الفصل الثالث

الإشعاع الكهرومغناطيسي

طبيعة الضوء

ان انتقال الطاقة يتم عن طريق انتقال الجسيمات او على شكل اضطراب موجي

خصائص الضوء

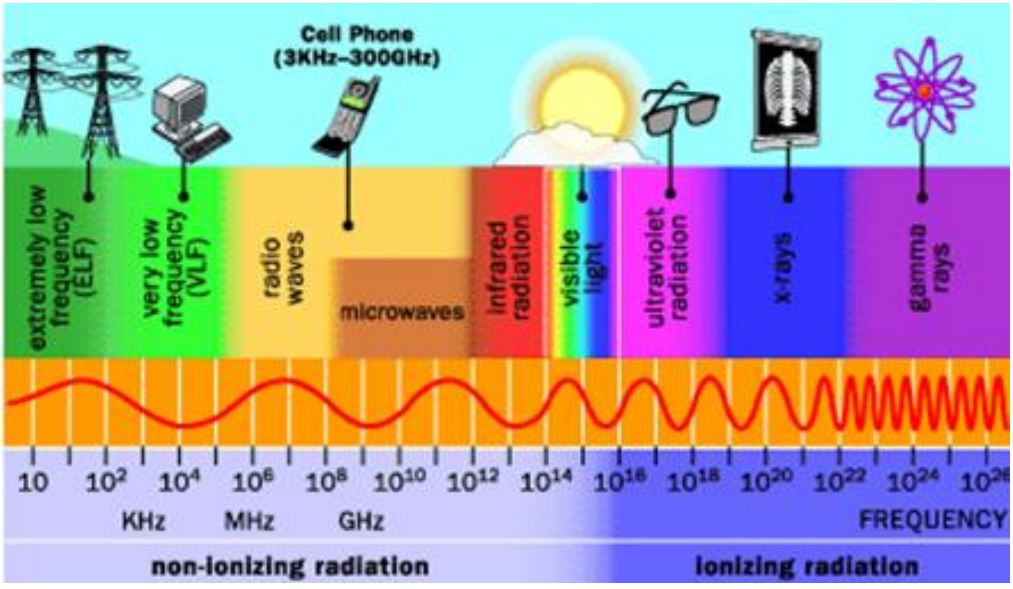
1- الأنتشار بخطوط مستقيمة
2- الأنعكاس والأنكسارر
3- التداخل والحيود

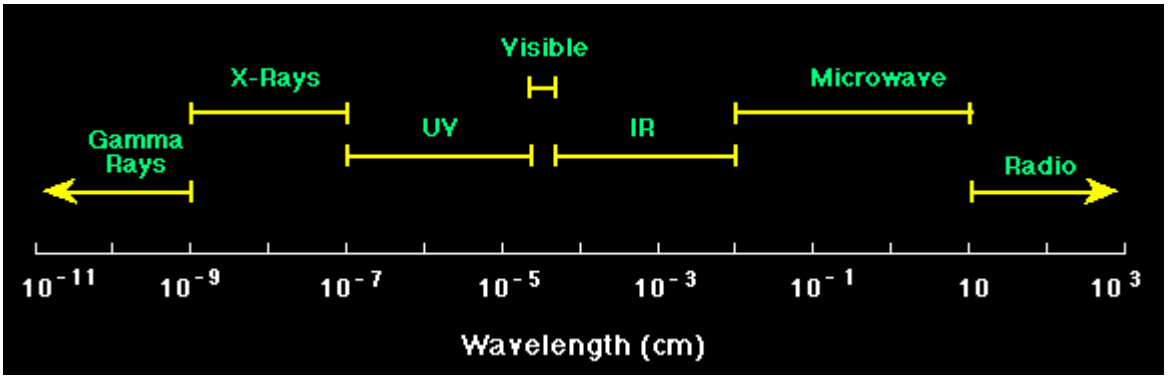
الطيف الكهرومغناطيسي:

اكد ماكسويل من خلال النظرية الكهرومغنايسية ان انتقال الطاقة بأشكالها الحرارية والصوتية والكهربائية يتم على شكل موجات كهرومغناطيسية عبارة عن تذبذبات ناتجة عن تغير شدتي المجال الكهربائي والمغناطيسي

مدى الطيف الكهرومغناطيسي من $10\ sec^{-1}$ الى $10^{25}sec^{-1}$ وتنتقل بسرعة الضوء $3x10^{8}m/s$ وبذلك تتراوح الأطوال الموجية $3x10^{-17}$ to $3x10^{7}\ A^{o}$ ويعتمد هذا الطيف على العلاقة $\lambda = \frac{c}{f}$ ويتكون الطيف الكهرومغناطيسي من:

1- الأمواج الكهربائية 2- الأمواج الراديوية 3- الأمواج تحت الحمراء 4- الأمواج البصرية (المرئية) 5- الأمواج فوق البنفسجية 6- أمواج الأشعة السينية 8- أشعة كاما 9- الأشعة الكونية





الأمواج البصرية:

هي الأمواج التي يتراوح طولها ألموجي من $4000A^o$ الى $7600A^o$

بعث وامتصاص الإشعاع:

جميع الأجسام تبعث أشعة كهرومغناطيسية وان قابلية امتصاص الجسم للإشعاع ترتبط بقابليته لانبعاث الإشعاع وهي تعتمد على 1- طبيعة سطح الجسم- السطح الأملس يكون رديء الإشعاع بينما السطح الخشن يكون باعث وممتص جيد 2- درجة الحرارة- عند سقوط حزمة متلاونة على عدد من الجسيمات المعتمة (لا يوجد نفوذ) فأن الإشعاع بذلك سوف يمتص او ينعكس وان نسبة الإشعاع الممتص او المنعكس الى الإشعاع الساقط تسمى معامل الامتصاص a ومعامل الانعكاس r بحيث

$a_1+r_1=1,\ a_2+r_2=1,$ ..... لمجموعة من الأجسام

وعند ما لا يوجد نفوذ

الامتصاص = الانبعاث

$$w_1 \Delta A_1 \Delta t = a_1 I\ \Delta A_1 \Delta t$$

وفي حالة التوازن الحراري الامتصاص = الانبعاثية

$$\Delta A_2 a_2 \Delta t = I r_2 \Delta A_2 \Delta t$$

وبقسمة المعادلتين نحصل على:

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{r_1}{r_2} \Rightarrow \frac{w_1}{w_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

وفي حالة التوازن الحراري فأن الأنبعاثية والأمتصاص متساوية بعبارة اخرى w/a يعتمد على درجة الحرارة ويكون ثابت لاي مادة ومنها اذا كان للجسم (w) انبعاثية عالية سوف يكون ممتص جيد أي امتصاصيه (a) عالية وتعرف الأنبعاثية بأنها كمية الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن من وحدة المساحة ضمن الطول الموجي.

