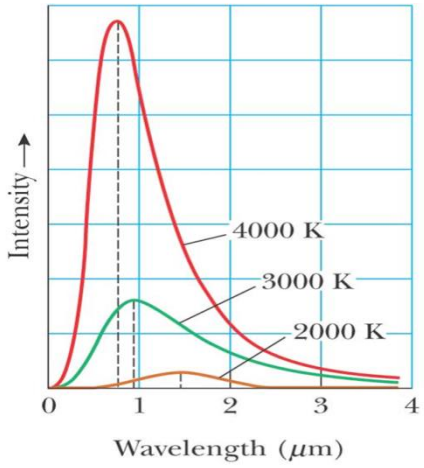
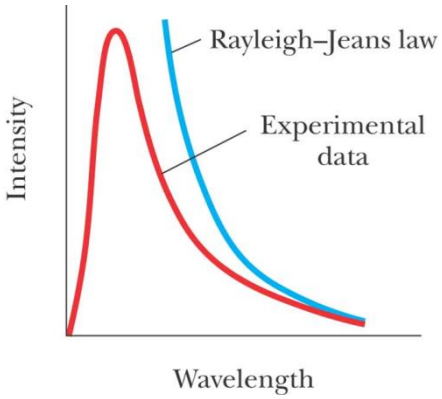
الفصل الثاني عشر: النظرية الكمية للضوء The quantum theory of light

الظاهرة الكهروضوئية Photoelectric effect

لم تستطع الفيزياء الكلاسيكية ونظرية موجية الضوء تفسير العديد من الظواهر الفيزيائية، ومنها:

طيف أشعة الجسم الأسود Black body radiation ، التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect ، طيف أشعة إكس x-ray spectrum





أشعة الجسم الأسود Black Body Radiation

تزيد شدة السطوع مع زيادة درجة الحرارة، وأقصى طول موجي ينزاح نحو الأطوال الموجية القصيرة

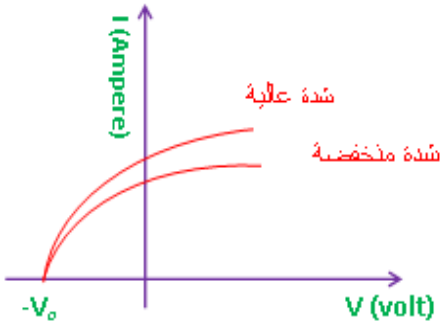
وُضعت عدة محاولات لشرح منحنى طيف إشعاع الجسم الأسود.

- علاقة Rayleigh-Jeans كانت تتطابق معه عند الموجات الطويلة فقط.
- أما علاقة Wien فتطابقت معه عند الموجات القصيرة فقط:
- وكان الحل الشامل في علاقة Planck حيث تطابقت تماما معه:

$$I = \frac{A\lambda^{-5}}{(e^{B/\lambda T}-1)} = \frac{2\pi hc^2\lambda^{-5}}{(e^{hc/\lambda k_B T}-1)}$$

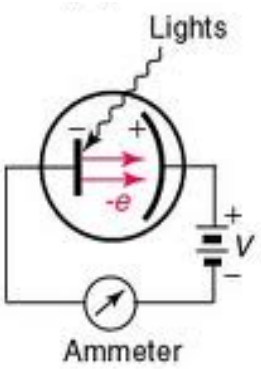
تعطي معادلة فين Wien للإزاحة الطول الموجي المناظر لأقصى سطوع للضوء (حيث تقاس درجة الحرارة بالكالفن):

$$\lambda_{max} = \frac{0.3x10^{-2}}{T} \quad meter$$



التأثير الكهروضوئي Photoelectric effect

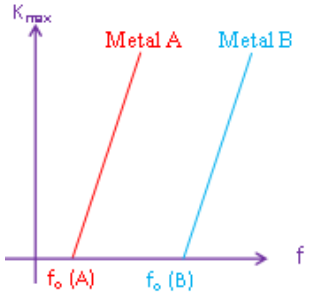
اكتشف هيرتز في عام 1887 أن سطوح بعض المعادن تبعث جسيمات مشحونة بشحنة كهربية سالبة (سُميت لاحقا باسم إلكترونات ضوئية) إذا أُضيئت بضوء بنفسجي.



ولوحظ أن التيار الكهربي الناشئ من الإلكترونات الضوئية يزداد مع زيادة شدة الضوء الساقط على الخلية الكهروضوئية.

فكرة الخلية الكهروضوئية

كرة زجاجية مفرغة.يسقط الضوء على المعدن المتصل بالقطب السالب للبطارية.تنطلق الإلكترونات المتحررة من المعدن باتجاه القطب الموجب مسجلة تيارا يقاس عن طريق الأميتر.



