النظرية الكمية للضوء The quantum theory of light

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

- طيف أشعة الجسم الأسود
- التأثير الكهروضوئي
- طيف أشعة إكس

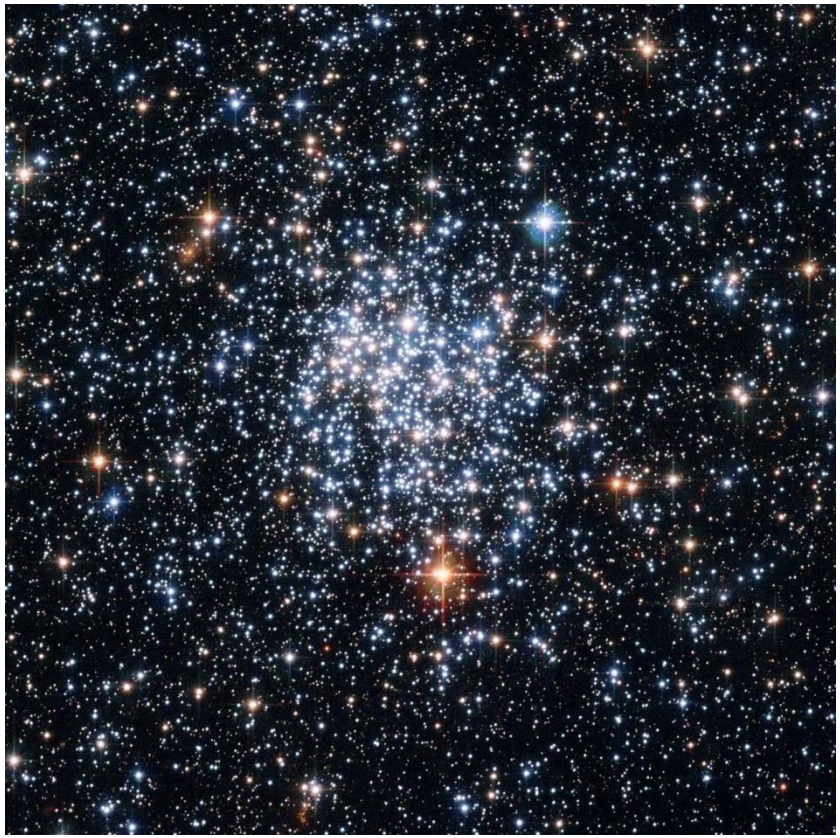
The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

عند درجات الحرارة المنخفضة يكون الطول الموجي للأشعة المنبعثة في المجال تحت الأحمر.

تتتم قياس حرارة الجسم باستخدام ثرمومتر الأذن وذلك عن طريق الكشف عن الأشعة تحت الحمراء المنبعثة من طبلة الأذن.

النظرية الكمية للضوء The quantum theory of light

طيف أشعة الجسم الأسود

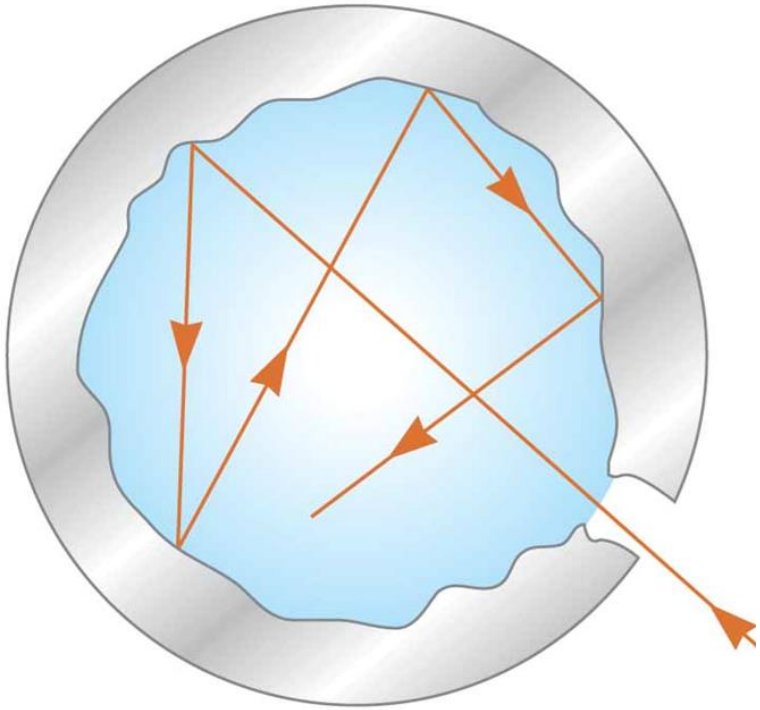


الحشد النجمي NGC 265

- اختلاف اللون مؤشر لاختلاف درجة الحرارة. اختلاف ألوان النجوم يعني اختلافها في درجة حرارة سطحها.
- النجوم الزرقاء أسخن (40 ألف كلفن).
- النجوم الحمراء أبرد (3000 كلفن).

