ميكانيك الكم

Quantum Mechanics

تعني الفيزياء باكتشاف العالم برصد ظواهره وتحليلها وذلك من خلال:

الملاحظة

والفرضية

والتجربة التي إما أن تؤيد الفرضية أو تخطئها فتنفيها أو تتطلب تعديلها.

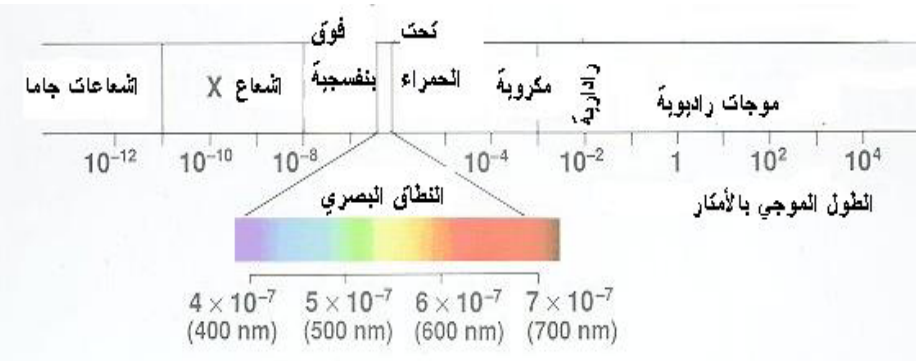
ولكي يتم تفسير ظواهر العالم عقلياً فإن بإمكان أي انسان أن يفترض ما يراه مناسبا لكن التجربة بالنتيجة ستكون هي الحكم على صحة الافتراض أو عدمه.

السلاسل الطيفية للذرات

تصدر عن المواد أثناء تسخينها أطياف لونية تختلف بحسب درجة حرارة الأجسام وبحسب نوعيتها. وقد تم دراسة هذه السلاسل الطيفية وكانت فاتحة لفهم التركيب الذري والجزيئي للمادة في علم جديد سمي علم الفيزياء الذرية والجزيئية Atomic and Molecular Physics. ونظراً لأن الأطياف اللونية هي كهرمغناطيسية فإن من الضروري فهم الطيف الكهرمغناطيسي.

تصنيف الطيف الكهرمغناطيسي:

نظرياً يمكن للموجة الكهرومغناطيسية أن تكون بأي طول كان من الصفر إلى المالانهاية. (وكذا الحال بالطبع بالنسبة إلى تردد الموجة). إلا أن الأمواج الكهرومغناطيسية المعروفة تتوزع على مدى محدد من الأطوال (الموجية (والترددات) تتراوح ما بين 100كيلومتر لأطولها و10^{-5} أنجستروم لأقصرها وقد تم تقسيم هذا الطيف الواسع إلى أنطقة معرفة لها خواص معلومة مميزة وكما يلي:



الطيف الكهرومغناطيسي

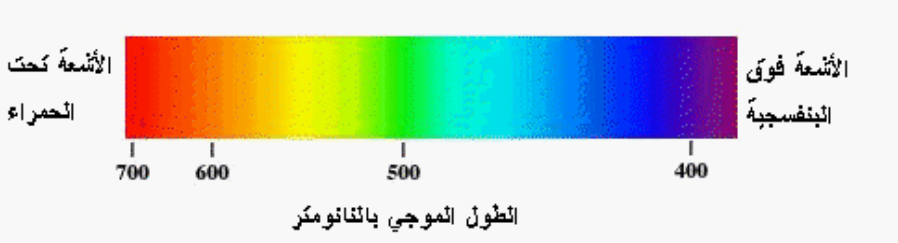
- أشعة جاما (10^{-5}-0.1) أنجستروم.
- أشعة أكس (0.1-100) أنجستروم.
- أشعة فوق بنفسجية (100-2000) أنجستروم.
- الأشعة المرئية (4000-7000) أنجستروم.
- الأشعة تحت الحمراء (1mm - 1000).
- أشعة المايكروويف (1mm-10cm).
- الأشعة الراديوية أكثر من10cm.