عجزت النظرية الكلاسيكية آنذاك من تفسير بعض خصائص الظاهرة الكهروضوئية وهي:

1. لا تنبعث الإلكترونات الضوئية إلا إذا كان تردد الضوء الساقط لا يقل عن قيمة محددة هي f_o تسمى تردد العتبة. وكل معدن له قيمة محددة لـ f_o حتى تنبعث الإلكترونات منه.
2. طاقة الإلكترونات لا تعتمد على شدة الضوء الساقط وإنما على تردده فقط، فتزداد مع زيادته.
3. تنبعث الإلكترونات آنيا بسقوط الضوء على المعدن.

عندما يكون الجهد على القطب السالب للخلية أقل من قيمة معينة V_o(جهد الإيقاف) ينقطع التيار تماما. وأقصى طاقة حركية للإلكترونات عندها، جهد الإيقاف V_o لا يعتمد على شدة الضوء الساقط:

$$K_{max} = \frac{1}{2} m_e V_{max}^2 = eV_o$$

علاقة إينشتاين في تفسير الظاهرة الكهروضوئية:

$$E = hf = W + k_{max}$$

حيث أن الضوء الساقط عبارة عن فوتونات لها طاقة تعتمد على تردد الضوء، h هو ثابت بلانك. ولكي ينطلق الإلكترون من ذرته الأم لابد أن يكتسب من الفوتون طاقتين هما:

طاقة تنزعه من سطح المعدن تسمى طاقة الشغل W و طاقة حركية قصوى K_{max} تمكنه من الإنطلاق.

- أقل طاقة لتحرير الإلكترون من المعدن فقط وبدون إعطائه طاقة حركية؛ أي أن K_{max} تساوي صفرا تعطى بالعلاقة:

$$hf_o = W + 0$$

مثال:

دالة الشغل للبوتاسيوم تساوي 2.24 eV إذا استعمل هذا المعدن في خلية كهروضوئية وأضيء بضوء طول موجته 312 nm

احسب: ($1ev=1.6x10^{-19}$ J)

أ) أعلى طاقة حركية للإلكترونات الضوئية المنبعثة.

$$K_{max} = h\frac{c}{\lambda} - W$$

$$K_{max} = 6.6x10^{-34}\,J.s\,\frac{3x10^8\,m/s}{312x10^{-9}\,m} - (2.24x1.6x10^{-19}\,J) = 2.76x10^{-19}\,J$$

ب) الجهد الكهربي الذي ينقطع عنده التيار.

$$K_{max} = eV_o$$

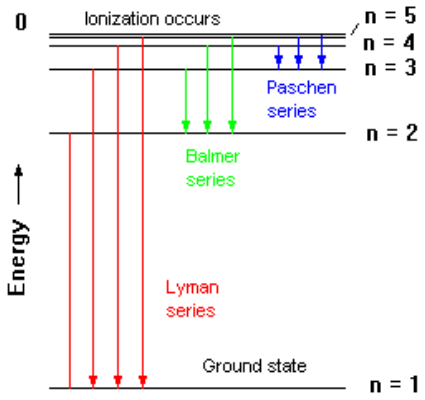
$$V_o = \frac{K_{max}}{e} = \frac{2.76x10^{-19}\ J}{1.6x10^{-19}\ C} = 1.73\,V$$

ج) الطول الموجي للضوء الساقط الذي يتوقف عنده انبعاث الإلكترونات من البوتاسيوم.

$$K_{max} = h\frac{c}{\lambda_o} - W = 0$$

$$\lambda_o = \frac{hc}{W} = 5.52x10^{-7}\,m = 552\,nm$$

الأطياف الخطية



عند تحليل الضوء المنبعث من غاز الهيدروجين باستخدام منشور أو محزز حيود، فإنه تتكون له أربعة خطوط طيفية مرئية منفصلة لكل منها طول موجي محدد. وضع Balmer عام 1884 معادلة تجريبية تعطي قيمة الأطول الموجية المرئية (متسلسلة بالمر) وهي (:حيث (m = 3, 4, 5,.....

$$\lambda_m = 364.56\frac{m^2}{m^2 - 4} \quad nm$$

أما معادلة Rydberg (عام 1890) التجريبية فهي شبيهة بمعادلة Balmer، تكتب في حالة ذرة الهيدروجين كالتالي: (حيث R_H ثابت Rydberg)

$$\frac{1}{\lambda} = R_H\left(\frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}\right)$$

في متسلسلة بالمر:..... n= 2 , m= 3, 4, 5,

هناك متسلسلات أخرى للطيف ولكن في المجال غير المرئي وهي:

متسلسلة Lyman وفيها ..... n= 1 , m= 2, 3, 4, 5,

متسلسلة Paschen وفيها ..... n= 3 , m= 4, 5, 6

متسلسلة Brackett وفيها ..... n= 4 , m= 5, 6, 7

متسلسلة Pfund وفيها ..... n= 5 , m= 6, 7, 8

مثال: احسب الطول الموجي للفوتونات المنبعثة بسبب انتقال الإلكترونات من:

أ) m=3 إلى n=2 في ذرة الهيدروجين.

