الفصل الأول

مدخل الى الظواهر الكمية

مقدمة

عجز الميكانيك الكلاسيكي

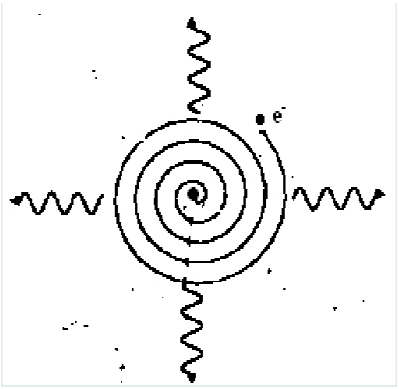
في نهاية القرن التاسع عشر، اعتقد الكثير من العلماء أن كل الاكتشافات العلمية الفيزيائية قد تم إنجازها وفهمها وأنه لم يبقى إلا بعض المسائل البسيطة التي تحتاج لمزيد من الإيضاح. وهذا باست كمالهم صياغات الميكانيك الكلاسيكي على أفضل وجه من خلال صياغات هاملتون لالغرانج لمعادلات الحركة الحرة والقسرية على السواء. كذلك صياغة معادلات ماكسويل للمجال الكهرومغناطيسي الذي فتح أفاقا ممتازة لفهم الخصائص الفيزيائية والهندسية لإشعاعات الكهرومغناطيسية عموما وللضوء بوجه خاص، فطورت نظرية علم البصريات على نحو غري مسبوق. كما قدمت النظرية الحركية للغازات عبر استخدام الميكانيك الإحصائي لبولتزمان صورة دقيقة للبنية الجزيئية للمادة وتمّكنت من حساب الكميات الفيزيائية الجهرية Macroscopic المتعلقة بقوانين الغازات على نحو بديع لم يسبق للعقل البشري أن قدمه من قبل.

إلا أنه في بداية القرن العشرين أظهرت الفيزياء الكلاسيكية عجزاً وفشلاً بالغين أمام بعض الظواهر التي بدت أول الأمر تافهة، وأصبح من الواضح أن ما كان يعتبر من المسلمات في الفيزياء الكلاسيكية بحاج ة إلى مراجعات جذرية حيث تبين ان معادلات ماكسويل غير صامدة بتحويلات غاليليو وان قانون السرعات لا ينطبق ع لى سرعة الضوء في الفراغ كما تبن ايضا عجز ها في المجال الذري Microscopic.

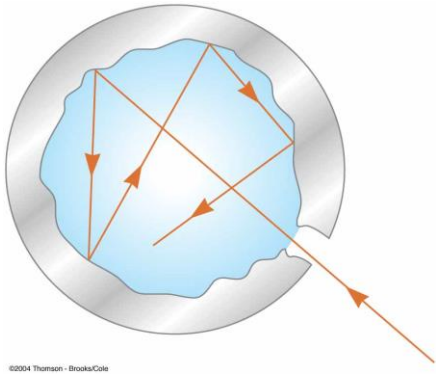
ومن أهم هذه الظواهر ظاهرة إشعاع الجسم الأسود والظاهرة الكهروضوئية , انبعاث خطوط الأطياف المرئية من ذرات الغاز المثار, أطياف الأشعة السينية وظاهرة كمبتون والتي تأخر تفسيرها إلى أن وضعت نظرية جديدة تحدد طبيعة الموجات والجسيمات بالإضافة إلى التضارب الصارخ الموجود في استقرار الذرات.

