعاع الصادر عن مصباح كهربي متوهج ، من حيث :

١- درجة الحرارة .
٢- الطول الموجي الذي تصاحبة أقصي شدة إشعاع .
٣- توزيع الطاقة الإشعاعية .

تفسير بلانك لمنحنيات الإشعاع

١- وجد العالم بلانك أن المنحني السابق يتكرر مع كل الأجسام الساخنة التي تشع طيفًا متصلاً من الإشعاع و لا يقتصر ذلك علي الشمس بل يحدث للأرض و الكائنات الحية .

٢- نظرًا لأن الأرض جسم غير متوهج فإنها تمتص إشعاع الشمس ثم تشعه مرة أخري .

٣- درجة حرارة الأرض منخفضة كثيرًا بالنسبة للشمس ، لذا فإن قمة منحني إشعاع الأرض يكون عند حوالي (10 micron) و هو في نطاق الأشعة تحت الحمراء ، و لذا لا تراه العين البشرية .

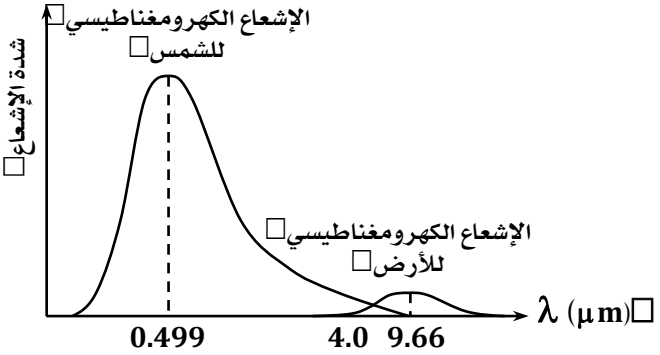
❁ طريقة تصوير الإشعاع الصادر من الأرض :

تستخدم أقمار صناعية و أجهزة قياس محمولة جوًا و أجهزة أرضية لتصوير سطح الأرض ، و ذلك باستخدام مناطق الطيف المختلفة و من بينها :

١. الضوء المرئي .

٢. الموجات الميكرومترية التي تستخدم في الرادار .

٣. الأشعة تحت الحمراء ، المنبعثة من سطح الأرض .



❁ الاستفادة من تصوير الإشعاع الصادر من الأرض و الكائنات الحية (التطبيقات العملية) :

١. يقوم العلماء بتحليل هذه الصور لتحديد مصادر الثروة الطبيعية في باطن الأرض .

٢. تستخدم في التطبيقات العسكرية مثل : **أجهزة الرؤية الليلية** لرؤية الأجسام المتحركة في الظلام واضحة بتأثير ما تشعه من إشعاع حراري .

٣. يستخدم التصوير الحراري في الطب و خاصة في مجال الأورام و الأجنة .

٤. يستخدم التصوير الحراري في مجال اكتشاف الأدلة الجنائية ، فقد وجد أن الإشعاع الحراري لشخص يبقي فترة بعد انصراف الشخص ، و تسمي هذه التقنية بـ **الاستشعار عن بعد** .

إختبر نفسك :

أذكر الأساس العلمي لكل مما يأتي :

١- أجهزة الرؤية الليلية .

جـ / رؤية الأجسام المتحركة في الظلام واضحة بتأثير ما تشعة من إشعاع حراري .

٢- استخدام التصوير الحراري في مجال اكتشاف الأدلة الجنائية .

جـ / الاشعاع الحراري لشخص يبقي فترة بعد انصرافة .

ظاهرة إشعاع الجسم الأسود

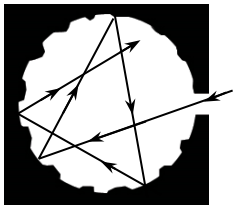
❁ مقدمة :

- قام العالم بلانك بتسمية ظاهرة امتصاص الأجسام للإشعاع الساقط عليها ثم إشعاعه مرة أخري بـ ظاهرة إشعاع الجسم الأسود .

الجسم الأســـود :

هو الجسم الذي يمتص كل ما يسقط عليه من أشعة ذات أطوال موجية مختلفة أي يكون ممتص مثالي ، ثم يعيد اشعاعها مرة أخرى أي يكون باعث مثالي .

❁ توضيح ظاهرة إشعاع الجسم الأسود :

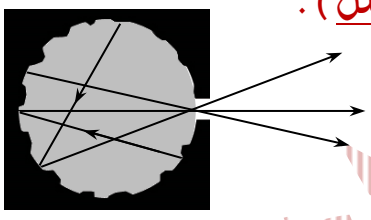


ما يسقط داخل التجويف لا يخرج فيبدو أسود

١. نتصور مكعبًا معدنيًا مجوف مغلق به ثقب صغير .

٢. التجويف من الداخل مغطي بطلاء أسود (سناج) و سطحه الداخلي خشن ، و يجب التنبه إلي أن الجسم الأسود هو الثقب بالتجويف و ليس التجويف نفسه .

كل ما بداخل هذا التجويف يبدو أسود إذا ما نظرنا إليه (علل) .



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

جـ / لأن معظم أشعة الضوء تبقي محصورة داخله من كثرة الانعكاسات ، و لا يخرج من الثقب إلاَّ جزء يسير منه و هو ما يسمي بـ **إشعاع الجسم الأسود** .

٣. الجسم الأسـود عند التسخين يشـع إشعاعـات حسـب درجة حرارته و يمكن إذا زادت درجة حرارته يصبح أبيض متوهج .

❁ فروض بلانك لتفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود :

١. يتكون الإشعاع من وحدات صغيرة من الطاقة يسمي كل منها الكوانتم أو الكم أو الفوتون (Photon) ، أي أن الإشعاع الصادر من الجسم المتوهج هو فيض هائل من هذه الفوتونات .

٢. تزداد طاقة الفوتونات كلما زاد ترددها ، حيث طاقة الفوتون ($E = h \upsilon$) ، حيث : h ثابت بلانك .

٣. يتناقص عدد الفوتونات كلما زادت طاقتها .

٤. تصدر الفوتونات نتيجة تذبذب ذرات الجسم المشع .

٥. الطاقة التي تصدرها هذه الذرات المتذبذبة ليست متصلة و تخرج علي شكل كمات منفصلة أي أنها مُكَمَّاة .

٦. تأخذ مستويات الطاقة في الذرة قيمًا هي ($E = n\,h\,\upsilon$) .

٧. لا تشع الذرة طالما بقيت في مستوي واحد .

