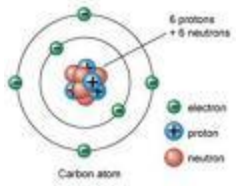
مقدمة في فيزياء الكم

Introduction to Quantum Physics

- ما هو معني كلمة **(الكم)**.
- **ما هو معني مبدأ التكميم**

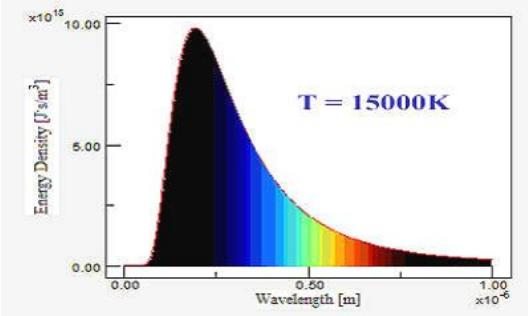
مقدمة في فيزياء الكم

القوانين الكلاسيكية تنطبق على الأجسام الكبيرة. أما الأجسام الصغيرة مثل الذرات والالكترونات لا تنطبق عليها القوانين الميكانيكا الكلاسيكية

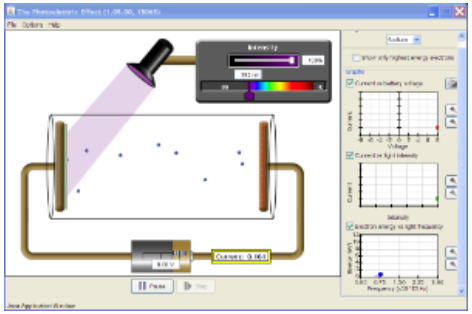


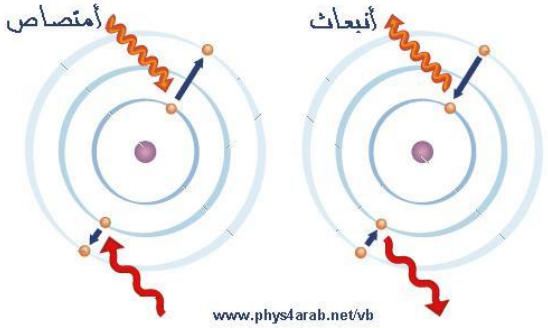
مقدمة في فيزياء الكم

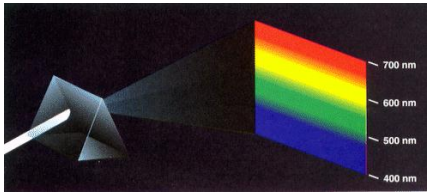
ومن أهم الظواهر التي فشلت الميكانيكا الكلاسيكية في تفسيرها ونجحت ميكانيكا الكم هي :



- إشعاعات الجسم الاسود
- ظاهرة التأثير الكهروضوئي
- ظاهرة تأثير كومتون Compton effect
- نظرية بور لذرة الهيدروجين
- الطيف الذري والجزئي







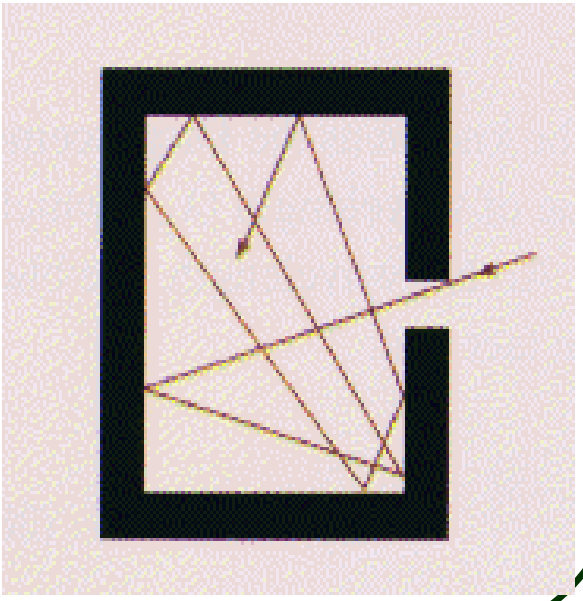
اشعاع الجسم الأسود وفروض بلانك

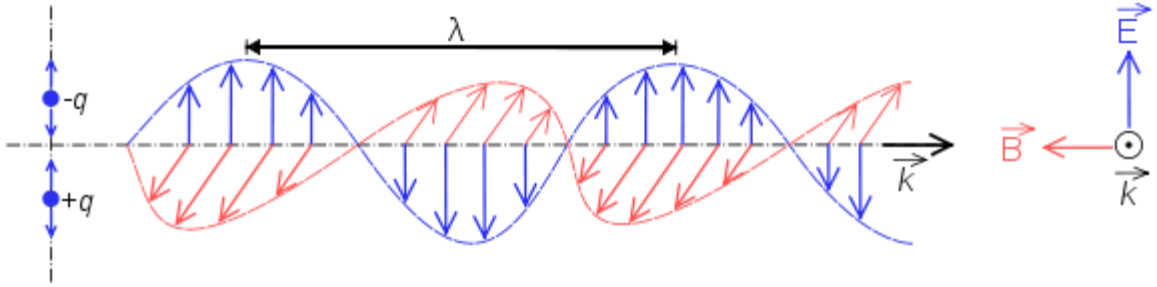
Blackbody Radiation and Plank's Hypothesis

اشعاع الجسم الأسود

هو عبارة عن موجة كهرومغناطيسية ولكن:

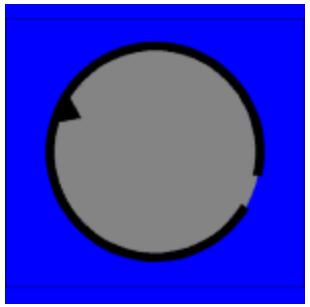
- هل هي موجة ثابتة التردد
- هل تختلف من مادة الي اخري
- هل يتغير ترددها بتغير درجة الحرارة





اشعاع الجسم الأسود وفروض بلانك

Blackbody Radiation and Plank's Hypothesis



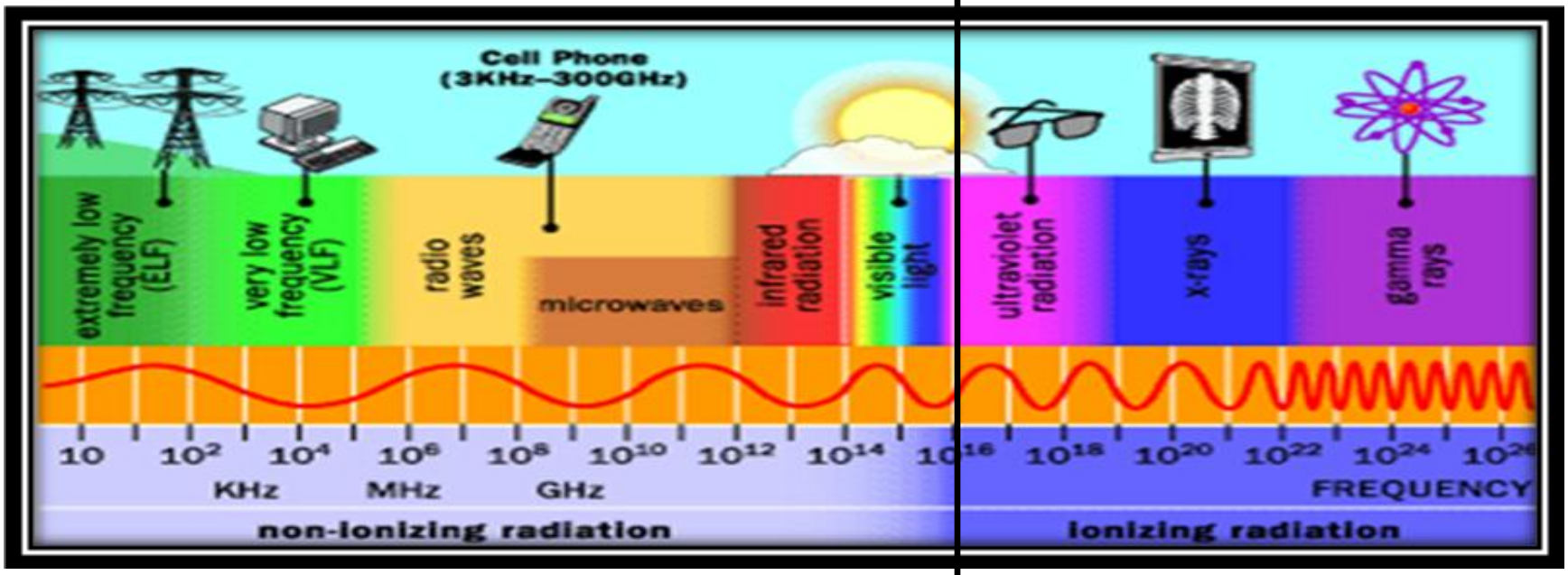
يعتبر **الجسم الأسود** في الفيزياء جسما مثاليا يمتص كل موجات الضوء الساقطة عليه دون أن يعكس أي منها. وكما يمتص الجسم الأسود جميع موجات الضوء الساقطة عليه، يقوم أيضا بإصدار جميع موجات الاشعاع الحراري، أي إشعاع الجسم الناتج عن درجة حرارته. ويمكن أن يكون الضوء جزءا منها.

خواص هذا الاشعاع تعتمد على كل من درجة حرارة الجسم وخواصه.

سؤال هام: هل هذا الاشعاع يحمل جميع ترددات الموجة الكهرومغناطيسية

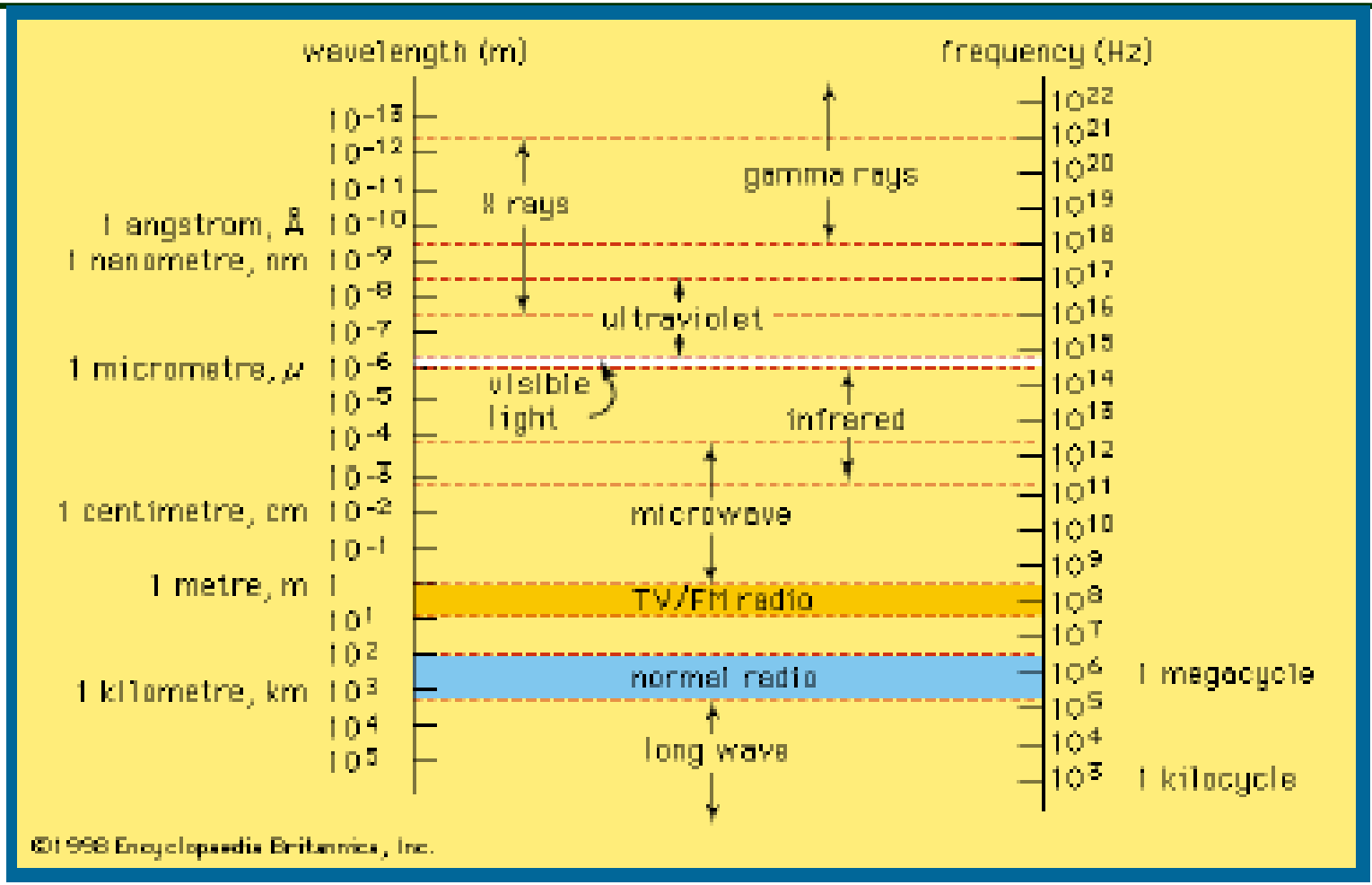
اشعاع الجسم الأسود وفروض بلانك

Blackbody Radiation and Plank's Hypothesis



صوره توضح الترددات المختلفة للإشعاعات الكهرومغناطيسية.

ترددات الموجة الكهرومغناطيسية



Encyclopedia Britannica, Inc.

اشعاع الجسم الأسود وفروض بلانك

Blackbody Radiation and Plank's Hypothesis

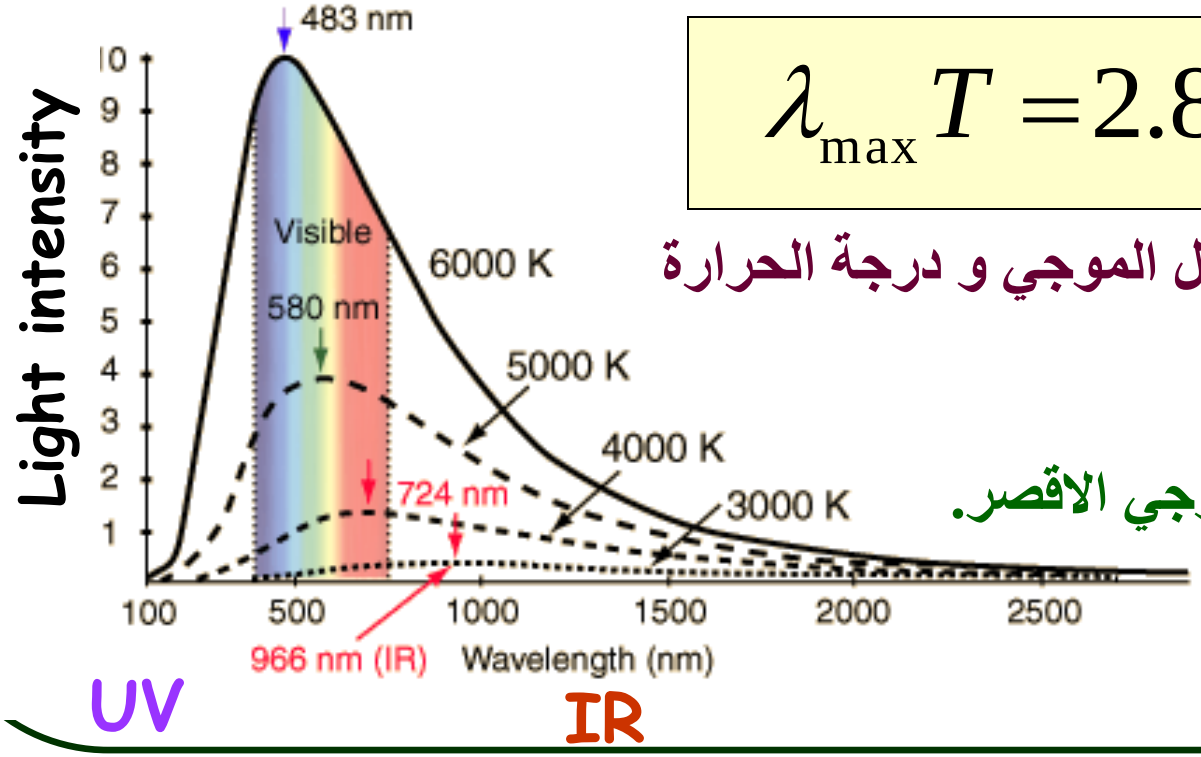
- **عند درجات الحرارة المنخفضة**، تقع الاطوال الموجية للإشعاع الحراري كلية في منطقة الاشعة تحت الحمراء من الطيف الكهرومغناطيسي ومن ثم لايمكن تمييزها بالعين المجردة.
- **مع ارتفاع درجة الحرارة** يبدا الجسم في التوهج محمرا ، بمعنى أنه تنبعث الاشعة المرئية بكمية كافية ولهذا يظهر الجسم ملتهبا .
- **بارتفاع أكثر فى درجة الحرارة**، يتحول الجسم إلى اللون الأبيض كما في حالة فتيلة التنجستين الساخنة في المصباح الكهربي.

اوضحت الدراسة الجادة انه كلما ارتفعت درجة الحرارة فإن الاشعاع الحراري المنبعث يتحول إلى توزيع طيفي مستمر للأطوال الموجية تمتد من الاشعة تحت الحمراء الى المنطقة المرئية الى الأشعة فوق البنفسجية من الطيف.

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون فين للازاحة

طبقا للفيزياء التقليدية ينبعث الإشعاع الحراري من الجسيمات المشحونة المتسارعة في الذرات الواقعة بالقرب من سطح الجسم المشع



$$\lambda_{max} T = 2.898 \times 10^{-3}\ \text{m.K}$$

هناك تناسب عكسي بين الطول الموجي و درجة الحرارة

كلما زادت درجة الحرارة:

- تزاح القمة تجاه الطول الموجي الاقصر.
- تزداد شدة الاشعاع

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون ستيفان-بولتزمان

ينص قانون ستيفان بولتزمان على أن الشدة الاشعاعية الكاملة المنبعثة من الجسم الأسود **واط في الثانية لكل وحدة مساحة** تتناسب مع القوة الرابعة لدرجة حرارة الجسم كلفن.

$$I(T) \alpha T^4$$

$$I(T) = \sigma . T^4 \qquad (Watt/m^2)$$

حيث σ ثابت ستيفان-بولتزمان . وهو لا يعتمد على نوع المادة أو طبيعتها أو شكلها وهو ثابت عام.

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \ Watt/m^2K^4$$

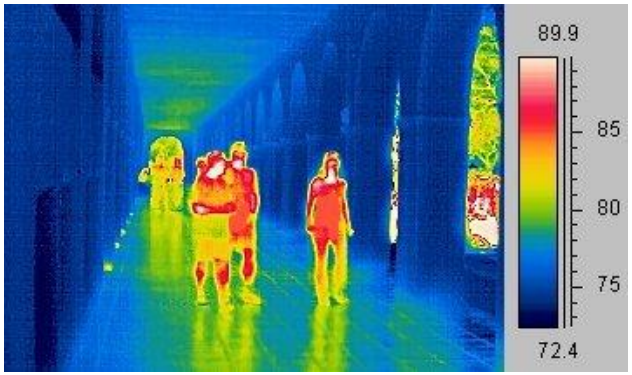


Photo with an IR camera

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون ستيفان-بولتزمان

افترض ستيفان أن كمية الطاقة الكلية التي يبعثها الجسم تزداد مع درجة الحرارة. اذا رمزنا للقدرة الاشعاعية بالرمز *p* حيث:

$$P = \sigma A e T^4$$

حيث $e=1$ للجسم الأسود و شدة الاشعاع علي سطح الجسم I تعطي من

$$I = p/A$$

$$I(T) = \sigma . T^4 \qquad (Watt/m^2)$$

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون رايلي-جينز

اعتبر العالمان رايلي وجينز في أوائل القرن العشرين أن الجسم الأسود مكون من عدد كبير من المتذبذبات المشحونة التي تتحرك حركة توافقية بسيطة simple harmonic motion وهذه المتذبذبات المشحونة تطلق أشعة كهرومغناطيسية أثناء حركتها بحيث تكون كثافة توزيع الطاقة المنبعثة من الجسم الأسود مساوية لكثافة الطاقة للمتذبذبات عند الاتزان الحراري.

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون رايلي-جينز

وقد وضع العالمان بناء على هذه الفرضية طبقا للديناميكا الكلاسيكيةالمعادلة التي تعطي عدد المتذبذبات لكل وحدة حجوم المسئولة عن كثافة الإشعاع عند طول موجي معين λ, حيث أن:

$$I(\lambda,T)=\frac{2\pi c k T}{\lambda^4}$$

حيث kT تعطي قيمة متوسط طاقة المتذبذبات و k هو ثابت بولتزمان والطرف الأيسر من المعادلة يعبر عن الطاقة لكل وحدة حجوم.

ولكن هذه الفرضية لرايلي وجينز فشلت في تفسير طيف الجسم الأسود.

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون رايلي-جينز

The Rayleigh-Jeans Law

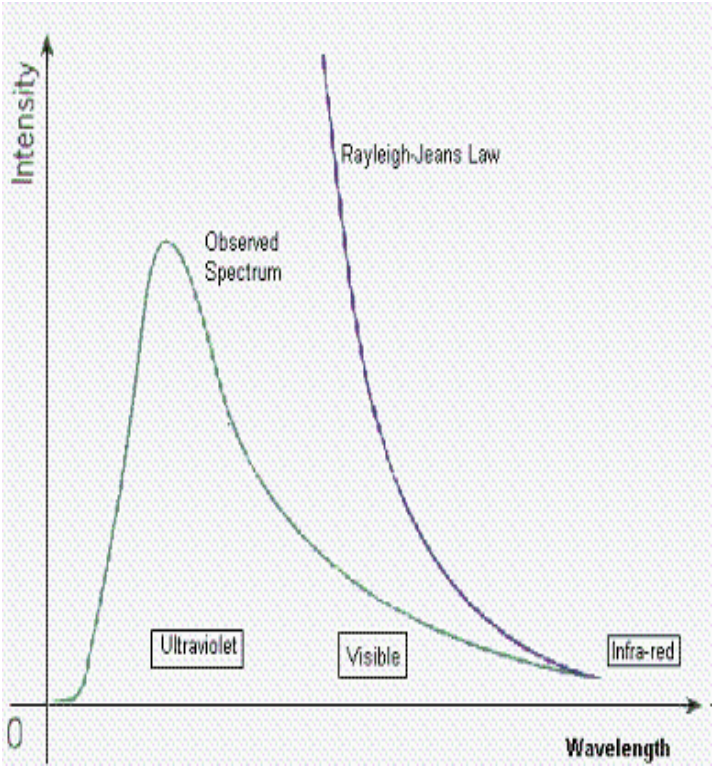
لماذا فشلت فرضية لرايلي وجينز في تفسير طيف الجسم الأسود.

1- تتوافق مع النتائج التجريبية عند الاطوال الموجية الكبيرة

2- تؤول شدة الاشعاع الي مالا نهاية كلما قل الطول الموجي.

3- عرف فشل النظرية بكارثة الاشعة الفوق بنفسجية.

$$I(\lambda,T)=\frac{2\pi c k T}{\lambda^4}$$



http://www.egglescliffe.org.uk/physics/astronomy/blackbody/Image22c.gif

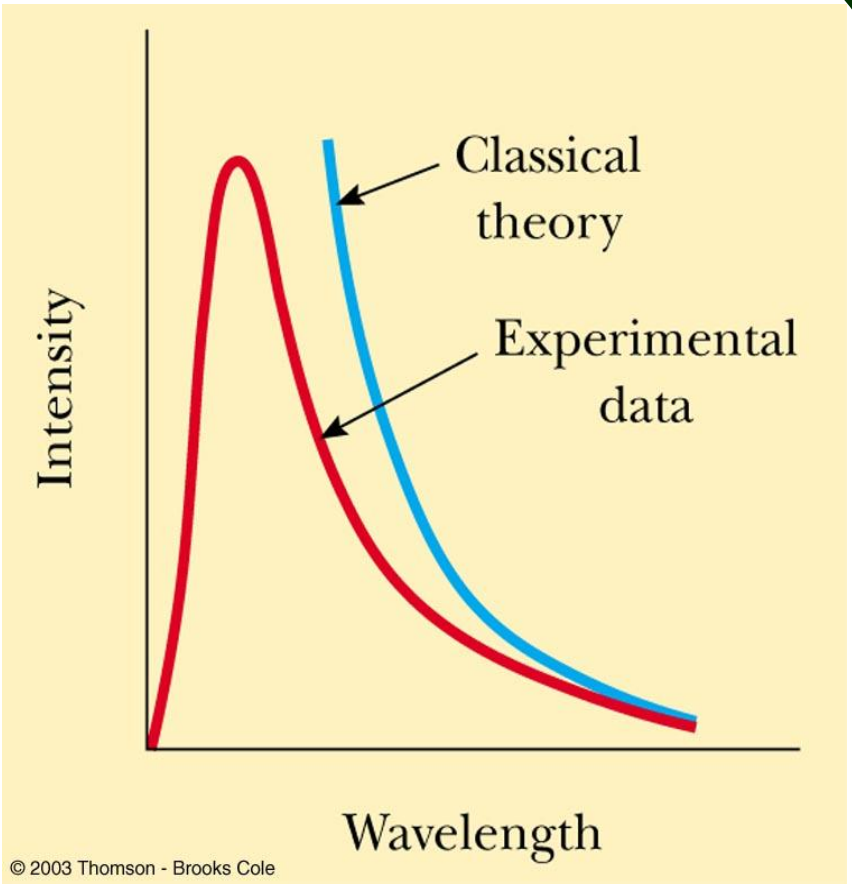
قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون رايلي-جينز

كارثة الاشعة الفوق بنفسجية.

