

البنية الالكترونية للذرة

مقدمة

لم يكن تركيب الذرة معروفا بصورة واضحة حتى جاء العالم الانكليزي جون دالتون John Dalton 1803 بنظريته الذرية. فقبل هذا التاريخ طرحت تساؤلات عديدة حول الجوهر الاساس للمادة ، وقد احتدم الجدل بين الفلاسفة الاغريق حول عدم امكانية الاستمرار في تقسيم المادة الى وحدات اصغر، حيث لا بد ان نصل في النهاية الى جسيمات نهائية اطلق عليها الذرات وهي مشتقة من الكلمة الاغريقية Atomas ومعناها غير قابل للقطع.

كان دالتون اول من عرض موضوعا علميا عن النظرية الذرية وكان وقتها معلما في إحدى مدارس أنكلترا. من الانجازات التي قام بها دالتون هو شرح التركيب الثابت للمركبات وتطرق في نظريته الى امكانية اتحاد ذرات العناصر لتكوين جسيمات اكثر تعقيدا سماها الجزيئات، والتي هي ابسط وحدات المركبات. ويمكن التعبير عن نظرية دالتون الذرية بالفروض التالية:

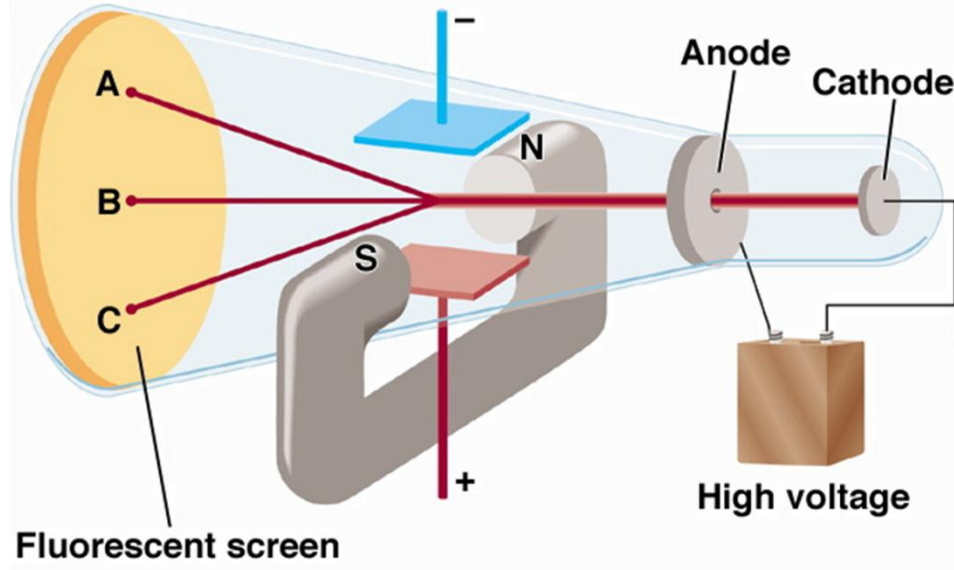
- 1- تتكون المادة من جسيمات صغيرة غير قابلة للانقسام يطلق عليها الذرات.
- 2- ذرات العنصر الواحد تتشابه مع بعضها في الخواص وتختلف عن ذرات العناصر الاخرى.
- 3- عندما تتحد الذرات في التفاعلات الكيميائية او عندما تتحطم الجزيئات الى ذرات منفصلة لا يحدث تغيير للذرات نفسها.
- 4- التفاعل الكيميائي هو اتحاد الذرات لتكوين الجزيئات بنسب بسيطة مثل 1:1، 1:2، 1:3، 2:3، او غيرها من النسب.

وبالرغم من ان بعض فرضيات نظرية دالتون الذرية كانت تبدو غير صحيحة الا ان النظرية عموما كانت من احسن الاكتشافات العلمية في وقتها.