استقرار الذرات

من المعلوم أن الذرات مستقرة في الطبيعة ومعلوم أيضا أنها تملك الإلكترونات تتحرك متسارعة حول النواة، وبناءاً على مفاهيم الفيزياء الكلاسيكية (الإكتروديناميك الكلاسيكي) فإن الشحنات الكهربائية المتسارعة تفقد طاقة في شكل إشعاع، أي أن الإلكترونات ستفقد كل طاقتها مع مرور الزمن وبالتالي ستقع على النواة أي تنهار الذرات وهذا الأمر لا يحدث، فهو دليل على عجز المفاهيم الكلاسيكية على تفسير وفهم ما يحدث



اشعاع الجسم الأسود



ان مسالة اشعاع الجسم الاسود تعتبر من المسائل الرئيسية التي شغلت بال الفيزيائيين في نهاية القرن التاسع عشر؛ وجد تجريبيا انبعاث اشعاعات حرارية من أي جسم وتختلف خصائص هذه الإشعاعات باختلاف درجة حرارته ؛ فعندما يسقط شعاع ضوئي على جسم فان هناك نسبة من هذه الأشعة تنعكس من الجسم وأخرى تمتص أو تتفذ خلال الجسم. وتختلف هذه النسب باختلاف نوع الإشعاع الساقط. لقد كانت دهشة العلماء كبيرة عندما لاحظوا أن الجسم الأسود يمتص كل الألوان الساقطة عليه وبعد فترة يبعث هذا الاشعاع مرة أخرى. يمكن من الناحية العملية عمل نموذج للجسم الأسود على انه صندوق به فتحة صغيرة يدخل منها الإشعاع ويبدأ الإشعاع بالانعكاسات المستمرة بداخله إلى أن يفقد كل طاقته بالداخل,

تفسير ظاهرة اشعاع الجسم الأسود

تفسير فين : قدم العالم فين افتراضه بأن الإشعاع عبارة عن غاز من الجزيئات وتوصل إلى أن توزيع هذا الإشعاع يعطى ب:

$$u(\nu,T) = A\nu^3 e^{\frac{-\beta\nu}{T}} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (01)$$

ويتفق هذا القانون مع الطاقات العالية في الأطوال الموجية القصيرة ولكنه فشل في تفسير الجزء الخاص بالأمواج الطويلة

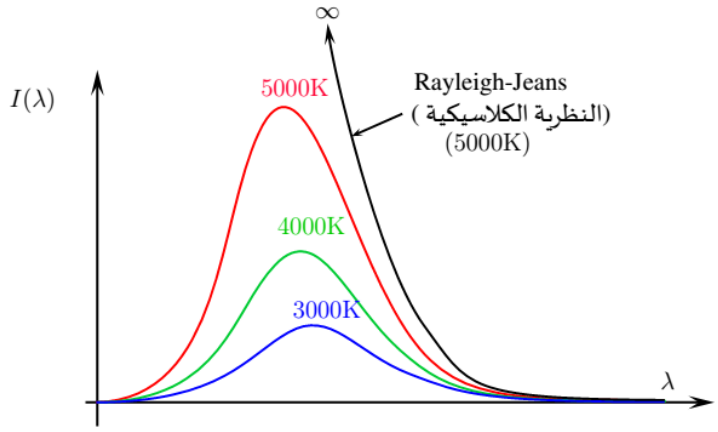
تفسير رايلي-جونز قدم العالمان رايلي-جونز تصورا لكيفية اشعاع الجسم الأسود على النحو التالي :بما أن جدران الجسم تتكون من ذرات وهذه الذرات بها شحنات تتحرك حركة اهتزازية بناء على النظرية الكلاسيكية التي تنص بأن الشحنات المتسارعة تنطلق منها موجات كهرومغناطيسية وبالتالي فإن الإشعاع يمكن أن ينطلق من هذه الذرات وبهذه الطريقة ينبعث الإشعاع من الجسم و عليه وضع العالمان القانون التالي

$$u(\nu,T) = \frac{8\pi\nu^2}{c^4} kT \dots\dots\dots\dots\dots\dots (02)$$

حيث k هو ثابت بولتزمان و ν تردد الضوء المنبعث,

ينطبق هذا القانون بصورة جيدة مع التجارب المعملية في حالة الأطوال الموجية الطويلة (منخفضة الطاقة) ولكن في حالة الأطوال الموجية القصيرة أي القريبة من الصفر تصبح كثافة الطاقة المنبعثة لانهائية ولا يتفق هذا مع التجربة فنحن نعلم أن الأشعة فوق البنفسجية لها طول موجي قصير جدا ولهذا السبب أصبحت هذه المشكلة تعرف بإسم **الكارثة الأشعة فوق بنفسجية**