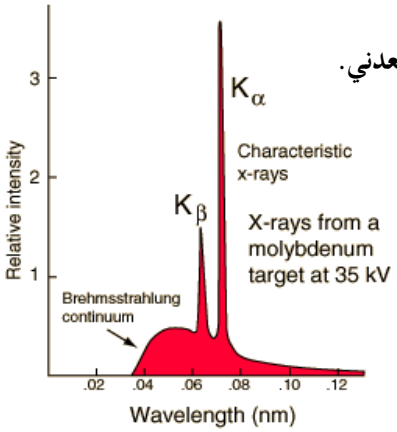
مسألة 10و 11

احسب أقل λ_{min} وأكبر λ_{max} لطول موجة الفوتونات المنبعثة في متسلسلة بالمر في ذرة الهيدروجين:

$$\lambda_m = 364.56\frac{m^2}{m^2-4}$$

λ_{min} at $m=\infty$ and λ_{max} at $m=3$

طيف أشعة X (الأشعة السينية)



إكتشف Roentgen عام **1895** الأشعة السينية وذلك عنداصطدام إلكترونات سريعة بهدف معدني.

فهي ناتجة عن انبعاث فوتون بسبب إلكترون؛ أي عكس الظاهرة الكهروضوئية.

يتكون طيفها من طيف مستمر يبدأ من طول موجي l_o وبه طيف خطي تكون عنده الشدة عالية وتسمى الخطوط المميزة.

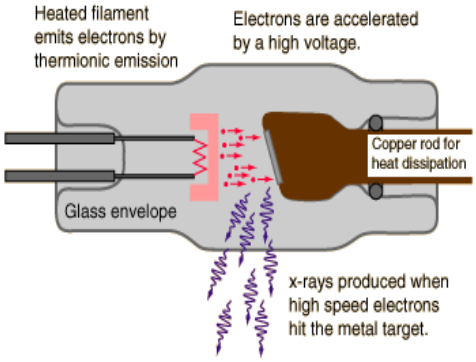
إنتاج أشعة X

أنبوبة زجاجية مفرغة، ويسخن القطب السالب فتنبعث منه إلكترونات.

تعجل هذه الإلكترونات بواسطة فرق جهد عال، وتصطدم بالهدف.

تكون الطاقة الحركية للإلكترونات المعجلة:

K=eV



يكون الهدف من مادة معدنية ثقيلة (Z كبيرة) حتى نحصل على طاقة فوتونات عالية؛ أي ذات أطوال موجية قصيرة في حدود الأشعة السينية، كما توضحه العلاقة التي تعطي مستويات الطاقة:

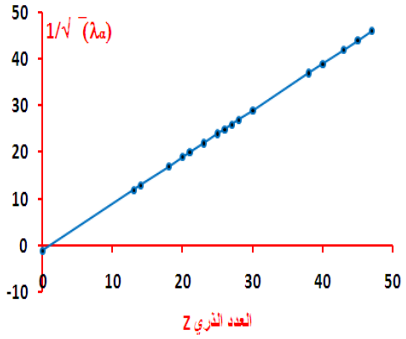
فيزيائية إنبعاث أشعة X

- يكتسب الإلكترون طاقة حركية K عند تعجيله فيصطدم بالهدف وينفذ داخله.
- يتغير مساره بسبب قوى التنافر والتجاذب داخل الذرة فيتباطء.
- تقل طاقته إلى K' وينتج عن ذلك أشعة X: K=K'+X-ray
- التوقف المفاجئ للإلكترون عند اقترابه من النواة يصاحبه تباطؤ كبير والأشعة الناتجة تسمى أشعة التوقف أو الفرملة.

بداية الطيف المستمر λ_o يعتمد على فرق الجهد فقط المستعمل لتعجيل الالكترونات، كما في العلاقة:

$$\lambda_o = \frac{1.24x10^{-6}}{V} \quad meter$$

أما الطيف الخطي فيعتمد على نوع العنصر المستعمل كهدف.



الخط المميز K_α بسبب انتقال الإلكترون من المدار الثاني **L** إلى المدار الأول **K** في الذرة.

أما الخط المميز K_β فهو بسبب انتقال الإلكترون من المدار الثالث **M** إلى المدار الأول **K** في الذرة.

أي أن طاقة فوتون $E_\beta > E_\alpha$ وبالتالي فإن $\lambda_\alpha < \lambda_\beta$

وقيمة الطول الموجي λ_α يعطى بالعلاقة:

$$\frac{1}{\lambda_\alpha} = \frac{3}{4}R(Z-1)^2$$

مسألة 12

احسب أقصر طول موجي لطيف الأشعة السينية المنبعثة من جهاز إنتاج الأشعة السينية عند استعمال جهد كهربي معجل للإلكترونات قدره **18750 V**.