أشعاع الجسم الأسود وقانون كيرخوف

ان الجسم الأسود هو الجسم الذي يمتص جميع الأشعة الساقطة عليه (جسم مثالي للامتصاص) ويشع جميع الطاقة التي يمتلكها (مشع مثالي) وبهذا يكون طيفه مستمر في مختلف درجات الحرارة أي ان معامل الامتصاص a=1 للجسم الاسود. وعند سقوط إشعاع على مجموعة من الأجسام المعتمة فانه في حالة التوازن الحراري وعلى مساحة مقدارها ΔA وبزمن Δt فأن

الامتصاص= الانبعاثية

$$w_1 \Delta A_1 \Delta t_1 = a_1 I\ \Delta A_1 \Delta t_1$$

$$w_2 \Delta A_2 \Delta t_2 = a_2 I\ \Delta A_2 \Delta t_2$$

$$w_1 = a_1 I$$

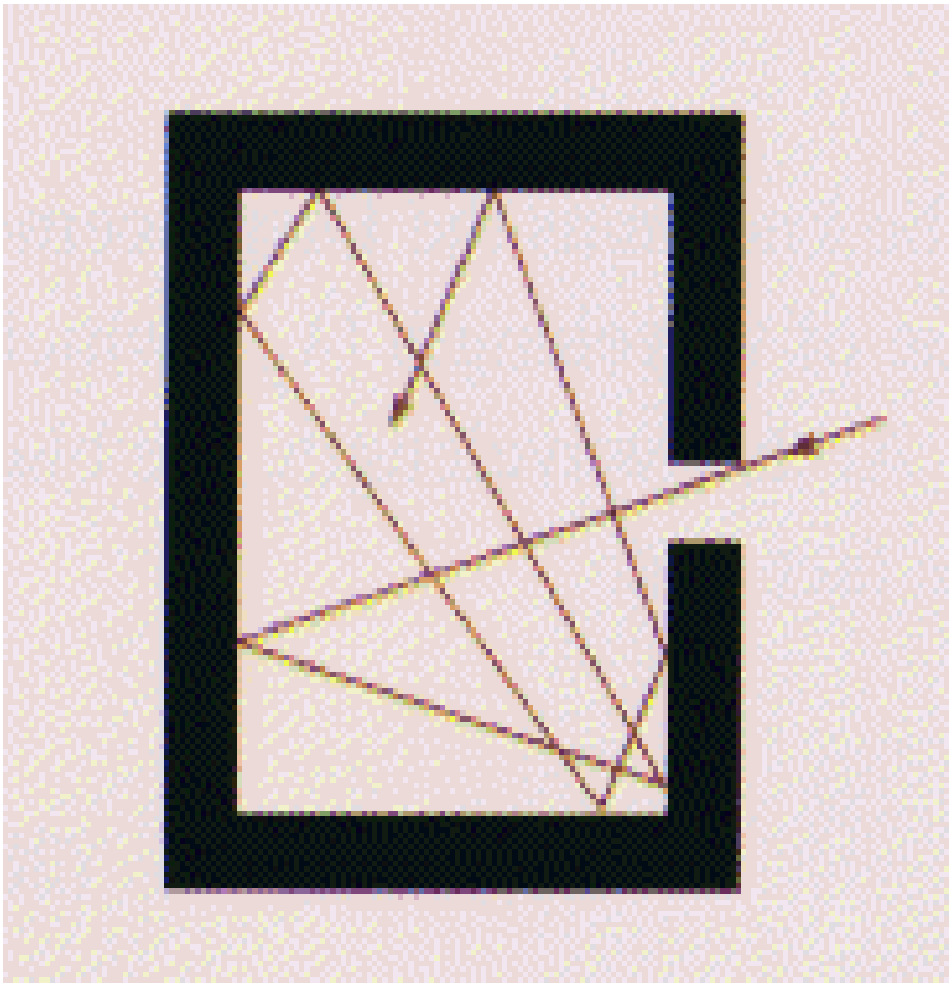
$$w_2 = a_2 I$$

$$\frac{w_1}{w_2} = \frac{a_1}{a_2}$$

$$\frac{w_1}{a_1} = \frac{w_2}{a_2} = \frac{w_b}{1} = w_b$$

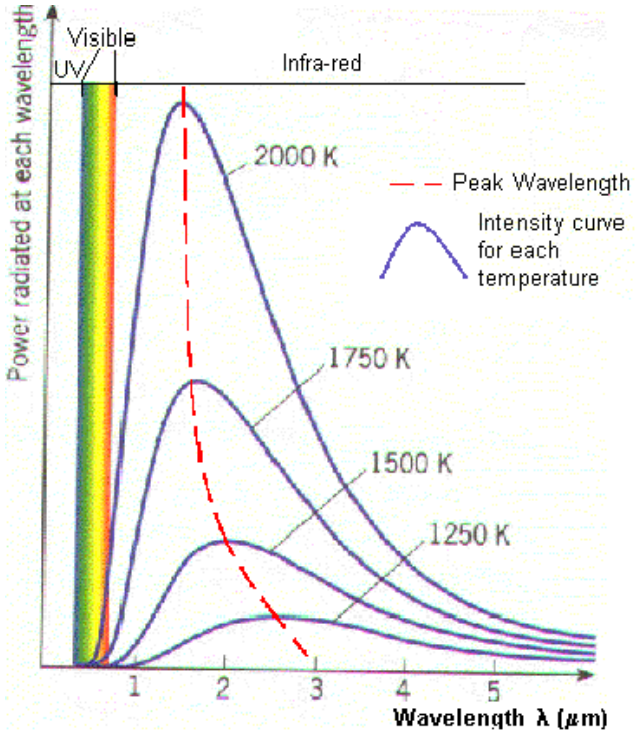
تدعى هذه العلاقة بقانون كيرخوف وينص على:
ان نسبة مبعثية الإشعاع لسطح ما الى مقدار امتصاصه تكون كمية ثابتة لجميع السطوح في نفس درجة الحرارة وتساوي مبعثية الجسم الأسود في نفس درجة الحرارة.
ومثال على الجسم الأسود: فتحة في تجويف معتم ، عند دخول الأشعة الساقطة الى الداخل فأنها سوف تعاني انعكاسات من جدران التجويف بحيث لا يخرج من هذه الفتحة أي إشعاع فتسمى هذه الفتحة جسما اسودا
عند دراسة انبعاثية الجسم الأسود تجريبيا وجد:

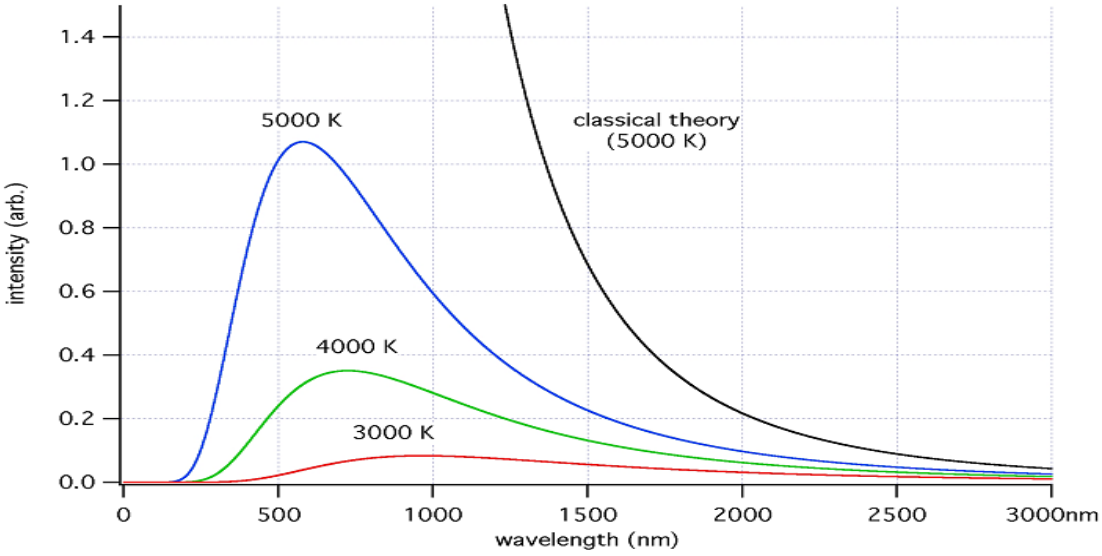
1- ان طيف الإشعاع له توزيع معروف بصورة جيدة ولا يعتمد على طبيعة المادة بل يعتمد على درجة



2- هناك تردد مقداره f(max) عند النهاية العظمى يزداد بازدياد درجة الحرارة

-3





ملاحظات على الجسم الاسود:

1-كل جسم يشع طاقة مغناطيسيه كميتها ومميزاتها تعتمد على

أ- درجة الحراره (T) ب-طبيعة سطح الجسم

2-الجسم مصقول السطح يكون اشعاعه ردئ وامتصاصه ردئ

3-الجسم خشن السطح مشع جيد وممتص جيد

4- هناك خاصيه نستعملها كمقياس لجسم باعث للاشعة (الممتصيه) و(المنبعثيه) وتستعمل هاتان العبارتان كمقياس يميز السطح.