الطبيعة الكهربائية للمادة Electrical Nature of Matter

أوضحت التجارب التي قام بها العالم مايكل فاراداي Michael Faraday عام 1834 ان المادة لها طبيعة كهربائية. حيث تم أثبات ان التغيرات الكيميائية يمكن ان تحدث عند امرار الكهرباء عبر المحاليل المائية للمركبات الكيميائية. وقد دفع ذلك العالم ستوني Stoney الى ان يفترض وجود جسيمات سماها بالالكترونات. بدأ العلماء بالقيام بمجموعة من التجارب وذلك في نهاية القرن التاسع عشر، تنصب على دراسة مرور التيار الكهربائي في الانابيب المفرغة غازيا. ولقد تم اكتشاف الالكترون من قبل العالم تومسن Thomson عام 1897 باستخدام انبوبة اشعة المهبط Cathode Tube. حيث تتألف هذه الانبوبة الموضحة في الشكل 1-1 من قطبين احدهما موجب والاخر سالب، مربوطين بمصدر للتيار الكهربائي ذي جهد عال يبلغ حوالي 20000 فولت. هذه الاقطاب مثبتة داخل انبوبة من الزجاج، لها فتحة يمكن من خلالها تفريغ الهواء. ان القطب السالب يبعث بالالكترونات، والتي تتسارع باتجاه اليمين، وتمر من خلال فتحة موجودة في الانود، على شكل حزمة ضيقة، تسقط في النهاية على حاجز كاشف من مادة مفسفرة موجودة في نهاية الانبوبة، وتنتج بقعة مضيئة.

Cathode Ray Tube



J.J. Thomson, measured mass/charge of e^-

(1906 Nobel Prize in Physics)

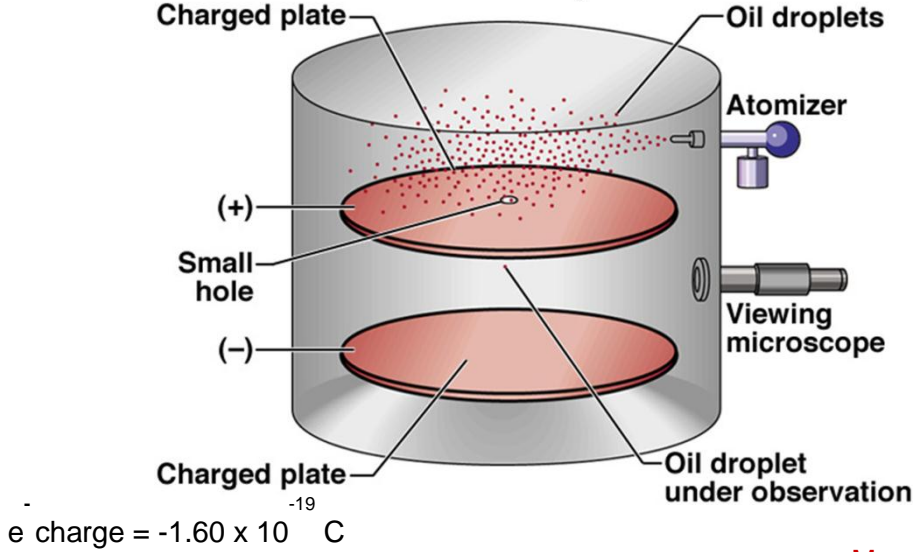
شكل 1-1 انبوية اشعة المهبط

عند تعريض هذا الشعاع الى مجال كهربائي ضعيف من خلال لوحين مشحونتين، اعلى واسفل الانبوية احدهما موجبة والاخرى سالبة، فإن الشعاع ينحرف نحو اللوحة الموجبة ويسقط على النقطة A. وقد لوحظ ان كمية الانحراف تتناسب طرديا مع شحنة الجسيم، وعكسيا مع كتلته. كما انه عند مرور مجال مغناطيسي بشكل متعامد مع المجال الكهربائي، فإن الالكترونات تنحرف باتجاه معاكس لاتجاه انحرافها نتيجة لمرور التيار الكهربائي. أما عند ايقاف مرور التيار الكهربائي فإن شعاع الالكترونات ينحرف تحت تأثير المجال المغناطيسي ويسقط على النقطة C. ولقد قام تومسون بحساب النسبة بين شحنة الالكترون وكتلته e/m من مقدار المجال الكهربائي والمجال المغناطيسي، وذلك من خلال تسليط مجال مغناطيسي معلوم، وحدد مدى انحراف شعاع الالكترونات، ثم سلط بعد ذلك تيارا كهربائيا من خلال اللوحين حتى عاد الشعاع الى مساره الاصلي المستقيم، حيث وجد ان القيمة e/m تساوي 1.76×10^{-8} كولوم/غم.