يتضح من هذا ضيق نطاق الأشعة المرئية إذ أنها لا تشكل إلا مساحة ضيقة جداً على الطيف الكهرومغناطيسي الواسع، أنظر الشكل.

المطياف Spectrometer:

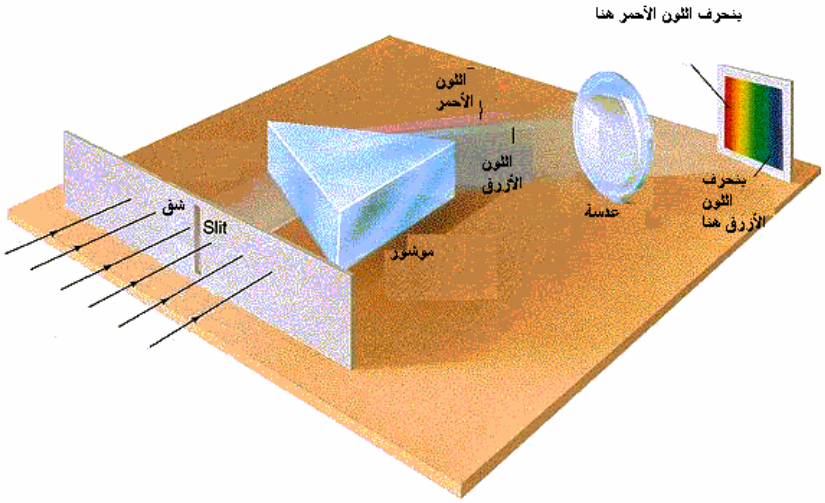
يتألف الضوء المنبعث عن الأجسام الساخنة من مختلف الأطوال الموجية ويمكن تفريق الأطوال الموجية التي تقع ضمن النطاق المرئي إلى مركباتها باستخدام المطياف.

ويتألف المطياف البسيط من ثلاثة أجزاء رئيسية وهي: **المسدد والموشور** أو محزز الحيود (وهو شريحة زجاجية حفرت عليها أخاديد مستقيمة متوازية بمسافات صغيرة جداً بينها). **وتلسكوب بسيط**، انظر الشكل حيث يقوم المسدد بتجميع الضوء المنبعث عن المصدر وتسديده إلى الموشور (أو محزز الحيود) الذي يقوم بدوره بتحليل الضوء إلى عناصره التي يتألف منها، وذلك بكسرها بزوايا مختلفة تتناسب مع أطوالها الموجية (أو ترددتها).



ولغرض رؤية الطيف الخارج من الموشور (أو محرز الحيود) فإن من الضروري استخدام تلسكوب بسيط يعمل على تمييز عناصر الطيف وتقريبها لنتمكن من رؤيتها بوضوح وفي العادة يكون الضوء المرئي مؤلفاً من ترددات كثيرة جداً تؤلف طيفاً مستمراً إلا أن بالإمكان تمييز سبعة

أنطقة بسبعة ألوان هي ألوان الطيف المعروفة: الأحمر والبرتقالي والأصفر والأخضر والأزرق والنيلي والبنفسجي.



المطياف البسيط

أنواع الطيف

1. **الطيف المستمر** Continuous Spectrum

ويظهر كنطاق واسع من الألوان المختلفة من الأحمر حتى البنفسجي متصلة ببعضها. ويمكن إنتاج هذا النوع من الأطياف بتسخين المواد الصلبة السائلة والغازية تحت ضغوط وكثافات عالية.