الشكل التالي يوضح النتائج التجريبية لمنحنيات توزيع شدة الإشعاع في طيف الجسم الأسود عند درجات حرارة مختلفة بالإضافة الى تفسير رايلي-جونز



تغير دالة كثافة الإستطاعة في وحدة المساحة الناتجة عن جسم أسود بدلالة طول الموجة.

تفسير بلانك:

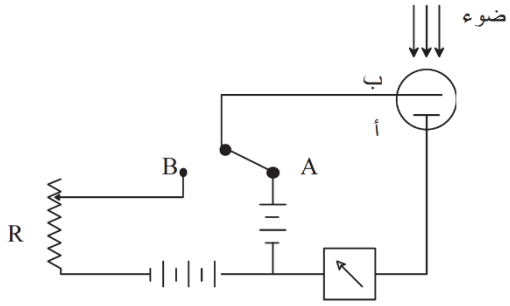
لم تفلح جميع القوانين السابقة في تفسير اشعاع الجسم الأسود بصورة كاملة , وكانت محدودة في تطابق النتائج التجريبية والنظرية ,ولذلك وصل العالم ماكس بلانك إلى أن عدم التطابق السابق جاء من استخدام القوانين الكلاسيكية لتفسير هذه الظاهرة وافترض أن الطاقة لا تمتص ولا تفقد بصفة مستمرة ولكن عملية الامتصاص والانبعاث هي عملية مكممة أي أن الأمواج الكهرومغناطيسية ذات الترداد $\boldsymbol{\nu}$ تحمل طاقة $nh\nu$ حيث $\boldsymbol{n}$ عدد طبيعي و $\boldsymbol{h}$ ثابت بلانك و نكتب

$$E = h\boldsymbol{\nu} = \hbar\boldsymbol{\omega} \dots\dots\dots\dots\dots (03)$$

لاحظ ان بلانك ادخل مبدأ التكميم على المتذبذبات في الجسم الأسود وأنها لها طاقات محددة وبقيم محددة بالعدد الكمي و لا وجود لقيم متصلة للطاقة كما افترض العالمان رايلي-جونز أي أن هناك تبادل للطاقة بين الضوء والوسط يتم على صورة كمات من الطاقة وليست بشكل مستمر (أي بشكل كمي وليس مستمر) ولذلك سميت النظرية الكمية.
وتوصل بلانك إلى القانون التالي لتوزيع

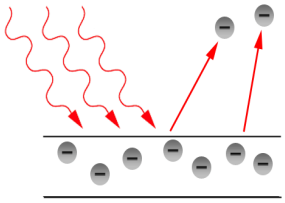
$$u(\nu, T) = \frac{8\pi h}{c^3} \frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT} - 1} \dots\dots\dots\dots\dots (04)$$

المفعول الكهروضوئي:



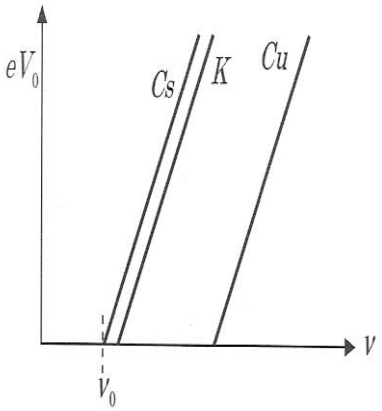
إن اسقاط الضوء أحادي اللون على سطح المعدن يسبب اصدار الكترونات ولتفسير ما يحدث هو أن جزء من طاقة الشعاع الكهرومغناطيسي يمتصها الإلكترون المرتبط بالمعدن فيتحرر منه ويكتسب طاقة حركية . ونتيجة تحرر هذه الالكترونات يتولد تيار كهروضوئي