النظرية الكمية للضوء The quantum theory of light

طيف أشعة الجسم الأسود



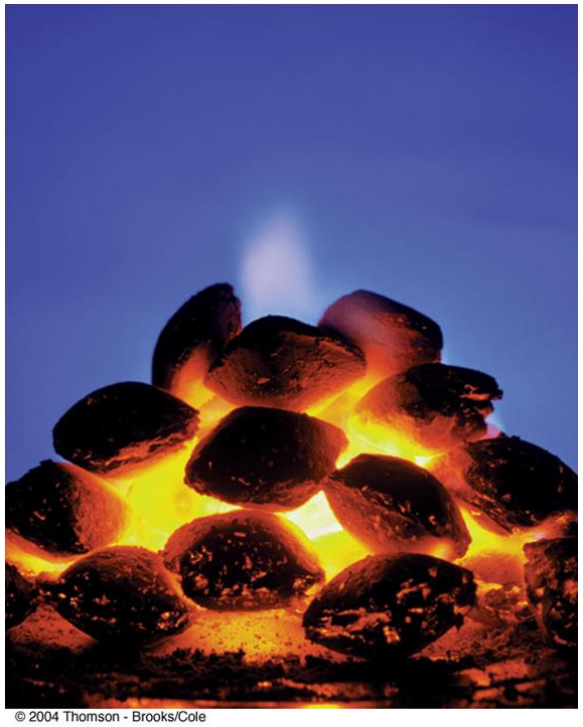
إشعاع الجسم الأسود

نموذج مثالي لجسم يمتص كامل الضوء الساقط عليه بعد انعكاسات عديدة على سطحه، ثم يشع جميع موجات الإشعاع الحراري طبقا لدرجة حرارته على شكل توزيع طيفي محدد.

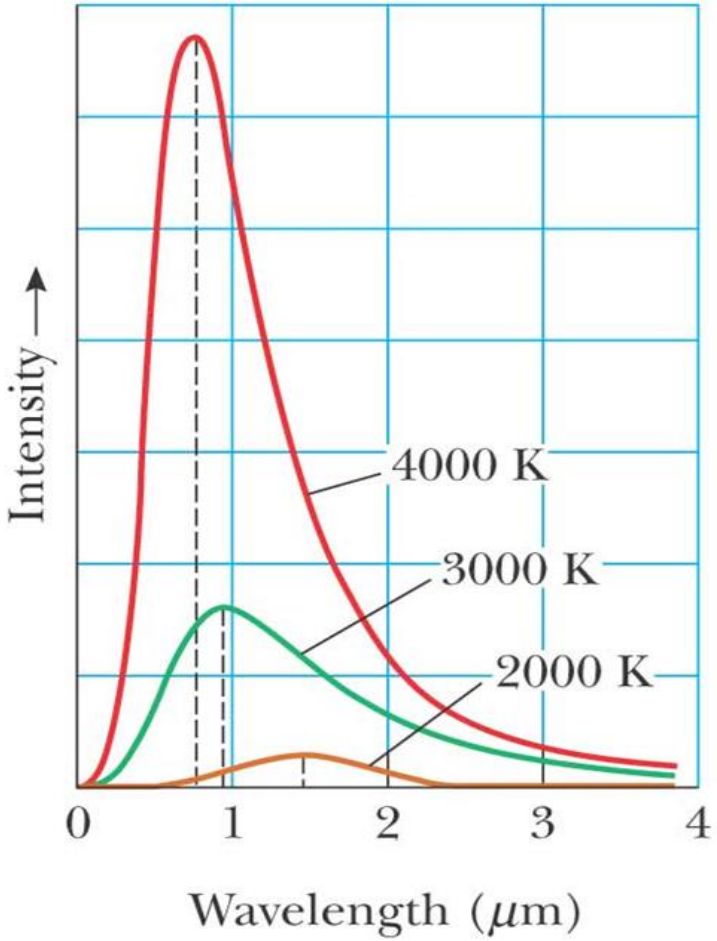
The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف أشعة الجسم الأسود