5- ان الجسم الاسود له الممتصيه تساوي واحد و المنبعثيه تساوي واحد وان معامل الامتصاص له (a=1)

قانون ستيفان وواين

تتناسب الطاقة المنبعثة في وحدة الزمن لوحدة المساحة من الجسم المشع مع المساحة التي تحت المنحني وقد وجد العالم **ستيفان** ان هذه المساحة تتناسب مع الأس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة للجسم الأسود أي ان

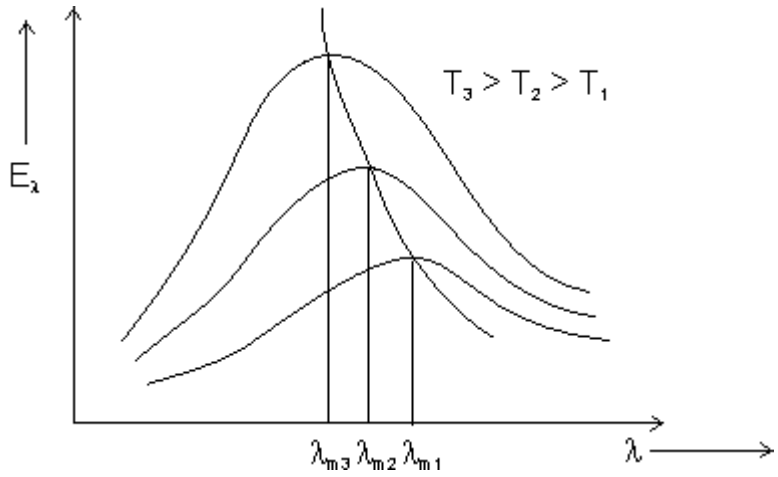
$$w = \sigma T^4$$

σ ثابت ستيفان- بولتزمان وقيمتها $5.67x10^{8}\ w/m^2K^4$ ،

وجد العالم **واين انه** عند تغيير درجة الحرارة فأن المنحني يحتفظ بشكله العام ولكن نهايته العظمى تزاح وان طول موجة الإشعاع عند الشدة العظمى تتناسب عكسيا مع درجة الحرارة ووضعها بالشكل التالي:

$$\lambda_{\max} T = b \qquad where \quad b = 2.9x10^{-3} mK$$

ان كل من قانوني **ستيفان وواين** التجريبيين لا يعالج المشكلة الأساسية وهي شكل منحني التوزيع لطاقة الجسم الأسود.



اسئلة مهمه :

Q1: ماهو الطول الموجي الذي تصل فيه شده الاشعاع للجسم الاسود عند نهايتها العظمى في درجة حرارة 300 K ,1000 K,6000 K ؟

$$\lambda_{\max} T = b \qquad \Rightarrow \lambda_{\max} = b/T$$

$$\frac{2.9x10^{-3}}{300} = 9.66x10^{-6} m$$

Q2: احسب القدره الكلية لاشعاع الجسم الاسود في درجة حرارة الغرفه ؟

$$w = \sigma T^4 \qquad ; \qquad T = 300\,K$$

قانوني واين- ورايلي للاشعاع

لقد حاول العالم **واين** تغيير شكل توزيع الطاقة ضمن مدى الأطوال الموجية المختلفة ودرس جزيئات الجسم الأسود التي أثرت حراريا من جعلها تتعجل فتتوزع سرعتها وفق النظرية الكهرومغناطيسية (الجزيئات المتعجلة تشع طاقة) وقد حصل على صيغة لكثافة الطاقة (كمية الطاقة لوحدة الحجم) بين الطول الموجي λ و $\lambda+\Delta\lambda$ وتكتب بالشكل التالي:

$$\rho_\lambda d\lambda = \frac{c_1}{\lambda^5 e^{c_2/\lambda T}} d\lambda$$

وتعتمد كثافة الطاقة على قيمة الثابتين c_1 و c_2 وقد اختار واين قيم لهذين الثابتين وكانت النتيجة (حصول تطابق بين نتائج هذه المعادلة مع المنحني التجريبي للاطوال الموجية القصيرة وفشلت في الأطوال الموجية الطويلة)

لقد حاول العالم **رايلي** اشتقاق صيغة لهذا التوزيع مركزا على الاشعاع وطبيعة الانعكاسات على الجدران الداخلية وافترض على انه في حالة التوازن الحراري فان الاشعاع الممتص من الجزيئات يجب ان يساوي الاشعاع الذي تبعثه المتذبذبات الذرية وان كل نمط تذبذب يمتلك طاقة مقدارها KT بحيث قيمة الطاقة الكامنة تساوي $1/2KT$ والطاقة الحركية $1/2KT$ ومن اجل حساب عدد الأنماط ذات التردد المحصور بين الصفر و f والتي تقابل العدد الموجي $0, \frac{2\pi\upsilon}{c}$ وهي تساوي NK

$$NK = \frac{K\,volume of\ sphere\ in\ space}{volume of\ mode} \times 2$$

$$NK = 2\frac{\frac{4}{3}\pi K^2}{(\frac{2\pi}{L})^3} = \frac{K^2L^3}{3\pi^2} \;;\; K = 2\pi/\lambda$$ الاستقطاب

$$NK = \frac{8\pi L^3}{3\lambda^3}$$

اما كثافة الأنماط لوحدة الحجم فتكتب على الشكل:

$$\frac{NK}{L^3} = \frac{8\pi}{3\lambda^3}$$

$$\rho(\lambda)d\lambda = \frac{NK}{L^3}d\lambda = \frac{8\pi}{\lambda^4}d\lambda$$

وبذلك تكون كثافة الطاقة

$$\rho(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi}{\lambda^4}KTd\lambda$$ قانون رايلي

ان هذه المعادلة تتفق مع النتائج التجريبية للأطوال الموجية الطويلة وبالرغم من انها اقل تطابقا من قانون واين الا إنها اشتقت بشكل صحيح وهذا يدل على عدم قدرة النظرية الكلاسيكية في تفسير بعض النتائج التجريبية المهمة

قانون بلانك

بعد ان تبين عجز النظرية الكلاسيكية طرح العالم **بلانك** نظرية لاشتقاق قانون الاشعاع مستخدما النظريه الكلاسيكيه التي استخدمها رايلي ولكنه فشل ، فبدلا من ان يأخذ معدل طاقة المتذبذب KT , قام بحساب معدل الطاقه بأن يأخذ مجموع حاصل ضرب عدد المتذبذبات في كل طاقه من طاقة تلك الحاله وتقسيم المجموع على العدد الكلي للمتذبذبات في جميع الحالات .