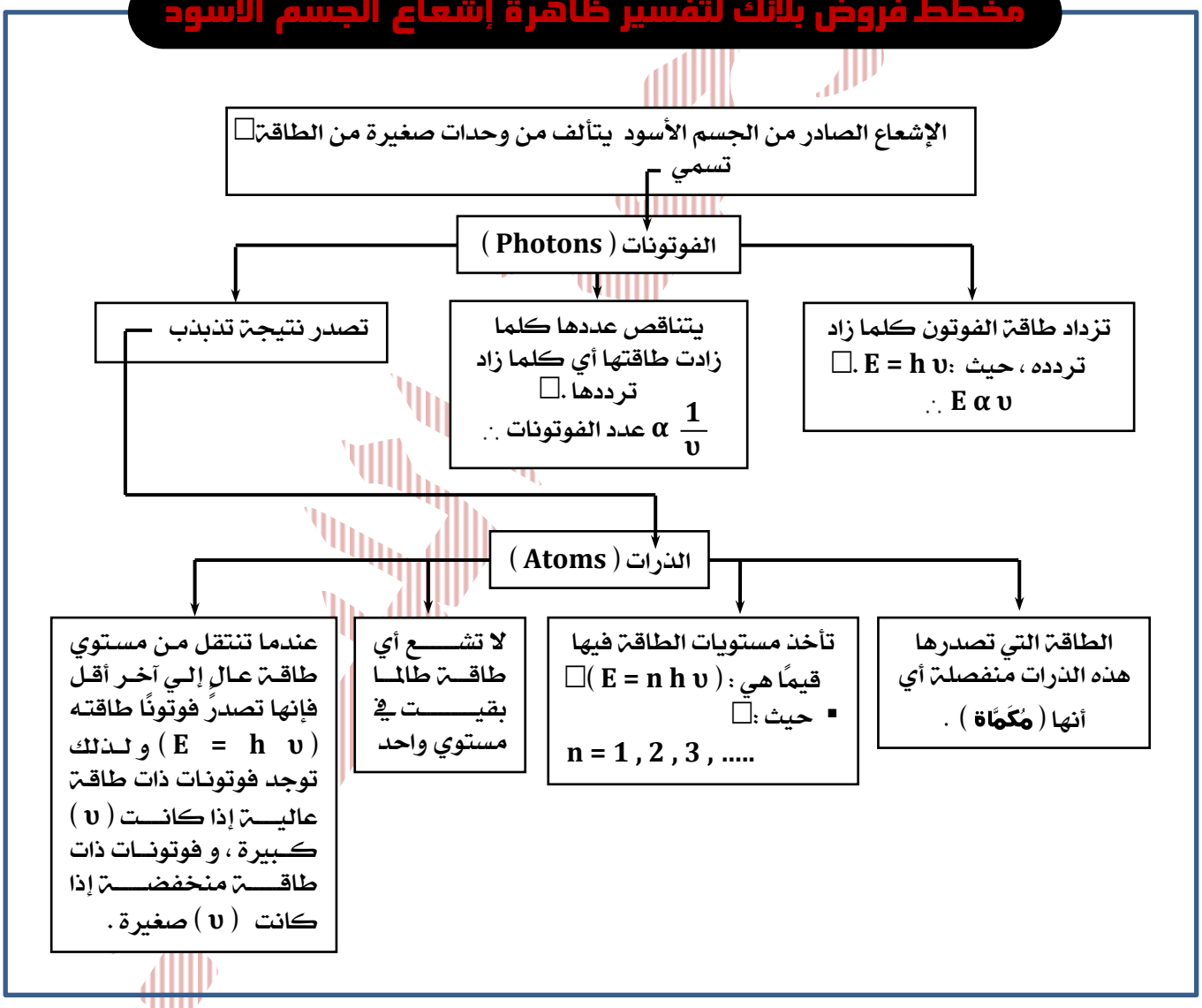
٨. كلما انتقلت الذرة المتذبذبة من مستوي طاقة عالٍ إلي مستوي طاقة أقل فإنها تصدر فوتونًا طاقته ($E = h\,\upsilon$) .

٩. توجد فوتونات ذات طاقة عالية إذا كانت (υ) كبيرة ، و فوتونات ذات طاقة منخفضة إذا كانت (υ) صغيرة .

١٠. الإشعاع الصادر من الجسم يتكون من بلايين الفوتونات ذات الطاقات المختلفة .

١١. لا يمكن أن نلاحظ خواص هذه الفوتونات منفصلة و لكن نلاحظ خواص الإشعاع الصادر ككل ، و هذه الخواص التي تعبر عن فيض الفوتونات هي الخواص الكلاسيكية للموجات .

مخطط فروض بلانك لتفسير ظاهرة إشعاع الجسم الأسود



ظاهرة الإنبعاث الإلكتروني من سطح معدن

يحتوي المعدن علي أيونات موجبة و إلكترونات حرة ، و تستطيع هذه الإلكترونات الحرة أن تتحرك داخل المعدن ، و لكنها لا تستطيع أن تغادره بسبب قوي التجاذب التي تجذبها نحو الداخل و تمنع تحررها من المعدن و هو ما يسمي بـ **حاجز جهد السطح** ، و لكن يمكن لهذه الإلكترونات أن تتحرر من المعدن إذا اكتسبت طاقة حرارية أو ضوئية .

حاجز جهد السطح :

هو قوي التجاذب المتبادلة بين الأيونات الموجبة و الإلكترونات الحرة في المعدن التي تمنع مغادرة الإلكترونات سطح الفلز .

❁ طرق إنبعاث الإلكترونات من سطح معدن أو فلز :

(١) الإنبعاث الأيوني الحراري .

(٢) الإنبعاث الكهروضوئي .

إختبر نفسك :

١- ما غرض أو دور أو استخدام أو أهمية ؟

أ) الموجات الميكرومترية .

ب) التصوير الحراري للإنسان .

ج) تصوير الإشعاع الحراري الصادر من الأرض .

د) أجهزة الإستشعار عن بعد .

٢-اختر الإجابة الصحيحة من بين الأقواس :

أ) عند الترددات العالية جدًا فإن شدة الإشعاع ..... (لا تتغير - تتناقص - تتزايد - تقترب من الصفر) .

ب) النهاية العظمي لشدة الإشعاع الصادر من جسم متوهج ..... (تزاح نحو الطول الموجي الأقصر بارتفاع درجة الحرارة - ثابت في جميع درجات الحرارة - تزاح نحو الطول الموجي الأكبر بارتفاع درجة الحرارة - لا توجد إجابة صحيحة) .

ج) تقترب شدة الإشعاع الصادر من جسم ساخن من الصفر كلما ..... (إزداد الطول الموجي جدًا - قصر الطول الموجي جدًا - الإجابتين السابقتين صحيحتين) .

د) يقل عدد الفوتونات التي يشعها الجسم الساخن كلما ..... (زاد ترددها - قل ترددها - اهتزت ذرات الجسم - كل ما سبق) .

هـ) الموجات الميكرومترية تستخدم في ..... (التجسس - الاستشعار عن بعد - الرادار - الكشف عن الثروات الطبيعية في باطن الأرض) .