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



الوهج المنبعث من بين الجمر هو مثال قريب لظاهرة إشعاع الجسم الأسود



The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف أشعة الجسم الأسود

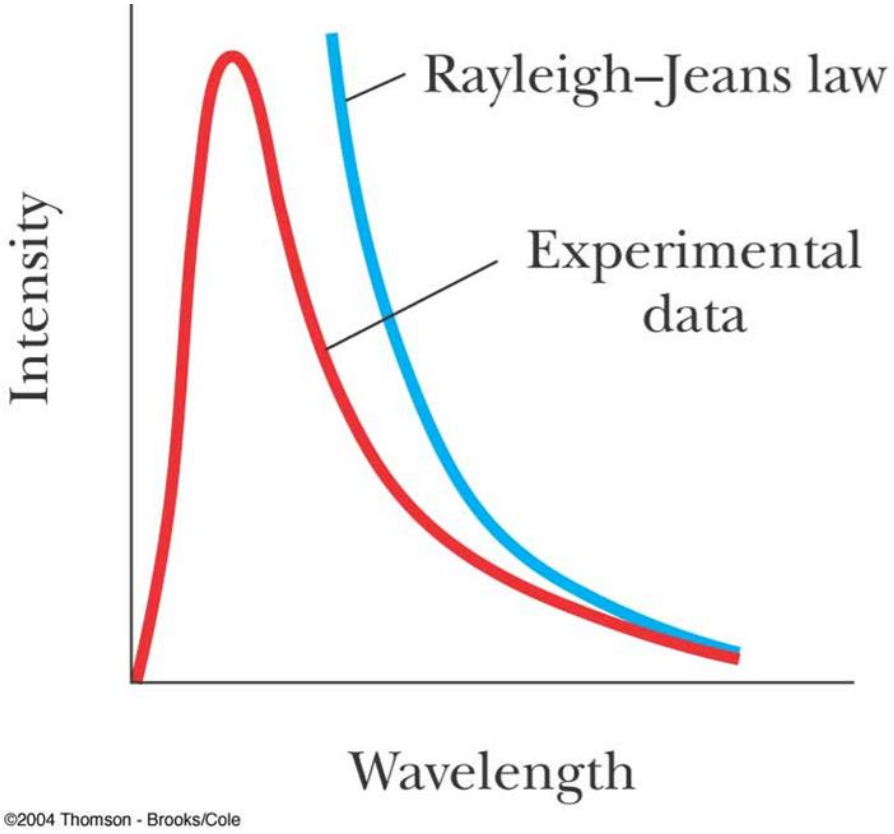
- تعطي معادلة فين Wien للإزاحة الطول الموجي المناظر لأقصى سطوع للضوء:

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

- حيث تقاس درجة الحرارة بالكلفن

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف أشعة الجسم الأسود



وُضعت عدة محاولات لشرح منحنى

طيف إشعاع الجسم الأسود.

- علاقة Rayleigh-Jeans كانت

تتطابق معه عند الموجات الطويلة فقط.

$$I = \frac{CT}{\lambda^4}$$

النظرية الكمية للضوء The quantum theory of light

طيف أشعة الجسم الأسود

- أما علاقة Wien فتطابقت معه عند الموجات القصيرة فقط:

$$I = A\lambda^{-5}e^{-B/\lambda T}$$

- وكان الحل الشامل في علاقة Planck حيث تتطابقت تماما معه:

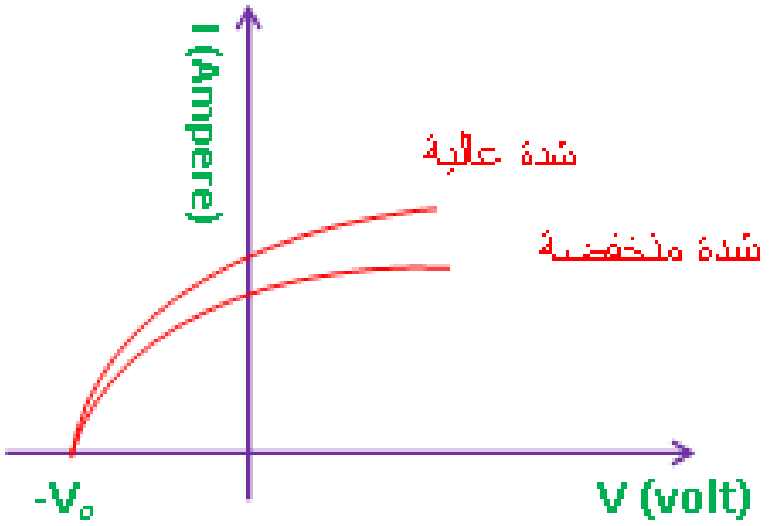
$$I = \frac{A\lambda^{-5}}{e^{B/\lambda T} - 1}$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الظاهرة الكهروضوئية

اكتشف هيرتز في عام ١٨٨٧م 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.