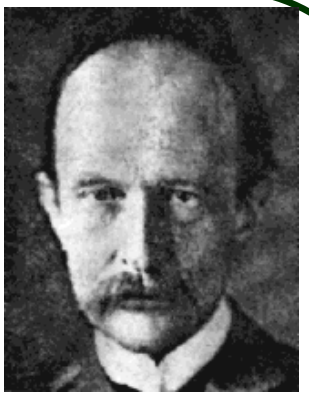
$$I(\lambda,T)=\frac{2\pi c k T}{\lambda^4}$$

كانت المشكلة في الأس الرابع بالمقام



قوانين خاصة بالجسم الأسود

ماكس بلانك: الأب الروحي لنظرية الكم



Planck, 1900

اكتشف العالم ماكس بلانك أن الطاقة المنبعثة من المواد لا تنطلق منها باستمرار. "نظرية الكم" التي طورها أحدثت انقلابا ليس فقط في الفيزياء ولكن في المعتقدات السائدة في ذلك الوقت.

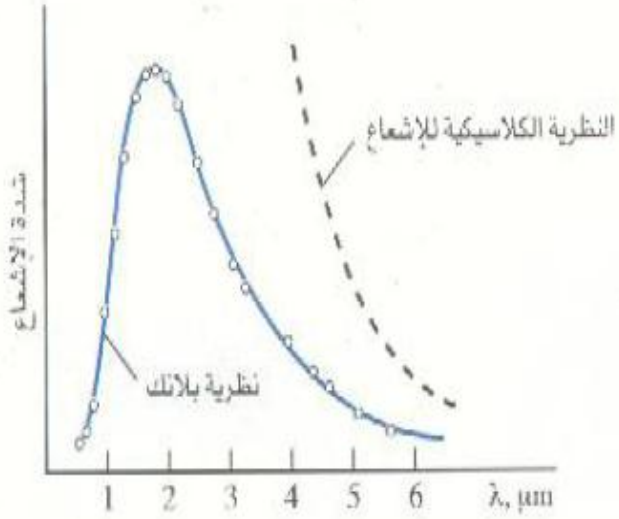
في عام 1900 قام العالم الألماني بلانك Planck بدراسة توزيع إشعاع الجسم الأسود وافترض أن الذرات في الفقاعة التي تمثل الجسم الأسود، تسلك سلوك هزازات توافقية وأن كلا منها تهتز بتواتر معين، وفي حالة الاتزان الحراري تمتص أو تصدر كم من طاقة الإشعاع متناسبا مع تواتر اهتزازها. أي أن يكون هناك حد أدنى للطاقة مقدارة **h** كثابت طبيعي لا ينقسم ووحدته جول.ثانية وهذا جديد على النظرية الكهرومغناطيسية الكلاسيكية التي تتيح تغير الطاقة تغيرا مستمرا من دون حدود للانقسام. وحصل نتيجة ذلك على قانونه (قانون بلانك للإشعاع) الذي يتفق تماما مع القياسات المعملية.

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون بلانك

اشتق بلانك معادلة لإشعاع الجسم الأسود والتي تتفق تماما مع التجربة عند كل الأطوال الموجية. أدت تحليلات بلانك إلى المنحنى الازرق في الشكل

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



ولما كان هذا الفرض يؤدى إلى تضارب مع التجربة ، فإن بلانك أثـار سؤالاً بـدأه بقولـه « ماذا لو ؟ » . ثم قرر دون أدنى تبرير ، أن يعتبر أن المهتزات يمكنـها أن تتخـذ قيمًا محددة فقط للطاقة :

يستطيع مهتز تردده f_0 أن يتذبذب بحيث تكون طاقاته hf_0 ، $2hf_0$ ، $3hf_0$ ، . . . . ، nhf_0 ، فقط . وأية قيم أخرى للطاقة لن تكون ممكنة .

صورة من كتاب اساسيات الفيزياء

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون بلانك

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

تشتمل هذه الدالة على البارامتر h والذي حدده بلانك بحيث يتفق المنحنى مع النتائج العملية عند جميع الأطوال الموجية.

وجد أن قيمة هذا البارامتر لاتعتمد على المادة المصنوع منها الجسم الأسود أو على درجة حرارته. كونه ليس بارامترا متغيرا، فإنه ثابت كوني أساسي وقيمتة

$h = 6.626 \times 10^{-34}$ J.s

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون بلانك

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

عند الأ طوال الموجية الطويلة، تختزل هذه المعادلة إلى معادلة رالي وجينز ـ المعادلة 4.40 . وعند الأطوال الموجية القصيرة تتنبأ بنقص أسي في I عند نقص الطول الموجي .

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون بلانك

وضع بلانك في نظريته فرضان يخصان طبيعة الجزيئات المتذبذبة على سطح الجسم الأسود.

1- يمكن للجزيئات أن تأخذ فقط عدد من وحدات الطاقة المنفصلة E_n تعطي بالعلاقة:

$$E_n = nhf$$

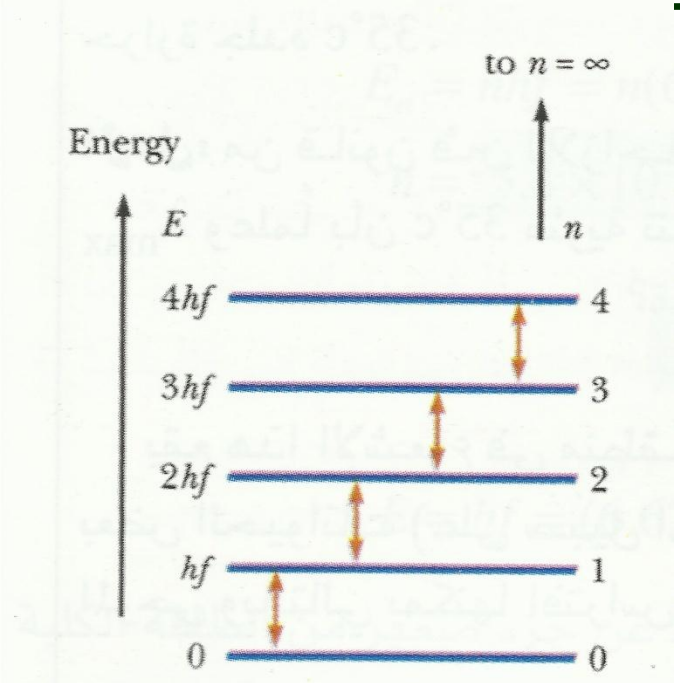
الطاقة مكماه

حيث n عدد صحيح موجب يسمى العدد الكمي Quantum number

و f هو التردد الطبيعي لذبذبة الجزئ.

* هذا يختلف تماماً عن **النموذج الكلاسيكي** للمتذبذب التوافقي وفيه ترتبط طاقة المتذبذبات المتماثلة **بسعة الذبذبة** و لاترتبط بالتردد. وضح! (واجب)

قوانين خاصة بالجسم الأسود



شكل 5.40 مستويات الطاقة المتاحة لجزئ يتذبذب بتردده الطبيعي f_0. الانتقالات المتاحة موضحة بأسهم ذات رأسين.

قانون بلانك

وحيث إن طاقة الجزئ يمكنها أن تأخذ قيم منفصلة تعطى بالمعادلة

$$E_n = nhf$$

فإننا نقول أن الطاقة **مكماة**

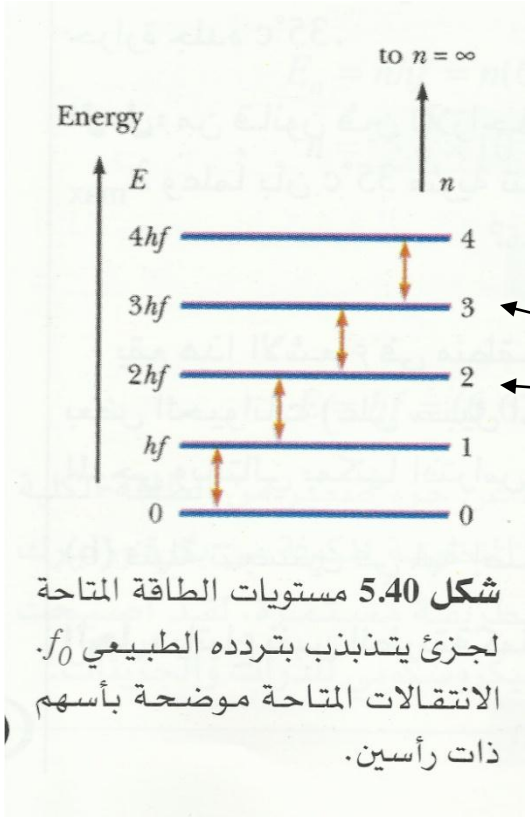
(أي مضاعفات لكمية محدودة) كل قيمة منفصلة تمثل حالة كمية مختلفة للجزئ وكل قيمة n تمثل حالة كمية معينة.

قوانين خاصة بالجسم الأسود

قانون بلانك

تشع أو تمتص الجزيئات طاقة بكميات منفصلة أطلق عليها فيما بعد فوتونات.

تبعث أو تمتص الجزيئات هذه الفوتونات بالقفز من حالة مكماة معينة إلى حالة أخرى.



شكل 5.40 مستويات الطاقة المتاحة لجزئ يتذبذب بتردده الطبيعي f_0. الانتقالات المتاحة موضحة بأسهم ذات رأسين.

طاقة الفوتون الواحد والتي تناظر الفرق بين حالتين متتاليتين هي:

$$E = hf$$

أختبار سريع 1

أي مما يلي يسبب سفعه الشمس لجلد الانسان (حرق الجلد) (تحدث السفعة لأن كمية كبيرة من الطاقة تمتص فى خلايا الجسم):

1- ضوء الاشعة تحت الحمراء.

2- الضوء المرئي.

3- ضوء الأشعة فوق البنفسجية.

أمثلة محلولة

مثال 1: الاشعاع الحراري من أجسام مختلفة

أوجد الطول الموجي المقابل لقمة الاشعاع المنبعث من كل من:

(a) جسم الإنسان عندما تكون درجة حرارة جلده 35^0C.

من قانون فين للازاحة: والوضع في الاعتبار التحويل من الدرجة المئوية الي كلفن

$$\lambda_{max} = \frac{2.898\times10^{-3}\ \text{m.K}}{308\,\text{K}} = 9.4\,\mu m$$

← منطقة أشعة تحت حمراء

وضحي كيف يمكن للافعى السامة افتراس فريسه من ذوات الدم الدافئ حتى في الظلام؟ واجب

أمثلة محلولة

مثال 1: الاشعاع الحراري من أجسام مختلفة

ب- فتيلة تنجستين في لمبة إضاءة والتي تعمل عند 2000 K.

باتباع نفس الطريقة

$$\lambda_{max} = \frac{2.898\times10^{-3}\ \text{m.K}}{2000\,\text{K}} = 1.4\,\mu m$$

← منطقة أشعة تحت حمراء

أمثلة محلولة

مثال 1: الاشعاع الحراري من أجسام مختلفة

ج) الشمس ودرجة حرارة سطحها هي 5800 K.

باتباع نفس الطريقة مرة أخري

$$\lambda_{max} = \frac{2.898 \times 10^{-3}\ \text{m.K}}{5800\ \text{K}} = 0.5\ \mu m$$

← منطقة مركز الطيف المرئي

وحيث أنه اكثر الالوان السائدة في ضوء الشمس فإن عين الإنسان قد تكيفت لكى تكون أكثر حساسية لضوء له طول موجي يقترب من ذلك.

أمثلة محلولة

مثال 2: متذبذب كمي

ثقل كتلته 2 كجم متصل بزنبرك مهمل الكتلة وله ثابت قوة k يساوي 25N/m.
اذا استطال الزنبرك بمقدار 0.4 m من وضع الاتزان ثم اطلق الثقل للحركة.

أ- احسب الطاقة الكلية للمنظومة وتردد الذبذبة طبقا للحسابات الكلاسيكية.

الطاقة الكلية لمتذبذب توافقي بسيط له سعة A هي

$$E = \frac{1}{2}kA^2 = \frac{1}{2}(25\ \text{N/m})(0.40\ \text{m})^2 = 2.0\ \text{J}$$

$$f = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{25\ \text{N/m}}{2.0\ \text{kg}}} = 0.56\ \text{Hz}$$

أمثلة محلولة

مثال 2: متذبذب كمي

ب- بافتراض أن الطاقة مكماة. اوجد العدد الكمي للمنظومة.

إذا كانت الطاقة مكماة نحصل على:

$$E_n = nhf = n(6.626\times10^{-34}\ \text{J.s})(0.56\ \text{Hz}) = 2.0\ \text{J}$$

$$n = 5.4\times10^{33}$$

أمثلة محلولة

مثال 2: متذبذب كمي

ج- ما الطاقة التي تنقلها تغيرات في العدد الكمي بمقدار

$$E = hf = (6.626 \times 10^{-34}\ \text{J.s})(0.56\ \text{Hz}) = 3.7 \times 10^{-34}\ \text{J}$$

هذه الطاقة يحملها التغير في العدد الكمي بمقدار ١ . هي عبارة عن جزء صغير من الطاقة الكلية للمتذبذب والتي لايمكن الاحساس بها .

مسائل

1- افترض جسم أسود مساحة سطحه $20\ cm^2$ و درجة حرارته $5000\ K$.

أ- ما مقدار الطاقة المنبعثة في الثانية الواحدة. (القدرة)؟

$$\mathcal{P} = eA\sigma T^4 = 1\left(20.0\times10^{-4}\ \mathrm{m}^2\right)\left(5.67\times10^{-8}\ \mathrm{W/m^2\cdot K^4}\right)\left(5\,000\ \mathrm{K}\right)^4$$

$$= \boxed{7.09\times10^{4}\ \mathrm{W}}$$

ب- عند اي طول موجي يشع بشدة؟

$$\lambda_{\max} = \frac{2.898\times10^{-3}\ \mathrm{m.K}}{5000\,\mathrm{K}} = 580\,nm$$

ج- اوجد القدرة الطيفية عند هذا الطول الموجي.

$$\mathscr{P}(\lambda) = AI(\lambda) = \frac{2\pi hc^2 A}{\lambda^5\left[\exp(hc/\lambda k_B T) - 1\right]}$$

$$\because \quad \frac{hc}{k_B T} = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(1.38\times10^{-23}\ \text{J/K})(5\,000\ \text{K})} = 2.88\times10^{-6}\ \text{m}$$

$$\because \quad 2\pi hc^2 A = 2\pi(6.626\times10^{-34})(3.00\times10^{8})^2(20.0\times10^{-4}) = 7.50\times10^{-19}\ \text{J}\cdot\text{m}^4/\text{s}$$

$$\therefore \quad \mathscr{P}(580\ \text{nm}) = \frac{7.50\times10^{-19}\ \text{J}\cdot\text{m}^4/\text{s}}{(580\times10^{-9}\ \text{m})^5\left[\exp(2.88\ \mu\text{m}/0.580\ \mu\text{m}) - 1\right]} = \frac{1.15\times10^{13}\ \text{J/m}\cdot\text{s}}{e^{4.973} - 1}$$

$$= \boxed{7.99\times10^{10}\ \text{W/m}}$$

مسائل

2- احسب الطاقة بالالكترون فولت لفوتون تردده. (أ) 620 THz و (ب) 3.1 GHz و (ج) 46 MHz. أحسب الاطوال الموجية المناظره لهذه الفوتونات وحدد موضع كل منهم في الطيف الكهرومغناطيسي.

$$E = hf = (6.626 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(620 \times 10^{12}\ \text{s}^{-1})\left(\frac{1.00\ \text{eV}}{1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}}\right) = \boxed{2.57\ \text{eV}}$$

$$E = hf = (6.626 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.10 \times 10^{9}\ \text{s}^{-1})\left(\frac{1.00\ \text{eV}}{1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}}\right) = \boxed{1.28 \times 10^{-5}\ \text{eV}}$$

$$E = hf = (6.626 \times 10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(46.0 \times 10^{6}\ \text{s}^{-1})\left(\frac{1.00\ \text{eV}}{1.60 \times 10^{-19}\ \text{J}}\right) = \boxed{1.91 \times 10^{-7}\ \text{eV}}$$

مسائل

2- احسب الطاقة بالالكترون فولت لفوتون تردده. (أ) 620 THz و (ب) 3.1 GHz و (ج) 46 MHz. أحسب الاطوال الموجية المناظره لهذه الفوتونات وحدد موضع كل منهم في الطيف الكهرومغناطيسي.

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s}}{620 \times 10^{12}\ \text{Hz}} = 4.84 \times 10^{-7}\ \text{m} = \boxed{484\ \text{nm, visible light (blue)}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s}}{3.10 \times 10^{9}\ \text{Hz}} = 9.68 \times 10^{-2}\ \text{m} = \boxed{9.68\ \text{cm, radio wave}}$$

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{3.00 \times 10^{8}\ \text{m/s}}{46.0 \times 10^{6}\ \text{Hz}} = \boxed{6.52\ \text{m, radio wave}}$$

مسائل

3- متوسط (العتبة) لتكييف رؤية العين في الظلام هي $4x\ 10^{-11}\ Wm^{-2}$ عند طول موجي مركزي 500nm. إذا سقط ضوء بهذه الشدة وبنفس الطول الموجي على العين وانسان العين مفتوحة لاقصي قطر لها وهو 8.5mm. كم عدد الفوتونات التي تدخل العين في الثانية الواحدة.

طاقة الفوتون الواحد هي

$$E_\gamma = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(500\times10^{-9}\ \text{m})} = 3.98\times10^{-19}\ \text{J}.$$

متوسط الطاقة التي تستطيع العين استيعابها هي

$$E = \mathcal{P}\Delta t = IA\Delta t = (4.00\times10^{-11}\ \text{W/m}^2)\left[\frac{\pi}{4}(8.50\times10^{-3}\ \text{m})^2\right](1.00\ \text{s}) = 2.27\times10^{-15}\ \text{J}.$$

عدد الفوتونات التي تدخل العين في الثانية الواحدة هي

$$n = \frac{E}{E_\gamma} = \frac{2.27\times10^{-15}\ \text{J}}{3.98\times10^{-19}\ \text{J/photon}} = \boxed{5.71\times10^{3}\ \text{photons}}.$$

واجب منزلي

المسائل 1- 2- 8- 9- 11- 14

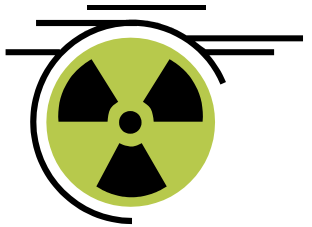
قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

عزيزتي الطالبة:

* سندرس في هذا الجزء تفاعل الإشعاع مع المادة

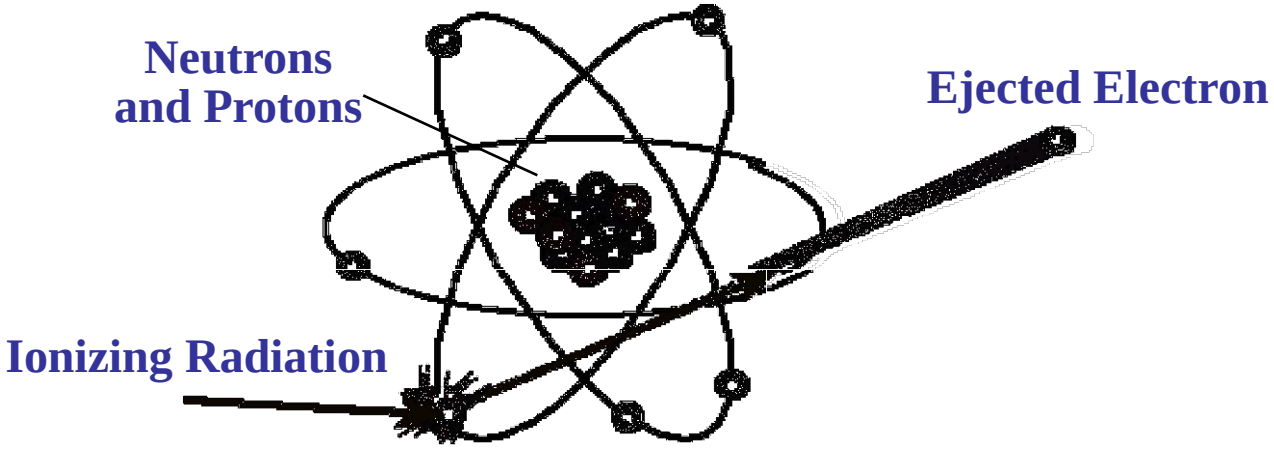


المقصود هنا بالإشعاع هو الإشعاعات االكهرومغناطيسية المؤينة

فهل تعرفين ما هو الفارق بين الإشعاع المؤين وغير المؤين؟

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

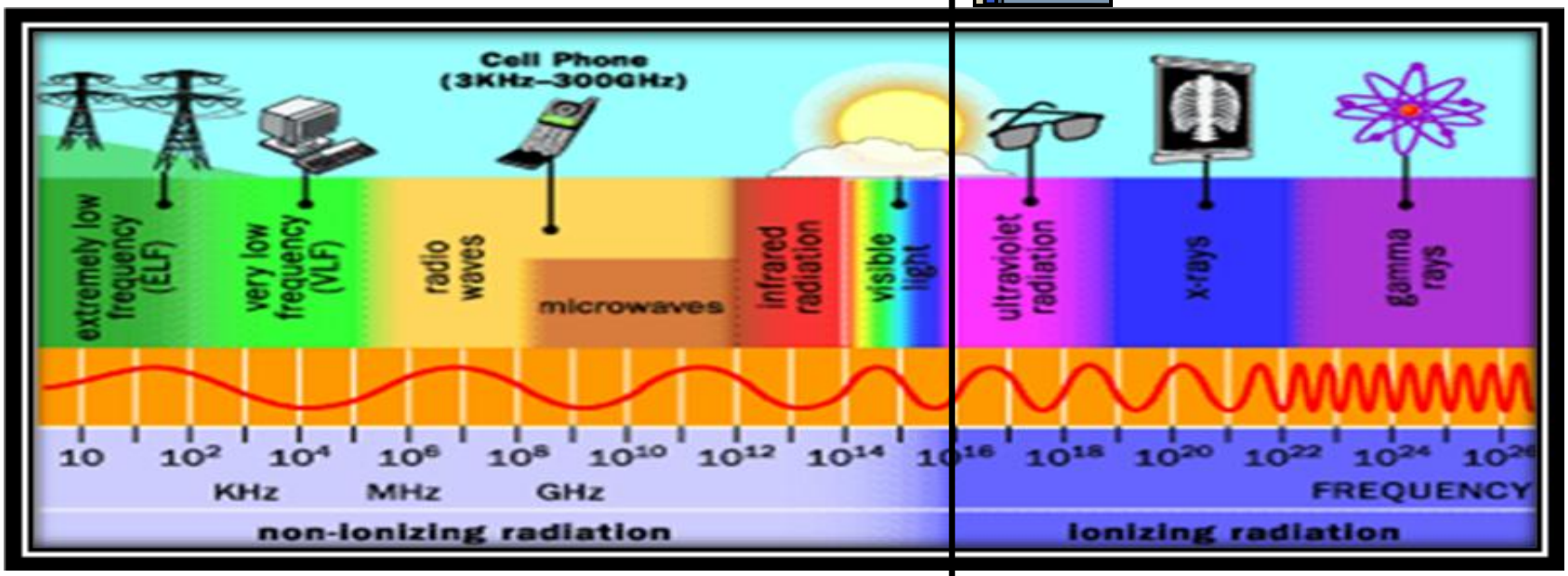


الاشعاع المؤين هو الإشعاع (الطاقة) القادر علي نزع الكترون من ذرات المواد مخلفا وراءة مادة متأيتة (بشرط أن يرتطم بأحد الكترونات الذرة).