تعتمد هذه العملية على العديد من المتغيرات و هي :



- تردد و شدة الشعاع الكهرومغناطيسي
- التيار الكهروضوئي الناتج
- طاقة حركة الإلكترون المتحرر من المعدن
- نوع المعدن

اعتماد على قوانين الفيزياء الكلاسيكية للضوء و التي تقول ان الطاقة الحركية الناتجة عن طريق موجة ما متعلق مع تواترها لكن وجد ما يلي :



- لا تنبعث اي الكترونات من السطح المعدني مهما كانت شدة الضوء الساقط إلا اذا كان تردد الضوء أكبر من قيمة معينة تدعى بتردد العتبة $\nu > \nu_0$ و يختلف هذا التردد باختلاف المعدن كما في الشكل الموالي
- لا تتعلق لا سرعات الإلكترونات المنبعثة و لا طاقتها الحركية بشدة الاشعاع الضوئي الساقط بل تزداد طاقة الالكترونات بزيادة تردد الضوء الساقط.

لم يتمكن العلماء من إيجاد تفسير لهذه الظاهرة إلى ان طبق العالم اينشتاين عام 1905 مبدأ بلانك على الإشعاع الكهرومغناطيسي وبناء عليه فإن الأشعة عبارة عن جسيمات سمها بالفوتونات ويحمل كل فوتون طاقة مقدارها E تعتمد على تردد الإشعاع حيث

$$E = h\nu \dots\dots\dots\dots (05)$$

ان الطاقة التي يملكها الفوتون $E = h\nu$ جزء منها W يتسبب في تشريد الالكترونات من المعدن و الجزء الباقي تكتسبه الالكترونات على شكل طاقة حركية E_k فتكون بذلك أقصى طاقة حركية يمتلكها الالكترون هي

$$E_k = \hbar w - W \dots\dots\dots\dots\dots (06)$$

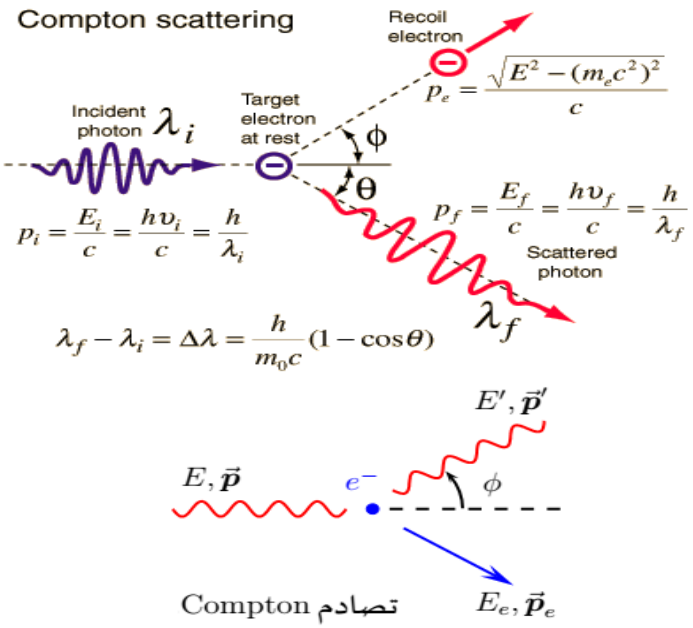
حيث $\hbar = \frac{h}{2}$ و $W = \hbar w_0 = h\nu_0$ ثابت خاص بالمعدن و يسمى بدالة العمل

النظرية الكهرومغناطيسية والتأثير الكهروضوئي :

وجه المقارنة	توقعات النظرية الكهرومغناطيسية	نتائج مختبرية
تحرر الالكترونات يعتمد على	شدة الضوء وليس تردده ،أحمرساطع يحرر أخضر خافت لا يحرر	تردد الضوء وليس شدته أخضرخافت يحرر أحمرساطع لا يحرر
طاقة حركة الإبكترونات المتحررة ($K.E_m$) تعتمد على	شدة الضوء وليس تردده	تردد الضوء وليس شدته
عدد الالكترونات المتحررة يعتمد على	شدة الضوء مهما كان تردده	شدة الضوء شرط أن يكون تردده كافياً
زمن تحرر الإلكترونات يعتمد على	يستغرق وقتاً إذا كانت الشدة منخفضة . ومباشرة إذا كانت الشدة عالية	مباشرة بشرط أن يكون التردد مناسباً سواء أكانت الشدة منخفضة أو عالية .