و) في مفهوم الفيزياء الكلاسيكية تزداد شدة الإشعاع كلما ..... (قل التردد - قل الطول الموجي - زاد الطول الموجي - لا توجد إجابة صحيحة) .

ز) تزداد طاقة الفوتون كلما ..... (قل تردده - قل طوله الموجي - زاد طوله الموجي - زادت سرعته) .

أولاً : الإنبعاث الأيوني الحراري

يعتمد علي إكساب سطح المعدن طاقة حرارية كبيرة و مناسبة حتي يتوهج و تنبعث منه الإلكترونات .

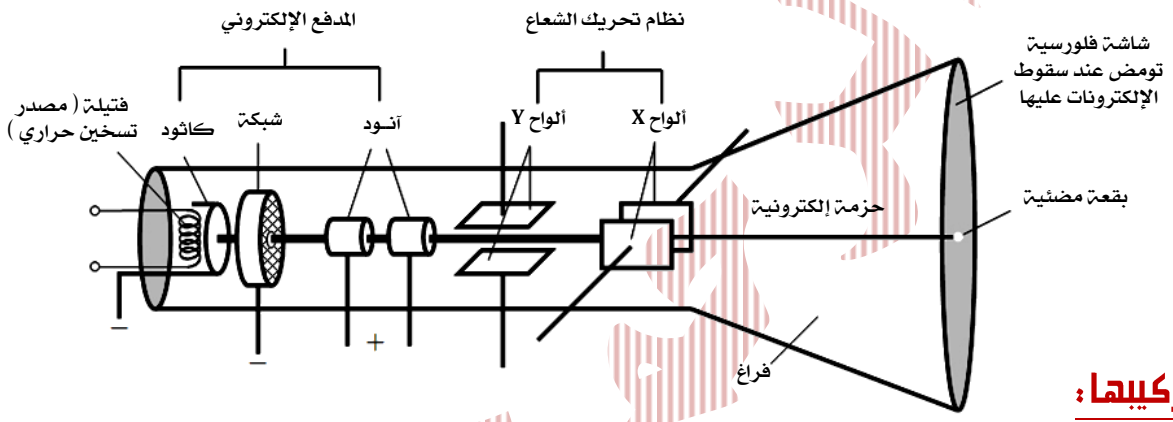
أنبوبة شعاع الكاثود (C.R.T) Cathode Ray Tube

❁ **استخداماها :**

تستخدم في شاشة التليفزيون و الكمبيوتر .

❁ **الأساس العلمي :**

الانبعاث الأيوني الحراري (تحرير الإلكترونات من سطح معدن بإكسابها طاقة حرارية) .



❁ **تركيبها :**

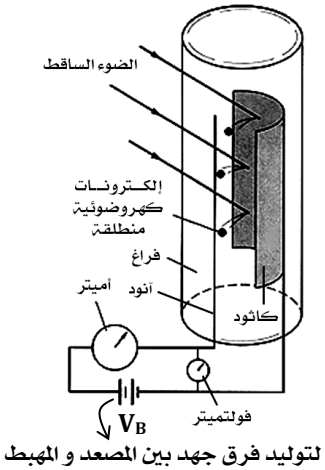
تتركب من أنبوبة مفرغة تقريبًا من الهواء تحتوي بداخلها علي :

	التـــــركيب	الوظيـــــفة
الكاثـــود (المهبط)	سطح معدني	**مصدر الإلكترونات** ، حيث تنطلق منه الإلكترونات الحرة عند تسخينه عن طريق فتيلة التسخين .
الشبـــكة	شبكة معدنية	**التحكم في شدة تيار الإلكترونات** ، حيث تعترض طريق الإلكترونات .
الآنـــود (المصعد)	جزئين اسطوانيين معدنيين	١. التقاط الإلكترونات المتحررة من المهبط فيمر تيار في الدائرة الخارجية . ٢. يوجه الإلكترونات للشاشة حيث أنه متصل بها .
نـظام تحريك الشعاع	ألواح X و ألواح Y متعامدة تولد مجالاً كهربيًا أو ملفات يمر بها تيار كهربي تولد مجالاً مغناطيسيًا	تحريك الشعاع الإلكتروني بحيث يمسح الشاشة نقطة بنقطة حتي تكتمل الصورة .
الشاشـــة	سطح فلوريسي يومض عندما تصطدم به الإلكترونات	**تتكون عليها الصورة النهائية** ، حيث يصدر عنها ضوء تختلف شدته من نقطة لأخري حسب الإشارة الكهربية المرسلة .

ثانياً : الإنبعاث الكهروضوئـــي

يعتمد علي انطلاق الإلكترونات من أسطح بعض الفلزات عند سقوط الضوء عليها .

الخلية الكهروضوئيـــة



لتوليد فرق جهد بين المصعد و المهبط

❁ **استخدامها :**

١. تحويل الطاقة الضوئية إلي طاقة كهربية .

٢. توضيح ظاهرة التأثير الكهروضوئي .

❁ **الأساس العلمي :**

ظاهرة التأثير الكهروضوئي (أي تحرير الإلكترونات من سطح معدن بإكسابها طاقة ضوئية) .

❁ **شرح عملها :**

١. عندما يسقط ضوء علي الكاثود فإن تيارًا يمر في الدائرة .

٢. يدل هذا التيار علي أن الإلكترونات تحررت من الكاثود بتأثير الضوء و انجذبت ناحية المصعد ، ثم أكملت دورتها في دائرته و مر تيار المصعد .

٣. تسمي هذه الظاهرة بـ ظاهرة التأثير الكهروضوئي ، و تسمي الإلكترونات المنطلقة بـ **الإلكترونات الكهروضوئية** .

ظاهرة التأثير الكهروضوئي :

هي ظاهرة انطلاق الإلكترونات من أسطح المعادن عند سقوط الضوء عليها بتردد معين .

تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئـــي

❁ **تفسير النظرية الكلاسيكية :**

لم تستطع النظرية الكلاسيكية تفسير ظاهرة التأثير الكهروضوئي لأنها تنظر للضوء علي أنه موجات ، و طبقًا لهذا التصور من المفترض أن يحدث الآتي :

١. عندما يسقط الضوء علي إلكترونات السطح فإنها تُكسِبُها طاقة فتتحرر الإلكترونات .

٢. شدة التيار المار في دائرة الخلية الكهروضوئية (مقدار الإلكترونات الكهروضوئية المنطلقة في الثانية) يتوقف علي شدة موجة الضوء الساقطة بصرف النظر عن ترددها (υ) .

٣. طاقة حركة الإلكترونات المنبعثة و سرعتها و شدة التيار المار في الدائرة الخارجية يتناسب طرديًا شدة الإضاءة و لا يتوقف علي تردد الضوء .