شحنة الالكترون Charge of Electron

تمكن العالم مليكان Millikan عام 1917 من تحديد شحنة الالكترون ومن ثم كتلته، وذلك من خلال تجربة قطرة الزيت الموضحة في الشكل 1-2. حيث سلط رشاشا من قطيرات زيتية فوق لوحين معدنيين مثبتين بصورة متوازية في وعاء، واللوح فيه ثقب صغير لمرور قطرات الزيت.

Millikan's Experiment



Measured mass of e

Thomson's charge/mass of e = -1.76×10^{-8} C/g (1923 Nobel Prize in Physics)

$$e \text{ mass} = 9.10 \times 10^{-28} \text{ g}$$

شكل 1-2 تجربة قطرة الزيت لمليكان

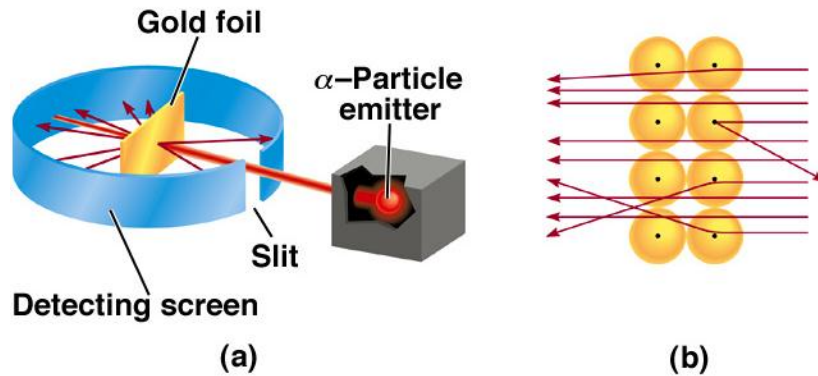
عند هبوط قطرات الزيت ومرورها من خلال الفتحة في اللوح العلوي ، تسلط أشعة أكس X-Rays لفترة قصيرة من الزمن، لاجراج الالكترونات من ذرات الغاز. تقوم قطرات الزيت بالنقاط الالكترونات وبذلك تنشحن بشحنة سالبة. وعند شحن اللوحة العليا بشحنة موجبة والسفلى بشحنة سالبة، يمكن إيقاف حركة قطرات الزيت السالبة الشحنة، الى الاسفل ، بسبب انجذابها الى الشحنة الموجبة في اللوح العلوي وتنافرها مع اللوح السفلي. ومن خلال ايجاد الكتلة المقاسة من معدل الهبوط في غياب المجال الكهربائي، وايجاد كمية شحنة اللوحين، والتي تعبر عن كمية الشحنة اللازمة لابقاء القطرة معلقة، حسب مليكان كمية شحنة القطرة، فوجد ان شحنة قطرة الزيت تكون دائما مضاعفا للمقدار 1.60×10^{-19} كولوم. وعلل ذلك بأن قطرة الزيت بإمكانها النقاط اعداد صحيحة من الالكترونات، لهذا فإن الشحنة الكلية للقطرة لا بد وان تكون مضاعفا لشحنة الالكترون المنفرد. واقترح مليكان من خلال هذه التجربة، بأن شحنة الالكترون تساوي 1.60×10^{-19} كولوم. وبعد معرفة شحنة الالكترون، أصبح بالإمكان التعرف على كتلته والتي هي 9.10×10^{-28} غرام وذلك من خلال المقدار e/m المعلوم سابقا.

Rutherford's Experiment

تجربة رذرفورد

قدم العالم أرنست رذرفورد Ernest Rutherford عام 1911 ومساعداه، مفاهيم مهمة عن تركيب الذرة، عند دراستهم أثر أشعة ألفا على صفيحة رقيقة من الذهب والذي أختير لكونه مرنا ويمكن طرده على شكل صفائح رقيقة. يوضح الشكل 1-3 تجربة رذرفورد حيث تنطلق اشعة α من عنصر البولونيوم المشع وتمر على لوح سميك من الرصاص به ثقب يقوم بتهيئة حزمة من جسيمات الفا التي تسقط على لوح رقيق من الذهب ومن ثم تمر الجسيمات الناتجة على لوح فوتوغرافي مطلي بمادة كبريتيد الزنك ZnS، فيؤدي الى ظهور تفلور على سطح اللوح الفوتوغرافي.