افترض بلانك ان هناك توازن متماثل بين كثافة الطاقة وطاقة الذرات التي تتصرف كمتذبذب.
ان الإشعاع لا ينبعث بشكل مستمر وانما على شكل كمات من الطاقة تسمى فوتونات طاقة كل فوتون تتناسب طرديا مع تردد الأشعاع حيث ان الطاقة هي:

$$E=h\nu \quad ; \quad h=6.63\text{x}10^{-34}\ \text{Joul.sec}$$

حيث h هو ثابت بلانك

اما معدل طاقة النمط فقد تم حسابه بأخذ مجموع حاصل ضرب عدد المتذبذبات في طاقة تلك الحالة ثم قسم المجموع على العدد الكتلي.
وافترض ان طاقة كل كتذبذب تساوي مضاعفات صحيحة من m لكمية الطاقة u وعدد المتذبذبات هو n_m الاتي تمتلك طاقه مقدارها M_u
من قانون بولتزمان الحراري :

$$n_m = n_o \exp(-mu / KT) \qquad \ldots\ldots\ldots(1)$$

وبذلك تكون الطاقة الكلية لعدد المتذبذبات في الحالة mu هو

$$mun_m = mun_o \exp(-mu / KT)$$

ومعدل طاقة النمط W تحسب:

$$W = \sum_{m=o}^{\infty} \frac{mun_o}{n_m} = \frac{\sum_{m=o}^{\infty} mun_o \exp(-mu./KT)}{\sum_{m=o}^{\infty} n_o \exp(-mu./KT)}$$

$$Let\ X = \exp(-u/KT)$$

$$Then \qquad W = \frac{u\sum_{m=o}^{\infty} mX^m}{\sum_{m=o}^{\infty} X^m}$$

$$W = u\frac{0+X+2X^2+3X^3+\ldots\ldots}{1+X+X^2+X^3+\ldots\ldots\ldots} = \frac{uX(1+2X\ +3X^2+\ldots\ldots}{1+X\ +X^2+\ldots\ldots}$$

$$From\ mathematics\ the\ definition\ of\ (1-x)^{-1}\ and\ (1-X)^{-2}$$

$$We\ get\ \ W = \frac{uX}{1-X} = \frac{u}{X^{-1}-1}$$

$$Sub.the\ value\ of\ X$$

$$W = \frac{u}{\exp(u/KT)-1}$$

المعادلة الأخيرة تمثل معدل طاقة النمط

اما الطاقة الكلية في وحدة الحجم فتحسب من حاصل ضرب معدل طاقة النمط الواحد والتي تعادل $\frac{8\pi}{\lambda^4}d\lambda$ كما اشتقت من قبل رايلي فنحصل

$$\rho(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi u}{\lambda^4 \exp(u/KT) - 1}d\lambda$$

ان هذه المعادلة تشبه معادلة واين عدا وجود الـ 1- في المقام ومن مقارنة المعادلتين نحصل على

$$\frac{c_2}{\lambda T} = \frac{u}{KT} \Rightarrow u = \frac{c_2 K}{\lambda}$$

$$multiply\, by\, c$$

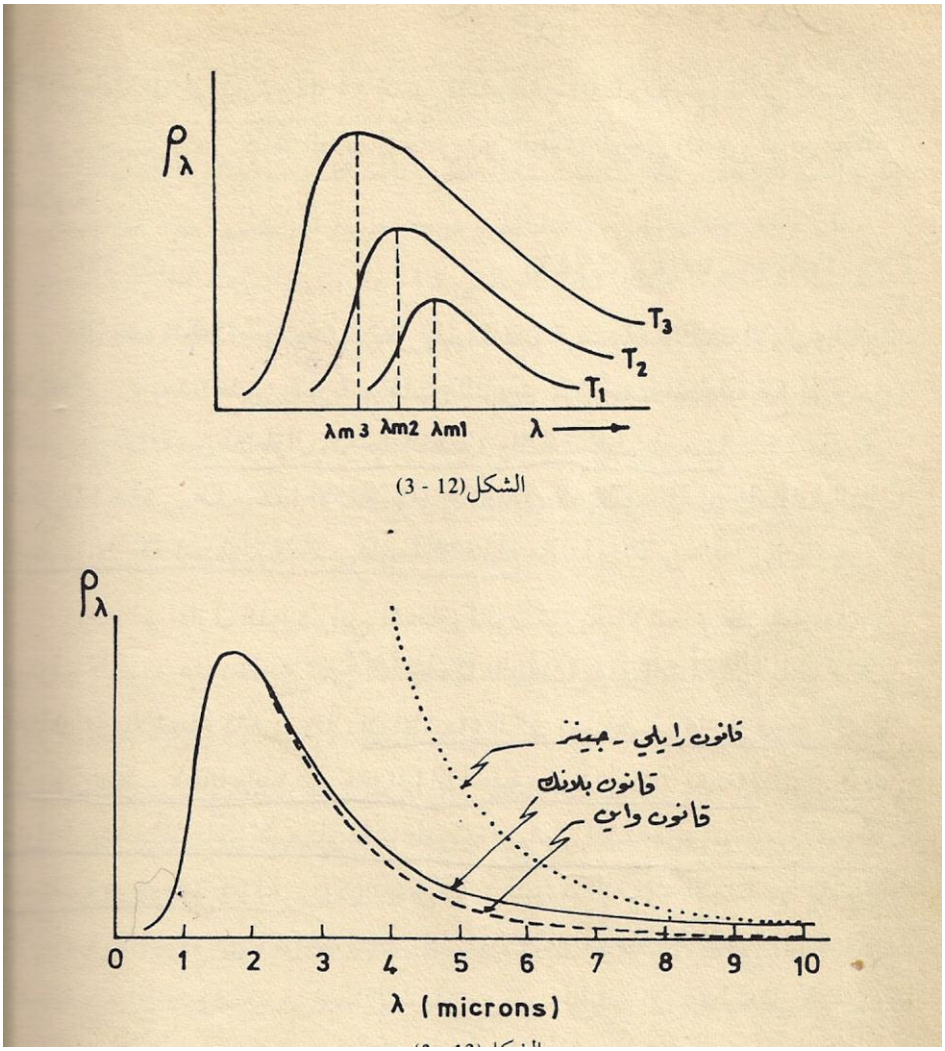
$$u = \frac{c_2}{c} K \frac{c}{\lambda} \Rightarrow u = hf$$

$$where \quad h = \frac{c_2}{c} K$$

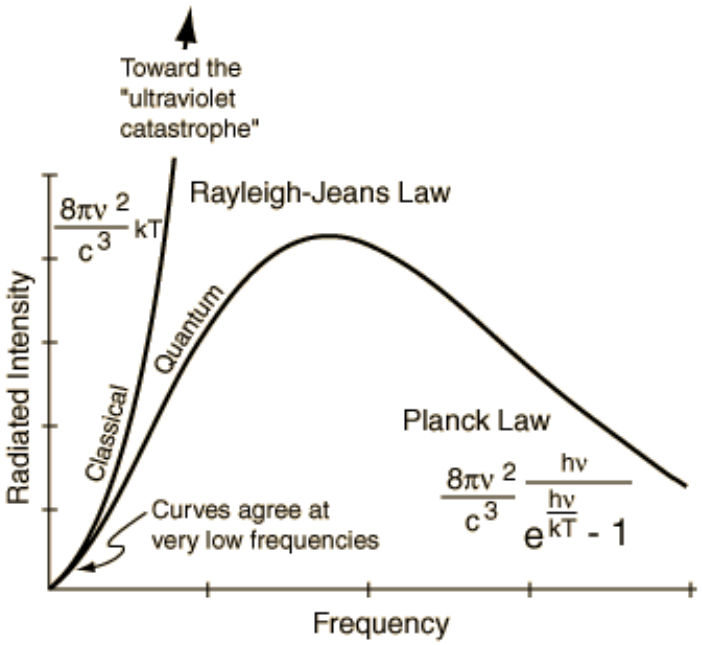
ومن ذلك نستنتج قانون بلانك الذي يكتب بالشكل التالي:

$$\rho(\lambda)d\lambda = \frac{8\pi\, hc\, d\lambda}{\lambda^5[\exp(hc/\lambda KT) - 1]}$$