٤. لو كانت شدة الإضاءة قليلة فإن تسليط الضوء لمدة طويلة كفيل بإعطاء الإلكترونات الطاقة اللازمة لتحررها بصرف النظر عن تردد (υ) موجة الضوء الساقط .

❁ ولكن وجد من المشاهدات العملية أن :

١. انطلاق الإلكترونات من سطح المعدن يعتمد علي تردد موجة الضوء الساقط عليه فلا تنطلق الإلكترونات إلاَّ إذا كان تردد الضوء الساقط أكبر من قيمة معينة تسمي **التردد الحرج** (υ_C) .

٢. **شدة التيار** المار في دائرة الخلية الكهروضوئية يتناسب طرديًا مع **شدة موجة** الضوء الساقط ، **بشرط** أن يكون تردد الضوء الساقط أكبر من التردد الحرج (υ_C) .

٣. طاقة حركة الإلكترونات المنطلقة و بالتالي سرعتها **تتوقف علي** تردد موجة الضوء الساقطة و ليس علي شدتها .

٤. إذا كان تردد الضوء أكبر من التردد الحرج (υ_C) و لكن شدته ضعيفة فإن انطلاق الإلكترونات يحدث **لحظيًا** و ليس هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترونات بل تنطلق الإلكترونات في هذه الحالة مباشرة في التو و اللحظة ، حيث لا يعتمد انطلاق الإلكترونات علي شدة الضوء بل **يعتمد علي تردده** .

❁ تفسير أينشتاين :

١. اعتبر أينشتاين أن الشعاع الضوئي عبارة عن حزمات أو كمَّات من الطاقة تسمي فوتونات تحمل كل منها كمية محددة من الطاقة (E) تتناسب قيمتها مع تردد الموجات ، حيث : $E = h\,\upsilon$.

٢. لكل معدن طاقة تلزم لتحرير الإلكترون من سطحه و تسمي هذه الطاقة بـ **دالة الشغل** و يرمز لها بالرمز (E_W) و قد وجد أن :

$$E_W = h\,\upsilon_C$$

- حيث (υ_C) هو التردد الحرج للضوء الساقط .

٣. **إذا كانت طاقة الفوتون الساقط أقل من دالة الشغل :** ($E < E_W$) ، ($\upsilon < \upsilon_C$) :
- فإن الإلكترون لا يتحرر مهما كانت شدة الإضاءة و لا يحدث التيار الكهروضوئي .

٤. **إذا كانت طاقة الفوتون الساقط تساوي دالة الشغل :** ($E = E_W$) ، ($\upsilon = \upsilon_C$) :
- فإن هذا الفوتون يستطيع بالكاد أن يحرر إلكترونًا واحدًا و لا يكتسب أي طاقة حركة .

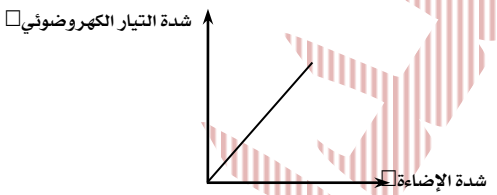
٥. **إذا كانت طاقة الفوتون الساقط أكبر من دالة الشغل :** ($E > E_W$) ، ($\upsilon > \upsilon_C$) :
- فإن هذا الفوتون يحرر إلكترونًا و يظهر فرق الطاقة علي شكل طاقة حركة (KE) يكتسبها الإلكترون فتزيد سرعته .

$$KE = E - E_W$$

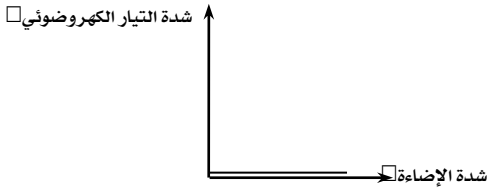
$$e\,V \;\; \tfrac{1}{2}\,m\,v^2 \qquad h\,\upsilon \qquad h\,\frac{c}{\lambda} \qquad h\,\upsilon_C \qquad h\,\frac{c}{\lambda_C}$$

٦. تتناسب شدة التيار الكهروضوئي طرديًا مع شدة الضوء الساقط ، عندما يكون تردد الضوء أكبر من التردد الحرج (υ_C) .

٧. يحدث انطلاق الإلكترونات لحظيًا و لا يكون هناك فترة انتظار لتجميع الطاقة بشرط أن تكون طاقة الفوتون ($h\upsilon$) أكبر من دالة الشغل (E_W) .



إذا كان تردد الضوء أكبر من التردد الحرج (υ_C) تزيد شدة التيار بزيادة شدة الضوء



إذا كان تردد الضوء أقل من التردد الحرج (υ_C) لا يمر تيار مهما كانت شدة الإضاءة

دالة الشغل (E_W) :

هي الحد الأدنى من الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون من سطح المعدن دون إكسابه أي طاقة حركة .

التردد الحرج (υ_C) :

هو أقل تردد للضوء الساقط يعمل علي تحرير الإلكترون من سطح المعدن دون إكسابه أي طاقة حركة .

❁ العوامل التي تتوقف عليها دالة الشغل لمعدن :

نوع مادة المعدن فقط .

❁ العوامل التي (لا) تتوقف عليها دالة الشغل لمعدن :

١- شدة الضوء .
٢- زمن التعرض للضوء .
٣- فرق الجهد بين المصعد و المهبط في الخلية الكهروضوئية .

إختبر نفسك :

ما هي العوامل التي يتوقف عليها كل من ؟

أ) دالة الشغل لسطح معدن .
ب) انطلاق إلكترون من سطح معدن بتأثير سقوط الضوء عليه ، حسب تفسير الفيزياء الكلاسيكية .
ج) انطلاق إلكترون من سطح معدن بتأثير سقوط الضوء عليه ، حسب تفسير أينشتاين .
د) شدة التيار الكهروضوئي الناتج من سطح معدن ، حسب تفسير الفيزياء الكلاسيكية .
هـ) شدة التيار الكهروضوئي الناتج من سطح معدن ، حسب تفسير أينشتاين .
و) طاقة حركة الإلكترونات المنطلقة من سطح معدن ، حسب تفسير الفيزياء الكلاسيكية .
ز) طاقة حركة الإلكترونات المنطلقة من سطح معدن ، حسب تفسير أينشتاين .