المفعول كومبتون

في هده التجربة تتجلى الصفة الجسيمية للإشعاع ، نقوم بتسليط اشعة سينية على بلورة القرافيت النقي (الكربون) الذي طول موجته من رتبة A° .



تصادم Compton

حسب المفاهيم التقليدية فإنه يجب على الاشعة المتناثرة أن يكون لها نفس طول الموجة الذي كان للأشعة الواردة لكن وجد مايلي:

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

أي أن طول الموجة الاشعة المتشتتة أكبر من طول الأشعة الواردة .

تم تفسير مفعول كومبتون بافتراض ان الاشعة تتصرف كحزمة فوتونات أي جسيمات تتعرض لصدمة مرتة من إلكترونات يتم فيها احترام قوانين انحفاظ الطاقة و كمية الحركة

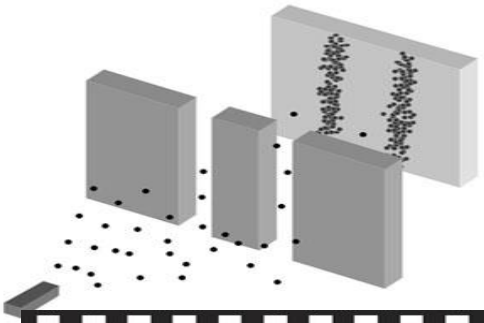
تطبيقات ظاهرة التأثير الكهروضوئي

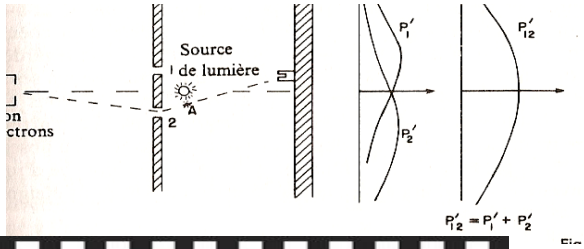
ومن الجدير بالذكر أهم تطبيقات ظاهرة التأثير الكهروضوئي نجدها في صناعة المجسات الضوئية حيث يتم تحويل الضوء إلى إلكترونات تشكل تيارا كهربائيا أوفرق جهد يؤشر شدة الضوء الساقط على المجس فنعرف منها شدة ذلك الضوء .وهذه تستخدم في جميع الكاميرات الملحقة بأجهزة الخلوي. ومن تلك التطبيقات أيضا: الحواجز الضوئية barriers light التي تفتح الأبواب عند التقاطع معها. ،الخلايا الشمسية التي تحول ضوء ال شمس إلى طاقة كهربائية، مفاتيح إضاءة مصابيح الشوارع وغيرها

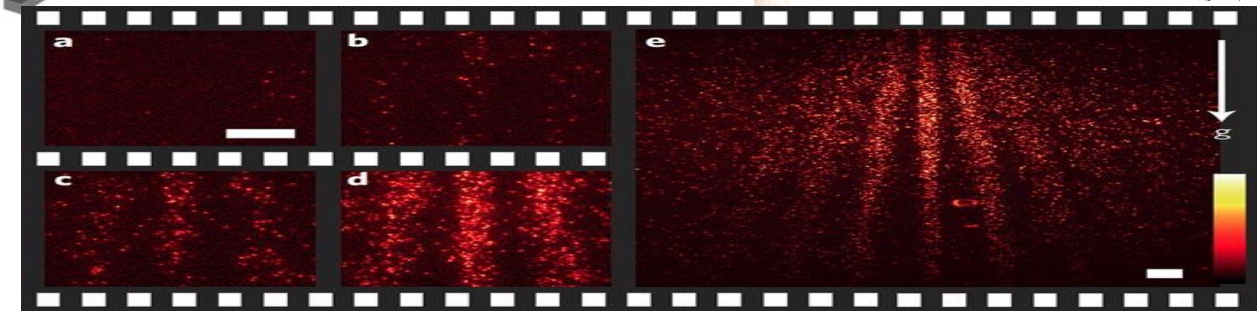
الثنائية موجة-جسيم:

إن تجربة شقي Young تؤكد أن للضوء طبيعة موجية، كما تؤكد ذلك ظاهرة انعراج الأشعة السينية. و بالتالي فإن للضوء صفة موجية و جسيمية مزدوجة.

الطبيعة الجسيمية تظهر عندما يكون هناك تبادل طاقوي بين الجسيمات - مثلا في الفعل الكهروضوئي و مفعول Compton، بينما الطبيعة الموجية تظهر عندما تكون الطاقة محفوظة، أي أن طاقة الجسيمات (و بالتالي ترددها) يبقى ثابتا قبل و بعد الظاهرة.







فرضية ديبرولي:

في عام 1924 م افترض ديبرولي أن الخاصية الثنائية أي الموجية الجسيمية هي خاصية عامة تتميز بها المواد عموما , ويعني هذا أنه يمكن وصف أي مادة تتحرك بخواص مشتركة بأنها موجة أو جسيم هذه الفرضية جعلت العالم ديبرولي يقرن كل جسيم مادي طاقته E و دفعه $\vec{P}$ بموجة تواترها ν وشعاع موجتها $\vec{k}$ يعطى بالعلاقة:

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}, \quad |\vec{k}| = \frac{2\pi}{\lambda} \quad \text{حيث} \quad \vec{P} = \hbar\vec{k}$$

ويمكن وصف طاقة وكمية الحركة للفوتونات كالتالي :

طاقة الفوتون تعطى ب $E = h\nu = \hbar w$

كما تعطى طاقة كتلة السكون للجسيم ب $E = mc^2$

وتكون كمية الحركة هي $P = E/c \leftarrow P = mc$

أي يمكن كتابتها على الصورة $P = \frac{h\nu}{c}$ **ونعلم أن السرعة** $c = \lambda\nu$

وبذلك تكون كمية الحركة $P = \frac{h}{\lambda}$

مثال 5 احسب الطول الموجي لكل من

- كرة تنس كتلتها $65g$ · تتحرك بسرعة $v = 45m/s \leftarrow \lambda = 2,3 \times 10^{-34}m$
- إلكترون طاقة حركته $E = 20\ 5eV$. $\leftarrow \lambda = 0.057nm$

ويتضح من هذا المثال أن للأجسام العادية (macroscopique) مثل كرة التنس طول موجي مصاحب لحركتها متناه في الصغر. وبالتالي فإن الطبيعة الموجية لهذه الأجسام لا يمكن الإحساس بها أو التعرف عليها بالتجارب التطبيقية. أما الإلكترون فإن الطول الموجي المصاحب لحركته له مقدار لا يمكن تجاهله وبالتالي مكن دراسة الخواص الموجية للإلكترون تجريبيا. وحيث ان فرضية دي برولي هذه تعتبر تغيرا أساسيا وعميقا في فهم ومعاملة الإلكترون، و لذلك العلماء ان ذاك تقبلوها بحذر شديد و بدئوا في اجراء تجارب معملية لدراسة مدى صحة هذه الفرضية.

مبدأ التقابل

ينص هذا المبدأ و الذي أفترض من قبل بور **Bohr** ان نتائج فيزياء الكم تصبح متفقة مع نتائج الفيزياء الكلاسيكية في اللحظة التي يمكن فيها اهمال ثابت بلانك $\boldsymbol{h}$.