2. **الطيف الخطي البرّاق** Bright-Line Spectrum

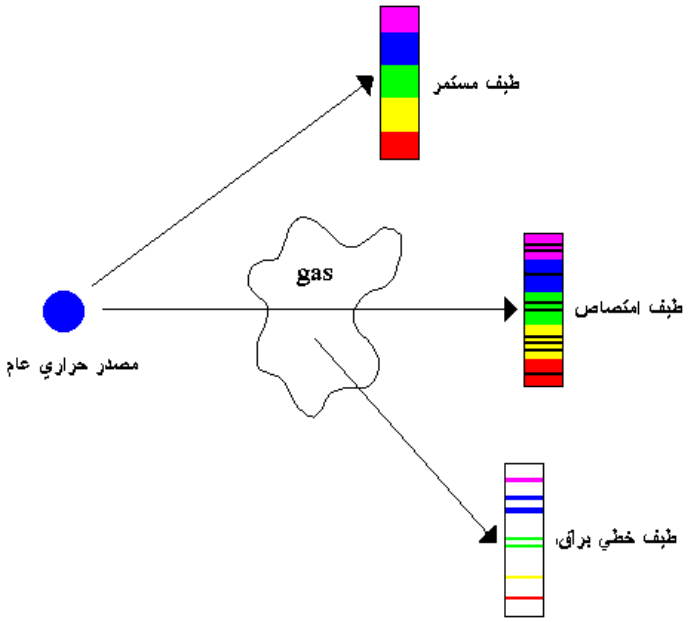
ويظهر كخطوط براقة ساطعة عند مواقع معينة وعلى خلفية مظلمة تماماً وينتج هذا النوع من الطيف عند تسخين الغازات تحت ضغط منخفض. ويمكن إنتاجه أيضاً في الأنابيب التي تحتوي على غازات بضغوط مختلفة وتحت فروق جهد كهربائية عالية.

إن الطيف الخطي الساطع يعكس مكونات الغاز، ولكل غاز طيف معين يمثل "**البصمة** Signature" التي يمكن بها التعرف على وجود الغاز في خليط من الغازات.

3. **الطيف الخطي المعتم (الطيف الخطي المعتم)** Dark-Line Spectrum

وهو طيف امتصاص يتم عند مرور الضوء خلال الغازات الباردة عند ضغوط منخفضة. فعند تمرير ضوء الشمس الاعتيادي خلال بخار الصوديوم البارد نسبياً يظهر خطان معتمان أحدهما عند $\lambda_1=5896A°$ والآخر عند $\lambda_2=5890A°$.

وعند هذه المواقع بالضبط تظهر خطوط صفراء براقة عند حرق ملح الطعام (كلوريد الصوديوم) على مصباح بنزن. مما يعني أن ملح الطعام يُظهر خطي انبعاث للصوديوم عند حرقه ويُظهر خطي امتصاص عند الموقعين نفسيهما عند مرور الضوء الاعتيادي خلال بخاره البارد.



أنواع الطيف وكيفية تولدها

قانون فين : Wein's Law

لو أننا سخنا أية مادة فلزية فوق لهب قوي ومباشر فإننا سنرى أن المادة تصبح حمراء، ثمّ إذا ما زادت حرارتها أكثر أصبحت صفراء، ثمّ إذا زادت حرارتها أكثر أصبحت زرقاء داكنة، هذه الحالات يعبر عنها قانون فين Wein الذي يقرر

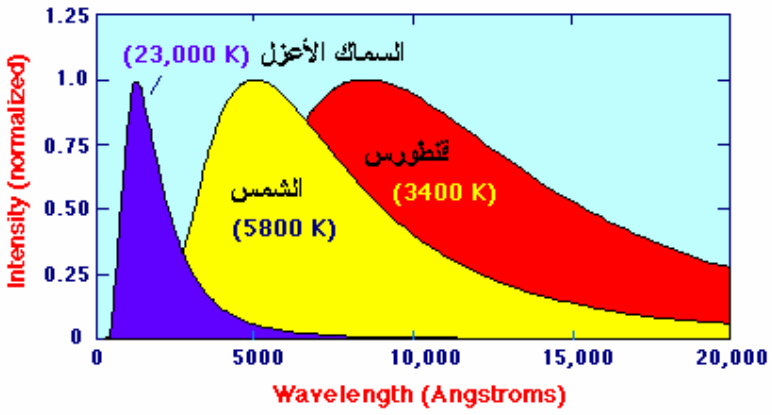
"يتناسب الطول الموجي عند الطاقة العظمى المنبعثة عن جسم ساخن عكسياً مع درجة حرارة الجسم".