مقارنة بين التفسير الكلاسيكي و تفسير أينشتاين للظاهرة الكهروضوئية

وجه المقارنة	التفسير الكلاسيكي	تفسير أينشتاين
كيفية الحدوث	الظاهرة الكهروضوئية تحدث عند أي تردد .	لا يتحرر الالكترون إلا إذا كان تردد الضوء الساقط أكبر من أو يساوي التردد الحرج .
زمن تحرير الالكترونات	يمتص الالكترون الطاقة تدريجيًا ، فلو كانت شدة الضوء قليلة أخذ زمنًا أطول للتحرر .	الزمن اللازم هو زمن التصادم بالالكترون فقط حتى لو كانت شدة الضوء قليلة .
العوامل التي تتوقف عليها شدة التيار	تتناسب شدة التيار الكهروضوئي طرديًا مع شدة الضوء الساقط	
	بصرف النظر عن تردده .	إذا كان تردده أكبر من التردد الحرج .
العوامل التي تتوقف عليها طاقة الحركة	تتناسب طاقة حركة الإلكترونات المنطلقة طرديًا مع شدة الضوء الساقط .	تتناسب طاقة حركة الإلكترونات المنطلقة طرديًا مع تردد الضوء الساقط ، و لا تتوقف علي شدته .

مثال (١) : احسب السرعة التي تنبعث بها إلكترونات من سطح معدن الطول الموجي الحرج له 650 nm عندما يتعرض لضوء طوله الموجي 400 nm .

الإجابة

$$KE = h\left(\frac{c}{\lambda} - \frac{c}{\lambda_c}\right)$$

$$=6.625\times10^{-34}\times\left(\frac{3\times10^{8}}{400\times10^{-9}} - \frac{3\times10^{8}}{650\times10^{-9}}\right)$$

$$\therefore KE = 1.91\times10^{-19}\ J$$

$$\because KE = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow \therefore v = \sqrt{\frac{2\ KE}{m}}$$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{2\times1.91\times10^{-19}}{9.1\times10^{-31}}} = 6.48\times10^{5}\ m/s$$

مثال (٢) : إذا علمت أن دالة الشغل لسطح 4.98×10^{-19} J ، فإذا أضئ السطح بشعاعين الطول الموجي لهما 620 nm ، 200 nm هل تنبعث إلكترونات أم لا ؟ و في حالة إنبعاثها . احسب طاقتها .

الإجابـــة

$\because E_W = h\upsilon_C \rightarrow \therefore \upsilon_C = \frac{E_W}{h}$

$\therefore \upsilon_C = \frac{4.98\times10^{-19}}{6.625\times10^{-34}} = 7.5\times10^{14}$ Hz

$\upsilon_1 = \frac{c}{\lambda_1} = \frac{3\times10^{8}}{620\times10^{-9}} = 4.838\times10^{14}$ Hz

$\because \upsilon_1 < \upsilon_C \rightarrow$ لا تنبعث إلكترونات منه $\therefore$

$\upsilon_2 = \frac{c}{\lambda_2} = \frac{3\times10^{8}}{200\times10^{-9}} = 1.5\times10^{15}$ Hz

$\because \upsilon_2 > \upsilon_C \rightarrow$ تنبعث إلكترونات منه $\therefore$

$\because KE = h\upsilon_2 - E_W$

$KE = 6.625\times10^{-34}\times1.5\times10^{15} - 4.98\times10^{-19}$

$\therefore KE = 4.9575\times10^{-19}$ J

إختبر نفسك :

١- احسب السرعة التي تنبعث بها إلكترونات من سطح معدن الطول الموجي الحرج له 650 nm عندما يتعرض لضوء طوله الموجي 400 nm .

٢- تحررت إلكترونات من سطح معدن بسرعة 4.6×10^{5} m/s فإذا كان الطول الموجي للضوء الساقط 623 nm احسب :
أ) التردد الحرج لهذا السطح .
ب) دالة الشغل لهذا السطح .

٣- عند سقوط ضوء طوله الموجي 5000 A^o علي سطح فلز انبعثت منه إلكترونات بسرعة 2.574×10^{5} m/s فإذا سقط ضوء أحادي اللون طوله الموجي 6000 A^o فسر رياضيًا هل تنبعث إلكترونات من سطح هذا الفلز في هذه الحالة ؟

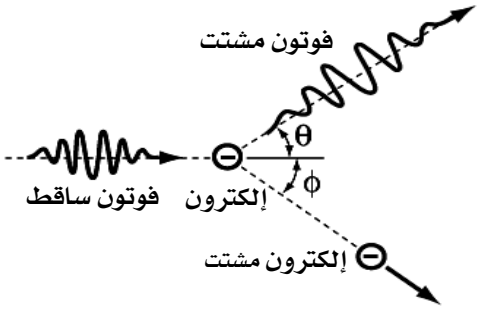
٤- انبعثت إلكترونات بطاقة قدرها 4.8×10^{-19} J من سطح فلز بتأثير أشعة فوق بنفسجية طولها الموجي 150 nm . أوجد دالة الشغل للفلز و كذلك الطول الموجي الحرج للفلز .

- انتهي الدرس العاشر -

الدرس الحادي عشر 11

تأثير كومتـــــون Compton Effect (تحقيق الصفة الجسيمية للفوتونات)

- في عام ١٩٢٣ م لاحظ كومتون أنه عند سقوط فوتون من أشعة إكس (X) أو أشعة جاما (γ) علي إلكترون حر يحدث الآتي :
  ١. يقل تردد الفوتون و يغير اتجاهه .
  ٢. تزداد سرعة الإلكترون و يغير اتجاهه .
- لا يمكن تفسير ذلك بالنظرية الموجية (الكلاسيكية) .



❁ تفسير ظاهرة كومتون بفروض بلانك :

الإشعاع الكهرومغناطيسي يتكون من فوتونات ، و هذه الفوتونات تصطدم بالإلكترونات كما تصطدم كرات البلياردو عندئذٍ :

١- نطبق **قانون بقاء كمية الحركة** ، أي أن :

(كمية حركة الفوتون و الإلكترون) قبل التصادم = (كمية حركة الفوتون و الإلكترون) بعد التصادم

٢- **نطبق قانون بقاء الطاقة** ، أي أن :

(طاقة حركة الفوتون و الإلكترون) قبل التصادم = (طاقة حركة الفوتون و الإلكترون) بعد التصادم

❁ **الاستنتاج** : مما سبق نستنتج أن الفوتون له كمية حركة أي له سرعة و كتلة أي أنه جسيم ، كما للإلكترون كمية حركة أي له سرعة و كتلة و بالتالي فهو جسيم .

- **أي أن تأثير كومتون إثبات للصفات الجسيمية للفوتون .**

الفوتـــــون :

هو كم من الطاقة مركز في حيز صغير جداً له كتلة وله كمية حركة .