يبدأ الإشعاع المؤين من الأشعة الفوق بنفسجية المتوسطة مرورا بالأشعة السينية ومنتهيا بأشعة جاما. أي تلك الاشعاعات التي تزيد طاقتها عن عدة eV

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter



صوره توضح الترددات المختلفة للإشعاعات الكهرومغناطيسية.

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

يتفاعل الإشعاع المؤين مع المادة من خلال فقدانه لكامل طاقته (امتصاصة) أو جزء منها خلال المادة. وهناك ثلاث طرق مختلفة يمكن للفوتون أن يتفاعل بها مع المادة:

1- الظاهرة الكهرو ضوئية Photoelectric Effect

2- تأثير كومتون Compton Effect

3- تولد زوج من الجسيمات Pair Production

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

أولا: الظاهرة الكهرو ضوئية

تحدث عادة عند سقوط فوتون بطاقة منخفضة علي المادة (15: 30 keV) ويصطدم بأحد الالكترونات ويفقد طاقته بالكامل (يتلاشى) ويمتصها الالكترون ويتمكن من الهروب من ذرته المرتبط بها مسببا تأين لهذه الذرة (لهذا بدأنا بلفظ كهرو).

يعقب خروج الإلكترون إعادة لترتيب الالكترونات في مداراتها حول النواة يؤدي الي انبعاث فوتون ضوئي أو أكثر (بطاقات مختلفة حسب المدار) من الذرة (لهذا قلنا لفظ ضوئية)

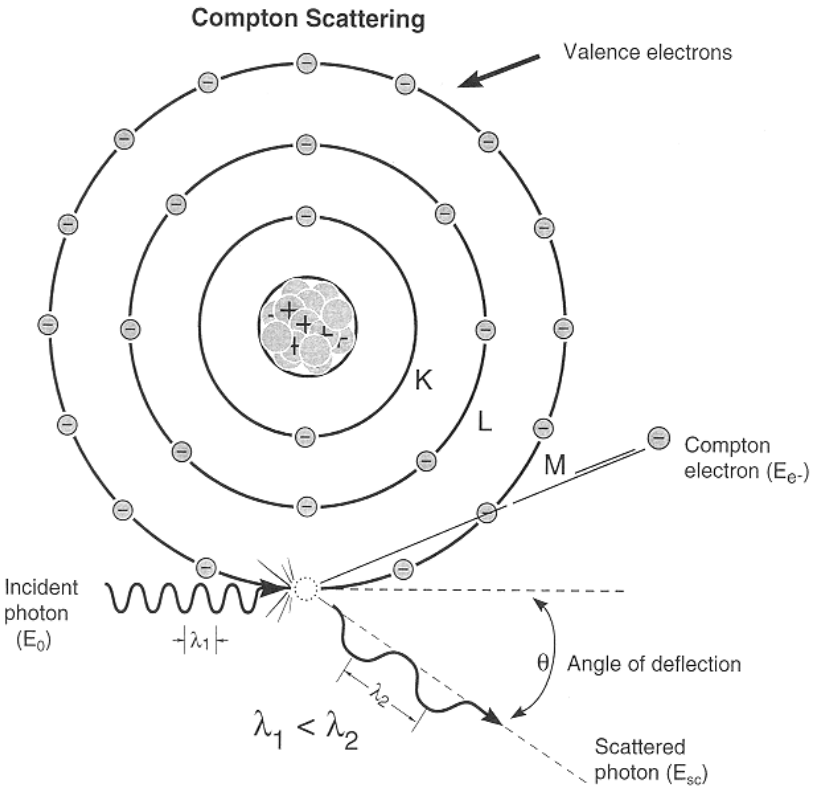
وأحيانا يطلق علي الالكترونات الهاربة الالكترونات الضوئية.

تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

ثانيا: ظاهرة كومتون

تحدث عادة عند سقوط فوتون بطاقة متوسطة علي المادة ويصطدم كجسيم مع أحد الالكترونات ويفقد جزء من طاقته (لا يتلاشى) ويمتصها الالكترون ويتمكن من الهروب من ذرته المرتبط بها مسببا تأين لهذه الذرة.



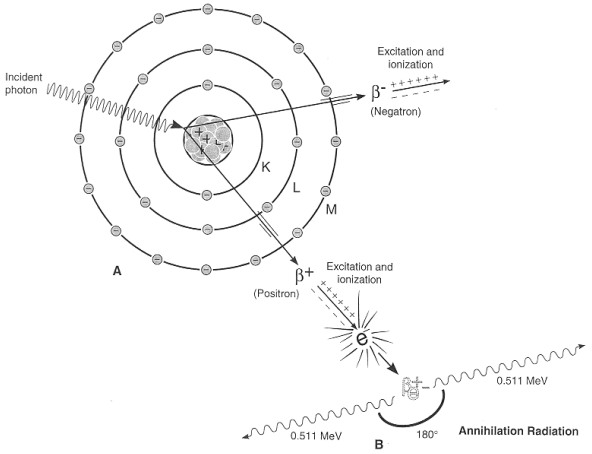
تفاعل الإشعاع مع المادة

Interaction of Radiation with Matter

ثالثا: تولد زوج من الجسيمات

تحدث عادة عند سقوط فوتون بطاقة عالية تزيد علي 1.02 MeV ويقترب من مجال النواة فيتلاشي تماما ويظهر بدلا منه زوج من الجسيمات المادية في صورة الكترون وبوزيترون (الكترون موجب الشحنة).

يفقد الفوتون طاقته بالكامل ويتم تقسيمها بالتساوي بين الالكترون والبوزيترون في صورة طاقة حركة.

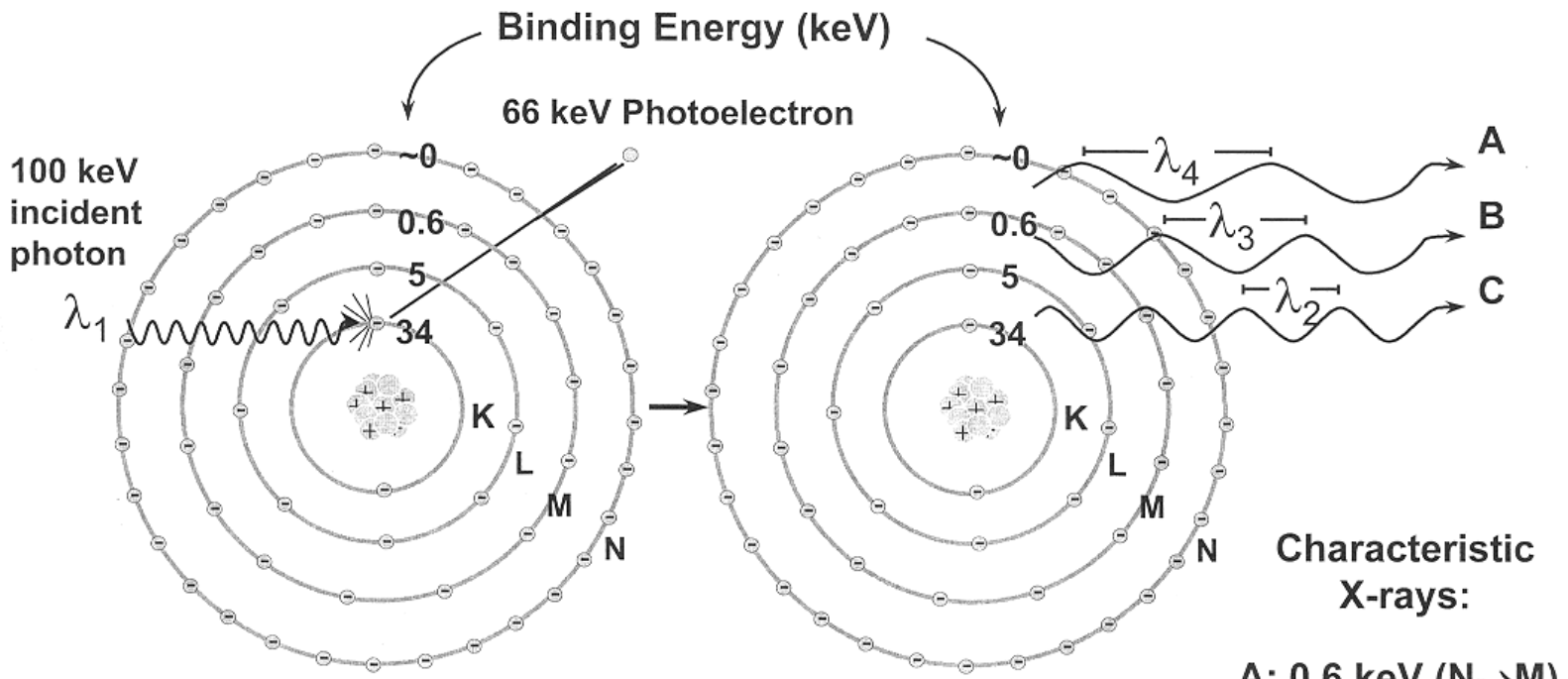


التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

التأثير الكهروضوئي:

- يحدث غالبا في الفلزات حيث طاقة الربط الضعيفة بين الكترونات الفلز وذراتها و احتمالية حدوثة في الانسجة ضعيفة (5% تقريبا).
- طاقة الفوتون الساقط يجب أن تكون أكبر من أو تساوي طاقة ربط الالكترون بنواه ذرته.
- تتأين الذرة ويهرب الكترون أحد المدرات ويفقد الفوتون طاقته بالكامل.
- تعيد الالكترونات ترتيب نفسها مولدة شلال من الاطياف المنبعثة وقد تخرج أشعة سينية مع الطيف المنبعث.
- يقل احتمال خروج أشعة سينية كلما قل العدد الذري للمادة الهدف.

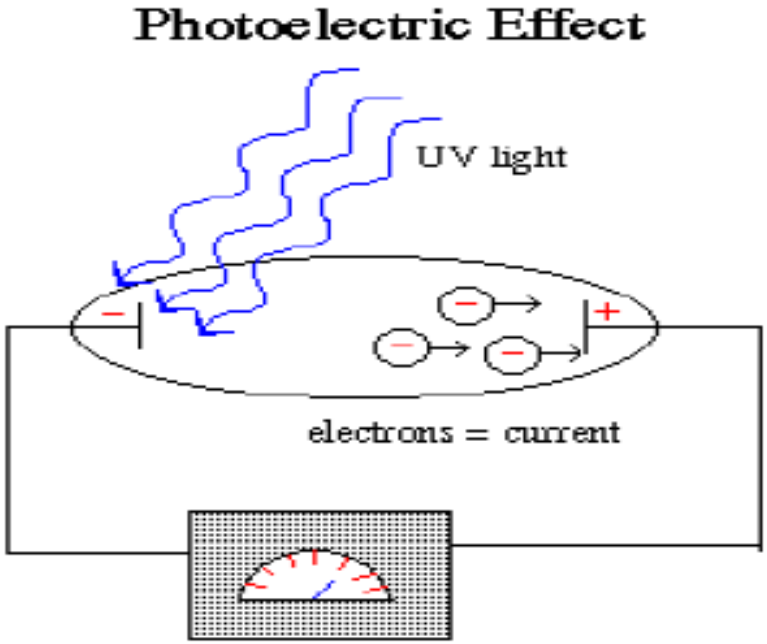
التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



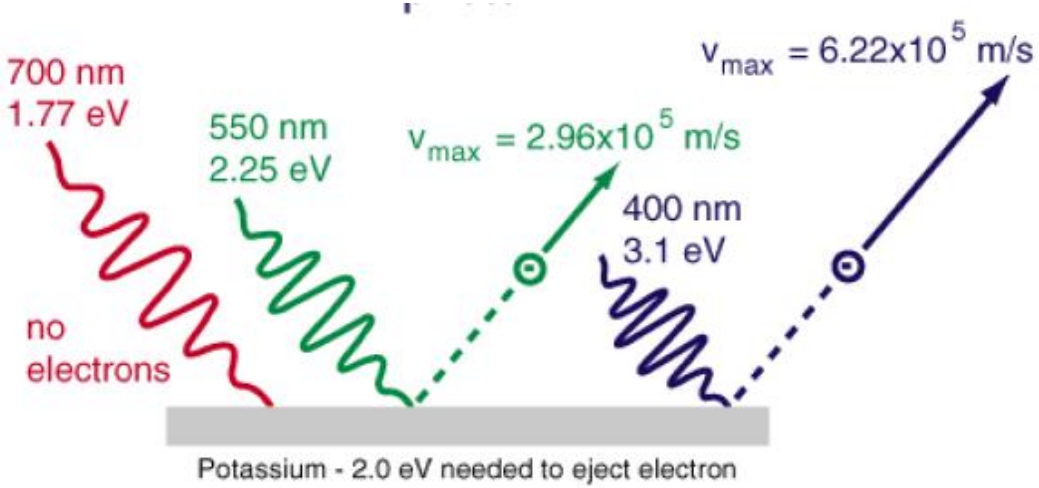
$$\lambda_1 < \lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_4$$

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

في النصف الأخير من القرن التاسع عشر، أوضحت التجارب ان الضوء السا قط على سطح فلز معين يسبب انبعاث إلكترونات من السطح. تعرف هذه الظاهرة بالتأثير الكهروضوئي، والالكترونات المنبعثة تسمى الكترونات فوتونية.

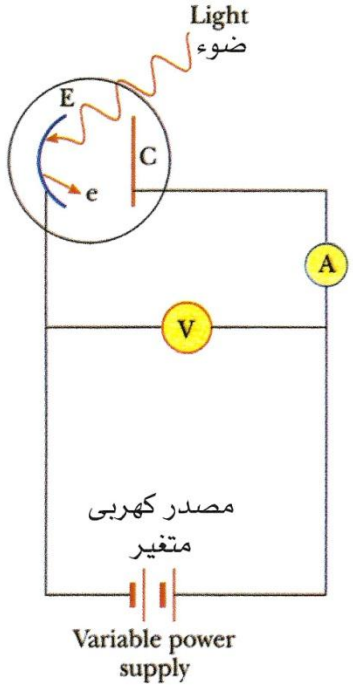


التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



- هل تختلف طاقة الالكترونات المنبعثة من مادة الي اخري
- هل تختلف الطاقة الحرجة للفوتون الساقط من مادة الي اخري
- هل تختلف الطاقة الحرجة باختلاف ظروف التجربة مثل الحرارة وغيرها

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



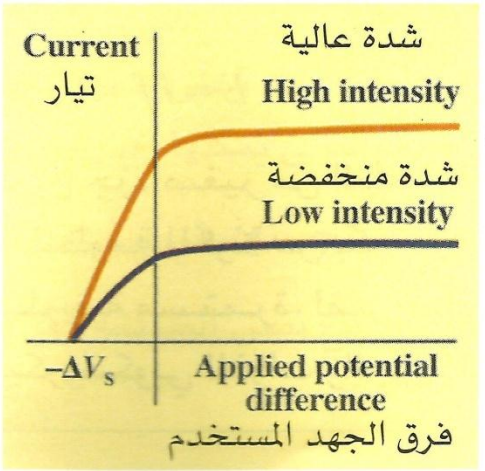
شكل 6.40 رسم توضيحي لدائرة توضح ظاهرة التأثير الكهرضوئي عندما يصطدم الضوء باللوح E (الباعث) تخرج الكترونات فوتونية من اللوح. تكون الالكترونات المتحركة من E إلى C تيارا في الدائرة.

يتكون الجهاز من انبوبة مفرغة تحتوي علي المادة الفلزية تحت الدراسة E متصلة بالقطب السالب، ولوح فلزي اخر C متصل بالقطب الموجب. مع وجود اميتر وفولتميتر.

عند سقوط موجة كهرومغناطيسية بأقصر طول موجي حرج (يختلف من مادة الي اخري) يبدأ مرور تيار بما يعني خروج الكترونات من سطح الفلز. ويزداد التيار كلما قل الطول الموجي

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

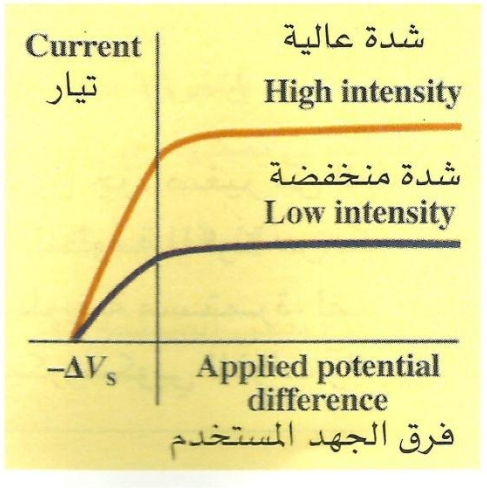
عند استخدام ضوء بشدتين مختلفتين



شكل 7.40 العلاقة بين التيار الكهرضوئي وفرق الجهد المستخدم لضوئين بشدتين مختلفتين. يزداد التيار مع زيادة الشدة حتى يصل إلى مستوى التشبع عند القيم الكبيرة من ΔV. عندما يكون فرق الجهد مساوياً أو أكثر سالبية عن $-\Delta V$ – جهد الايقاف – لايمر تيار.

- كلما كان فرق الجهد بين اللوحين كبير يصل التيار الي قيمة عظمي.
- يزداد التيار بزيادة شدة الضوء الساقط
- عند عكس وضع البطارية وزيادة الجهد الي ان يصل التيار الي صفر يسمي هذا الجهد جهد الايقاف V_s. وهو يساوي طاقة الحركة العظمي للالكترون K_{max}
- لا يتوقف جهد الايقاف علي شدة الضوء **وانما يتوقف على طاقته**
- **تزداد طاقة الحركة العظمى K_{max} بزيادة طاقة الفوتون الساقط وليس شدتة**

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



شكل 7.40 العلاقة بين التيار الكهرضوئي وفرق الجهد المستخدم لضوئين بشدتين مختلفتين. يزداد التيار مع زيادة الشدة حتى يصل إلى مستوى التشبع عند القيم الكبيرة من ΔV. عندما يكون فرق الجهد مساوياً أو أكثر سالبية عن $-\Delta V$ - جهد الايقاف- لايمر تيار.

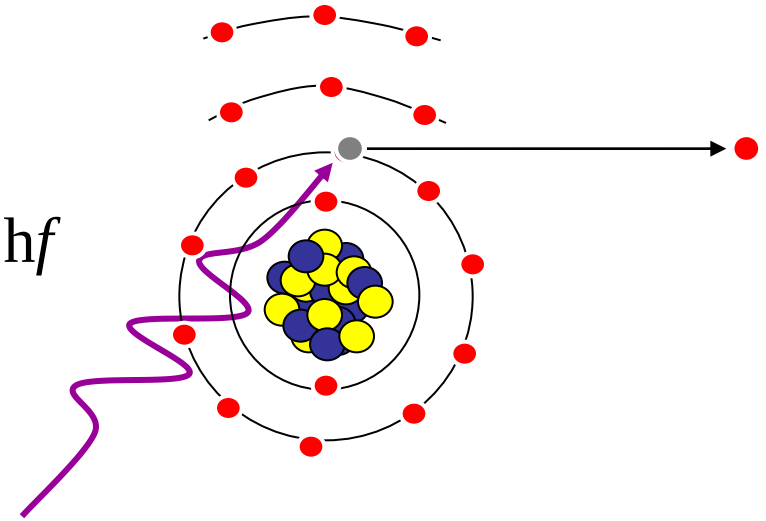
- ترتبط القيمة العظمي لطاقة حركة الالكترونات الفوتونية K_{max} بالعلاقة

$$K_{\max} = e\Delta V_s = \tfrac{1}{2} m v_{\max}^2$$

حيث e هي شحنة الالكترون، v_{max} هي السرعة العظمي للالكترون التي يبتعد بها عن الذرة

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

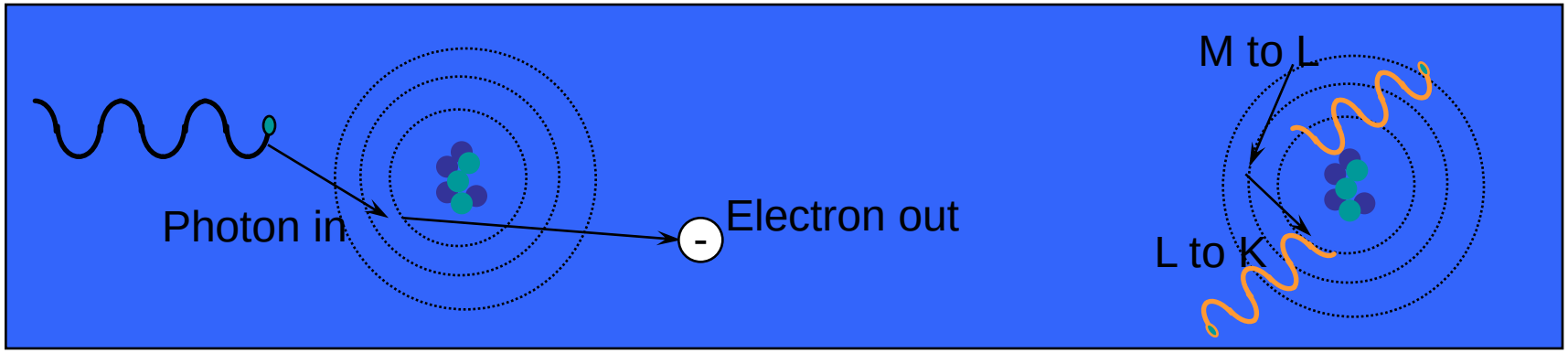
يفقد الفوتون الساقط طاقته
بالكامل ويتلاشي



$E = hf$

$K = hf - \phi$

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



تعيد الالكترونات ترتيب نفسها مولدة شلال من الاطياف المنبعثة وقد تخرج أشعة سينية مع الطيف المنبعث.