وعند رسم هذه المعادلة نحصل على تطابق تام مع النتائج التجريبية



الشكل(12 - 3)



مثال: عبن عن قانون بلانك بدلالة الترددات ثم اثبت ان هذا القانون يختزل الى قانون رايلي بالترددات الواطئة والى قانون واين بالترددات العالية مستفيدا من العلاقة

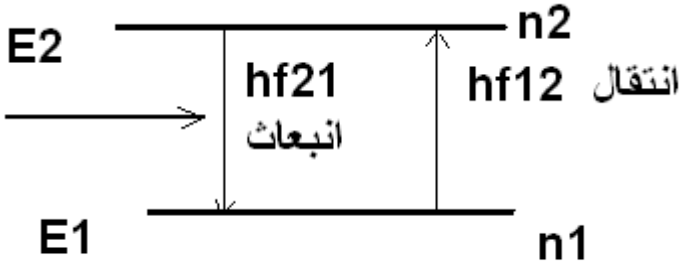
$$e^x = 1 + x + \frac{x^2}{2!} + ...$$

<u>اشتقاق اينشتاين لقانون بلانك</u>

في عام 1917 قدم اينشتاين اشتقاقا مبسطا لقانون بلانك وهو يعتمد على احتمالية الانبعاث والامتصاص وكما يلي:

لنفرض وجود مستويين للطاقة E_1 و E_2 بحيث الأول يحتوي على n_1 من المتذبذبات والثاني يحتوي على n_2 من المتذبذبات

فرق الطاقة بين المستويين $E_2-E_1=hf$ وان كثافة الطاقة $\rho(f_{12})$



هناك ثلاث حالات للانتقال هي:

1- الانتقال التلقائي: هو انبعاث ذاتي من المستوي الأعلى للطاقة E_2 الى المستوي اللأقل طاقة E_1 وبتردد f_{12} دون أي تأثير من الشدة الساقطة واذا كانت A_{12} تمثل احتمالية هذا فيكون عدد المتذبذبات في وحدة الزمن التي تبعث اشعاع ذو تردد f_1 هو n_2A_{21}

2- الانبعاث المحفز: هو الانبعاث الذي يتم نتيجة تحفيز المتذبذبات في E_2 من قبل كثافة الإشعاع $\rho(f_{12})$ واذا كانت B_{21} تمثل احتمالية هذ الانبعاث فأن عدد المتذبذبات في وحدة الزمن n_2B_{21}

3- الامتصاص: هو الانتقال من المستوي E_1 الى المستوي E_2 عن طريق امتصاص طاقة من الشدة الساقطة واذا كان B_{12} تمثل احتمالية الانتقال فأن عدد المتذبذبات التي تنتقل من E_1 الى E_2 في وحدة الزمن هي n_1B_{12}

في حالة التوازن الحراري

عدد الذرات من E_1 الى E_2 (N_{21}) = عدد الذرات من E_2 الى E_1 (N_{12})

انبعاث تلقائي + انبعاث محفز= امتصاص

$$n_1B_{12}\rho(f_{12}) = n_2B_{21}\rho(f_{12}) + n_2A_{21}$$

$$n_1B_{12}\rho(f_{12}) = n_2B_{21}\rho(f_{12}) + A_{21}$$

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{B_{12}\rho(f_{12})}{A_{21} + B_{21}\rho(f_{12})}$$

ومن قانون بولتزمان $n = n_o \exp(-E/KT)$ نحصل على:

$$\frac{n_2}{n_1} = \exp(-(E_1 - E_2))$$

$$\exp(-hf_{12}/KT) = \frac{B_{12}\rho(f_{12})}{A_{21} + B_{21}\rho(f_{12})}$$

$$\frac{A_{21}}{\rho(f_{12})} = B_{12}e^{hf_{12}/KT} - B_{21}$$

وفي حالة التوازن نفترض ان $B_{21}=B_{12}$

$$\rho(f_{12}) = \frac{A_{21}}{B_{12}(e^{hf_{12}/KT} - 1)}$$

من مقارنة هذه المعادلة مع قانون بلانك نحصل على :

$$\frac{A_{21}}{B_{21}} = \frac{8\pi {f_{12}}^3}{c^3}$$

$$\Rightarrow \rho(f_{12}) = \frac{8\pi {f_{12}}^3}{c^3}\frac{1}{e^{hf_{12}/KT} - 1}$$

مثال:

احسب طول الموجة التي تكون فيها طاقة وحدة الحجم $\rho(\lambda)$ للإشعاع الجسم الأسود وعند نهايتها العظمى ثم استنتج نظريا من قانون بلانك قانون واين للإزاحة $\lambda_{max}T = b$ ثم بين ان قيمته هي $\frac{hc}{4.965} = 2.898x10^{-3}mK$ حيث K هو ثابت بولتزمان

مثال2 اثبت ان الطاقة الكلية المنبعثة في وحدة الزمن من وحدة المساحة تتناسب مع T^4 وهي تتفق مع قانون ستيفان

الحل1 من العلاقة

$$\rho(\lambda) = \frac{8\pi hc}{\lambda^5[\exp(hc/\lambda KT) - 1]}d\lambda$$

وعند الشدة العظمى $\frac{d\rho(\lambda)}{d\lambda} = 0$ ومنه نحصل على القيمة العظمى λ_{max} =2.898x10^{-3}

الحل2)

$$\rho = \int_0^\infty \rho(f)df$$

$$\rho = \frac{8\pi^5 K^4 T^4}{15c^3 h^3} \Rightarrow \rho = nT^4$$

وهو يتفق مع القانون

مثال3) ماهو الطول الموجي الذي تصل فيه شدة الإشعاع في الجسم الأسود عند نهايتها العظمى في درجة حرارة $6000K^o, 1000K^o, 300K^o$ ؟