خواص الفوتـــون

- **طاقتـــه** : $E = h\upsilon$ J
- **كتلتـــه أثناء حركته** : $m = \frac{h\upsilon}{c^2}$ Kg
- **كمية تحركه** : $P_L = \frac{h\upsilon}{c}$ Kg.m/s
- **سرعته** : سرعة الضوء (c)
- **كتلتـــه عند السكون** : تساوي صفر لأنها تتحول إلي طاقة
- **غير مشحون**
- **لا يمكن تعجيله** : لأنه غير مشحون

العلاقة بين الكتلة و الطاقة

أثبت أينشتين أن الكتلة والطاقة ترتبطان معًا بعلاقته الشهيرة :

$$E = m c^2$$

و هي العلاقة التي علي أساسها يمكن تحويل أي قدر صغير من الكتلة إلي طاقة كبيرة جدًا و هو مابني عليه عمل القنبلة الذرية ، حيث وجد أن انشطار النواة يصحبه فقد كتلة صغيرة جدًا ، ولكنه يتحول إلي طاقة كبيرة جدًا حيث أن ثابت التناسب بين الكتلة و الطاقة هو مربع سرعة الضوء و هو كمية كبيرة جدًا ($c^2 = 9\times10^{16}\ m^2/s^2$) ، و لذلك فإن **قانون بقاء الكتلة و قانون بقاء الطاقة يندمجان في قانون بقاء الكتلة و الطاقة معًا** .

❁ الأساس العلمي للقنبلة الذرية :

الفقد في الكتلة يتحول إلي طاقة هائلة حسب إثبات أينشتين [$E = m c^2$] .

استنتاج قانون القوة التي يؤثر بها شعاع ضوئي علي سطح معدن

١. إذا سقط شعاع من الفوتونات علي سطح ما بمعدل (ϕ_L Photons/s) فإن كل فوتون يسقط علي السطح و ينعكس عنه يعاني تغيرًا في كمية الحركة = $2\ m\ c$.

٢. فتكون القوة التي تؤثر بها حزمة الفوتونات علي السطح هي التغير في كمية الحركة في الثانية :

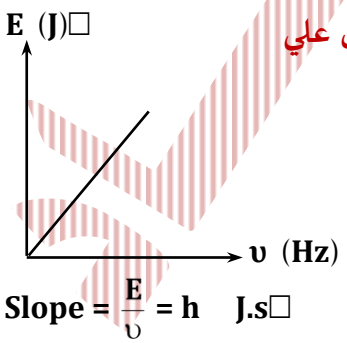
$$\therefore\ F = 2\ m\ c\ \phi_L$$

$$\therefore\ F = 2\left(\frac{h\upsilon}{c}\right)\phi_L \quad \frac{2P_w}{c}$$

- حيث : (P_w) هي القدرة بالوات للطاقة الضوئية الساقطة علي السطح .
- يلاحظ أن هذه القوة صغيرة جدًا لأن سرعة الضوء (c) مقدار كبير جدًا .
- و لذلك فلا تؤثر تأثيرًا ملحوظًا علي سطح حائط أو كتاب مثلاً ، ولكنها يمكن أن تؤثر علي إلكترون حر **لصغر كتلته وحجمه** فتقذفه بعيدًا ، **و هو ما يفسر ظاهرة كومتون** .

العلاقة بين طاقة الفوتونات المختلفة و تردد كل منها

عند رسم علاقة بيانية بين طاقة فوتونات مختلفة و تردد كل منها نحصل علي العلاقة البيانية الموضحة بالرسم ، فنجد أن :



$$h = \frac{E}{\upsilon} \qquad J.s\ (J/Hz)$$

ثابت بلانـــــك :

هو النسبة بين طاقة الفوتون إلي تردده .

النموذجين الميكروسكوبي و الماكروسكوبي للفوتـــون

النموذج الميكروسكوبي للفوتـــون	النموذج الماكروسكوبي للفوتـــون
يمكن تصور **الفوتون** علي أنه كرة نصف قطرها = الطول الموجي (λ) وتتذبذب بمعدل (υ) .	يمكننا أن نراقب الخواص **الموجية** في سلوك حزمة الفوتونات ككل .
مجموع هذه **الفوتونات** لها مجال كهربي ومجال مغناطيسي والمجالان متعامدان علي بعضهما و علي اتجاه سريان حزمة الفوتونات .	شدة **الموجة** – ومقياسها شدة المجال الكهربي أو شدة المجال المغناطيسي المصاحب لشعاع الضوء – تدل علي مدي تركيز الفوتونات .
حزمة **الفوتونات** تحمل الطاقة التي يحملها شعاع الضوء .	الحركة **الموجية** تكون مصاحبة لتيار فوتونات بأعداد كبيرة .
أي أن النموذجين الماكروسكوبي و الميكروسكوبي مرتبطين ببعضهما البعض (الخاصية الموجية والخاصية الجسيمية للفوتونات متلازمتين) فمن المهم أن نفهم كيف نطبق كلاً منهما في مكانه كما يلي :	
إذا كانت أبعاد العائق **في حدود** (λ) أي علي مستوي الذرة أو الإلكترون ، فإننا نطبق النموذج **الميكروسكوبي** أي **الفوتون** .	إذا كانت أبعاد العائق **أكبر** كثيرًا من (λ) طبقنا النموذج **الماكروسكوبي** أي **الموجة** .

استنتاج علاقة الطول الموجي للفوتون بكمية الحركة الخطية له

$$\because c = \lambda \times \upsilon$$

$$\therefore \lambda = \frac{c}{\upsilon}$$

بضرب البسط و المقام × ثابت بلانك (h) و القسمة علي (c) :

$$\therefore \lambda = \frac{h\,c}{h\,\upsilon} = \frac{h}{\frac{h\,\upsilon}{c}}$$

$$\because P_L = \frac{h\,\upsilon}{c}$$

$$\therefore \boxed{\lambda = \frac{h}{P_L}}$$

كيف تعامل الفوتونات مع السطح الذي تسقط عليه ؟

١- إذا كان الطول الموجي **أكبـــر** كثيرًا من المسافات البينية : فإن الفوتونات تعامل هذا السطح **كسطح متصل** و تنعكس منه كما في النظرية الموجية .

٣- إذا كان الطول الموجي **يقارب** المسافات البينية : فإن الفوتونات **تنفذ** من خلال الذرات كما يحدث مثلا في حالة أشعة إكس (X-Rays) .

الطبيعة المزدوجة للجسيم

في الكون قدر كبير من التماثل فإذا كانت الموجات لها طبيعة جسيميه ، فلماذا لا يكون للجسيم طبيعة موجية أيضًا ؟ هذا التناظر صاغه العالِم دى برولي عام ١٩٢٣م بأن الجسيم له طبيعة موجية ، و هو ما يسمي بـ **الطبيعة المزدوجة للجسيم** .

معادلة دي برولي :

هي المعادلة التي توضح العلاقة بين الطول الموجي للموجة المصاحبة لجسيم متحرك و كمية حركة هذا الجسيم .

$$\therefore \quad \lambda = \frac{h}{P_L} = \frac{h}{m\,v}$$

- وهي معادلة مماثلة للمعادلة السابقة للطول الموجي المصاحب للفوتون .