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

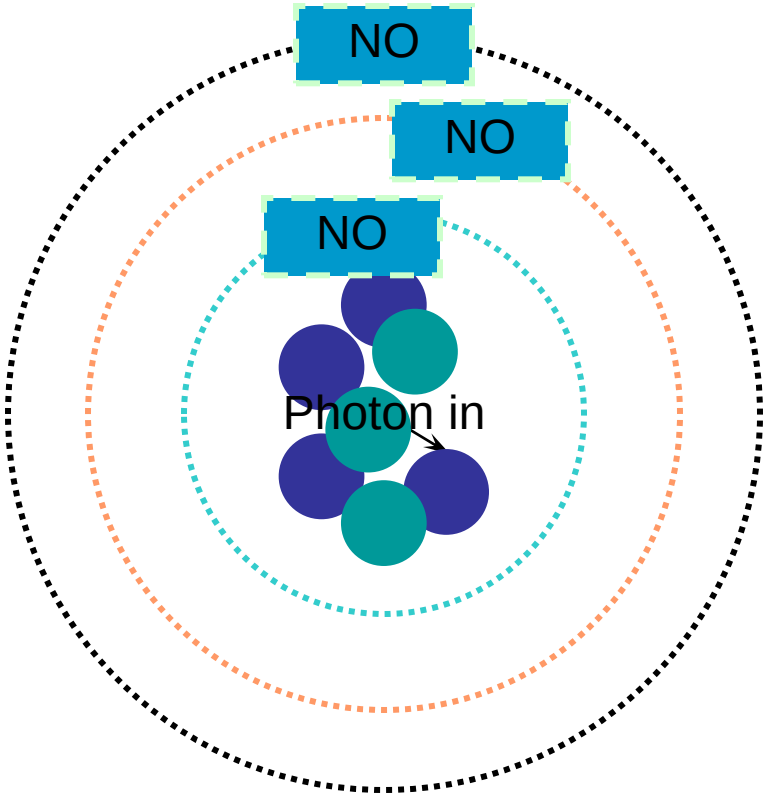
- طاقة الربط

K: 100 –

L: 50 –

M: 20 –

Photon energy: 15



أي من المدارات التالية ترشحية للدخول في ظاهرة كهروضوئية

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

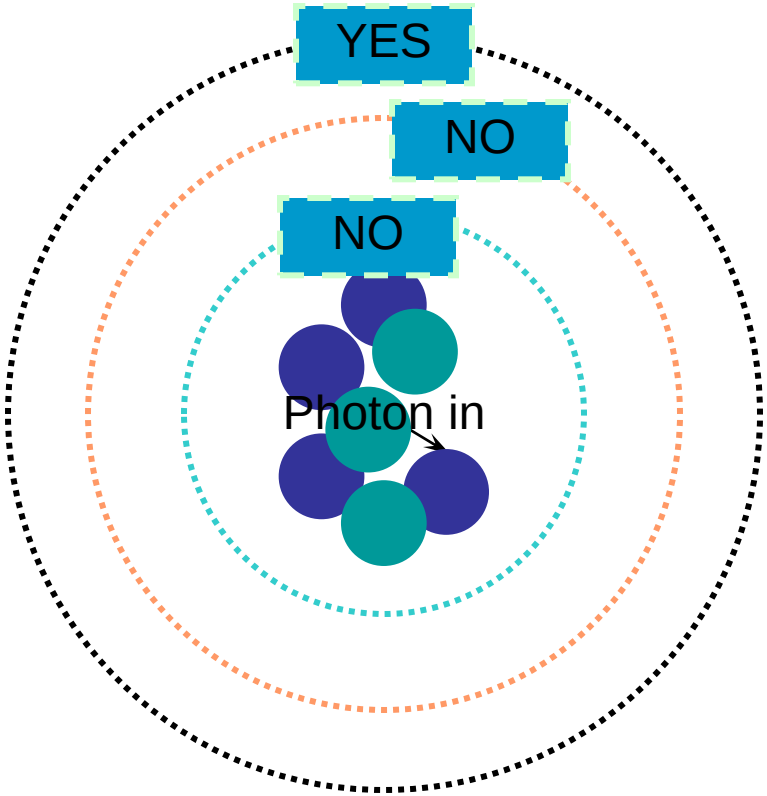
- طاقة الربط

K: 100 –

L: 50 –

M: 20 –

Photon energy: 25



أي من المدارات التالية ترشحية لتفاعل كهروضوئي؟

حقائق ومخرجات

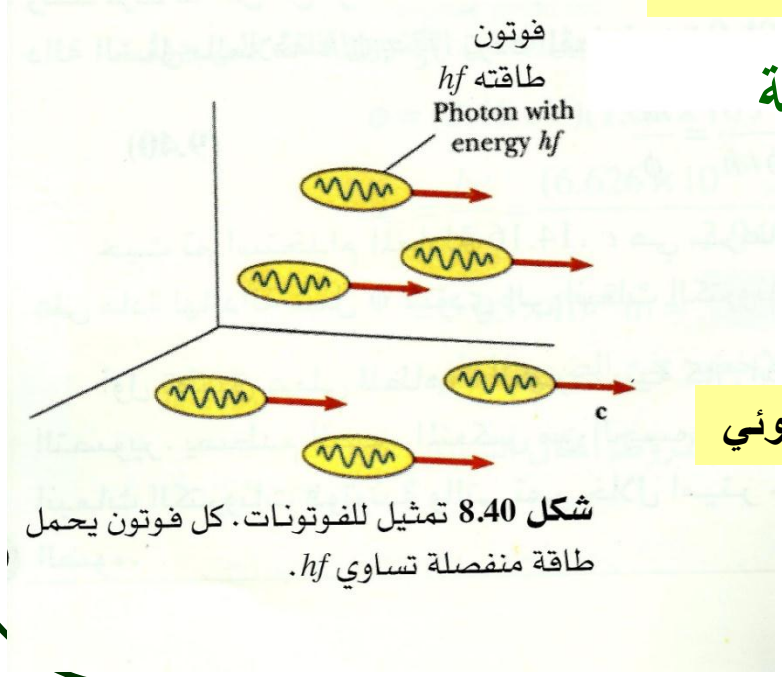
الفيزياء الحديثة	النظرية الموجية الكلاسيكية
- لاتنبعث الإلكترونات الفوتونية إذا كان تردد الضوء الساقط أقل من تردد القطع f_c وهي خاصية مميزة للمادة المضاءة.	- التأثير الكهروضوئي يحدث عند جميع الترددات بشرط أن تكون شدة الاضاءة عالية وكافية.
- الحد الأقصى لطاقة الحركة للالكترونات الفوتونية لايتوقف على شدة الضوء.	- الضوء ذو الشدة العالية يؤدى إلى طاقة اكثر للفلز في الثانية الواحدة
- يزداد الحد الأقصى لطاقة الحركة التي يحملها الإلكترون الفوتوني بزيادة تردد الضوء	- لاتتنبأ النظرية الموجية بأي علاقة بين طاقة الإلكترونات الفوتونية وتردد الضوء الساقط
- تنبعث الإلكترونات الفوتونية كلها من السطح لحظيا (في أقل من 10^{-9} s ثانية بعد إضاءة السطح) حتى وان كانت شدة الضوء منخفضة	- تحتاج الإلكترونات الفوتونية بعضاً من الوقت حتى تمتص الضوء الساقط قبل أن تكتسب طاقة حركة كافية لتنطلق من سطح الفلز

تفسير اينشتين للتأثير الكهروضوئي

استمر اينشتين على مبدأ بلا نك وهو أن الموجات الكهرومغناطيسية مكماة.

افترض أن الضوء (أو اي موجات كهرومغناطيسية) ذو تردد f يمكن اعتبارها كسيل من الفوتونات، كل فوتون له طاقة

$$E = hf$$



شكل 8.40 تمثيل للفوتونات. كل فوتون يحمل طاقة منفصلة تساوي hf.

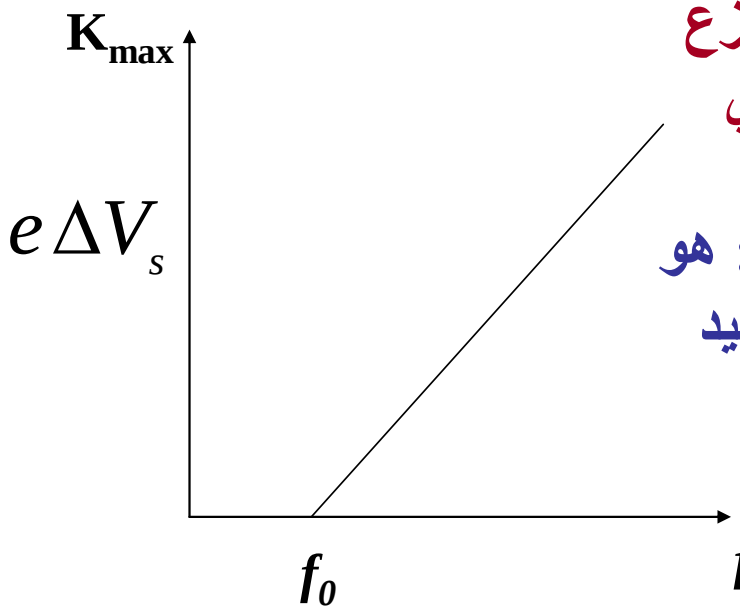
طبقا لفرض اينشتين فإن الحد الأقصى لطاقة الحركة لهذه الالكترونات الفوتونية المتحررة هي:

$$K_{\max} = E - \phi$$

معادلة التأثير الكهروضوئي

ϕ هي دالة الشغل

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect



الطاقة الحرجة ϕ: هي أقل طاقة ساقطة قادرة علي نزع الكترون (توليد تيار) وهي تختلف من مادة الي أخري

التردد الحرج (العتبي) (عتبة التردد) (تردد القطع) f_c: هو أقل تردد للموجة الساقطة قادر علي نزع الكترون (توليد تيار) وهو يختلف من مادة الي أخري

الطول الموجي الحرج (طول موجي القطع):
λ_c هو أكبر طول موجي للموجة الساقطة قادر علي نزع الكترون (توليد تيار) وهو يختلف من مادة الي أخري

$$\phi = hf_c = h\frac{c}{\lambda_c}$$

دالة الشغل

تمثل دالة الشغل الحد الادنى للطاقة التي يرتبط بها الالكترون في الفلز وهي تساوي بضع الكترون فولت وهي تختلف من مادة الي اخري. يعطي الجدول قائمة بدوال الشغل لعدة فلزات.

هل تختلف قيمة دالة الشغل باختلاف ظروف التجربة مثل الضغط والحرارة وغيرها؟

جدول 1.40 دوال الشغل لعدة فلزات

الفلز	دالة الشكل (eV)
Na	2.46
Al	4.08
Cu	4.70
Zn	4.31
Ag	4.73
Pt	6.35
Pb	4.14
Fe	4.50

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

لايحدث التأثير عند ترددات أقل من تردد القطع (التردد الحرج) f_c وذلك لأن طاقة الفوتون يجب آن تكون اكبر من او تساوي ϕ . إذا كانت طاقة الفوتون الساقط لاتحقق هذا الشرط لاتنطلق الكترونات نهائيا من السطح مهما كانت شدة الضوء.

لا تتوقف K_{max} على شدة الضوء ويمكن توضيح ذلك كما يلي: إذا تم مضاعفة شدة الضوء يتضاعف عدد الفوتونات مما يضاعف عدد الالكترونات المنبعثة. الا انه يوجد حد اقصي لقيمة طاقة الحركة والتي تساوي $hf-\phi$ وهي تعتمد فقط على تردد الضوء ودالة الشغل ولاتتوقف على شدة الضوء.

تنبعث الالكترونات الفوتونية في الغالب لحظي وذلك يتفق مع نظرية الجسيمات للضوء والتي تصل فيها الطاقة إلى السطح في مجموعات صغيرة ويحدث تصادم واحد- لواحد بين الفوتونات والالكترونات الفوتونية. في هذه الظاهرة تنتقل طاقة الفوتون إلى الالكترون وعندما يحصل على طاقة كافية يترك سطح الفلز. هذا عكس ماهو معروف في النظرية الموجية والتي تنص على أن الطاقة موزعة بانتظام على مساحة كبيرة من سطح الفلز.

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

طاقة الفوتون الساقط = $E = hf = \phi + K_{max}$

$$K_{max} = e\Delta V_s = \frac{1}{2}mv^2_{max}$$

K_{max} تتوقف علي نوع العنصر وطاقة الفوتون الساقط

تزداد قيمة K_{max} كلما زاد تردد الفوتون الساقط (طاقته) (قل الطول الموجي)

ϕ الطاقة اللازمة لتحرير أقل الالكترونات ارتباطا بنواة ذرة عنصر ما وهي تختلف من عنصر الي اخر ويطلق عليها احيانا دالة العمل أو دالة الشغل

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

ملحوظة هامة

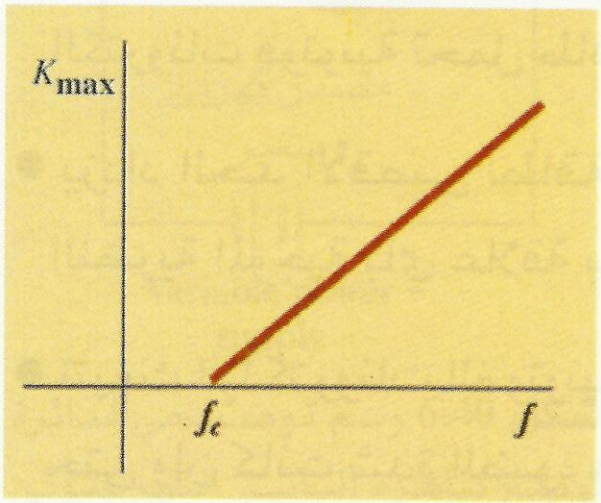
للتحويل من جول الي الكترون فولت نقسم علي شحنة الالكترون

$$1\ \mathrm{J} = \frac{1}{1.6\times10^{-19}}\,eV$$

التأثير الكهروضوئي
The Photoelectric Effect

النتائج العملية التي توضح العلاقة الخطية بين K_{max} and f تمنح تأكيد نهائي لنظرية اينشتين. حيث ميل الخط= h.

تم تسجيل مثل هذه العلاقة الخطية كما بالشكل 9.40 . تقاطع الخط مع المحور الافقي يعطي تردد القطع وعند ترددات اقل من تردد القطع لاتنبعث الكترونات فوتونية مهما كانت شدة الضوء.



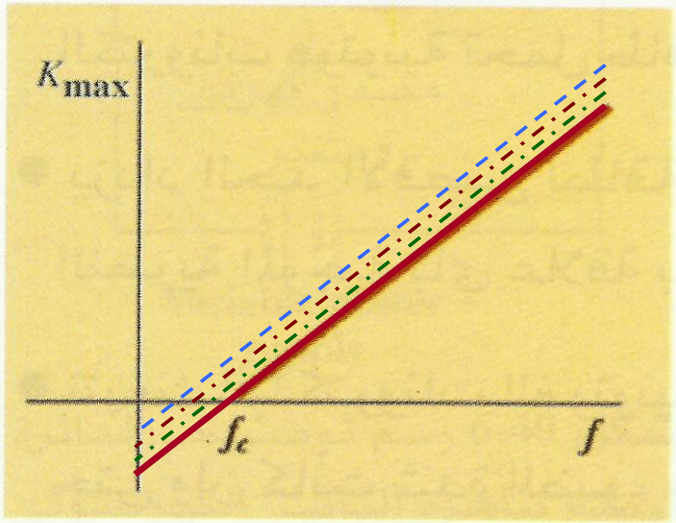
شكل 9.40 العلاقة بين K_{max} للإلكترونات الفوتونية كدالة في تردد الضوء الساقط في تجربة التأثير الكهرضوئي. الفوتونات ذات تردد أقل من f_c ليس لها طاقة كافية لاستخلاص الكترون من المعدن.

تطبيقات

أول تطبيق عملي للظاهرة الكهرضوئية كان استخدامها ككاشف للقياس الضوئي في كاميرات التصوير. يصطدم الضوء المنعكس من الجسم المطلوب تصويره بسطح كهروضوئي في المقياس مسببا انبعاث الكترونات فوتونية والتي تمر خلال اميتر حساس. تعتمد شدة التيار في الاميتر علي شدة الضوء.

الخلية الضوئية، كتطبيق قديم للتأثير الكهرضوئي، تعمل كمفتاح في الدائرة الكهربية. ينتج تيار في الدائرة عند سقوط ضوء ذو تردد عالي على سطح لوح فلزي في الخلية الضوئية ولكن لايمر تيار في الظلام. تستخدم الخلايا الضوئية في جهاز الانذار ضد اللصوص وفي إظهار تسجيل الموسيقى المصاحبة لصور الافلام المتحركة وتم احلال أجهزة اشباه الموصلات الحديثة والتي تعتمد على ظاهرة التأثير الكهوضوئي محل الاجهزة القديمة.

أختبار سريع 2



ماذا يمثل ميل الخط المستقيم في الشكل؟ وماذا تعني نقطة التقاطع مع محور Y؟

$$K_{max} = E - \phi = hf - \phi$$

من المعادلة: يمثل h ميل الخط المستقيم

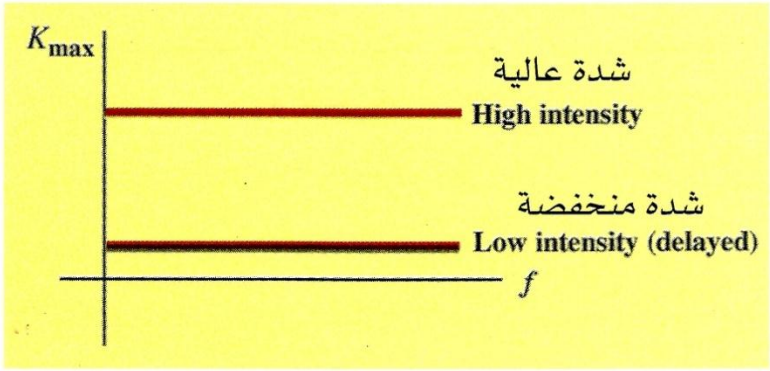
أما الجزء المقطوع من محور Y يمثل ϕ

- لا يتغير ميل هذا الخط مع جميع الفلزات وانما يتغير الأجزاء المقطوعة من المحاور X and Y
- تتغير قيم تردد القطع (التردد العتبي) وقية دالة الشغل بتغير نوع المادة
- لا يتغير ميل الخط أو الأجزاء المقطوعة علي المحاور بتغير شدة أو طاقة الشعاع الساقط لنفس نوع المادة

أختبار سريع 3

اختبار سريع 3.40

ارسم شكلاً توضيحياً يبين ماتتوقعه للشكل 9.40 عند استخدام الفيزياء الكلاسيكية.



(4.40) التغير النسبي في الطول الموجي $\Delta\lambda/\lambda_0$ يكون أكبر (وبالتالي يكون أسهل في القياس) للأطوال الموجية القصيرة وأن أشعة x لها أطوال موجية أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي.

تتنبأ الفيزياء الكلاسيكية بأن ضوء بشدة كافية يمكنه أن يسبب انبعاث كهروضوئي ولا يعتمد علي التردد

لا يوجد تردد قطع

بزيادة شدة الشعاع الساقط تزداد طاقة حركة الالكترونات المنبعثة مع تغير زمن الانبعاث (يتأخر زمن الأنبعاث أكثر كلما قل شدة الشعاع الساقط)

مثال 3.40

سقط ضوء طوله الموجي 300nm على سطح شريحة صوديوم. إذا كانت دالة الشغل لفلز الصوديوم هي 2.46ev اوجد. (a) الحد الأقصى لطاقة الحركة للالكترونات الفوتونية المنبعثة. (b) طول موجي القطع للصوديوم (الطول الموجي λ_c المرادف لتردد القطع).

الحل: (a) طاقة الفوتون الواحد في الشعاع الضوئي الساقط هي:

$$E = hf = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6.626\times10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\,\text{m/s})}{300\times10^{-9}\,\text{m}}$$

$$= 6.63\times10^{-19}\,\text{J} = \frac{6.63\times10^{-19}\,\text{J}}{1.60\times10^{-19}\,\text{J/eV}} = 4.14\ \text{eV}$$

باستخدام المعادلة 8.40 نحصل على:

$$K_{\max} = hf - \phi = 4.14\ \text{eV} - 2.46\ \text{eV} = \boxed{1.68\ \text{eV}}$$

(b) يمكن حساب طول موجي القطع من المعادلة 9.40 بعد تحويل ϕ من الكترون فلط إلى جول.

$$\phi = (2.46\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}\,\text{J/eV}) = 3.94\times10^{-19}\,\text{J}$$

$$\lambda_c = \frac{hc}{\phi} = \frac{(6.626\times10^{-34}\,\text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\,\text{m/s})}{3.94\times10^{-19}\,\text{m}}$$

$$= 5.05\times10^{-7}\,\text{m} = \boxed{505\ \text{nm}}$$

يقع هذا الطول الموجي في منطقة الاصفر- الاخضر في الضوء المرئي.

مسائل و حلها

تمرين: احسب أقصى سرعة للالكترونات الفوتونية بشروط المثال السابق.

$$K_{\max} = \tfrac{1}{2} m v^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2K_{\max}}{m}} = \sqrt{\frac{2 \times 1.68 \times 1.6 \times 10^{-19}}{9.11 \times 10^{-31}}} = 7.68 \times 10^{5}\ m/s$$

مسائل و حلها

1- تخرج الكترونات من سطح فلز بسرعة في حدود 4×10^5 m/s عند استخدام ضوء طوله الموجى 625 nm . (أ) أوجدي داله الشغل للسطح. (ب)ما هو تردد القطع لهذا السطح.

(أ)

$$K_{\max}=\frac{1}{2}mv_{\max}^2=\frac{1}{2}\left(9.11\times10^{-31}\right)\left(4.60\times10^5\right)^2=9.64\times10^{-20}\ \text{J}=0.602\ \text{eV}$$

طاقة الضوء الساقط $= E=\frac{hc}{\lambda}=\frac{6.6\times10^{-34}\times3\times10^8}{625\times10^{-9}}\times\frac{1}{1.6\times10^{-19}}=1.98eV$

$$\phi=E-K_{\max}=\boxed{1.38\ \text{eV}}$$

(b) $$f_c=\frac{\phi}{h}=\frac{1.38\ \text{eV}}{6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}}\left(\frac{1.60\times10^{-19}\ \text{J}}{1\ \text{eV}}\right)=\boxed{3.34\times10^{14}\ \text{Hz}}$$

مسائل و حلها

2- استخدم مصدرين ضوئيين في تجربة التأثير الكهروضوئي لتعيين دالة الشغل لسطح فلز معين. عند استخدام ضوء أخضر من لمبة الزئبق طولة الموجي 564.1 nm كان جهد الايقاف 0.367V حيث يتلاشى التيار الفوتوني تماما. بناء على هذه النتائج ما هي دالة الشغل لهذا الفلز؟ ما هو جهد الايقاف المتوقع عند استخدام ضوء اصفر من انبوبة تفريغ هيليوم تعطي ضوء طوله الموجي 587.5 nm.

(a) $$e\Delta V_S = \frac{hc}{\lambda} - \phi \rightarrow \phi = \frac{1\,240\ \text{nm}\cdot\text{eV}}{546.1\ \text{nm}} - 0.376\ \text{eV} = \boxed{1.90\ \text{eV}}$$

(b) $$e\Delta V_S = \frac{hc}{\lambda} - \phi = \frac{1\,240\ \text{nm}\cdot\text{eV}}{587.5\ \text{nm}} - 1.90\ \text{eV} \rightarrow \boxed{\Delta V_S = 0.216\ \text{V}}$$

3- دوال الشغل لكل من الليثيوم و البريليوم والزئبق هي 2.30 eV ، 3.9 ، 4.5 على التوالي. اذا سقط ضوء طوله الموجي 400 nm على هذه الفلزات عين: أي فلز يظهر تأثيركهروضوئي. الحد الاقصى لطاقة الحركة للإلكترونات الفوتونية في كل حالة.

(a) $\lambda_c = \dfrac{hc}{\phi}$

Li: $\lambda_c = \dfrac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(2.30\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}\ \text{J/eV})} = 540\ \text{nm}$

الليثيوم فقط

Be: $\lambda_c = \dfrac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(3.90\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}\ \text{J/eV})} = 318\ \text{nm}$

Hg: $\lambda_c = \dfrac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{(4.50\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}\ \text{J/eV})} = 276\ \text{nm}$

(b) For lithium, $\dfrac{hc}{\lambda} = \phi + K_{\max}$

$$\frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{400\times10^{-9}\ \text{m}} = (2.30\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}) + K_{\max}$$

$$K_{\max} = 1.29\times10^{-19}\ \text{J} = \boxed{0.808\ \text{eV}}$$

واجب

واجب

مسائل 15- 18- 20- 23

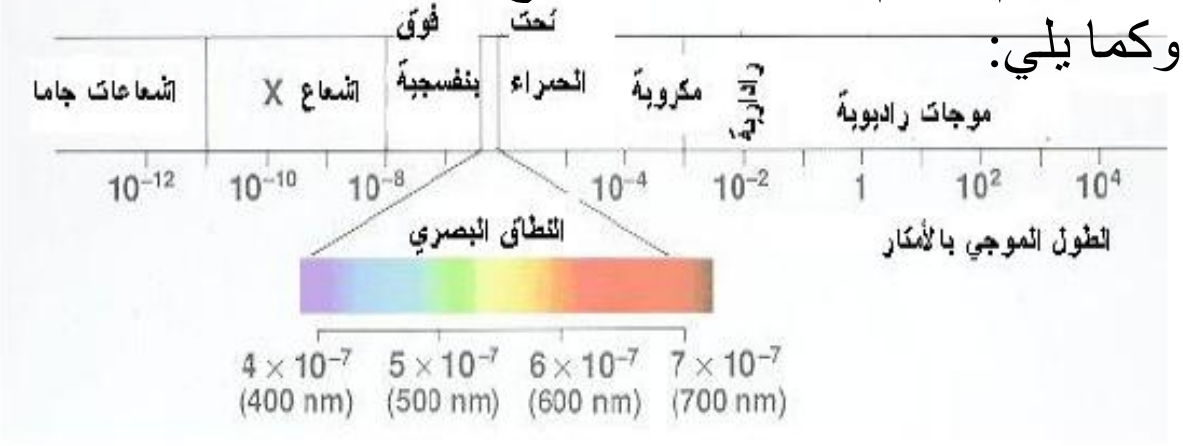
قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله

تأثير كومتون
The Compton Effect

تصنيف الطيف الكهرمغناطيسي:

نظرياً يمكن للموجة الكهرومغناطيسية أن تكون بأي طول كان من الصفر إلى مالانهاية. (وكذا الحال بالطبع بالنسبة إلى تردد الموجة).