أي

$$\lambda_{\max} = \frac{0.29}{T} cm$$
$$= \frac{290 \times 10^5}{T} A$$

حيث أن T هي درجة حرارة الجسم بوحدات كلفن و λ_{max} الطول الموجي الذي تنبعث عنده أقصى طاقة.

ويعني هذا القانون أن لون الجسم الساخن يعتمد على درجة حرارته. وعلى حين يحتوي طيف الإشعاعات الصادرة عن الجسم الساخن على كافة الأطوال الموجية الممكنة إلا أن اكبر طاقة منبعثة في وحدة الزمن تكون عند طول موجي معين، وهذا الطول الموجي نفسه هو الذي يحدد لون الجسم الساخن.



شكل يبين توزيع شدة الاشعة الصادرة عن جسم مثالي تحت درجات حرارية مختلفة

وهذا يعني أننا عندما ننظر إلى جسم ساخن (نجم مثلاً) ونراه بلون معين فإن هذا لا يعني أن الجسم يبعث الطول الموجي الخاص بذلك اللون بل هو في الحقيقة يبعث كل الألوان لكن أكثرها شدة هو اللون الذي نراه.

هذه الخاصية وهذا القانون له تطبيق مباشر في معرفة درجة حرارة الأجسام إذ يمكن بمعرفة الطول الموجي λ_{max} عن طريق التحليل الطيفي حساب درجة حرارة الجسم. وباستخدام قانون فين هذا تمكن الفلكيون من حساب درجة حرارة النجوم.

قانون ستيفان – بولتزمان:

يبحث هذا القانون صفة أخرى من صفات الأجسام الساخنة إذ يقدم لنا العلاقة بين الطاقة الكلية المنبعثة من الجسم الساخن على مختلف الأطوال الموجية ودرجة حرارة الجسم.

يقرر قانون ستيفان - بولتزمان أن الطاقة الكلية المنبعثة من جسم ساخن درجة حرارته T في الثانية الواحدة لكل وحدة مساحة هي:

$$U_{tot} = \sigma T^4$$

حيث σ هي ثابت ستيفان وقيمته $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}\ K^{-4}.\ m^{-2}.\ s^{-1}$

تسمى الكمية U_{tot} **سطوع الجسم** Brightness.

إشعاعية الأجسام

لاحظ الفيزيائيون الدارسون للإشعاع الحراري للأجسام الساخنة أن هنالك توزيعا خاصاً لشدة الاشعاع على الأطوال الموجية أو الترددات. وقد وضع الفيزيائيان جينز ورايلي دالة لصيغة التوزيع كما يلي

$$u(\nu,T)=\frac{8\pi\nu^2}{c^3}kT$$

ولوحظ أن هذه الصيغة تتطابق مع النتائج التجريبية في الترددات الواطئة أي الأطوال الموجية الكبيرة. بينما وضع فين Wien قانوناً آخر يتخذ الصيغة

$$u(\nu,T)=w\left(\frac{c}{\nu},T\right)\frac{c}{\nu^2}$$

وتبين أن هذا القانون ينطبق على النتائج التجريبية في نطاق الترددات العالية فقط.

قانون بلانك في الاشعاع

وبعد أن تأمل ماكس بلانك في المسألة توصل إلى افتراض مويجات الحرارة على أنها متذبذبات توافقية تتخذ كمية الطاقة فيها عدداً صحيحاً من تردد الاشعاع مضروبا في مقدار ثابت. أي

$$E=nh\nu$$

ووجد بموجب هذا أن توزيع شدة الاشعاع الحراري على الترددات المختلفة يتخذ الصيغة التالية