Rutherford's Experimental Design



شكل 1-3 تجربة رقيقة الذهب لرذرفورد

- لقد سجل رذرفورد ومساعداه الملاحظات التالية:
- 1- معظم حجم الذرة هو فراغ وذلك لأن معظم دقائق الفا قد مرت دون انحراف.
 - 2- ان انحراف بعض دقائق الفا عن مسارها يوحي بتناثرها مع أجسام موجبة الشحنة وهذه الاجسام هي نوى الذرات التي تشغل حيزا صغيرا من حجم الذرة وقطرها يساوي 10^{-13} Cm، وبالمقارنة، فقطر الذرة يساوي 10^{-8} Cm.
 - 3- ان النواة ذات شحنة موجبة تكون في حالة تعادل مع شحنات سالبة مساوية لها بالقيمة.

Atomic Number العدد الذري

أكتشف رونتجن Roentgen عام 1895 الاشعة السينية X-rays، والتي هي اشعاعات كهرومغناطيسية. ثم قام موزلي Moseley بعدة تجارب لدراسة هذه الاشعاعات، ولاحظ ان اصطدام الاشعة المهبطية في انبوبة الاشعة السينية لعناصر مختلفة يعطي طاقات مختلفة لهذه الاشعة. وهذا يعني ان طاقة الاشعة السينية تتغير بتغير الاوزان الذرية للعناصر. ولقد استنتج موزلي بأن عدد شحنات النواة الموجبة يزداد من ذرة الى أخرى بوحدات الكترونية فردية. وأطلق على هذه الشحنات الموجبة العدد الذري Z .

ولقد قام موزلي بحساب شحنة النواة لذرة الكالسيوم Ca فكانت +20، ولذرة التيتانيوم Ti فكانت +22، ولذرة الفناديوم V فكانت +23، ولذرة الزنك Zn فكانت +30. وعلى الرغم من أن ذرة النيكل Ni أخف من ذرة الكوبلت Co، الا ان العدد الذري للنيكل أعلى من العدد الذري للكوبلت. ان هذه المعلومات ايدت وجود علاقة جديدة عن تناسق منتظم بين ترتيب العناصر على أساس اعدادها الذرية وخواصها التي تنبأ بها مندليف على أساس التشابه الكيميائي والفيزيائي.

البروتون Proton

قبل اكتشاف الإلكترون وفي عام 1886، لاحظ كولدشتاين Goldstein حدوث توهج داخل انبوبة اشعة المهبط وثبت انها اشعة موجبة. لقد دفع هذا، العلماء للتحري عن جسيم مهم له شحنة موجبة، ولقد لوحظ ان استخدام الهيدروجين يعطي أخف الجسيمات الموجبة. وهذا الجسيم له شحنة مساوية لشحنة الإلكترون وكتلة أثقل من كتلة الإلكترون ب 1836 مرة. وقد أطلق على هذا الجسيم البروتون. وبما أن الذرات تكون متعادلة كهربائياً، وان شحنة البروتون تساوي شحنة الإلكترون، لذلك فلا بد ان تتساوى أعداد البروتونات والإلكترونات.

النيوترون Neutron

ان ملاحظة رذرفورد بأن نصف كتلة النواة تقريبا تعود الى البروتونات، دفعه الى اقتراح وجود جسيمات أخرى ذات كتلة مقاربة لكتلة البروتون وليس لها شحنة. وجاء تأكيد ذلك من قبل شادويك Chadwick عام 1932. حيث قذف ذرات البريليوم بجسيمات الفا ولاحظ انبعثت جسيمات عالية الطاقة ولا تحمل شحنة. ان هذه الجسيمات هي النيوترونات والتي لها كتلة 1.0087 amu وهي مساوية لكتلة البروتون. ان اكتشاف النيوترون مكن العلماء من اعطاء الايضاحات الكاملة عن الذرة. حيث اصبح لديهم ثلاثة جسيمات معروفة وهي:

البروتون (p^+): يحمل شحنة كهربائية موجبة قدرها وحدة واحدة وكتلة قدرها تقريبا وحدة الكتلة الذرية.