إلا أن الأمواج الكهرومغناطيسية المعروفة تتوزع علي مدى محدد من الأطوال الموجبة (والترددات) تتراوح ما بين 100 كيلو متر لأطولها و 10^{-5} أنجستروم لأقصرها وقد تم تقسيم هذا الطيف الواسع إلى أنطقة معرفة لها خواص معلومة مميزة وكما يلي:



الطيف الكهرومغناطيسي

تأثير كومتون
The Compton Effect

مقدمة:

يُفترض بالضوء أن يكون موجياً بالطبع. والسبب في ذلك أن الضوء يظهر صفات التداخل والحيود والاستقطاب وهذه صفات لا يمكن تفسيرها إلا بافتراض أن الضوء هو أمواج. والموجة أساساً هي اضطراب في وسط ما يحدث دون انتقال جزيئاته.

لكن حقيقة حركة الضوء تكشف أنه ليس حركة موجية بالضرورة ذلك لأن الضوء وهو طاقة كهرومغناطيسية ينتقل مثل الجسيمات ويتصرف مثل الجسيمات وهذا ما يعطيه صفات جسيمية.

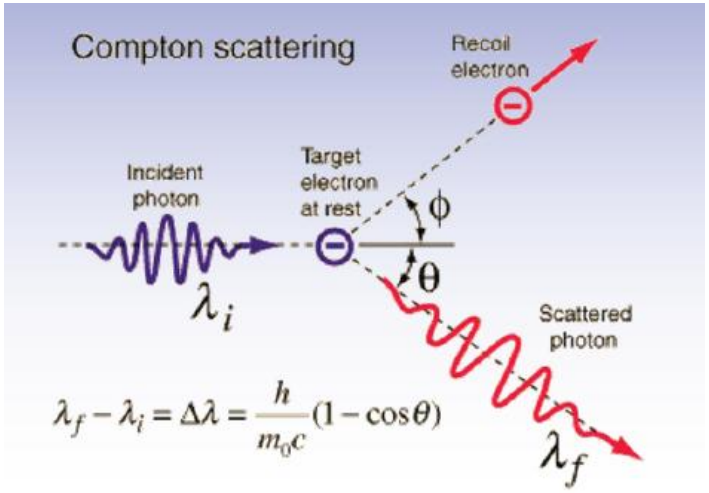
لكنه أيضاً يتألف من مجال كهرومغناطيسي يتذبذب بشكل موجي. وهذا ما يعطي الضوء صفاته الموجية.

من هنا جاءت الطبيعة الثنائية للضوء بصفة خاصة وللموجة الكهرومغناطيسية بصفة عامة.

تأثير كومتون
The Compton Effect

ويتم التدليل على امتلاك الضوء (الفوتون) صفات جسيمية مثل الزخم بما **يسمى تأثير كومبتون** والذي ينتقل بموجبه زخم الفوتون إلى ألكترون ساكن، فيدفعه إلى الحركة،

على حين يستطير فوتون آخر بطاقة أقل ينتج عن التصادم بين الفوتون الأصلي والألكترون.



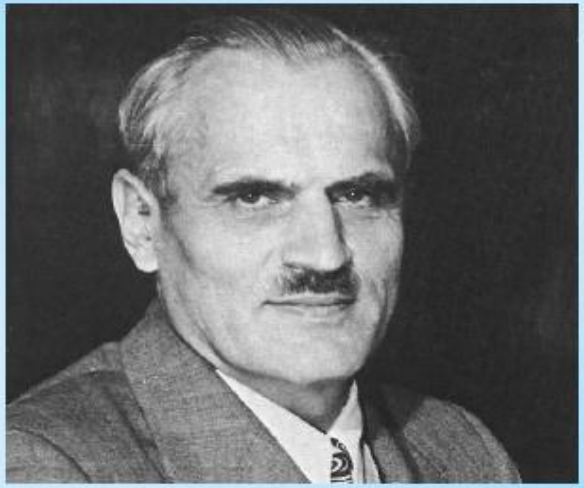
ويكتسب الألكترون المتحرك طاقة حركية تساوي الفرق بين طاقة الفوتونين.

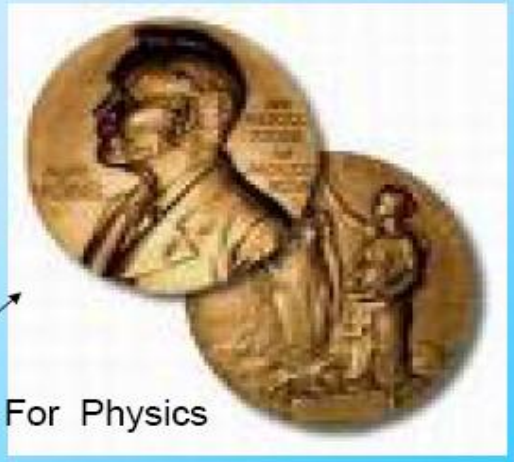
تأثير كومتون

The Compton Effect

History

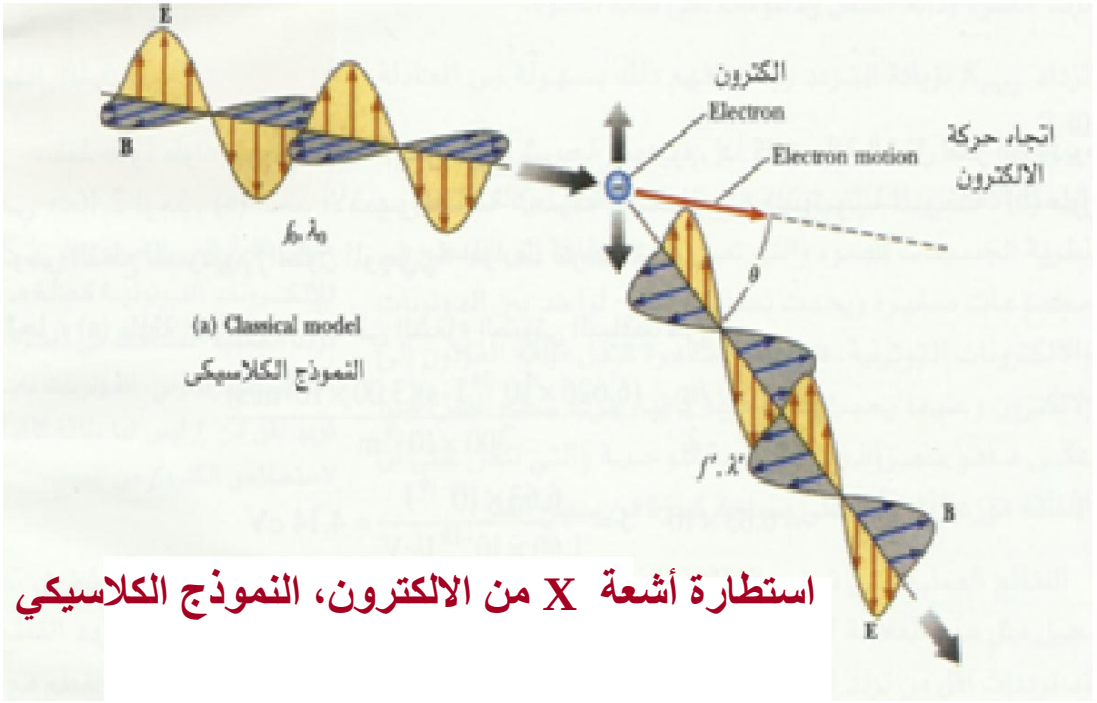
- In 1922 Arthur H. Compton was the first to measure photon-electron scattering.
- In 1927 he was awarded the Nobel Prize for clearly proving that light acts as waves as well as particles called photons.





Nobel Prize For Physics

تأثير كومتون
The Compton Effect



استطارة أشعة X من الالكترون، النموذج الكلاسيكي

كيف أثبت كومتون فشل النظرية الموجية الكلاسيكية للضوء

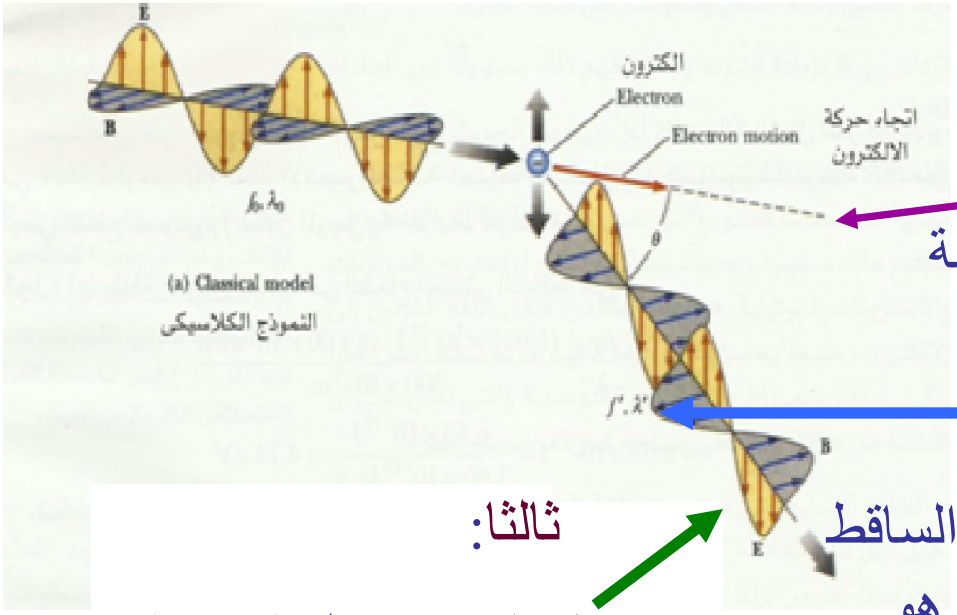
طبقا للنظرية الكلاسيكية،
اذا سقطت موجة
كهرومغناطيسية ترددها
f_0 علي الكترونات فانها
تظهر تأثيران كما بالشكل

تأثير كومتون
The Compton Effect

النظرية الموجية الكلاسيكية للضوء

أولا:

يتسبب ضغط الإشعاع في تسارع الإلكترونات في نفس اتجاه انتشار الموجة



ثانيا:

يتسبب المجال الكهربي المتذبذب للإشعاع الساقط في اهتزاز الإلكترونات بتردد f ` حيث $f$ ` هو التردد في اطار الالكترونات المتحركة

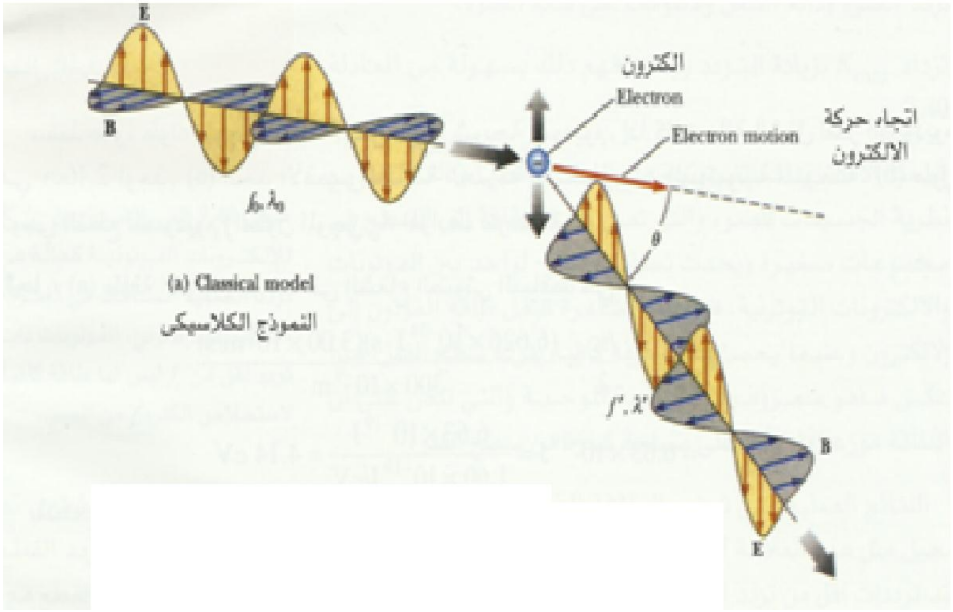
ثالثا:

يمتص كل الكترون طاقة معينة اولا ثم يعيد الاشعاع باعتبارة جسم متحرك ايضا وبالتالي فإنه يعاني ازاحة دوبلر في الاشعاع مرتين

تختلف f ` عن f_0 بسبب تأثير دوبلر

تأثير كومتون
The Compton Effect

النظرية الموجية الكلاسيكية للضوء

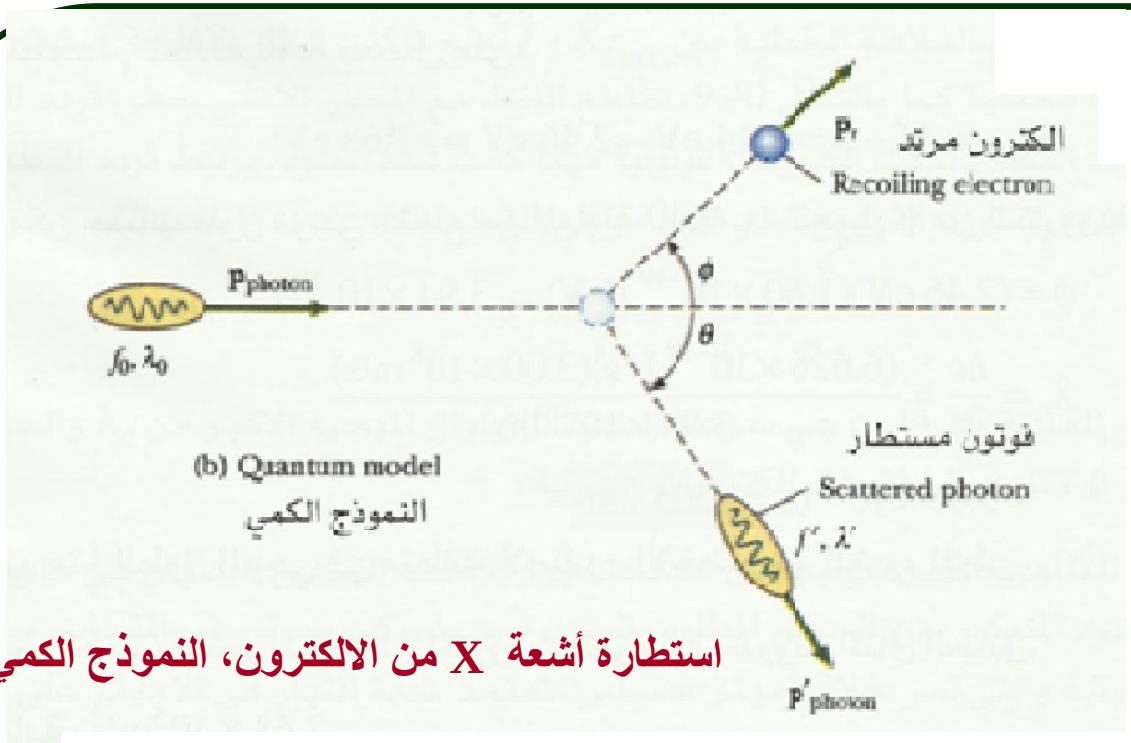


- تتحرك الالكترونات بسرعات مختلفة حسب كمية الاشعة الممتصة من الموجات الكهرومغناطيسية

- تردد الموجة المستطارة عند زاوية معينة يجب ان تتوافق مع قيم ازاحات دوبلر

أي أن تتوقف علي كمية الإشعاع الممتص وليس طاقته

تأثير كومتون
The Compton Effect

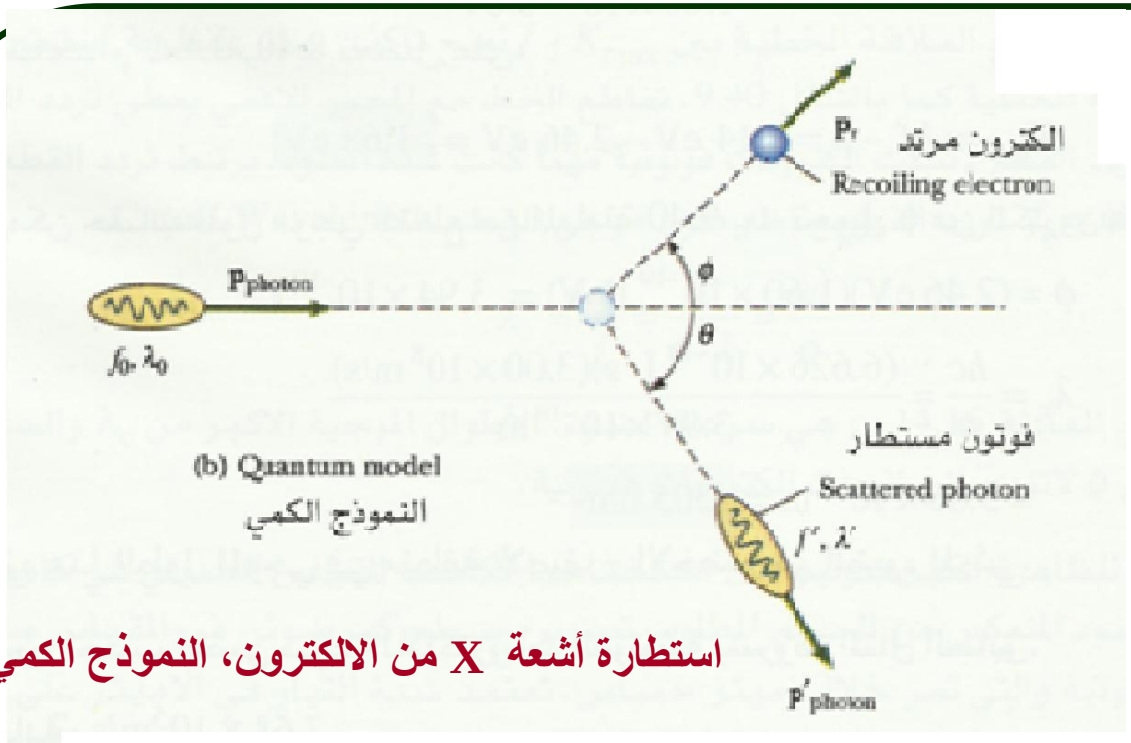


استطارة أشعة X من الالكترون، النموذج الكمي

لاحظ كومتون ان
كل زاوية استطارة
للاشعة θ يقابلها
تردد واحد فقط
للاشعاع المستطار

لاحظي الفرق بين θ و ϕ

تأثير كومتون
The Compton Effect



استطارة أشعة X من الالكترون، النموذج الكمي

تأكد كومتون بالاستعانة بفروض اينشتين أن الفوتون جسم له طاقة

$$E = hf$$

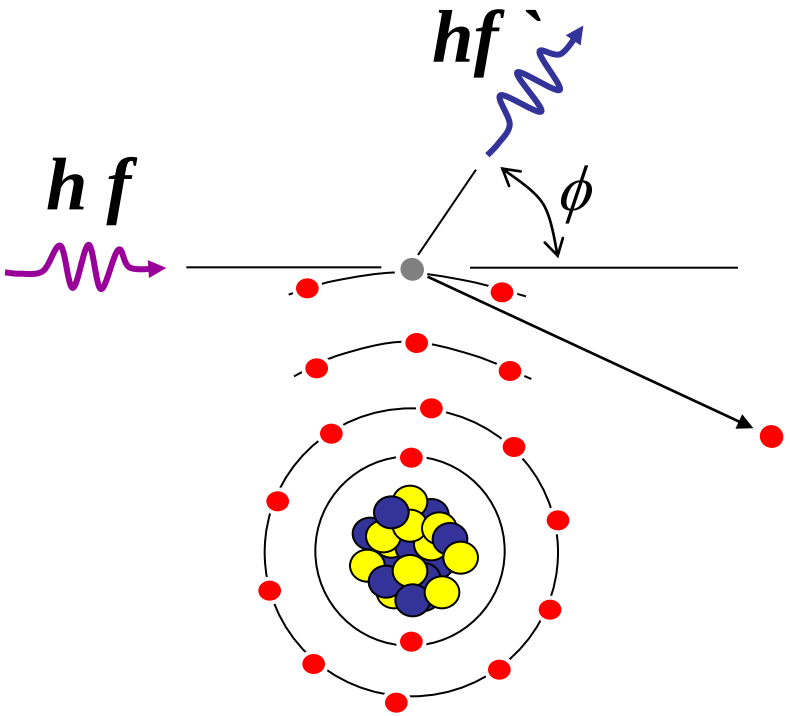
و كمية تحرك

$$P = E/c = hf/c$$

تأثير كومتون

The Compton Effect

يتفاعل الاشعاع مع
المادة كجسيم

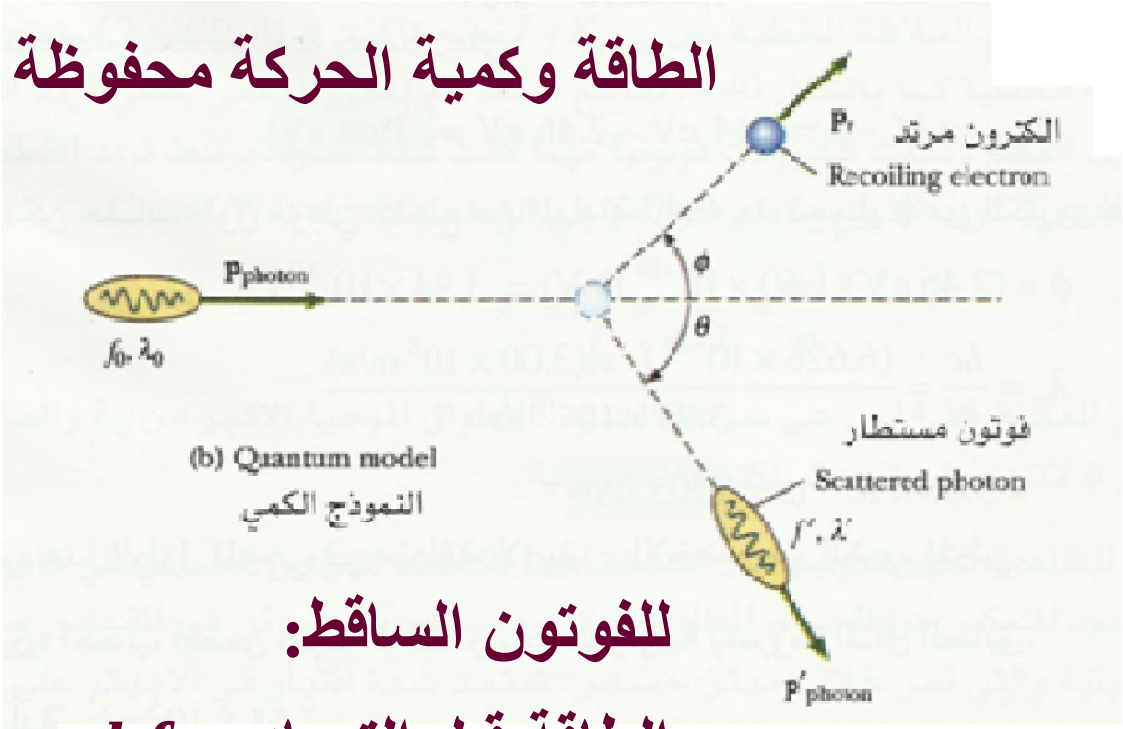


$$f > f\ `\ (\lambda < \lambda\ `)$$

$$E > E`$$

تأثير كومتون
The Compton Effect

الطاقة وكمية الحركة محفوظة



للفوتون الساقط:

الطاقة قبل التصادم $= hf$

الطاقة بعد الاستطارة $= hf$ `

ويصنع زاوية θ

للإلكترون الساكن

قبل التصادم:

الطاقة الكلية $= m_0c^2$

كمية الحركة = صفر

بعد التصادم:

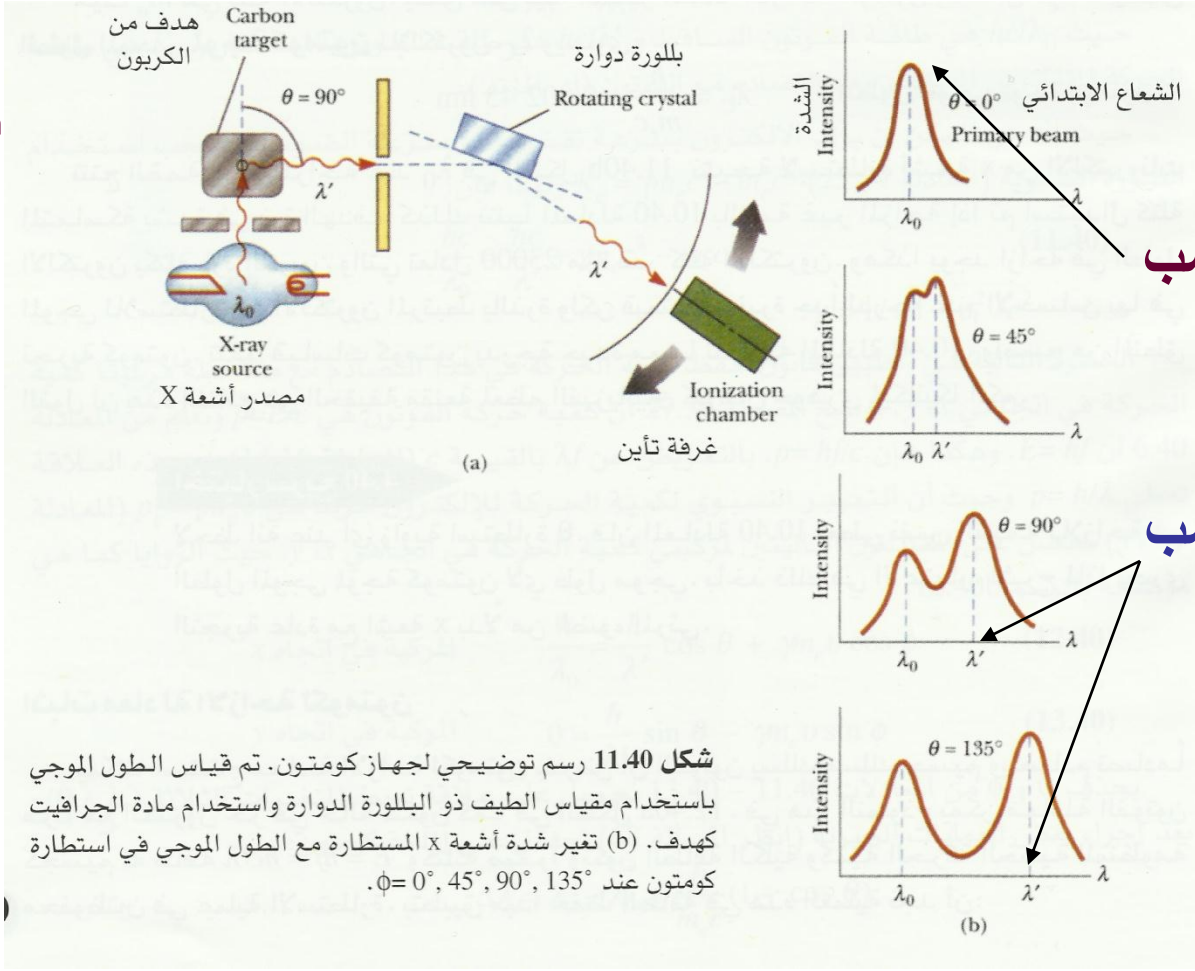
الطاقة الكلية $= \gamma m_0c^2$

كمية الحركة $= \gamma m_0v$

و يصنع زاوية ϕ

تأثير كومتون
The Compton Effect

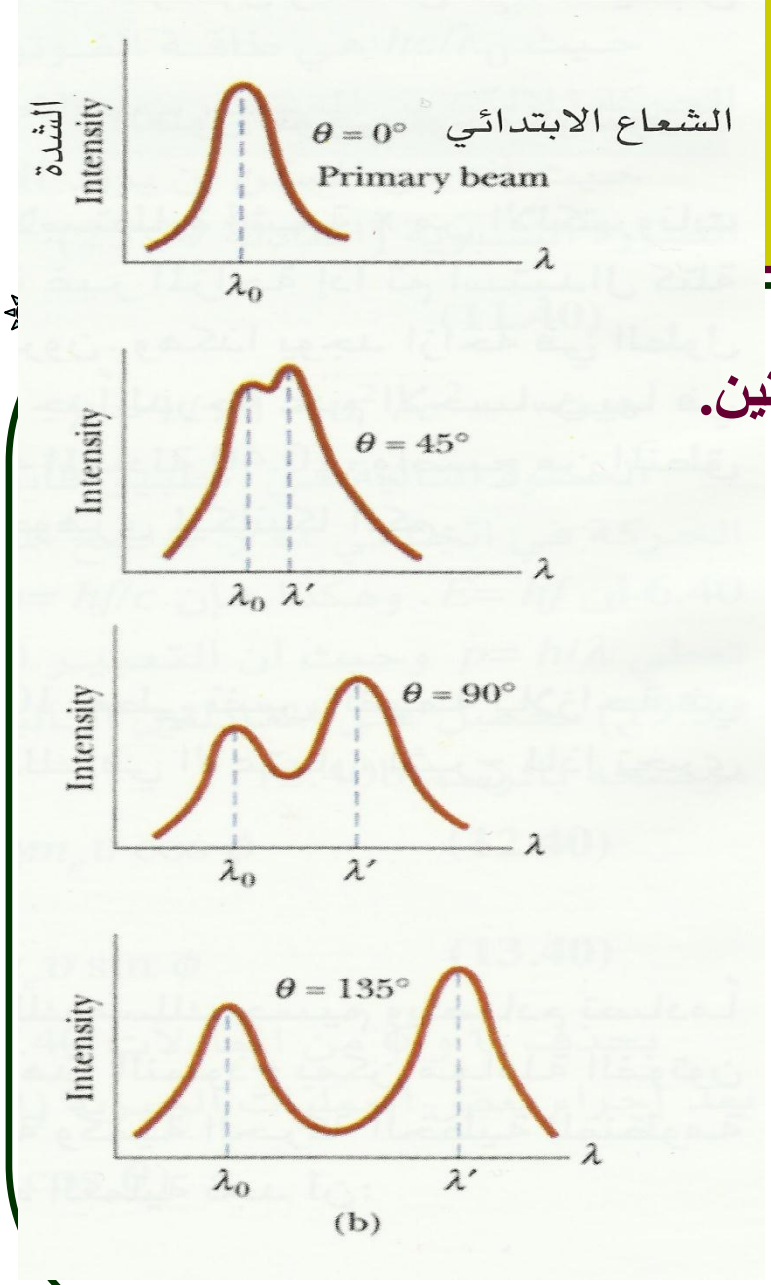
سبكترومتر



شكل 11.40 رسم توضيحي لجهاز كومتون. تم قياس الطول الموجي باستخدام مقياس الطيف ذو البللورة الدوارة واستخدام مادة الجرافيت كهدف. (b) تغير شدة أشعة x المستطارة مع الطول الموجي في استطارة كومتون عند $\phi = 0°, 45°, 90°, 135°$.

- شدة الشعاع تتناسب مع شدة التيار
- موضع القمة يتناسب مع θ

تأثير كومتون
The Compton Effect



يلاحظ أن الأشعة السينية المستطيرة تتكون من مركبتين.

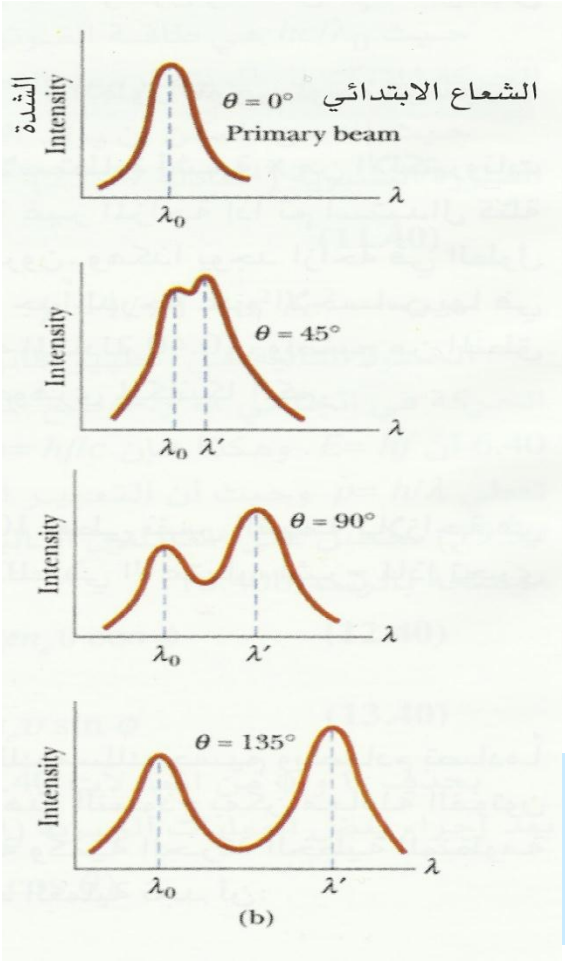
أحدهما يساوي طول الموجة الساقطة.

والاخري دائما تزاح جهة الطاقة المنخفضة

$$\lambda` > \lambda_0$$

- تعتمد الازاحة علي الزاوية θ
- ولا تعتمد علي نوع المادة

تأثير كومتون
The Compton Effect



معادلة الازاحة لكومتون

- تعتمد الازاحة علي الزاوية θ
- تنتج القمة عند $\lambda`$ نتيجة لاستطارة اشعة X بواسطة الالكترونات الحرة في الهدف.

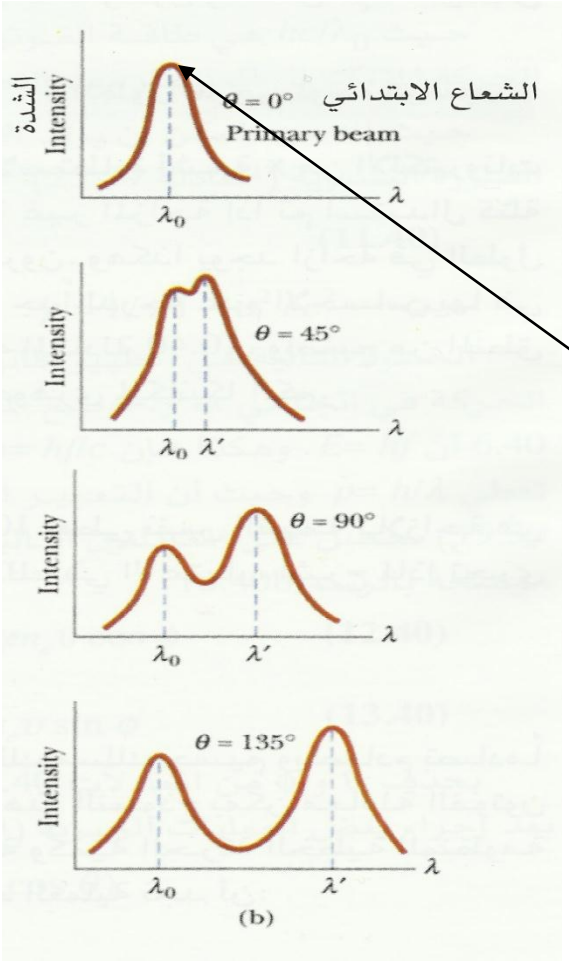
معادلة الازاحة لكومتون

$$\lambda` - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

الطول الموجي لموجة كومتون

$$\lambda_c = \frac{h}{m_e c} = 0.00243 nm$$

تأثير كومتون
The Compton Effect



$$\lambda` - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

يعرف المقدار ($\Delta\lambda = (\lambda` - \lambda_0)$)

بإزاحة كومتون و أثبت كومتون أنه يتناسب مع

$(\sin^2 \theta/2)$

تنتج القمة الغير مزاحة عند

$\theta = 0, \lambda_0$

نتيجة لاستطارة اشعة X من الالكترونات المتماسكة بشدة في ذرة الهدف

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$\lambda` - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$\Delta E = h(f_0 - f`) = hc(\frac{1}{\lambda_0} - \frac{1}{\lambda`})$$

يلاحظ أن التغير في الطاقة يعتمد فقط علي الزاوية θ

و يكون أكبر ما يمكن كلما قل المقدار ($\cos\theta$) أي عند ($\cos\theta = -1$) أي عندما $\theta = 180^o$. ويكون أصغر ما يمكن كلما زاد المقدار ($\cos\theta$) أي عند ($\cos\theta = 1$) أي عندما $\theta = 0$.

تأثير كومتون
The Compton Effect

الخلاصة:

- استخدم كومتون افكار بلانك واينشتين عن تكميم الطاقة لتفسير هذه الظاهرة.
- افترض كومتون أن الاشعاع يتفاعل مع المادة علي صورة كمات منفصلة من الطاقة (فوتونات)
- تعامل كومتون مع الفوتون وكأنه جسيم. ودرس تصادم الالكترون والفوتون كتصادم جسيمين مع حفظ الطاقة وكمية الحركة
- أعتبر كومتون في معالجته أن الالكترون ساكن وحر وهذا مقبول لأن سرعة وطاقة أشعة X أكبر بكثير من سرعة وطاقة الإلكترون.

تأثير كومتون
The Compton Effect

اختبار سريع 4.40

لاحظ انه عند اي زاوية استطارة θ، فإن المعادلة 10.40 تعطي نفس القيمة للازاحة في الطول الموجى لموجة كومتون لأي طول موجي. بأخذ ذلك في الاعتبار، اشرح لماذا تُجرى التجربة عادة مع اشعة x بدلاً من الضوء المرئي.

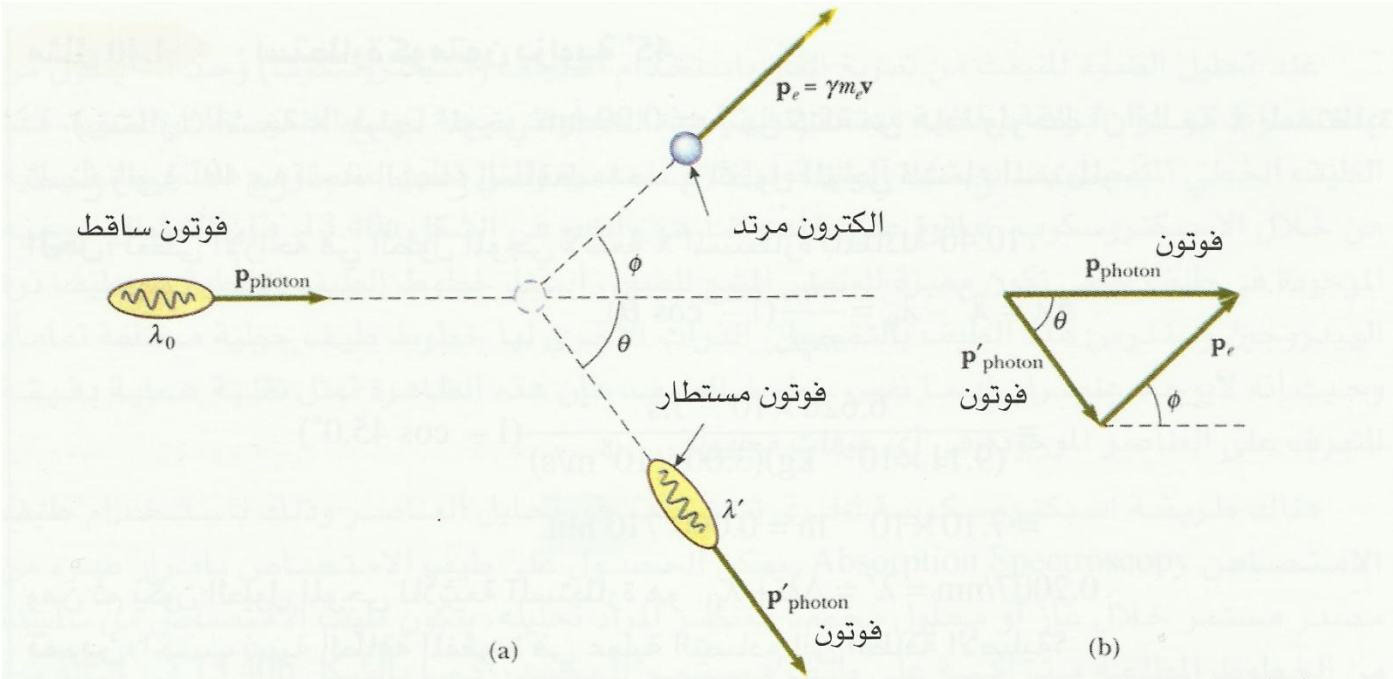
$$\lambda` - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

(4.40) التغير النسبي في الطول الموجي $\Delta\lambda/\lambda_0$ يكون أكبر (وبالتالي يكون أسهل في القياس) للأطوال الموجية القصيرة وأن أشعة x لها أطوال موجية أقصر من الطول الموجي للضوء المرئي.

تأثير كومتون
The Compton Effect

اثبات معادلة الازاحة لكومتون

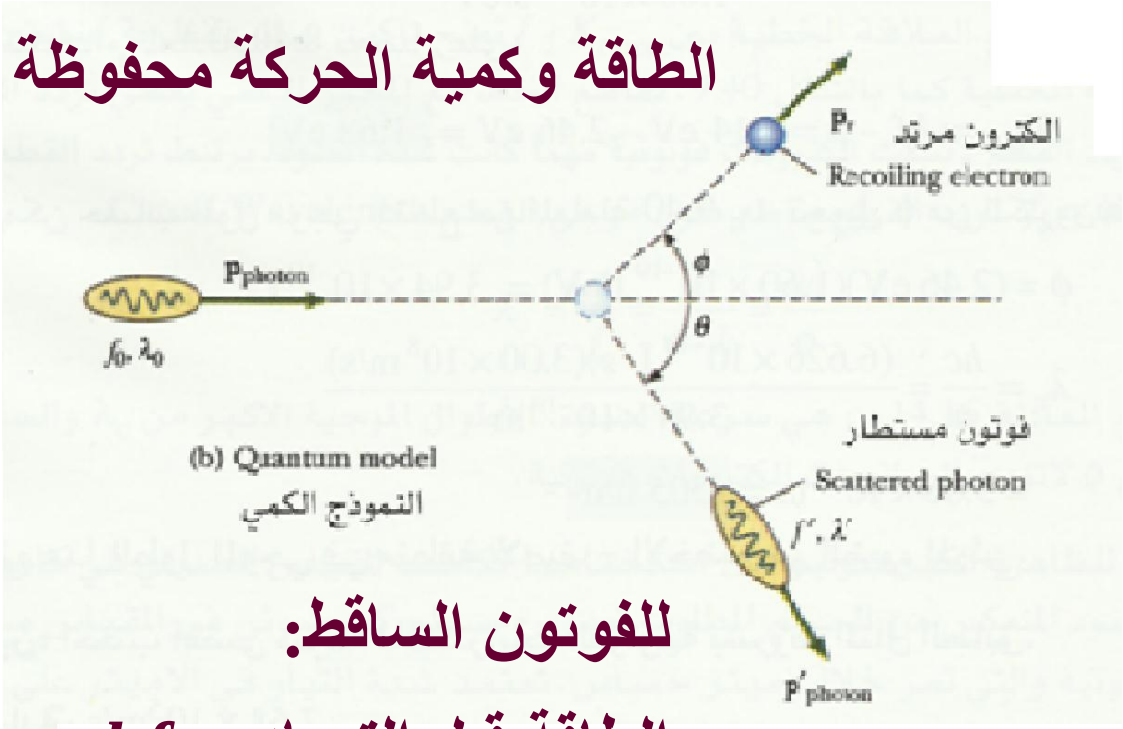
افترض كومتون ان الفوتون جسيم ويتصادم مع الكترون ساكن تصادما مرنا.



شكل 12.40 (a) استطارة كومتون لفوتون بواسطة الكترون. الفوتون المستطار له طاقة أقل (طول موجي أطول) من طاقة الفوتون الساقط. (b) متجهات كمية الحركة في استطارة كومتون.

تأثير كومتون
The Compton Effect

الطاقة وكمية الحركة محفوظة



للفوتون الساقط:

الطاقة قبل التصادم $= hf$

الطاقة بعد الاستطارة $= hf$ `

ويصنع زاوية θ

للإلكترون الساكن

قبل التصادم:

الطاقة الكلية $= m_0c^2$

كمية الحركة = صفر

بعد التصادم:

الطاقة الكلية $= \gamma m_0c^2$

كمية الحركة $= \gamma m_0v$

و يصنع زاوية ϕ

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \qquad E = mc^2$$

$$E^2 = (cp)^2 + (m_0 c^2)^2$$

$$(m = \gamma m_0)$$

When $m_0 = 0$, the momentum is equal to

كمية التحرك للفوتون

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

تأثير كومتون
The Compton Effect

اثبات معادلة الازاحة لكومتون

من قانون حفظ الطاقة

$$\frac{hc}{\lambda_0} = \frac{hc}{\lambda`} + K_e$$

حيث hc/λ_0 هي طاقة الفوتون الساقط و hc/λ' هي طاقة الفوتون المستطار و K_e هي طاقة الحركة للالكترون المستطار بعد التصادم مع الفوتون (اي المرتد).

$$\frac{hc}{\lambda_0} = \frac{hc}{\lambda`} + \gamma m_e c^2 - m_e c^2$$

معادلة 1

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$\frac{hc}{\lambda_0} = \frac{hc}{\lambda`} + \gamma m_e c^2 - m_e c^2$$

$$(m = \gamma m_0)$$

$$\therefore h f + m_0 c^2 = h f` + E$$

$$\therefore h f + m_0 c^2 = h f` + \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

$$\therefore h(f - f`) + m_0 c^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$\therefore h(f - f`) + m_0 c^2 = \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

بالتربيع وترتيب الحدود

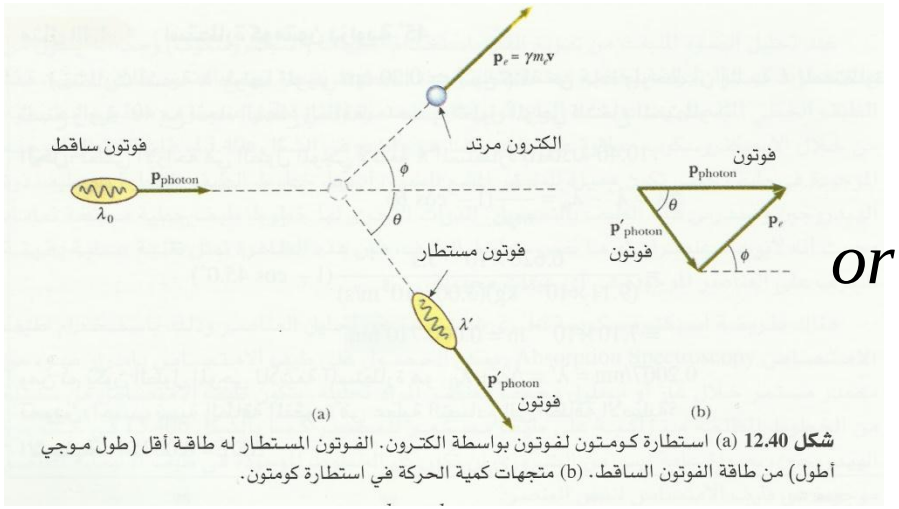
$$p^2 c^2 = (h f)^2 + (h f`)^2 - 2h^2 f f` + 2 m_0 h c^2 (f - f`)$$

معادلة I

تأثير كومتون
The Compton Effect

اثبات معادلة الازاحة لكومتون

من قانون حفظ كمية التحرك مع الأخذ في الاعتبار الحركة في الاتجاهات X, Y



شكل 12.40 (a) استطارة كومتون لفوتون بواسطة الكترون. الفوتون المستطار له طاقة أقل (طول موجي أطول) من طاقة الفوتون الساقط. (b) متجهات كمية الحركة في استطارة كومتون.

$$\frac{h}{\lambda_0} = \frac{h}{\lambda`}\cos\theta + \gamma m_e v\cos\phi$$

$$or \quad \frac{hf}{c} = \frac{hf`}{c}\cos\theta + p\cos\phi \qquad \textbf{(X)}$$

$$0 = \frac{h}{\lambda`}\sin\theta - \gamma m_e v\sin\phi \qquad \textbf{(Y)}$$

$$or \quad 0 = \frac{hf`}{c}\sin\theta - p\sin\phi$$

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$\frac{hf}{c}=\frac{hf`}{c}\cos\theta+p\cos\phi \quad \Rightarrow \quad pc\cos\phi=hf-hf`\cos\theta$$

$$0=\frac{hf`}{c}\sin\theta-p\sin\phi \quad \Rightarrow \quad pc\sin\phi=hf`\sin\theta$$

بالتربيع والجمع

$$p^2c^2=(hf)^2+(hf`)^2-2h^2\,f\,f`\cos\theta$$

معادلة II

تأثير كومتون
The Compton Effect

$$p^2c^2 = (hf)^2 + (hf`)^2 - 2h^2\, f\, f` + 2m_0 hc^2 (f - f`)$$

$$p^2c^2 = (hf)^2 + (hf`)^2 - 2h^2\, f\, f` \cos\theta$$

بطرح المعالتين I and II

$$2h^2\, f\, f`(1-\cos\theta) = 2m_0 hc^2 (f - f`)$$

$$\Rightarrow \quad hf\, f`(1-\cos\theta) = m_0 c^2 (f - f`)$$

تأثير كومتون

The Compton Effect

$$h\,f\,\,f`(1-\cos\theta)=m_0\,c^2\,(f-f`)$$

$$\rightarrow \quad m_0\,c^3\left(\frac{1}{\lambda_0}-\frac{1}{\lambda`}\right)=\frac{h\,c^2}{\lambda_0\lambda`}(1-\cos\theta)$$

$$\rightarrow \quad m_0\,c\left(\frac{\lambda`-\lambda}{\lambda_0\lambda`}\right)=\frac{h}{\lambda_0\lambda`}(1-\cos\theta)$$

$$\rightarrow \quad \lambda`-\lambda_0=\frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$$

أمثلة محلولة

مثال 4.40 **استطارة كومتون بزاوية 45°**

استطارت أشعة x طولها الموجي $\lambda_0 = 0.20$ nm من كتلة من مادة ولوحظ أن أشعة x المستطارة تصنع زاوية 40° مع اتجاه الشعاع الساقط. احسب الطول الموجي للشعاع المستطار.