The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

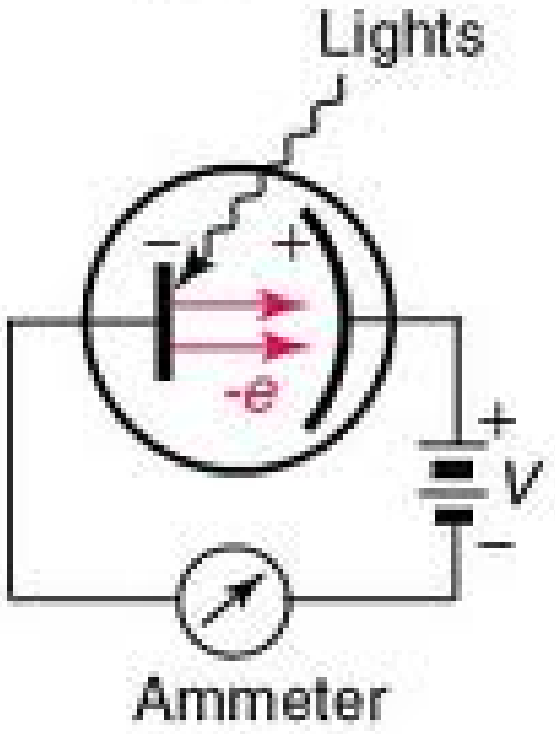
الظاهرة الكهروضوئية

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.

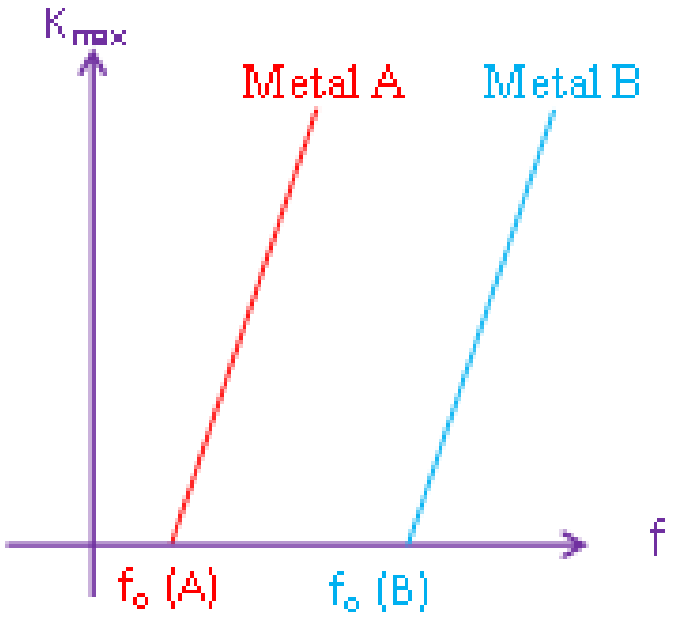


The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الظاهرة الكهروضوئية

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.



The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الظاهرة الكهروضوئية

- عندما يكون الجهد على القطب السالب للخلية أقل من قيمة معينة V_o (جهد الإيقاف) ينقطع التيار تماما. وأقصى طاقة حركية للإلكترونات عندها:

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

- جهد الإيقاف V_o لا يعتمد على شدة الضوء الساقط.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الظاهرة الكهروضوئية

- 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:

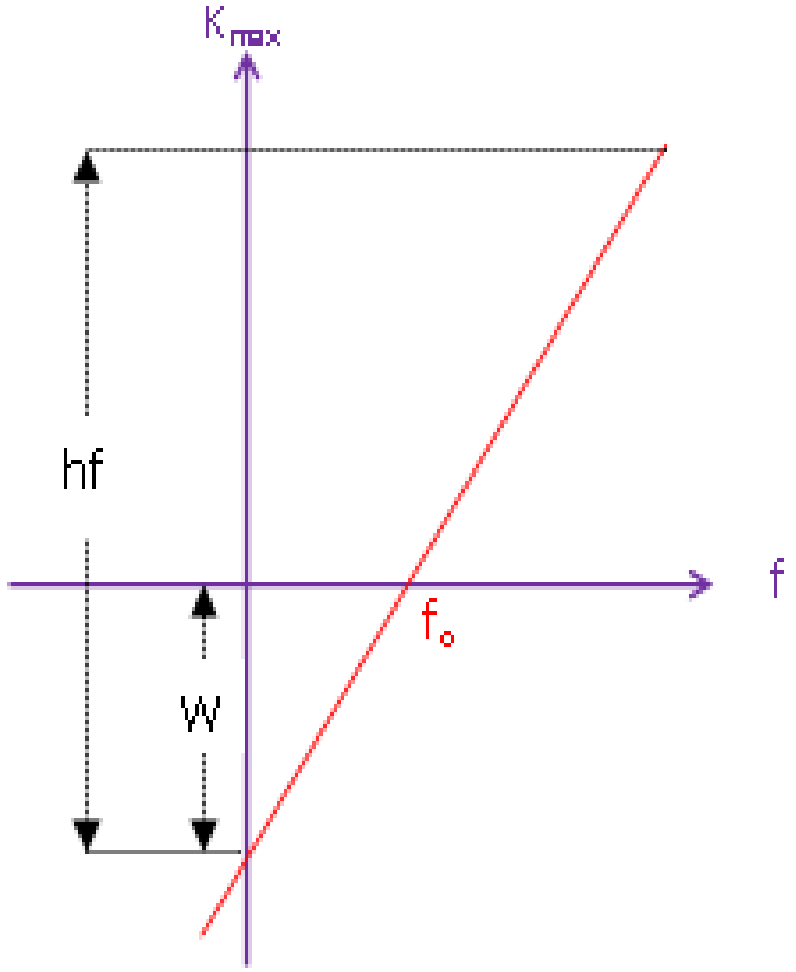
طاقة تنزعه من سطح المعدن تسمى طاقة الشغل **W** و طاقة حركية قصوى K_{max} تمكنه من الإنطلاق.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الظاهرة الكهروضوئية