الإلكترون (e^-): له شحنة كهربائية سالبة مساوية لشحنة البروتون الموجبة وكتلة 1/1836 من كتلة البروتون.

النيوترون (n^0): لا يحمل شحنة كهربائية وكتلته مساوية لكتلة البروتون تقريبا.

أما العلاقة بين هذه الجسيمات الثلاثة فهي كالآتي:

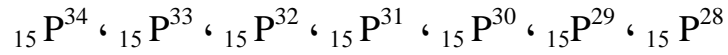
العدد الذري $Z =$ عدد البروتونات = عدد الإلكترونات

الوزن الكتلي $A =$ عدد البروتونات + عدد النيوترونات

لذلك فإن عدد النيوترونات = العدد الكتلي A – العدد الذري Z

النظائر Isotopes

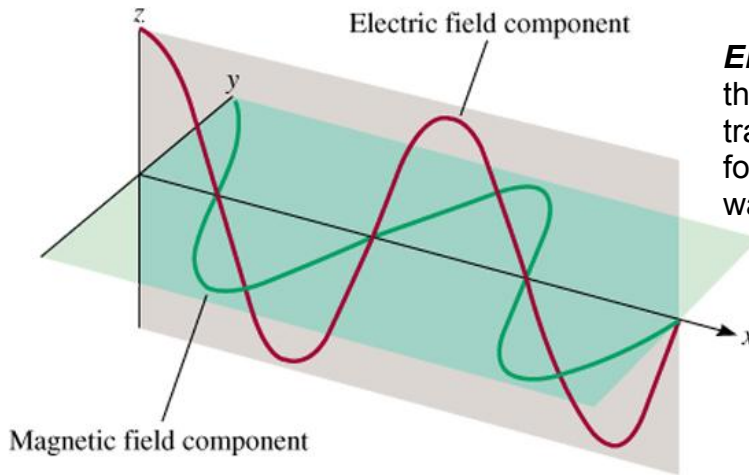
على الرغم من امتلاك جميع ذرات عنصر العدد نفسه من البروتونات، فأنها قد تختلف في عدد النيوترونات. وهذا يعني انه من الممكن ان نجد العنصر الواحد له عدة انواع من الذرات. ان معظم العناصر توجد في الطبيعة كمزيج من النظائر. فمثلا يحتوي عنصر النحاس على النظائر ^{63}Cu و ^{65}Cu وهي ذات وفرة نسبية في الطبيعة 69.09% و 30.91% على التوالي. فمن ملاحظة نظيري النحاس السابقين نجد ان نظائر العنصر الواحد تتشابه في اعدادها الذرية Z وتختلف في اوزانها الذرية أو اعدادها الكتلية A . ويوجد لعنصر الفسفور عدة نظائر هي:



يمكن أنتاج النظائر بقذف العنصر الموجود طبيعيا بالنيترونات في مفاعل نووي، ومثل هذه النظائر لا تكون مستقرة عادة، حيث تضمحل في نهاية الامر. وللنظائر المشعة استعمالات عديدة، فمن أستعمالاتها الطبية هي معالجة أمراض السرطان وذلك بأعطاء جرعات مضبوطة ودقيقة من عنصر مشع، حيث يقوم الاشعاع بأتلانف الخلايا السرطانية. كذلك يمكن الاستفاده من النظائر في تقدير اعمار الاثار. فنظير الكربون ${}^{14}\text{C}$ يتحول الى ${}^{14}\text{N}$ عن طريق اشعاع جسيم بيتا وتسمى هذه العملية بالاضمحلال الاشعاعي، ومن معرفة سرعة الاضمحلال هذه والوفرة النسبية لكل من ${}^{14}\text{C}$ والكربون غير المشع ${}^{12}\text{C}$ في المواد يمكن تقدير العمر.

طبيعة الاشعاع الكهرومغناطيسي

الاشعاع الكهرومغناطيسي : هو احد صور الطاقة ويتميز بان له طبيعة موجية وينتقل في الفراغ بسرعة هائلة ولا يحتاج الى وسط مادي لانتقاله. الاشعاع الكهرومغناطيسي يتكون من مركبتين كهربائية واخرى مغناطيسية متعامدة عليها وتتذبذبان باتجاه انتشار الاشعاع كما هو موضح في الشكل 4-1 التالي:



Electromagnetic radiation is the emission and transmission of energy in the form of electromagnetic waves.