الحل: تعطى الإزاحة في الطول الموجي لأشعة x المستطارة بالمعادلة 10.40.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda_0 = \frac{h}{m_e c}(1 - \cos\theta)$$

$$= \frac{6.626\times10^{-34}\,\text{J.s}}{(9.11\times10^{-31}\,\text{kg})(3.00\times10^{8}\,\text{m/s})}(1 - \cos 45.0^\circ)$$

$$= 7.10\times10^{-31}\,\text{m} = 0.000\,710\,\text{nm}$$

ومن ثم يكون الطول الموجى للأشعة المستطارة هو $\lambda' = \Delta\lambda + \lambda_0 = 0.2007/\text{nm}$

أمثلة محلولة

احسبي نسبة الطاقة المفقودة في عملية التصادم الي الطاقة الأصلية

$$E_0 = hc/\lambda_0$$

$$\Delta E = hc/\Delta\lambda$$

$$\therefore \Delta E/E_0 = \lambda_0/\Delta\lambda = 0.00354$$

مسائل وحلولها

تخضع أشعة X طاقتها 300 keV لاستطارة كومتون من هدف. إذا استطارت الاشعة بزاوية 37^o بالنسبة لاتجاه الشعاع الساقط اوجدي: أ- ازاحة كومتون عند هذه الزاوية. ب- طاقة أشعة Xالمستطارة. ج- طاقة الإلكترون المرتد.

(a) $\Delta\lambda = \frac{h}{m_e c}(1-\cos\theta)$: $\Delta\lambda = \frac{6.626\times10^{-34}}{(9.11\times10^{-31})(3.00\times10^{8})}(1-\cos 37.0^\circ) = \boxed{4.88\times10^{-13}\ \text{m}}$

(b) $E_0 = \frac{hc}{\lambda_0}$: $(300\times10^{3}\ \text{eV})(1.60\times10^{-19}\ \text{J/eV}) = \frac{(6.626\times10^{-34})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{\lambda_0}$

$\lambda_0 = 4.14\times10^{-12}\ \text{m}$

and $\lambda' = \lambda_0 + \Delta\lambda = 4.63\times10^{-12}\ \text{m}$

$E' = \frac{hc}{\lambda'} = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{4.63\times10^{-12}\ \text{m}} = 4.30\times10^{-14}\ \text{J} = \boxed{268\ \text{keV}}$

(c) $K_e = E_0 - E' = 300\ \text{keV} - 268.5\ \text{keV} = \boxed{31.5\ \text{keV}}$

واجب

33 -26 -24

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله

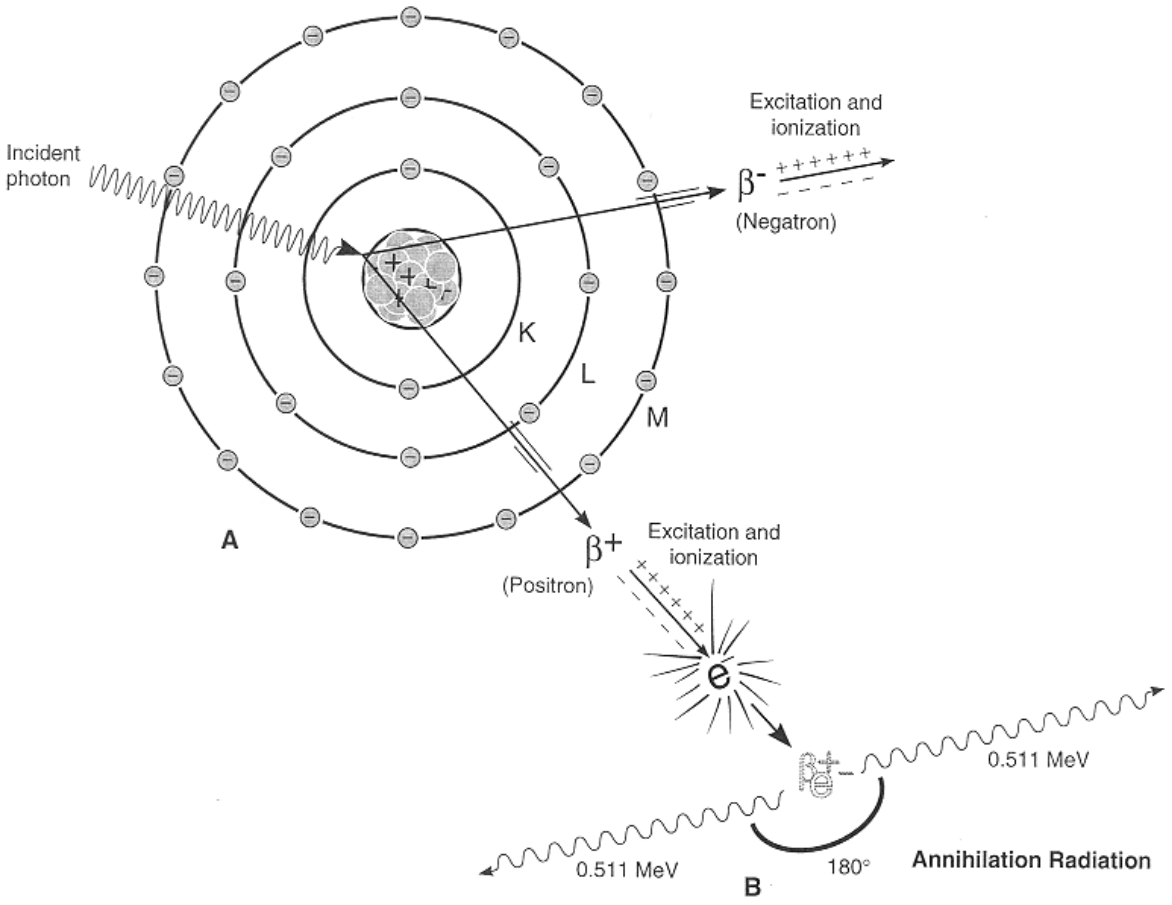
انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

هل يمكن أن يفني الإشعاع ويتحول إلي مادة؟

هل يمكن أن تفني المادة وتتحول إلي إشعاع ؟

انتاج زوج من الجسيمات

Pair Production



انتاج زوج من الجسيمات

Pair Production

قام ديراك (1928) بدراسة حركة الجسيمات المشحونة المارة في مجال كهرومغناطيسي وقام بتطبيق نظرية الكم النسبية (أى زاوج نظرية الكم والنظرية النسبية) وتمكن من الحصول على المعادلة المميزة للطاقة النسبية للجسيمات المشحونة.

$$E = \pm \sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

وقام بتطبيق هذه المعادلة على الالكترونات وكانت المفاجأة أنه من الممكن وجود الالكترونات في حالات طاقة موجبة وحالات طاقة سالبة على حد سواء.

انتاج زوج من الجسيمات

Pair Production

$$E = \pm\sqrt{p^2 c^2 + m_0^2 c^4}$$

تبين هذه المعادلة أن الالكترونات الساكنة ($p = 0$) تكون لها طاقة أقل ما يمكن تساوي ($+m_0 c^2$) أو ($-m_0 c^2$).

وكان الاعتقاد السائد أن حالات مستويات الطاقة السالبة هي لجسيم موجب الشحنة وهو البروتونات

ولكن هذا غير منطقي

لأن مستويات الطاقة تخص الالكترونات وليس البروتونات

أي يجب أن يكون الجسيم في حجم الالكترون وليس البروتون

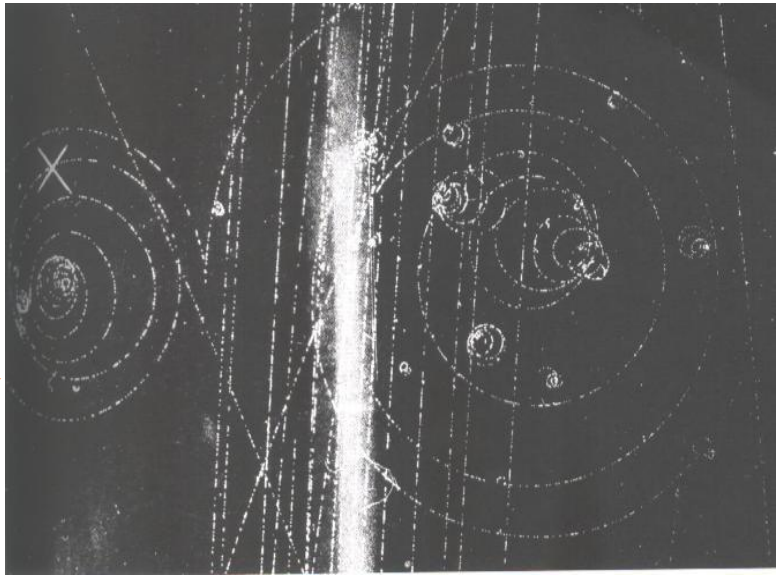
ملحوظة: كتلة البروتون تعادل 10000 مرة ضعف كتلة الالكترون

انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

أكتشف اندرسون وجود هذه الجسيمات الموجبة والتي تعادل كتلتها كتلة الإلكترون في الأشعة الكونية والذي أطلق عليه بعد ذلك بوزيترون.

- **Anderson (1933): the first experimental evidence for the pair production process, and existence of positrons during an investigation of cosmic radiation.**

bubble-chamber photographer of electron-position pair formation



انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

ولأن طاقة الالكترون السكونية (وهي نفسها طاقة البوزيترون).

$$E = m_0 c^2 = 0.511 MeV$$

ولا يمكن للالكترون الانتقال من مستوي طاقته الموجب الي مستوي طاقة سالب. لأن مستوي الطاقة السالب مشغول دائما بالبوزيترونات.

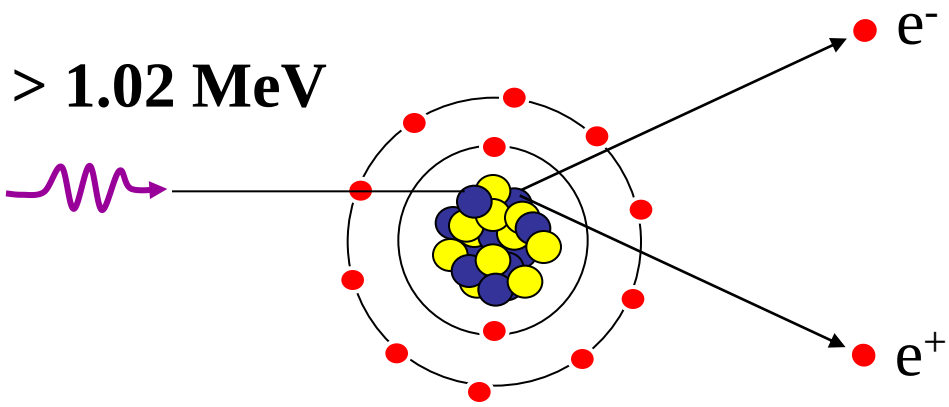
ولكن يمكن للبوزيترون الأنتقال الي مستوي الطاقة الموجب تاركا مستوي الطاقة السالب (فجوة) في ظروف معينة.

انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

وبحساب فرق الطاقة

$$\Delta E = m_0 c^2 - (-m_0 c^2) = 2 m_0 c^2 = 1.02\,MeV$$

وبالتالي فإن امتصاص وفناء فوتون طاقته تساوي علي الأقل **1.02 MeV** يؤدي الي ظهور إلكترون وبوزيترون.



تعرف هذه العملية بعملية انتاج زوج

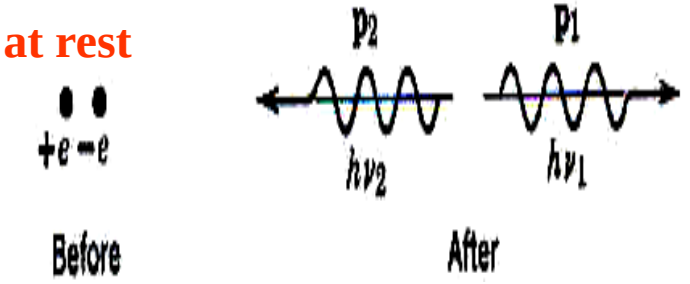
وتحقق قانون حفظ الطاقة وكمية الحركة.

انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

(1) كمية الحركة محفوظة

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0 \Rightarrow \vec{p}_1 = -\vec{p}_2$$

$$\Rightarrow p_1 = p_2$$



(2) الطاقة النسبية الكلية محفوظة

$$m_0 c^2 + m_0 c^2 = h f = 1.02 MeV$$

يلاحظ أن قانون حفظ الشحنة يتحقق أيضا في هذه العملية

انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

- لا تتم هذه العملية اذا كانت طاقة الفوتون الساقط أقل من 1.02 MeV.
- لا تتم هذه العملية الا بالقرب من النواة (حيث تمتص النواة كمية تحرك الفوتون نظرا لكتلتها الضخمة جدا بالنسبة للالكترون) وبالتالي يتحقق قانون بقاء كمية التحرك. وبدون النواة لا يمكن ان تتم هذه العملية.
- تتم العملية اذا كانت طاقة الفوتون الساقط اكبر من 1.02 MeV وفي هذه الحالة يكتسب الالكترون والبوزيترون الفرق في الطاقة في صورة طاقة حركة مناصفة (وهذا نظريا).
- عمليا يخرج البوزيترون بطاقة حركة K_+ أكبر من الالكترون نظرا لتنافرة مع النواة والعكس.

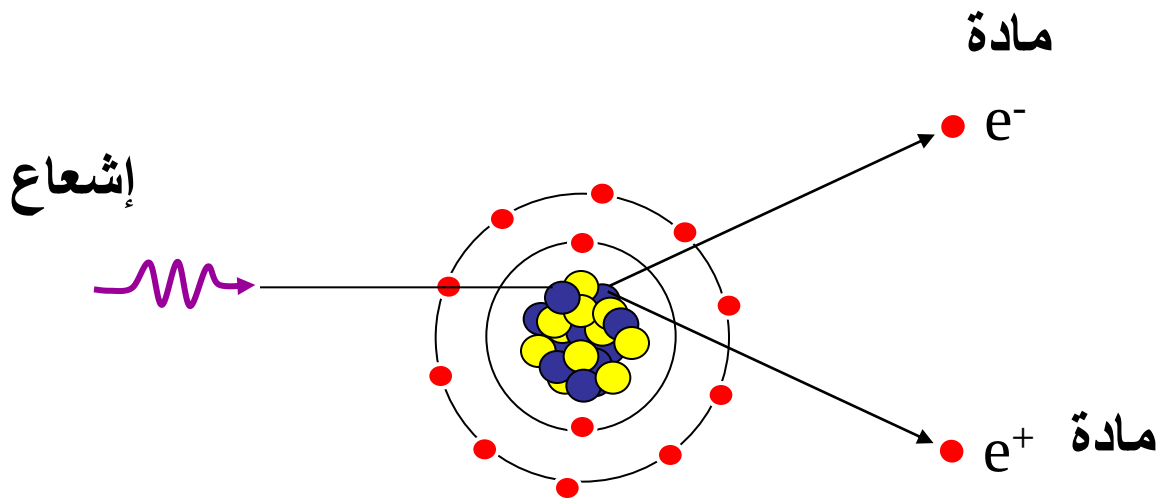
$$h f = m_0 c^2 + m_0 c^2 + K_+ + K_-$$

انتاج زوج من الجسيمات

Pair Production

إذا يمكن القول أن:

من الممكن أن يفني الإشعاع ويتحول إلي مادة



انتاج زوج من الجسيمات
Pair Production

إن البوزيترون جسيم غير مستقر ولا يدخل في تركيب المادة كما هو الحال بالنسبة للالكترون ويفقد البوزيترون طاقته داخل المادة بسرعة وإذا التقى بالكترون في وضع سكون تقريبي فإنهما يفيان أو يتلاشيان في عملية معاكسة لعملية إنتاج الزوج وتعرف بفناء أو دثور الزوج **Pair Annihilation**. ويظهر بدلاً منهما زوج من فوتونات أشعة جاما. ويمكن وبامتخدام مبدأ ثبوت الطاقة كتابة:

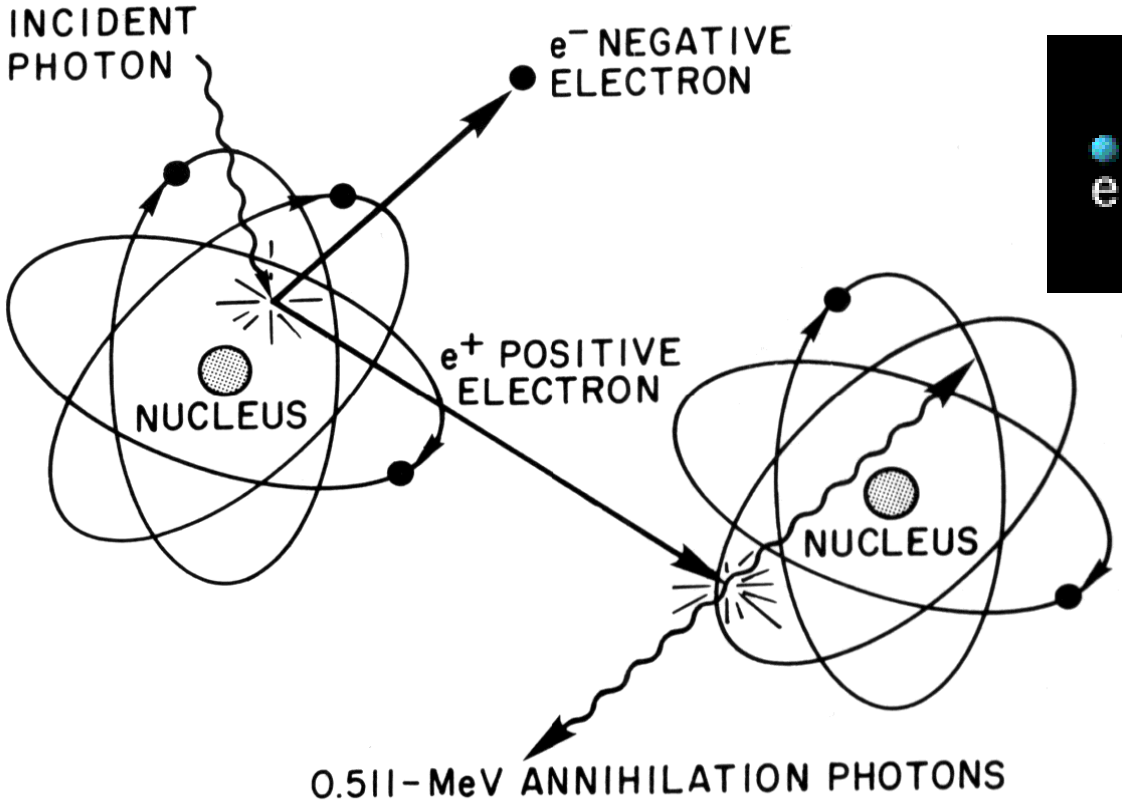
$$2m_0c^2 = hf_1 + hf_2$$

حيث f_1 و f_2 تردد الفوتونين الناتجين **Pair Annihilation**.

وتكون طاقة كل فوتون ناتج مساوية للمقدار **0.511 MeV**.

فناء زوج من الجسيمات

Pair Annihilation



إذا يمكن القول أن:

من الممكن أن تفني المادة وتتحول إلي إشعاع

امتصاص الإشعاع داخل المادة

Radiation Attenuation

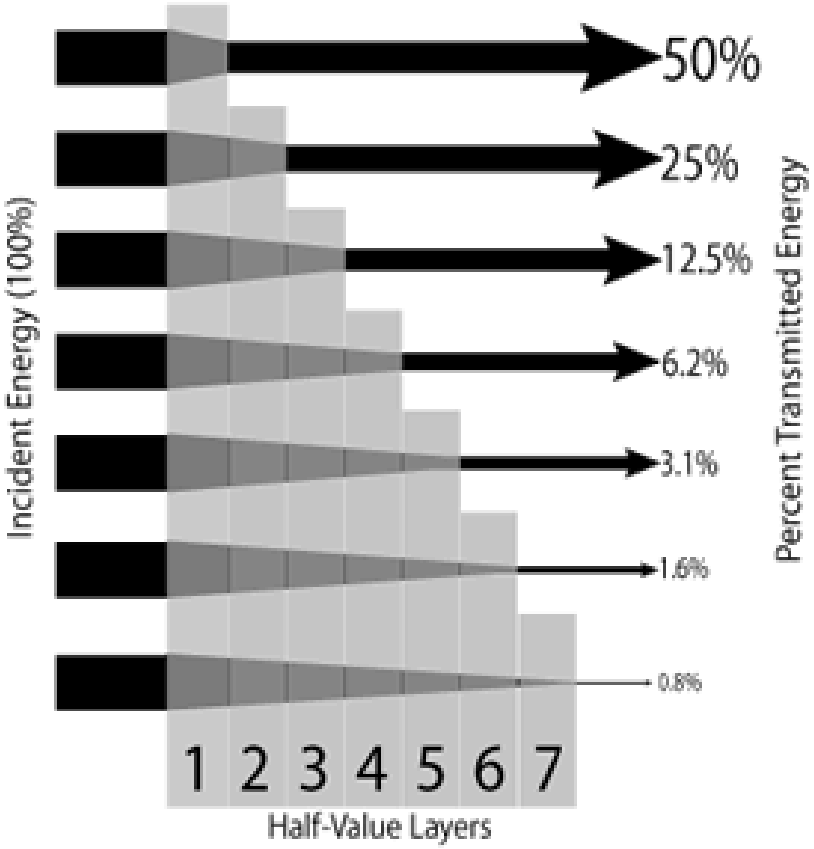
تؤدي عمليات التفاعل بين الفوتونات والمادة وعلى الخصوص الالكترونات (والتي ناقشناها في هذا الجزء) لامتصاص الفوتونات خلال المادة وبالتالي لنقصان في طاقة أو شدة شعاع الفوتونات ويمكن بيان أن شدة شعاع الفوتونات يتناقص داخل المادة كدالة اسية على الصورة الآتية:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

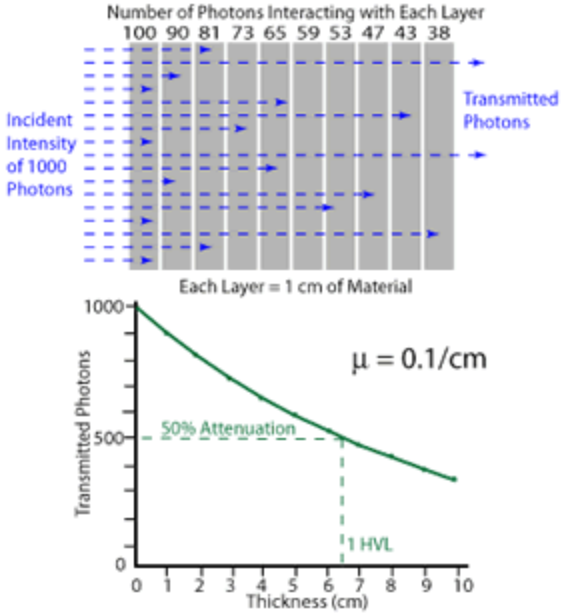
حيث I_0 هي شدة الإشعاع الساقط، I هي شدة الشعاع الخارج (المار) من المادة، x سمك المادة، μ معامل الامتصاص للمادة وهو يختلف من مادة الي اخري.