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

$$hf_o = W + 0$$

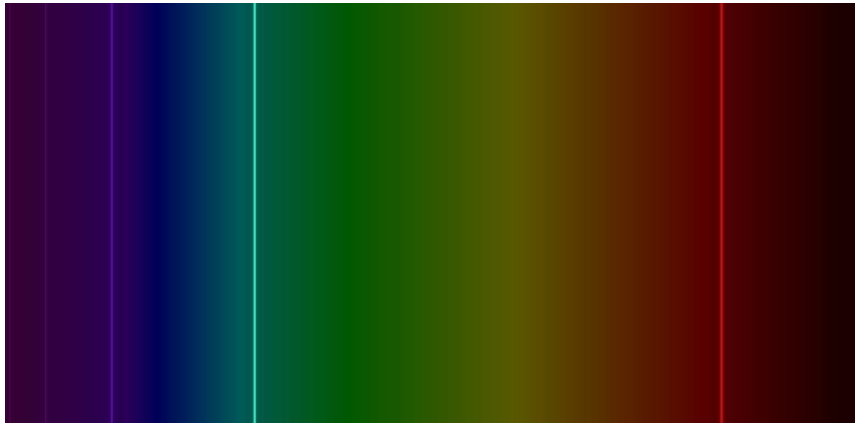


The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الأطياف الخطية

عند تحليل الضوء المنبعث من غاز الهيدروجين باستخدام منشور أو محزز حيود فتتكون له أربعة أربعة خطوط طيفية مرئية منفصلة لكل منها طول موجي محدد.

وضع Balmer عام ١٨٨٤م معادلة تجريبية تعطي قيمة الأطول الموجية المرئية (متسلسلة بالمر) وهي:

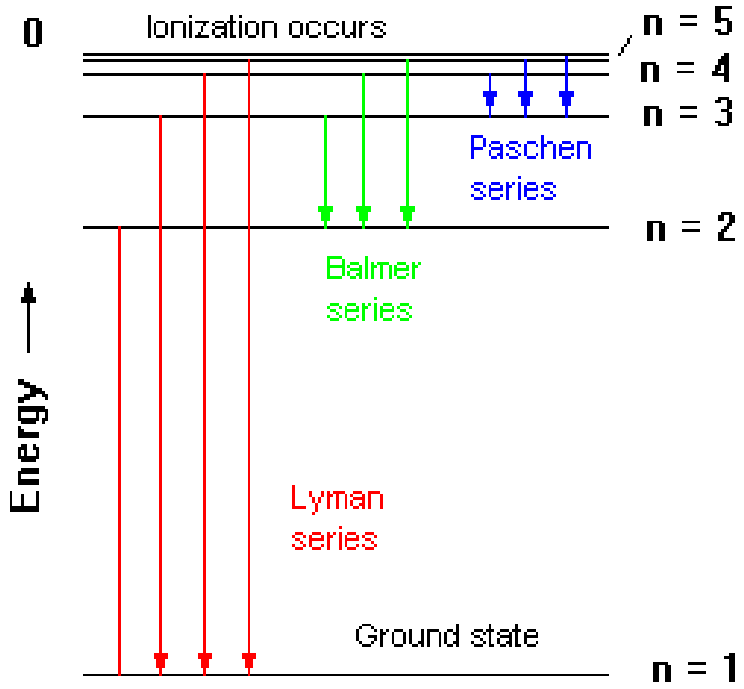


$$\lambda_m = 364.56 \frac{m^2}{m^2 - 4} \quad nm$$

حيث $m = 3, 4, 5, \ldots\ldots$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الأطياف الخطية



أما معادلة **Rydberg** (١٨٩٠م) التجريبية فهي شبيهة بمعادلة **Balmer**، وتكتب لحالة الهيدروجين كالتالي:

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

- حيث R_H ثابت **Rydberg**
- في متسلسلة بالمر:

$n= 2\ ,\ \ m= 3, 4, 5, \ldots..$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

الأطياف الخطية

- 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

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ١

درجة حرارة جسم الإنسان الخارجية في حدود $35\ C^{o}$ ماهو طول الموجة التي يكون عندها أعلى شدة للإشعاعات الصادرة من الجسم.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٢

أعلى شدة للموجات الضوئية الصادرة من الشمس هي للون الأصفر-البرتقالي ذو الطول الموجي 500 nm احسب درجة حرارة سطح الشمس بالدرجات المئوية.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٤

متوسط القدرة المتولدة من الشمس يساوي تقريبا $4x10^{26}$ W إذا كان متوسط طول الموجات للإشعاعات المنبعثة من الشمس هو 500 nm فكم عدد الفوتونات المنبعثة من الشمس ي الثانية الواحدة ؟

$$\text{number of photons} = n = \frac{P}{E_{photon}} = \frac{P}{hf} = \frac{P}{h(c/\lambda)}$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٥:

محطة إذاعية تبث برامجها بقدرة 100 kW وعلى تردد مقداره 151 MHz فكم عدد الفوتونات التي تنبعث من برج الإذاعة في الثانية الواحدة ؟

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٦

تيار الإلكترونات المنبعث من خلية كهروضوئية بسبب سقوط شعاع ضوئي طول موجته 300 nm ينقطع تماما عند استعمال جهد إيقاف كهربي مقداره 0.625 V احسب دالة الشغل لهذا المعدن المستعمل في الخلية الكهروضوئية.

$$hf = W + eV_o$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٧

دالة الشغل للبوتاسيوم تساوي 2.24 eV إذا استعمل هذا المعدن في خلية كهروضوئية وأضيء بضوء طول موجته 312.5 nm احسب: (١ جول = 6.25×10^{18} eV)

أ) أعلى طاقة حركية للإلكترونات الضوئية المنبعثة.

ب) الجهد الكهربي الذي ينقطع عنده التيار.

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

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

ب)
$$K_{max} = eV_o$$

ج)
$$K_{max} = h\frac{c}{\lambda} - W = 0$$

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

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ٩

احسب الطول الموجي للفوتونات المنبعثة بسبب انتقال الإلكترونات من:

أ) $n_i=3$ إلى $n_f=2$ في ذرة الهيدروجين.

ب) $n_i=6$ إلى $n_f=4$ في أيون ذرة الهليوم ($Z = 2$)

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n_f^2} - \frac{1}{n_i^2}\right)$$

$$R = \frac{Z^2 k^2 e^4 m_e}{4\pi\hbar^3 c}$$

$$\text{in hydrogen atom: } R = \frac{k^2 e^4 m_e}{4\pi\hbar^3 c} = 1.0973773 \text{x} 10^7\ m^{-1}$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ١٠و ١١

احسب أقل وأكبر طول موجي للفوتونات المنبعثة في متسلسلة بالمر في ذرة الهيدروجين (n_f=2)

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

$$\lambda_{min} \quad at \quad n_i = \infty$$

$$\lambda_{min} \quad at \quad n_i = 3$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

مسألة ١٢

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

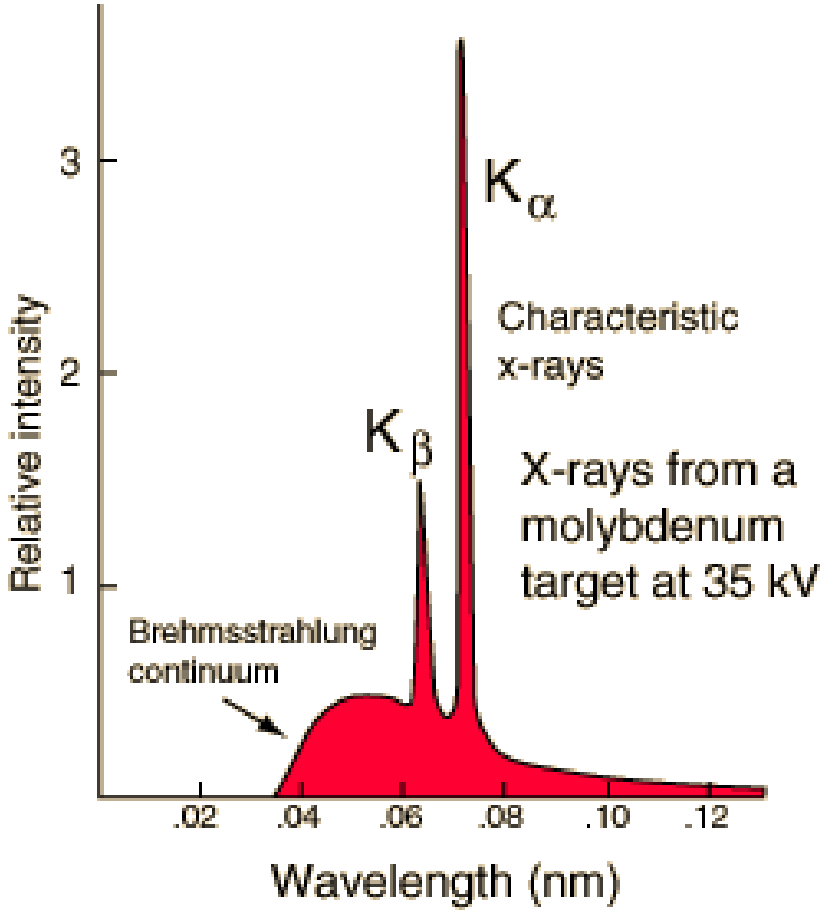
The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف الأشعة السينية