تفسير الطبيعة الموجية و الجسيمية للإلكترون

١. شعاع الإلكترونات ينظر إليه علي أنه مجموعة هائلة من الإلكترونات (طبيعة جسيمية) .
٢. في إجمالها لها موجة مصاحبة تصف سلوكها الجماعي (طبيعة موجية) .
٣. الإلكترون علي حده يحمل الصفات الوراثية للإلكترونات ككل ، من حيث : الشحنة والكتلة و الدوران حول نفسه (اللف المغزلي) وكمية الحركة .
٤. للموجة المصاحبة طول موجي ، مما يعني أن شدة الموجة المصاحبة تدل علي تركيز الإلكترونات .
٥. يكون للموجة المصاحبة خواص الانتشار و الانعكاس والانكسار والتداخل و الحيود تمامًا كالضوء .

» و لكن هل معني ذلك أنه يمكن استخدام شعاع من الإلكترونات كما نستخدم شعاعًا من الضوء ؟

الإجابة / نعم ، و الدليل علي ذلك هو اكتشاف الميكروسكوب الإلكتروني .

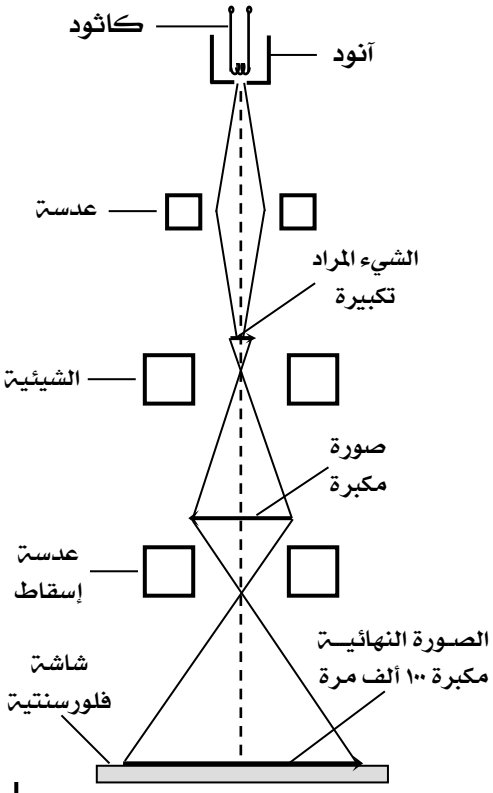
الميـــكروسكوب الإلكتـــروني

❁ **استخدامه :**

رؤية تفاصيل الكائنات الحية الدقيقة و الفيروسات و رؤية تفاصيلها .

❁ **الأساس العلمي :**

الطبيعة الموجية للإلكترونات .



❁ **شرط رؤية التفاصيل الدقيقة لجسم صغير :**

أن يكون طول موجة الضوء المستخدم أقل من تفاصيل الجسم المراد تكبيره .

❁ **تركيبه :**

كما بالرسم .

❁ **للميكروسكوب الإلكتروني قدرة تحليلية (تكبير) عالية . [علل]**

لأن الإلكترونات بإمكانها أن تحمل طاقة حركة عالية جدًا و من ثم أطوالاً موجية قصيرة جدًا ($\lambda = \frac{h}{m v}$) بالنسبة لأبعاد الجسم و بالتالي يكون معامل تكبيره كبير جدًا ، بحيث يستطيع أن يرصد أجسامًا صغيرة لا يستطيع الضوء العادي أن يرصدها .

ملاحظات هامة

- إذا وضع إلكترون شحنته (e) كولوم في مجال كهربي فرق الجهد بين لوحيه (V) فولت فإن الإلكترون يكتسب طاقة حركة يمكن تعيينا من العلاقة :

$$KE = \frac{1}{2} m v^2 = e V$$

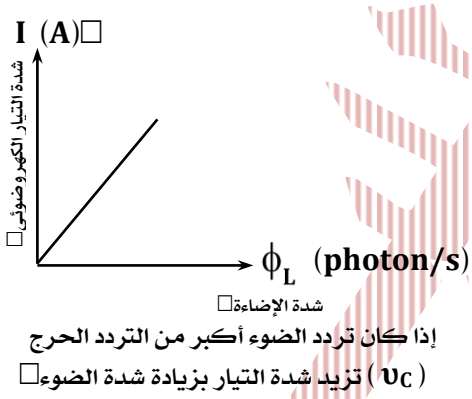
مقارنة بين الميـــكروسكوب الإلكتروني والميـــكروسكوب الضوئي

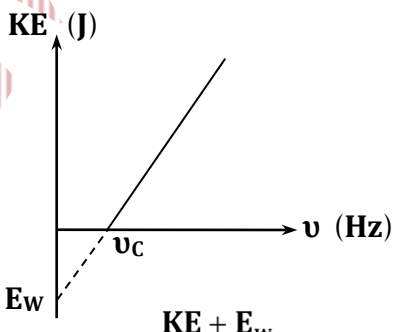
وجه المقارنة	الميكروسكوب الضوئي	الميكروسكوب الإلكتروني
فكرة عملة	انكسار الضوء خلال العدسات .	الطبيعة الموجية للإكترونات .
إضاءة الجسم	يضاء الجسم بالأشعة الضوئية المرئية .	يضاء الجسم بشعاع من الإلكترونات له طول موجي أقصر ألف مرة أو أكثر من الطول الموجي للشعاع الضوئي المرئي .
العدسات المستخدمة	تستخدم عدسات زجاجية .	تستخدم عدسات مغناطيسية .
الاستخدام	تكبير المرئيات الصغيرة .	تكبير الكائنات الدقيقة و الفيروسات .
قوة التكبير	صغيرة ، تبلغ 2000 مرة فقط .	كبيرة جدًا تصل إلي 100 ألف مرة .

مقارنة بين الإلكتـــرون و الفوتـــون

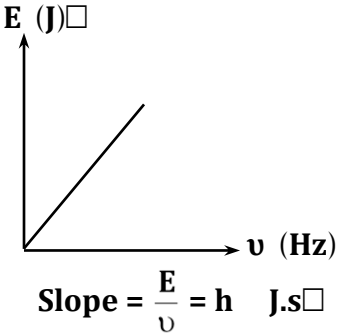
وجه المقارنة	الإلكـــــترون	الفوتـــــون
التعريف	جسيم مشحون بشحنة سالبة .	كمة من الطاقة غير مشحون .
طاقته	تتوقف طاقته علي فرق الجهد بين المصعد و المهبط . $KE = \frac{1}{2} m v^2 = e V$	تتوقف طاقته علي تردده . $E = h \upsilon$
الكتلته	كتلته ثابتة . $m = \frac{P_L}{v}$	له كتلة أثناء حركته فقط . $m = \frac{h \upsilon}{C^2}$
كمية الحركة	$P_L = m v$	$P_L = m C = \frac{h \upsilon}{C} = \frac{h}{\lambda}$
التعجيل	يمكن تعجيله بالتأثير عليه بمجال كهربي أو مغناطيسي لأنه مشحون .	لا يمكن تعجيله لأنه غير مشحون ، و لذلك سرعته ثابتة = سرعة الضوء .
إذا توقف عن الحركة	يفقد طاقة حركته و يحتفظ بكتلته و شحنته .	تتلاشى كتلته ، و يتحول إلي طاقة يمتصها الجسم الذي أوقف حركته .