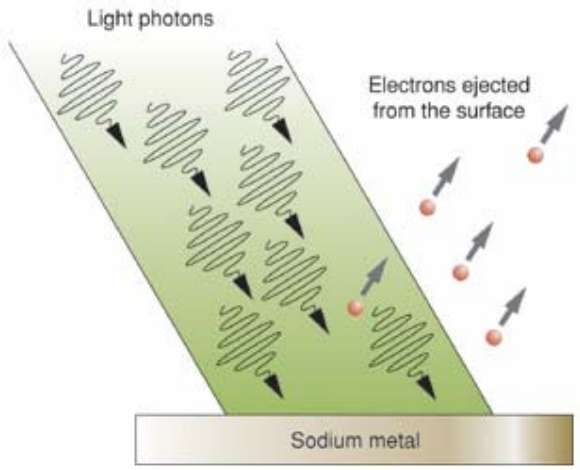
$$u(\nu,T)=\frac{8\pi h}{c^3}\frac{\nu^3}{e^{h\nu/kT}-1}$$

ومنها يتضح أنه في حالة الترددات العالية تتفق النتيجة مع صيغة فين على حين تتفق مع صيغة جينز-رايلي في الترددات الواطئة.

كانت فرضية بلانك هذه فتحاً كبيراً في مجال الاشعاع الحراري مهدت الطريق لفهم طيف الاشعاعات المنبعثة من الذرات أثناء تسخينها. وقد سميت مقدار من الطاقة $E=h\nu$ كم (أو كميمة) Quanta. إذ يتم انبعاث وإمتصاص الأشعة بهذه الرزم الطاقية.

الانبعاث الكهرضوئي Photoelectric Effect

بعد اكتشاف انبعاث الألكترونات من السطوح الحساسة للضوء وجد الفيزيائيون أن علاقة الاشعاع الضوئي بالمادة تختلف عن متا هو متوقع تقليدياً. ذلك لأن طاقة الالكترونات المنبعثة من السطح لا تعتمد على شدة الضوء الساقط عليه، بل على تردده. على حين يعتمد عدد الألكترونات المنطلقة من السطح على شدة الضوء الساقط.

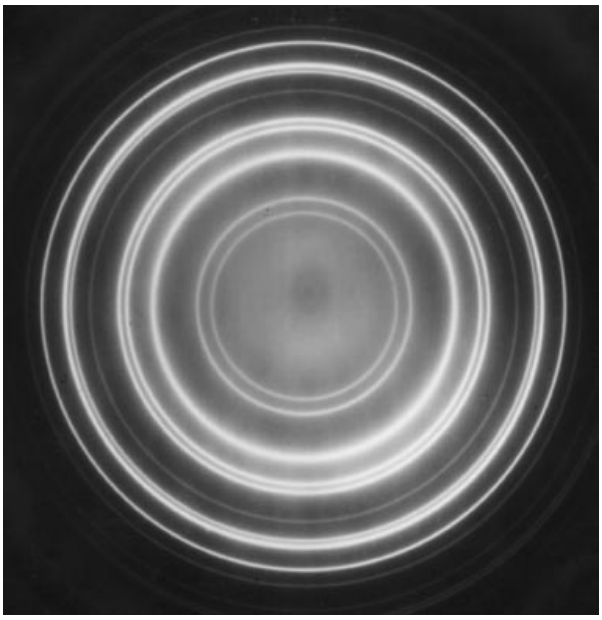


وقد استطاع ألبرت آينشتاين أن يفسر هذه النتائج التجريبية لما سمي "**التأثير الكهرضوئي**" من خلال استعارة فرضي بلانك وتطبيقها على الاشعاع الضوئي. ففي هذه الحالة إذا سقط شعاع ضوئي على سطح فإن كل كميمة من الطاقة (**فوتون** كما سماها آينشتاين) سوف تستحث ألكترونا على الانطلاق من السطح. لكن ما لم يمتلك الفوتون الطاقة الدنيا التي تعادل طاقة ارتباط الألكترون بالسطح على الأقل فإن الألكترون لن يتمكن من الهروب. ومهما كانت شدة الضوء الساقط قوية (أي مهما كان عدد الفوتونات كبيراً) فإن الالكترونات لن تنطلق من السطح ما لم يمتلك كل فوتون من تلك الفوتونات الطاقة الدنيا اللازمة لتحرير الألكترون من السطح. فكل ألكترون يخرجه فوتون واحد يقابله. ولا يمكن أن يتعاون فوتونان أو أكثر على إخراج ألكترون، بل لا بد من فوتون واحد لكل ألكترون. ولما كانت طاقة الفوتونات تعتمد مباشرة على تردداتها فإن طاقة الالكترون المنطلق سوف تعتمد على طاقة الفوتون الساقط حيث يتم استغلال جزء من تلك الطاقة في التغلب على شد السطح للألكترون ومن ثم يستغل الباقي في إعطاء الألكترون طاقة حركية.