إكتشف Roentgen عام ١٨٩٥ الأشعة السينية وذلك عنداصطدام إلكترونات سريعة بهدف معدني.

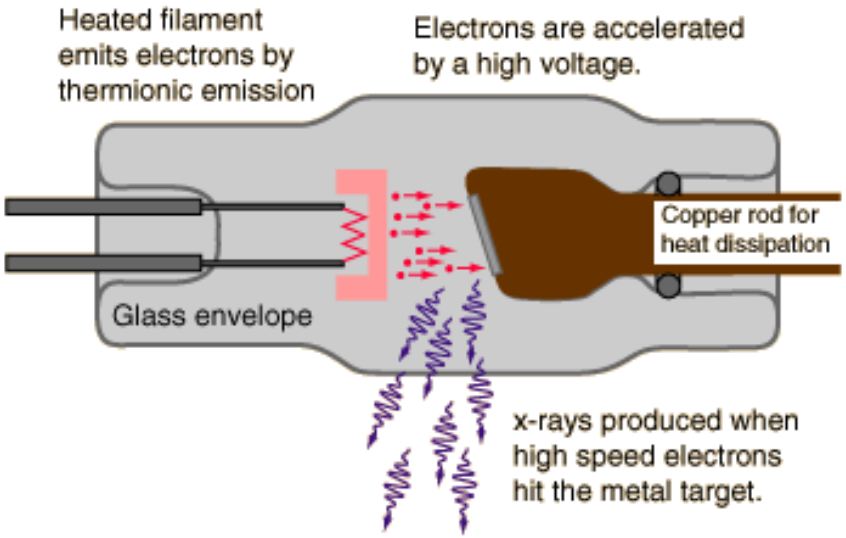
فهي ناتجة عن انبعاث فوتون بسبب إلكترون؛ أي عكس الظاهرة الكهروضوئية.

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



The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف الأشعة السينية



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:

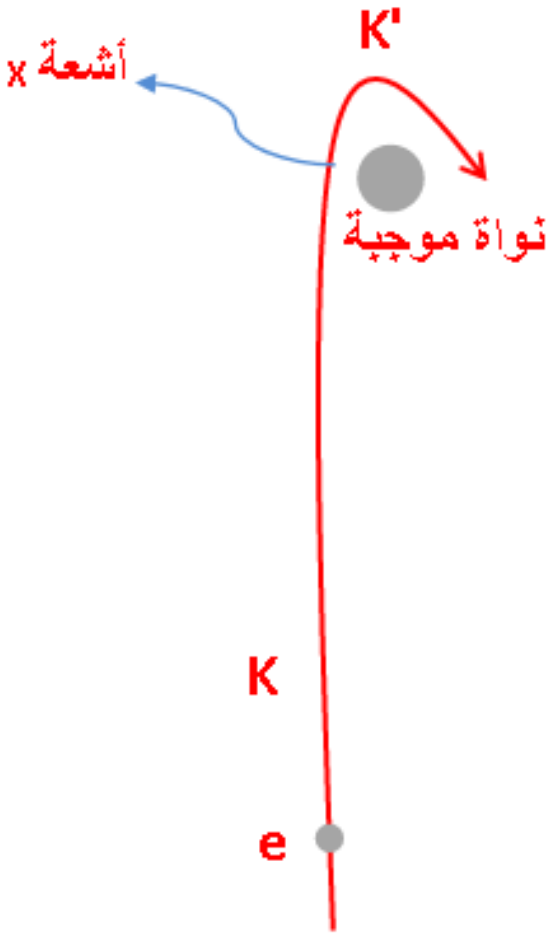
$$K=eV$$

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:

$$E = -\frac{13.6}{n^2} Z^2$$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف الأشعة السينية