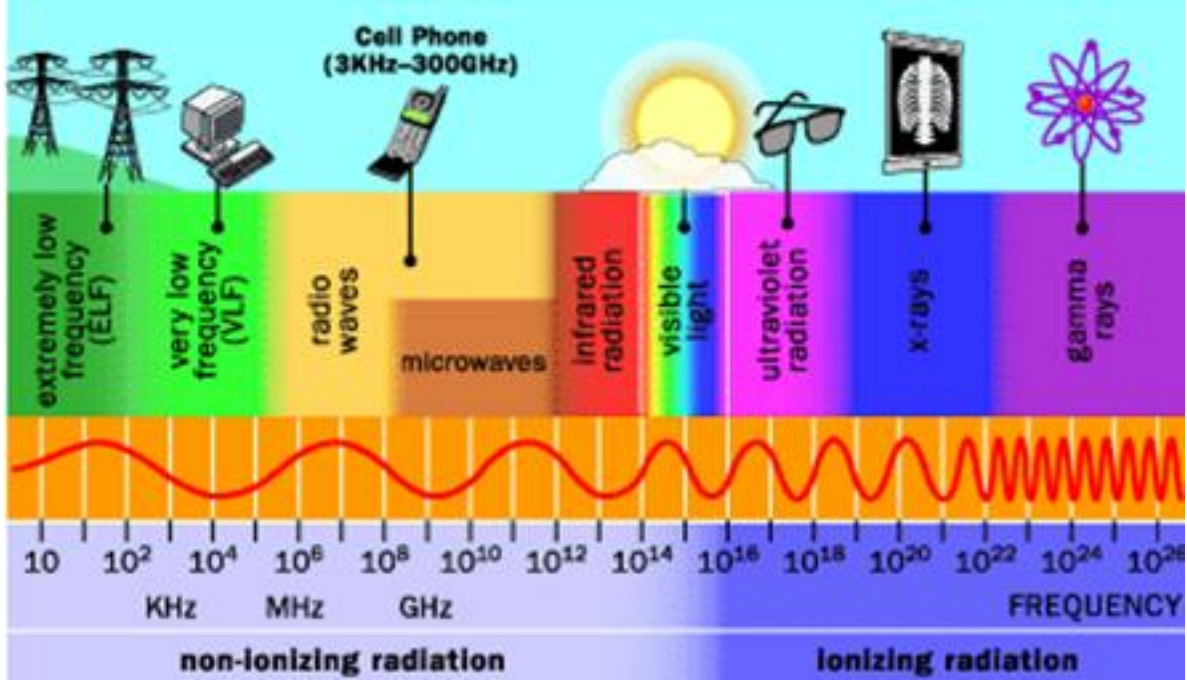
الشكل 4-1 يوضح مركبتي الاشعاع الكهرومغناطيسي

الطول الموجي λ (Lambda) هو المسافة الفاصلة بين قمتين متتاليتين على موجة الاشعاع. كما ان سعة الموجة A هو المسافة العمودية بين خط انتشار الموجة واعلى نقطة في قمة الموجة وان مربع سعة الموجة يكون مقياسا لشدة الموجة.

كما ان **تردد الموجة ν (Nu)** يمثل عدد وحدات الطول الموجي الكاملة التي تمر من خلال عند نقطة ثابتة في ثانية واحدة وتقاس بوحدة الهيرتز. ان العلاقة بين التردد وسرعة الضوء تمثل بالعلاقة التالية :

$$\lambda\nu=c \quad \text{حيث ان } c \text{ هو سرعة الضوء}$$

تبلغ سرعة الاشعاع الكهرومغناطيسي (سرعة الضوء) بما يقارب 3×10^{10} سم/ثانية. ان ما نسميه بالضوء المرئي هو جزء رفيع من مجموعة كبيرة من انواع الاشعاع المكون للطيف الكهرومغناطيسي .



اشعاع الجسم الاسود

إذا سخن أي جسم ينبعث منه اشعاع حراري هذا الاشعاع يتوقف على طبيعة ودرجة حرارة الجسم .