علاقات بيانيـــــة هامة

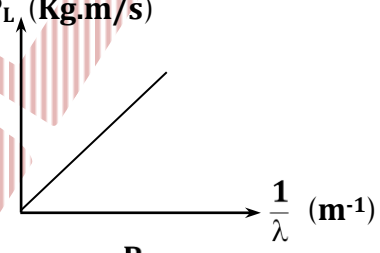




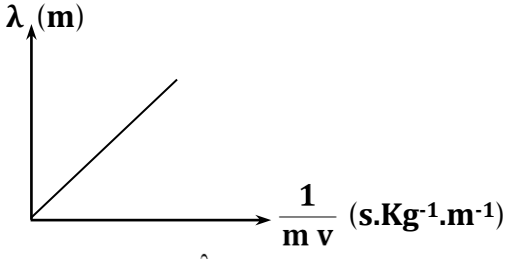
Slope = $\frac{KE + E_W}{\upsilon} = h$ J.s



Slope = $\frac{E}{\upsilon} = h$ J.s



Slope = $\frac{P_L}{\frac{1}{\lambda}} = P_L \cdot \lambda = h$ J.s



Slope = $\frac{\lambda}{\frac{1}{m v}} = \lambda m v = h$ J.s

مثال (١) : احسب طاقة فوتون طوله الموجى 700 mm ثم احسب كتلته .

الإجابـــة

$\because E = h\upsilon = 6.625\times10^{-34} \times \frac{3\times10^{8}}{700\times10^{-3}}$

$\therefore E = 2.84\times10^{-25}\ J$

$\because m = \frac{E}{c^2} = \frac{2.84\times10^{-25}}{(3\times10^{8})^2} = 3.15\times10^{-42}\ Kg$

$\because P_L = \frac{E}{c} = \frac{2.84\times10^{-25}}{3\times10^{8}} = 9.46\times10^{-34}\ Kg.m/s$

مثال (٢) : تتحرك حشرة بسرعة 12 m/s فإذا كان الطول الموجي للموجة المصاحبة لحركة الحشرة 5.5×10^{-30} m فما هي كتلة هذه الحشرة ؟

الإجابـــة

$\because \lambda = \frac{h}{m\,v}$

$\therefore m = \frac{h}{\lambda\,v} = \frac{6.625\times10^{-34}}{5.5\times10^{-30}\times12} = 10^{-5}\ Kg$

مثال (٣) : احسب القوة التي يؤثر بها شعاع قدرته 100 KW علي جسم ما . ماذا يحدث إذا كان الجسم إلكترونًا ؟ و لماذا ؟

الإجابـــة

$\because F = \frac{2\,P_W}{C} = \frac{2\times100\times10^{3}}{3\times10^{8}} = 6.667\times10^{-4}\ N$

إذا كان الجسم إلكترونًا فإنه يقذفه بعيدًا و تزداد سرعته ، بينما تقل طاقة الفوتون و يغير اتجاهه ، و ذلك لأن الإلكترون كتلته صغيرة .

مثال (E) : محطة إذاعة تبث علي موجة ترددها 92.4 MHz . احسب :

١. طاقة الفوتون الواحد المنبعث من هذه المحطة .

٢. عدد الفوتونات المنبعثة في الثانية إذا كانت قدرة المحطة 100 KW .

الإجابـــة

$\because E = h\upsilon = 6.625\times10^{-34}\times92.4\times10^{6}$

$\therefore E = 6.12\times10^{-26}\ J$

$\because \phi_L = \frac{P_W}{h\upsilon} = \frac{P_W}{E} = \frac{100\times10^{3}}{6.12\times10^{-26}}$

$\therefore \phi_L = 1.63\times10^{30}\ photon/s$

إختبر نفسك :

١- سقط ضوء تردده يساوي 2×10^{14} Hz علي سطح معدن دالة الشغل له تساوي 1.325×10^{-19} J ، فإن طاقة الحركة للإلكترون المتحرر تساوي ..... (صفر J – 1.32×10^{-19} J – 2.64×10^{-19} J – 3.3×10^{-19} J) .

٢- يعتمد حدوث ظاهرة الانبعاث الكهروضوئي في الخلية الكهروضوئية علي نوع مادة ..... (الكاثود و شدة الضوء المستخدم – الآنود و شدة الضوء المستخدم – الكاثود و نوع الضوء المستخدم – الآنود و نوع الضوء المستخدم) .

٣- تستخدم الخلية الكهروضوئية في ..... (شاشة التليفزيون – توضيح تداخل الضوء – تحويل الطاقة الضوئية إلي طاقة كهربية – تحويل الطاقة الكهربية إلي طاقة ضوئية) .

٤- إذا كان الطول الموجي المصاحب لحركة الفوتون أقل من المسافات البينية لذرات السطح فإن الفوتونات ..... (تنعكس – تحيد – تنفذ – لا تنفذ) .

٥- إذا كان لدينا إلكترون و بروتون يتحركان بسرعة واحدة فإن ..... (طول الموجة المصاحبة للإلكترون أقصر – طول الموجة المصاحبة للبروتون أقصر – طول الموجتين متساوِ – لا توجد موجة مصاحبة للبروتون و توجد للإلكترون فقط) .

٦- أفضل ظاهرة تدعم فكرة النظرية الجسيمية للفوتون هي ظاهرة ..... (التداخل و الحيود للضوء – إنعكاس الضوء – كومتون – الإنبعاث الكهروضوئي) .

٧- فوتونان (A) ، (B) النسبة بين ترددهما 1 : 2 تكون النسبة بين كتلتيهما ..... (1 : 2 – 2 : 1 – 1 : 4 – 4 : 1) علي الترتيب .

٨- إذا زيدت سرعة إلكترون إلي الضعف فإن الطول الموجي المصاحب لحركته ..... (يقل إلي النصف – لا يتغير – يزيد للضعف – يقل للربع) .

٩- إذا زيدت طاقة حركة إلكترون إلي أربعة أمثالها فإن الطول الموجي المصاحب لحركته ..... (يقل للنصف – لا يتغير – يزيد للضعف – يقل للربع) .

١٠-النسبة بين أبعاد الفيروسات المراد رؤيتها إلي طـول الموجة المصاحبـة لحزمة الإلكترونـات المستخدمة في المكروسكـــوب الإلكتروني هي ..... (أقل من – تساوي – أكبر من) الواحد الصحيح .

- انتهي الدرس الحادي عشر -

- انتهي الفصل الخامس -