امتصاص الإشعاع داخل المادة

Radiation Attenuation



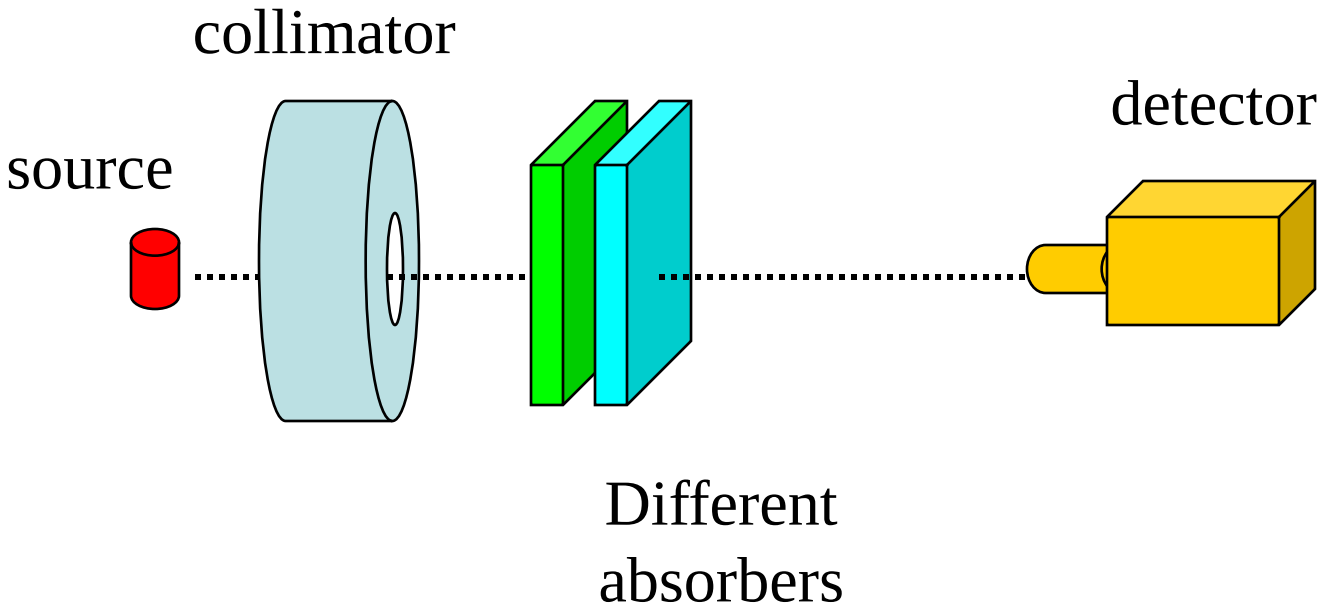
$$I = I_0 e^{-\mu x}$$



امتصاص الإشعاع داخل المادة

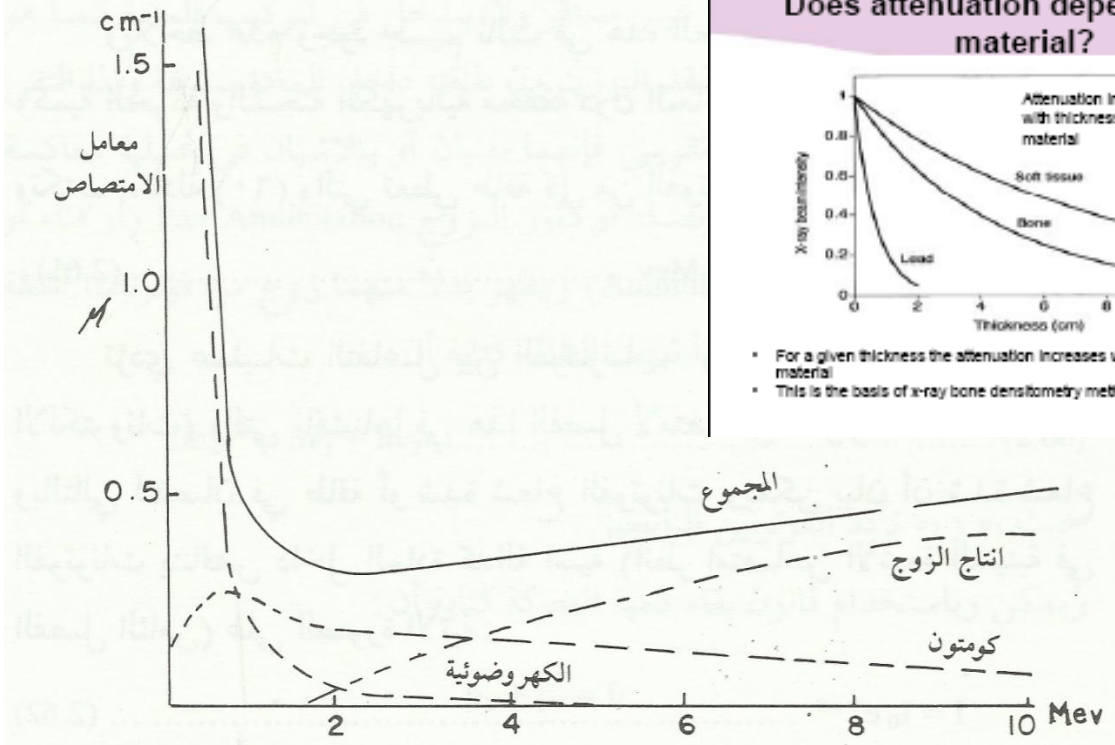
Radiation Attenuation

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$



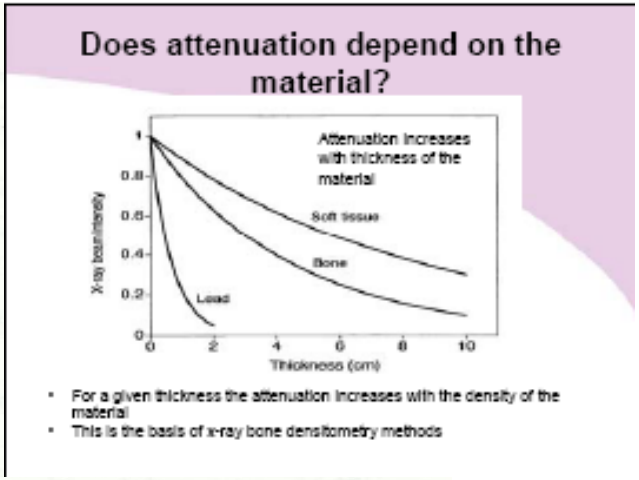
امتصاص الإشعاع داخل المادة

Radiation Attenuation



شكل (٢ - ١٩)

معامل الامتصاص الخطي لعمليات تفاعل الفوتونات مع الرصاص كدالة في طاقة الفوتونات.



هل يمكن أن تتم الثلاث عمليات في نفس الوقت؟

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله

الفوتونات والموجات الكهرومغناطيسية

Photons and Electromagnetic Waves

أعطي تفاعل الإشعاع مع المادة دليل قاطع على انه عندما يتفاعل الاشعاع الكهرمغناطيسي مع المادة، فان الإشعاع يسلك مسلك جسيمات لها طاقة hf وكمية حركة h/λ.

وفي نفس الوقت درسنا من قبل أن الموجات الكهر مغناطيسية تبدي ظاهرتي التداخل والحيود والتي تتفق مع الوصف الموجي للضوء أو الموجة الكهرومغناطيسية.

اي النموذجين صحيحا؟ وهل الضوء موجه أم جسيم؟

الإجابة: يجب أن نتعامل بكلا النموذجين ونسلم بان الطبيعة الحقيقية للضوء (الموجة الكهر مغناطيسية) لا يمكن وصفها بدلالة التصور الكلاسيكي وحده.

أي ان نموذج الجسيم ونموذج الموجه يكمل كل منهما الآخر.

الفوتونات والموجات الكهرومغناطيسية

Photons and Electromagnetic Waves

نجاح نموذج الجسيم للضوء في تفسير التأثير الكهرضوئي وتأثير كومتون يبعث عدة أسئلة اخرى.

1. اذا كان الضوء جسيم، ما معني التردد والطول الموجي وأي من هاتين الخاصيتين يحدد طاقته و كمية حركته؟
2. هل الضوء جسيم وموجه في نفس اللحظة؟
3. هل هناك تعبيرا بسيطا للكتلة الفعالة للفوتون المتحرك؟
4. اذا كان للفوتون كتلة فعالة هل تتأثر بالجاذبية الارضية؟
5. ما هو الامتداد الفراغي للفوتونات وكيف يمكن للالكترون ان يمتص او يستطير فوتونا واحدا؟

الفوتونات والموجات الكهرومغناطيسية

Photons and Electromagnetic Waves

يجب مراعاة أنه نظرا للمدي الكبير جدا للطول الموجي للموجة الكهرومغناطيسية والتي تبدأ من 10^{5} متر الي 10^{-13} متر تقريبا فإنه يصعب في بعض الحالات التعامل معها كموجة وتتحسسها أجهزة (مهما بلغت دقتها) وأيضا يصعب التعامل معها كجسيم (فوتون) في حالات أخري ويصعب أيضا الأحساس بها (التشويش).

فمثلا عند الأطوال الموجية الكبيرة (موجة الراديو مثلا) تكون طاقتها 10^{-8} eV وهي قيمة صغيرة جدا لا يمكن التعرف عليها بالأجهزة.

أما عند الأطوال الصغيرة (الأشعة السينية مثلا) تكون طاقتها فوق MeV وبالتالي يمكن الإحساس بطاقة فوتون واحد فقط منها.
ولكن يجب التنوية أن هذا الفوتون الوحيد لا يمكن التعامل معة بالطبيعة الموجية وتطبيق ظاهرتي الحيود والتداخل عليه.

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله

الخواص الموجية للجسيمات

The Wave Properties of Particles

هل تحت ظروف معينة فان الاشياء التي يطلق عليها جسيمات تعاني من خواص موجيه؟

في عام 1923 افترض لويس دي برولي انه "نظرا لأن الفوتونات لها كل من الخواص الموجية والجسيمية، فربما تكون جميع أشكال المادة لها نفس الخاصيتين" (الطبيعة المزدوجة).

ولم يكن هناك في ذلك الوقت أي دليل أو تأكيد عملي.

Louis de Broglie (1892-1987)

الخواص الموجية للجسيمات

The Wave Properties of Particles

لويس دي برولي
جائزة نوبل 1929

بما أن الفوتون له كمية تحرك

$$p = \frac{E}{c} = \frac{hc}{c\lambda} = \frac{h}{\lambda}$$

لاحظي أن هناك علاقة بين الطول الموجي وكمية التحرك

هنا أفترض دي برولي أن الجسم الذي له كمية تحرك $p = mv$
فإن له طول موجي مصاحب بالمثل مثل الفوتون

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

طول موجة دي برولي

الخواص الموجية للجسيمات

The Wave Properties of Particles

افترض دي برولي أن الموجات المصاحبة للجسيمات التي لها طاقة سكون غير صفرية تتبع علاقة اينشتين $E = h f$ حيث E هي الطاقة الكلية للجسم

$$f = \frac{E}{h}$$

الخواص الازدواجية للمادة واضحة في المعادلات السابقة لأن كل منهما تحتوي علي مفهوم الجسيم (mv, E) ومفهوم الموجة (λ, f).

تجربة دافيسون و جيرمر

Davisson- Germer Experiment

تم اعتبار فرض دي برولي عام 1923 من أن المادة لها كل من الخواص الموجية و الخواص الجسيمية هو تأمل مجرد.

1- إذا كانت الجسيمات مثل الالكترونات لها خواص موجية حينئذ وتحت الظروف المناسبة يجب أن تبدي الجسيمات ظاهرة الحيود.

2- بعد ذلك بثلاث سنوات نجح العالمان الامريكيان دافيسون وجيرمر في قياس الطول الموجي للإلكترونات.

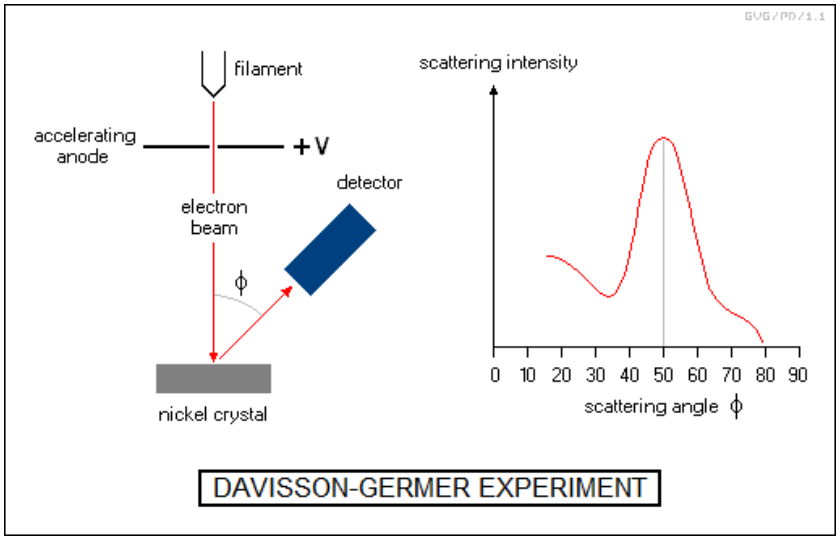
تجربة دافيسون و جيرمر

Davisson- Germer Experiment

هذا الاكتشاف الهام قدم أول تأكيد عملي على السلوك الموجي للمادة والذي افترضه دي برولي.

من المثير للدهشة انه لم يكن الهدف من تجربة دافيسون وجيرمرهو تأييد فرض دي برولي. في الحقيقة كان اكتشافهم بمحض الصدفة.

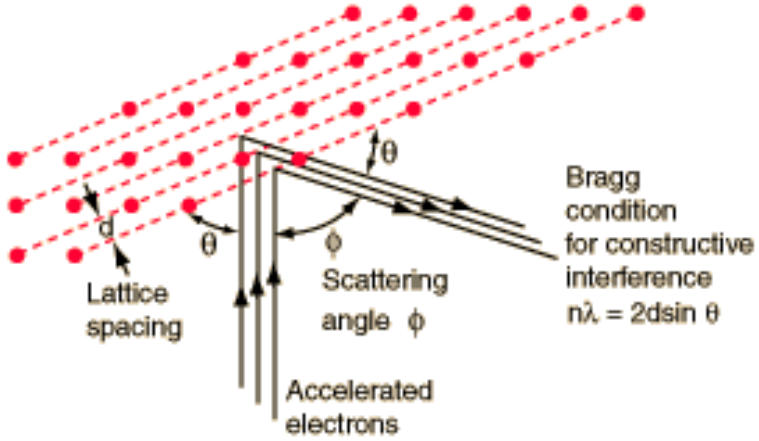
تضمنت التجربة استطارة الكترونات ذات طاقة منخفضة حوالي 54 eV من هدف من النيكل في انبوبة مفرغة. أثناء احدى التجارب كان سطح النيكل مؤكسدا بطريقة سيئة بسبب التلف المفاجئ في نظام التفريغ.



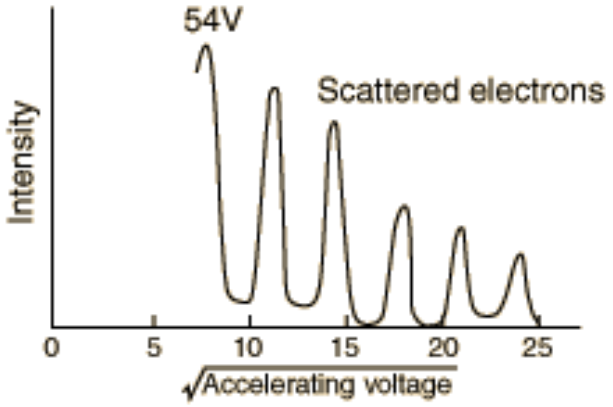
عزيزتي الطالبة هذه الصورة للفهم فقط وغير مطالبة بها

تجربة دافيسون و جيرمر

Davisson- Germer Experiment



بعد تسخين الهدف بإمرار سيل من ذرات الهيدروجين لإزالة الطبقة المؤكسدة أظهرت الالكترونات المستطارة بالهدف قيم عظمى وصغرى في الشدة عند زوايا معينة.



أخيراً تأكد العلماء التجريبيين من أن النيكل كون بالتسخين مناطق كبيرة متبلورة و أن المستويات الذرية المتباعدة بانتظام في هذه المناطق تعمل كمحزوز حيود للموجات المادية للالكترونات.

عزيزتي الطالبة هذه الصورة للفهم فقط وغير مطالبة بها

تجربة دافيسون و جيرمر

Davisson- Germer Experiment

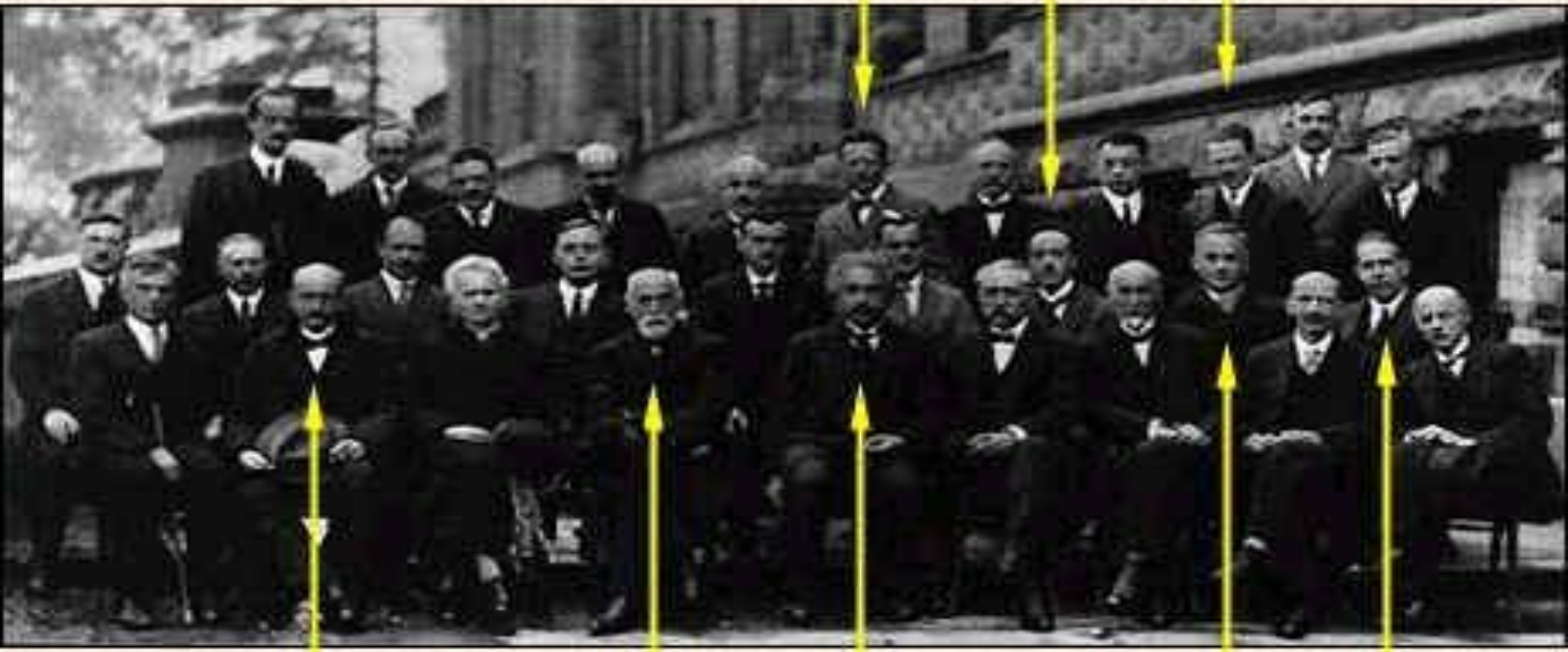
من الصعب فهم مسألة الخاصية المزدوجة للمادة والاشعاع لأن كل نموذج يبدو مختلفا عن الآخر.

ساعد بور في حل هذه المشكلة عن طريق مبدأ التكاملية

Principle of Complementary

والذي ينص على أن نموذجا الجسيم والموجة للمادة او الاشعاع يكمل كل منهما الآخر ولا يمكن لأي نموذج بمفرده تقديم تفسيرا مناسبا للمادة أو الاشعاع.

The Solvay Congress of 1927



أسئلة للتفكير

Complete the following statement: According to the de Broglie relation, the wavelength of a "matter" wave is inversely proportional to

(a)Planck's constant.

(b) the frequency of the wave.

(c) the mass of the particle.

(d) the speed of the particle.

(e) the momentum of the particle. x

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

أسئلة للتفكير

What happens to the de Broglie wavelength of an electron if its momentum is doubled?

(a) The wavelength decreases by a factor of 4.
(b) The wavelength increases by a factor of 2.
(c) The wavelength increases by a factor of 4.
(d) The wavelength decreases by a factor of 2 x
(e) The wavelength increases by a factor of 3.

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

أسئلة للتفكير

Determine the de Broglie wavelength of a neutron (m = 1.67×10^{-27} kg) that has a speed of 5.0 m/s.

(a) 79 nm X

(b) 395 nm

(c) 1975 nm

(d) 162 nm

(e) 529 nm

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

أسئلة للتفكير

Upon which one of the following parameters does the energy of a photon depend?

$$f = \frac{E}{h}$$

(a) mass (c) polarization (e) phase relationships

(b) amplitude (d) frequency X

For which one of the following problems did Max Planck make contributions that eventually led to the development of the “quantum” hypothesis?

(a) photoelectric effect (d) the motion of the earth in the ether

(b) uncertainty principle (e) the invariance of the speed of light through vacuum

(c) blackbody radiation curves X

أسئلة للتفكير

Light is usually thought of as wave-like in nature and electrons as particle-like. In which one of the following activities does light behave as a particle *or* does an electron behave as a wave?

(a) A Young's double slit experiment is conducted using blue light.

(b) X-rays are used to examine the crystal structure of sodium chloride.

(c) Water is heated to its boiling point in a microwave oven.

(d) An electron enters a parallel plate capacitor and is deflected downward.

(e) A beam of electrons is diffracted as it passes through a narrow slit. X

أمثلة محلولة

مثال 8.40 **الطول الموجي لالكترون**

احسب الطول الموجي لموجه دي برولي لالكترون ($m = 9.11 \times 10^{-31}$ kg) يتحرك بسرعة مقدارها 1.0×10^{7} m/s.

الحل: المعادلة 33.40 تعطي:

$$\lambda = \frac{h}{m\upsilon} = \frac{6.63 \times 10^{-34}\ \text{J} \cdot \text{s}}{(9.11 \times 10^{-31}\ \text{kg})(1.00 \times 10^{7}\ \text{m/s})}$$

$$= 7.28 \times 10^{-11}\ \text{m}$$

أمثلة محلولة

مثال 9.40 **جسيم مشحون متسارع**

جسيم شحنته q وكتلته m تم تسريعه من السكون بفرق جهد ΔV. أوجد الطول الموجي لموجة دي برولي للجسيم.

الحل: عند تسريع جسيم مشحون من السكون خلال فرق جهد ΔV فإن الكسب في طاقة الحركة $\frac{1}{2}mv^2$ يجب أن يساوي الفقد في طاقة الجهد $q\Delta V$

$$\frac{1}{2}mv^2 = q\Delta V$$

وحيث أن $p=mv$ فإنه يمكن كتابة هذه المعادلة في الصورة:

$$\frac{p^2}{2m} = q\Delta V$$

$$q = \sqrt{2mq\Delta V}$$

وبالتعويض عن p من هذه المعادلة في المعادلة 33.40 نحصل على:

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2mq\Delta V}}$$

مسائل و حلها

احسبي الطول الموجي لالكترون طاقته 3 eV. ولفوتون طاقته تساوي 3 eV.

(a) Electron: $\lambda = \frac{h}{p}$ and $K = \frac{1}{2}m_e v^2 = \frac{m_e^2 v^2}{2m_e} = \frac{p^2}{2m_e}$ so $p = \sqrt{2m_e K}$

and $$\lambda = \frac{h}{\sqrt{2m_e K}} = \frac{6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s}}{\sqrt{2(9.11\times10^{-31}\ \text{kg})(3.00)(1.60\times10^{-19}\ \text{J})}}$$

$$\lambda = 7.09\times10^{-10}\ \text{m} = \boxed{0.709\ \text{nm}}.$$

(b) Photon: $\lambda = \frac{c}{f}$ and $E = hf$ so $f = \frac{E}{h}$

and $$\lambda = \frac{hc}{E} = \frac{(6.626\times10^{-34}\ \text{J}\cdot\text{s})(3.00\times10^{8}\ \text{m/s})}{3(1.60\times10^{-19}\ \text{J})} = 4.14\times10^{-7}\ \text{m} = \boxed{414\ \text{nm}}.$$

واجب

61 -58 -54 -53

قال رسول الله صلى الله عليه وسلم مثل الذي يذكر الله .. والـذي لا يذكر الله