$$\lambda_{\max} T = b$$

$$\lambda_{\max} = \frac{b}{T} = 0.2898/300 = 0.00096cm$$

مثال4) احسب القدرة الكلية للاشعاع الجسم الاسود بدرجة حرارة الصفر المئوي وَ 100

$$\rho = \sigma T^4$$

$$\sigma = 0.567x10^{-4} erg/cm^2.\sec$$

مثال5) بين ان وحدات ثابت بلانك h هب نفس وحدات الزخم الزاوي

h=Joul. sec

Joul=N.m

$N=Kg.m/sec^2$

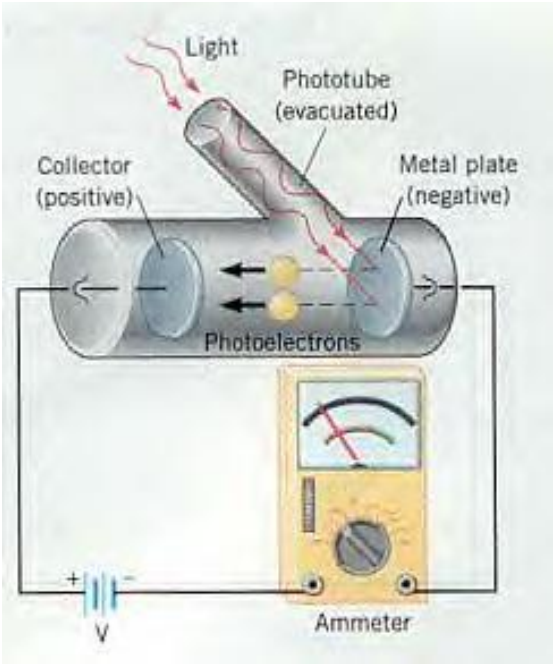
$h=kg\ m^2/sec$

الظاهرة الكهروضوئية

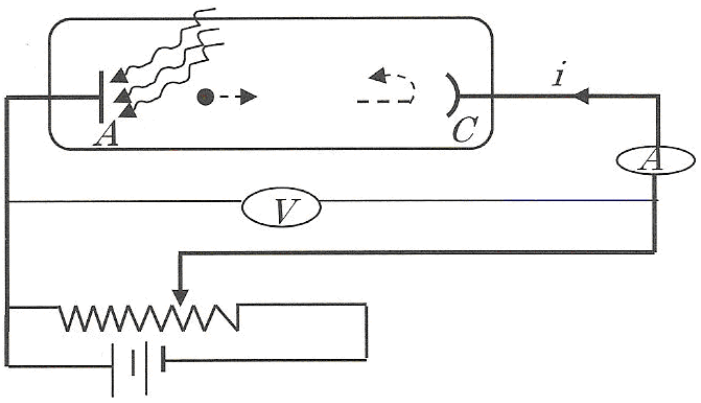
يمكن تقسيم الانبعاث الالكتروني انبعاث حراري، انبعاثات ثانوية انبعاثات بواسطة المجال الكهربائي و الظاهرة الكهروضوئية

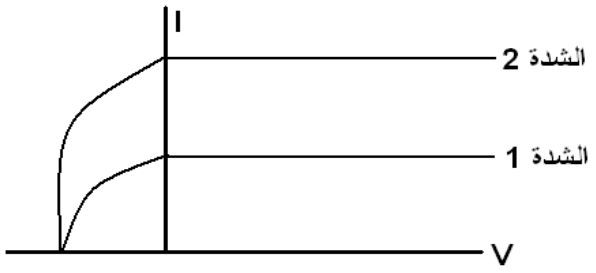
ان انبعاث أللالكترونات من المادة نتيجة لأضاءتها بإشعاع كهرومغناطيسي ذو تردد مؤثر تسمى بالظاهرة الكهروضوئية وقد اكتشفت من قبل العالم هرتز 1887 والذي لاحظ وجود شرارة كهربائية بين جسمين مشحونين يكون أسهل عند ما تضاء الفجوة بينهما بضوء ويمكن دراسة هذه الظاهرة

1- نربط دائرة تحتوي على مصدر يمكن تغيير و mA وَ (V) لقياس الجهد بين الباعث والجامع
2- يتم إسقاط ضوء أحادي اللون عن طريق نافذة من الكوارتز على اللوح السالب Emitterفنلاحظ انحراف المؤشر



3- نلاحظ عند زيادة جهد الجامع collector الموجب سوف يزداد التيار الى ان تصل قيمة التيار الى قيمة ثابتة لا تزداد مهما ازداد جهد الجامع



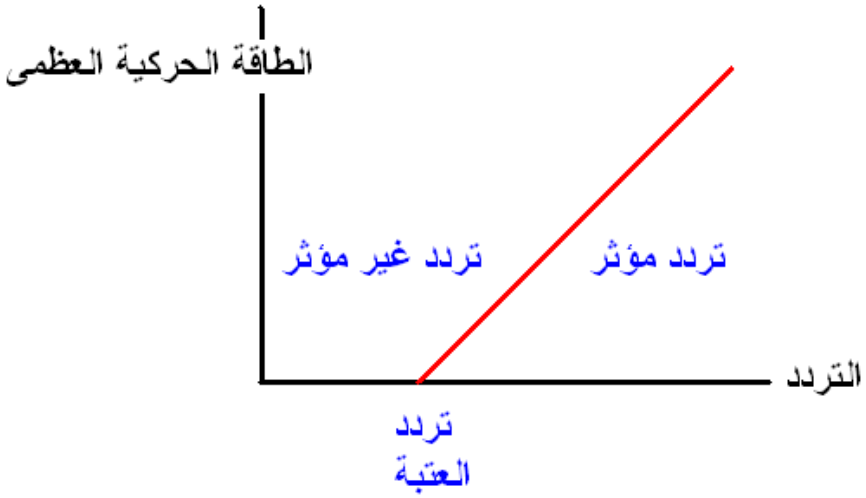


4- عند مضاعفة شدة إضاءة الضوء الساقط ولنفس التردد السابق سوف يتضاعف تيار الإشباع (لان عدد الفوتونات سوف يتضاعف)

5- اذا عكست فولتية المصدر وأصبح الجامع سالبا وزيد الجهد السالب بالتدريج حتى يصبح التيار صفر يسمى هذا الجهد بجهد القطع وهو لا يعتمد على شدة الضوء الساقط بل هو مقياس للطاقة الحركية العظمى للالكترونات الضوئية وعند جهد قطع فأن الطاقة الحركية العظمى للالكترونات تساوي جهد القطع مضروب بشحنة الإلكترون

$$\frac{1}{2}mv^2 = V_o e \qquad e = 1.6x10^{-19}C$$

6- ان زيادة تردد الضوء الساقط فأن الطاقة الحركية العظمى سوف تزداد أي انها تتناسب طرديا مع التردد وهناك تردد يسمى تردد العتبة لا يتولد دونه أي انبعاث كهرو ضوئي كما في الشكل



مما سبق يمكن استنتاج ما يلي:

حصول انبعاث كهر وضوئي عند تردد مؤثر ولا تنبعث الالكترونات عند تردد اقل

تنبعث الالكترونات بسرع مختلفة من الصفر الى القيمة العظمى (حسب موقعها في السطح)

يتناسب عدد ا الالكترونات المنبعثة مع الشدة الساقطة

تتناسب طاقة الالكترونات المنبعثة مع تردد الضوء الساقط

فشل النظرية الكهرومغناطيسية في تفسير الظاهرة الكهروضوئية

حسب النظرية الكهرو مغناطيسية (الضوء عبارة عن موجات) فأن ما سقط على الكترونات فلز يؤدي الى انبعاثها نتيجة لتأثرها بالمجال الكهربائي وهذا يعني زيادة شدة الضوء الساقط (زيادة المجال الكهربائي) يؤدي الى:

النظرية الكهرومغناطيسية	النتائج التجريبية
1- زيادة عدد الالكترونات المنبعثة	زيادة عدد الالكترونات المنبعثة
2- زيادة الطاقة الحركية العظمى	لا يؤثر على الطاقة الحركية العظمى بثبوت التردد