فيزيائية انبعث أشعة X

- يكتسب الالكترون 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:

$$K=K'+Xray$$

- التوقف المفاجئ للإلكترون عند اقترابه من النواة يصاحبه تباطؤ كبير والأشعة الناتجة تسمى أشعة التوقف أو الفرملة.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف الأشعة السينية

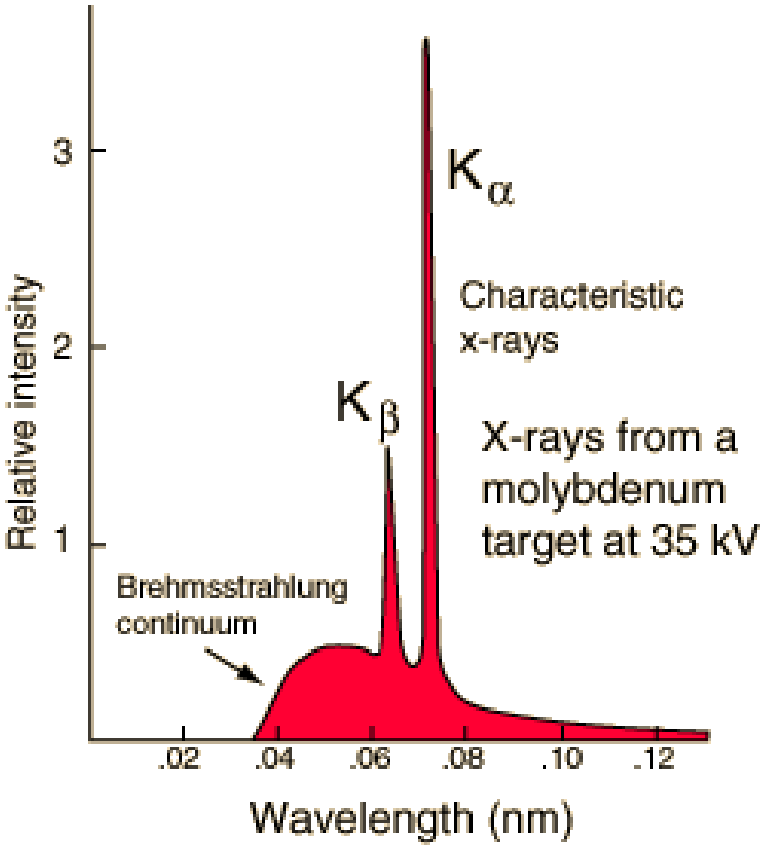
- بداية الطيف المستمر λ_o يعتمد على فرق الجهد فقط المستعمل لتعجيل الالكترونات، كما في العلاقة:

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

- أما الطيف الخطي فيعتمد على نوع العنصر المستعمل كهدف.

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

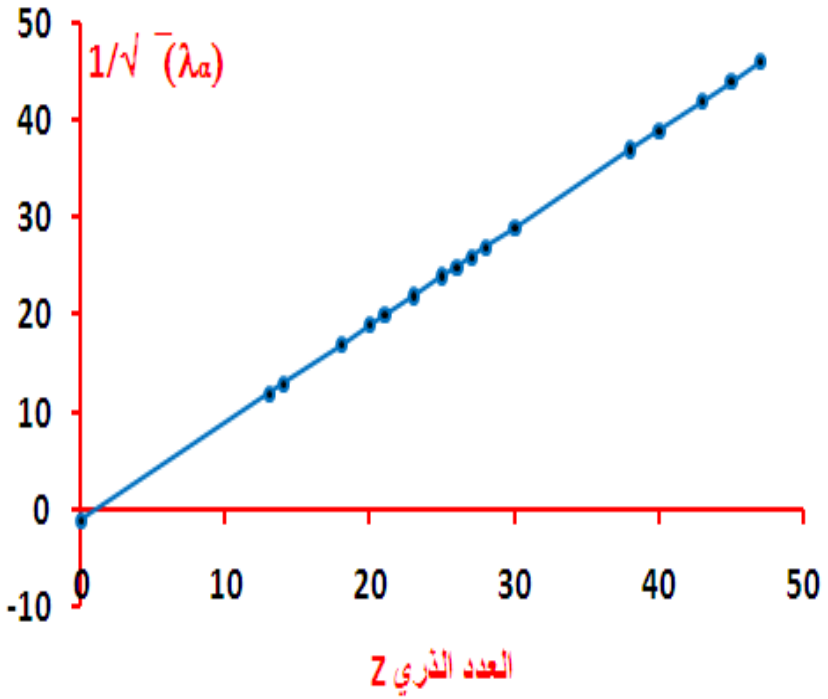
طيف الأشعة السينية



- 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 $\lambda_\alpha < \lambda_\beta$

The quantum theory of light النظرية الكمية للضوء

طيف الأشعة السينية



وقيمة الطول الموجي λ_α يعطى بالعلاقة:

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