تؤكد ظاهرة التأثير الكهرضوئي خاصية تكميم الأشعاعات الكهرمغناطيسية وعلى جميع الترددات دون استثناء.

السلوك الموجي للجسيمات

يفترض بالجسيمات صفة التحيز، وهذا يعني أننا إذا ما أطلقنا جسيما على موضع وأردفناه بجسيم آخر فإن تأثيرهما يجب أن يتعاظم دائماً. لكن أن يلغي جسيم تأثير آخر سبقهه إلى نفس الموضع فهذا أمر عجيب. إذ لا يحصل هذا إلا في الأمواج. وإن حصل مثل هذا للجسيمات ذوات الكتل فإننا أزاء ظاهرة جديدة لا يمكن تفسيرها إلا بالقول بأن للجسيمات تصرفات موجية. مثل هذا يحصل عندما نوجه حزمة من الألكترونات على بلورة حيث تتصرف السطوح الداخلية لشبيكة البلورة كأنها شقوق دقيقة تمر من خلالها الألكترونات فتنحرف أو **تحيد** فتؤلف على الشاشة أهداب تداخل شبيهة بتلك التي نحصل عليها من حيود فرانهوفر للضوء المار من شقوق محزز حيود. وتسمى هذه الظاهرة "**حيود الألكترونات**" Electron Diffraction.



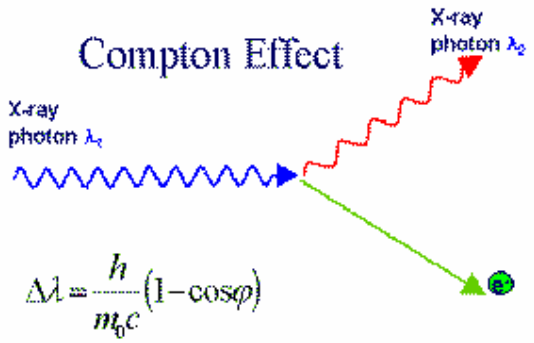
من المعلوم أن هذه الظاهرة تستثمر أيضاً لقياس المسافات بين السطوح الداخلية للبلورات وللتعرف على التركيب البلوري للأجسام.

السلوك الجسيمي للأمواج

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، مثال ذلك أمواج الماء التي تتولد في سطح البركة حين يسقط حجر فيها. فهاهنا يحدث اضطراب في الوسط الذي هو الماء، ويتم نقل هذا الاضطراب خلال الماء عبر الحركة الموجية دون أن تنتقل جزيئات الماء نفسها. لكن حقيقة حركة الضوء تكشف أنه ليس حركة موجية بالضرورة ذلك لأن الضوء وهو طاقة كهرمغناطيسية ينتقل مثل الجسيمات ويتصرف مثل الجسيمات وهذا ما يعطيه صفات جسيمية. لكنه أيضاً يتألف من مجال كهرمغناطيسي

يتذبذب بشكل موجي. وهذا ما يعطي الضوء صفاته الموجية. من هنا جاءت الطبيعة الثنائية للضوء.

ويتم التدليل على امتلاك الضوء (الفوتون) صفات جسيمية مثل الزخم بما يسمى تأثير كمبتن Compton effect 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.



هذه الظاهرة تبين أن للفوتونات خواص جسيمية واضحة بذات الوقت الذي يكون لها صفات موجية أيضاً.