ان التناقض الموجود في النقطة رقم (2) فيما يخص الطاقة الحركية حيث تؤكد النظرية الكهرومغناطيسية بان سقوط الضوء مهما كان التردد سوف يؤدي الى انبعاث الالكترونات وذلك بزيادة الشدة واطالة الزمن الذي يؤدي الى ان الالكترونات سوف تجمع طاقة كافية للانبعاث اما الظاهرة الكهرومغناطيسية التجريبية على ان لكل مادة تردد معين لا يحصل انبعاث مهما زيدت الشدة وطال الزمن

معادلة اينشتاين الكهروضوئية

استطاع العالم اينشتاين تفسير الظاهرة الكهروضوئية وفق نظرية الكم حيث ان الإلكترون الذي يمتص طاقة فوتون واحد مقدارها hf ينجز شغلا وينتقل وينتقل من السطح وان وحدات هذا الشغل يعتمد على دالة الشغل حيث ان أعظم طاقة حركية هي:

$$1/2mv^2=E_{max}=hf-w_o$$

وهي تمثل معادلة اينشتان وعند تردد العتبة فأن

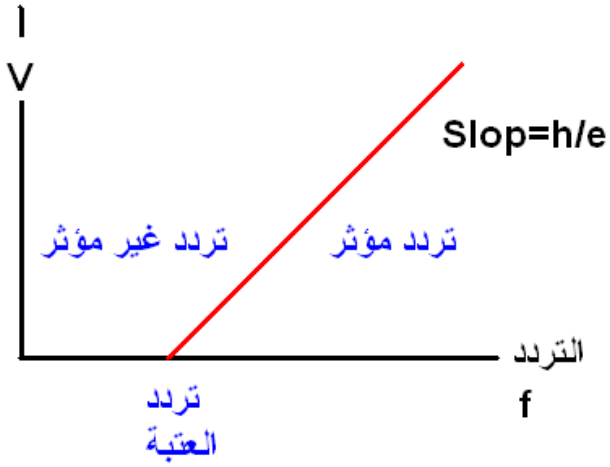
$$0=hf_o-w_o$$

$$W_o=hf_o$$

وباستخدام المعادلة $E_{max}=hf-w_o$ يمكن كتابة معادلة اينشتاين مرة اخرى بالشكل:

$$V_o e = hf - w_o$$

وعند رسم هذه المعادلة نحصل على خط مستقيم ميله يساوي h/e ومن معرفة شحنة الإلكترون يمكن حساب h



ان معرفة تردد العتبة يعطي فكرة عن طبيعة المادة وبالتالي يوضح مدى طاقة الالكترونات في حزمة التوصيل التي حددتها النظريات الحديثة (السمرفيلد) وان أعظم طاقة لهذه الحزمة تسمى طاقة فيرمي

$$E_f = \frac{h}{2m}\left(\frac{3n}{8\pi}\right)^{2/3}$$

n هي عدد الإلكترونات لحزمة التوصيل في وحدة الحجم ، m كتلة الإلكترون لإذا كانت E_s تمثل الطاقة اللازمة لتحرير الإلكترون في اوطا مستوي للطاقة ، E_i طاقة الإلكترون وتتراوح بين $0 \to E_f$ وعند سقوط ضوء بطاقة hf فأن

$$E_k=hf-(E_s-E_i)$$
$$E_k=hf-w_o$$
$$(w_o=E_s-E_i)=hf_o$$

مثال1) ضوء طول موجته $5000A^o$ سقط على سطح دالة شغله 1.9ev جد:

1- طاقة الإلكترون الساقط بوحدة إلكترون فولت
2- الطاقة الحركية لأسرع الإلكترونات
3- جهد الإيقاف

مثال2) اذا كانت دالة الشغل للبوتاسيوم 2ev وسقط عليه ضوء طول موجته 3600A احسب جهد الإيقاف والطاقة العظمى وسرعة الإلكترونات

مثال3) اذا كانت طول موجة العتبة هي 6525A جد جهد الإيقاف عندما يضاء المعدن أ-باستخدام طول موجي 4000A ب- باستخدام طول موجي ضعف الطول السابق ج- لمعدن آخر يمتلك دالة شغل ضعف المعدن السابق

الحل)

$$V_o e = hf - w_o \Rightarrow Ve = hf - hf_o$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

مثال4) اثبت ان السرعة القصوى للإلكترونات الكهروضوئية هي $v_o = 5.93x10^7\sqrt{v_o}$

الحل:

$$V_o e = 1/2mv^2{}_{\max} \Rightarrow v_{\max} = \frac{2V_o}{m} = \sqrt{\frac{2x1.6x10^{-19}}{9.1x10^{-31}}}\sqrt{V_o}$$

ضغط وزخم الإشعاع

وفق النظرية الكهرومغناطيسية فأن الإشعاع سوف يولد ضغط مقداره P واذا كان السطح ماص تام فأنه P-W حيث W كثافة الطاقة لوحدة الحجم أما اذا كان جزء من الإشعاع الساقط ينعكس فأن

$$P = (1-\nu)W$$

اما الزخم الخطي للإشعاع فأن مقداره لوحدة الحجم $P = \frac{W}{c}$

اما من وجهة نظر الميكانيك الكمي والنسبية فأن

$$E^2 = P^2c^2 + m_o{}^2c^4$$

$$Since\ P = \frac{E}{c} = \frac{hf}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

فأذا كان هناك فوتون واحد ساقط فأن $P = \frac{h}{\lambda}$ هو الضغط الذي يسلطه هذا الفوتون على السطح فأذا كان n هو عدد الفوتونات لوحدة الحجم A مساحة السطح لإن معدل سقوط الفوتونات هو ncA وبذلك يصبح الضغط هو:

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

لعدد من الفوتونات ، اما وفق قانون نيوتن فأن الضغط الناتج من الإشعاع هو

$$P = nhf = W$$

الزخم الزاوي للإشعاع:

ان الفوتون الساقط يمتلك زخما زاويا وفق النظرية الموجية لأنه يرتبط بالاستقطاب الدائري اما النظرية الكمية فأن زخم الفوتون الزاوي يأخذ قيمة مقدارها $\hbar$ ناتجة عن التدويم وفي عام 1909 اكتشف بونتك فأن الزخم الزاوي لوحدة المساحة لحزمة مستقطبة دائريا G يعطى من العلاقة

$$G = \frac{\lambda}{2\pi} Pv = \frac{\lambda W}{2\pi c}$$

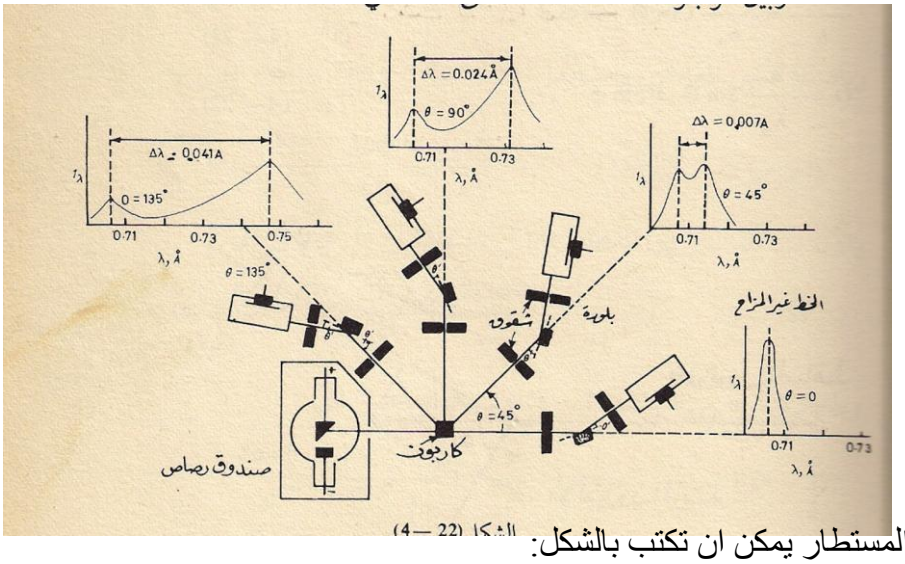
ظاهرة كومتن Compton Effect (Compton Scattering)

تبعا للنظرية الكلاسيكية تتحرك الإلكترونات الذرية حركة توافقية بسيطة بتأثير المجال الكهربائي للموجة الساقطة وتشع هذه الإلكترونات إشعاع له نفس تردد الموجة الساقطة. ويلاحظ ان مثل هذا الإشعاع المستطار الذي يساوي تردده الموجة الساقطة خلال مدى الطيف الكهرومغناطيسي كله ولكنه يكون ضعيفا في الترددات العالية وهذا يعني ام معدل الفوتونات المستطاره يكون اقل وقد وجد كومتن عمليا بان الحزمة المستطارة تحتوي على ترددين أحداهما هو نفس تردد الحمة الساقطة والآخر اقل منه بقليل.

لقد استخدم قطعة من الكرافيت لآ ستطارة الإشعاع K_α للمولبدونيوم طول الموجة 0.707A وقد قاس الطول الموجي للفوتونات المستطارة استخدام مطياف براك ذو البلورة الواحدة ولزاوية استطارة محددة لاحظ كومت وجود قيمتين في الحزمة المستطاره واحدة عند طول الموجة الساقطة 0.707A والأخرى عند طول موجة أطول منه بالمقدار $\Delta\lambda$ والذي يعتمد على زاوية الاستطارة θ حسب المعادلة التالية:

$$\Delta\lambda = 0.02426(1-\cos\theta)\,A^o$$

وبين كومتن ان هذا المقدار لا يعتمد على المادة التي تستطار الأشعة منها



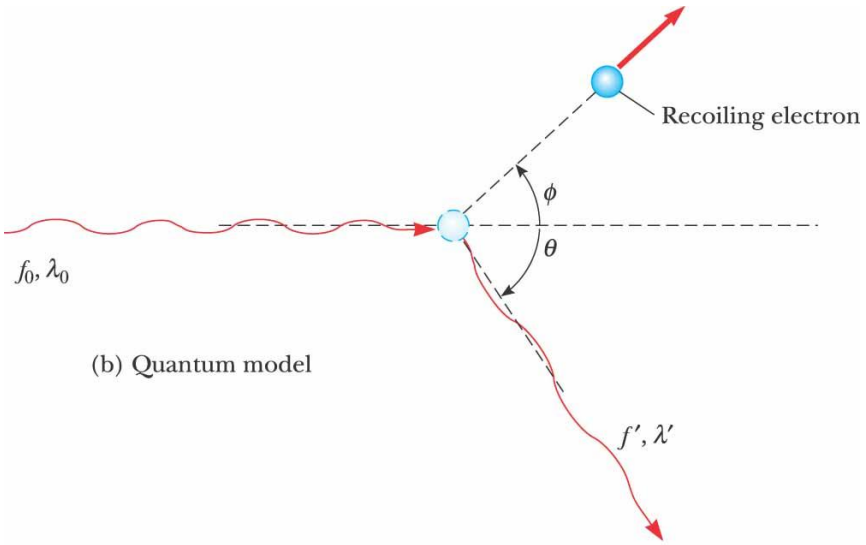
الشكل (22 — 4)

طاقة الفوتون المستطار يمكن ان تكتب بالشكل:

$$hf = hf_o + (m - m_o)c^2$$

وكل فوتون يحمل زخما يساوي طاقته مقسوما على سرعة الضوء c او h/λ وبما الزخم كمية اتجاهية فأن مركباته بألتجاه X والأتجاه Y تكتب بالشكل

$$\frac{h}{\lambda} = \frac{h}{\lambda_o}\cos\theta + p\cos\phi$$



©2004 Thomson - Brooks/Cole

حيث p تمثل زخم الألكترون المرتد ووفق النظرية النسبية الخاصة حيث العلاقة بين كتلة الألكترون المرتد m وكتلته السكونية m_o هي :

$$m = m_o / \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

$$m^2 v^2 = p^2 = c^2 (m^2 - m_o)$$

لنحذف الزاوية φ من المعادلتين:

$$p^2 \cos^2 \phi = h^2 \left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{2\cos\theta}{\lambda\lambda_o} + \frac{\cos^2\theta}{{\lambda_o}^2}\right)$$

$$p^2 \sin^2 \phi = h^2 \left(\frac{\sin^2\theta}{{\lambda_o}^2}\right)$$

$$p^2 = h^2 \left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{2\cos\theta}{\lambda\lambda_o} + \frac{1}{{\lambda_o}^2}\right)$$

ولان عند حذف p من المعادلتين ( ) نحصل

$$c^2 (m^2 - {m_o}^2) = h^2 \left(\frac{1}{\lambda^2} - \frac{2\cos\theta}{\lambda\lambda_o} + \frac{1}{{\lambda_o}^2}\right)$$

وبا يجاد قيمة m من المعادلة ( ) وتربيعها نحصل على

$$m^2 = {m_o}^2 + \frac{2m_o h}{c}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_o}\right) + \frac{h^2}{c^2}\left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_o}\right)^2$$

ثم يعطي حذف m^2 من المعادلتين العلاقة التالية:

$$m_o c(\lambda_o - \lambda) - h = -h\cos\theta$$

$$\Rightarrow \Delta\lambda = \lambda_o - \lambda = \frac{h}{m_o c}(1 - \cos\theta)$$

وعند الجسم المرتد إلكترونا فيمكن حساب الكمية $h/m_o c$ والتي تساوي 0.02426A ويطلق عليها طول موجة كومتن للألكترون وهي تساوي طول موجة الفوتون الذي طاقته تساوي الطاقة السكونية للإلكترون فتكتب المعادلة السابقة بالشكل

$$\Delta\lambda = \lambda_o - \lambda = 0.02426(1 - \cos\theta)$$

ومعادلة كومبتن تكتب بدلالة التردد بالشكل التالي:

$$\frac{1}{hf_o} - \frac{1}{hf} = \frac{1}{m_o c^2}(1 - \cos\theta)$$

الكترونات كومتن المرتدة

لقد تم اكتشاف أللالكترونات المرتدة بواسطة ولسون ويمكن إثبات وجودها نظريا من

$$E_k = (m - m_o)c^2 = hf_o - hf$$

وعند الرمز للكمية hf/m_oc^2 بالحرف α فيمكن البرهنة على ان :

$$E_k = hf \frac{2\alpha \cos^2 \theta}{(1+\alpha)^2 - \alpha^2 \cos^2 \theta}$$

$$E_k = hf \frac{\alpha(1-\cos\theta)}{1+\alpha(1-\cos\theta)}$$

وفي عام 1927 بين بليس ان الطاقة الحركية للإلكترونات المرتدة على اتفاق مع النظرية واستنتج العلاقة

$$\cot\phi = (1+\alpha)\tan(\theta/2)$$

تعتمد نظرية كومتن على ان ارتداد الألكترون يحدث آنيا مع استطارة الفوتون