الاشعاع الحراري : يتكون من اشعاع كهرومغناطيسي اطوال موجته اطول من موجة الضوء واقل طاقة من طاقة الضوء المرئي .

العالم فين لاحظ ان الطاقة المنبعثة من جسم حار متكونة من طيف مستمر تتغير اطوال الموجية بتغير حرارة الجسم معناها تزداد ترددات الاشعة المنبعثة الى قيم اعلى عند ارتفاع درجة حرارة الجسم وتزداد طاقة الاشعة المنبعثة فسمي هذا القانون بقانون فين للازاحة ومثال على ذلك تغير لون الحديد الى اللون الاحمر ثم البرتقالي والى الاصفر ثم الابيض بتزايد درجة الحرارة .

ان الاجسام السوداء لاتعكس الاشعة الساقطة عليها فيعرف اشعاع الجسم الاسود بانه مكون من فوتونات ناتجة عن التهيج الحراري للذرات فقط وليس لانعكاس الاشعة الساقطة عليه من الوسط المحيط به .

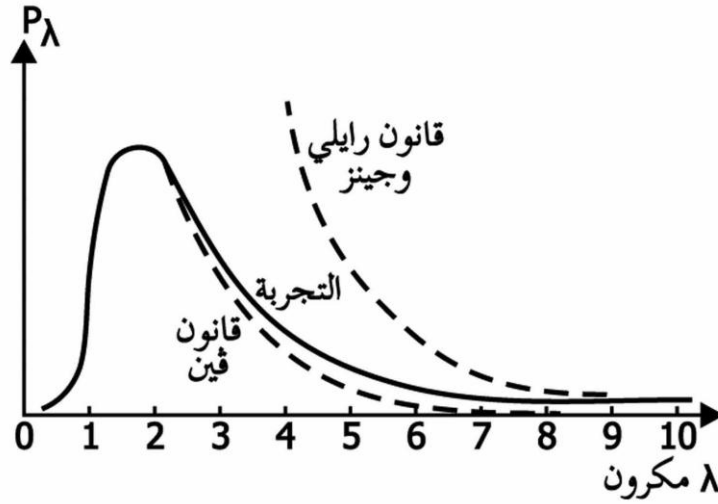
$$E\lambda = e \sigma T^4$$

العالم ستيفان توصل الى العلاقة الرياضية

$E\lambda =$ معدل انبعاث الطاقة من وحدة السطوح و $e =$ قابلية السطح على الاشعاع و $\sigma =$ سكما وهو ثابت ستيفان و $T =$ درجة الحرارة المطلقة

قانون استيفان : معدل انبعاث الطاقة من جسم حار تتناسب طرديا مع الاس الرابع لدرجة الحرارة المطلقة .

اما العالمان رايلي وجين فانهما دمجا قانون فين للازاحة وقانون استيفان في قانون واحد سمي قانون رايلي وجين وينص على : تتناسب شدة الاشعاع الحراري من جسم ساخن طرديا مع كل من الاس الرابع للدرجة الحرارية المطلقة ومربع تردد الاشعة المنبعثة .



قانون بلانك: اكتشفه عام 1900 والذي عُدّ إحد منجزات ميكانيك الكم يعتمد على فرضية الكم (الكوانتا) التي تنص على أن الإشعاع يصدر عن المادة بصورة كمّات أو فوتونات يحمل كل منها طاقة تتناسب مع تردد الإشعاع الصادر، وتُعطى بضرب التردد بثابت بلانك (h)

$$E=nh\nu$$

لقد أدت هذه الفرضية الجريئة إلى معادلة $E\lambda$ تتفق اتفاقاً تاماً مع النتائج التجريبية من أجل جميع قيم λ . ويمكن البرهان بسهولة على أن كلاً من قانون فين وقانون رايلي وجينز ما هو إلا حالة خاصة من قانون بلانك عند λ القصيرة (فين) أو λ الطويلة (رايلي وجينز).

الاطياف الذرية :

نفرض لدينا لوحين بينهما فرق جهد وغاز ونعمل تفريغ كهربائي لانتقال الالكترون من لوح لآخر نلاحظ ان الذرات بعد ان نقوم بعملية التفريغ الكهربائي تتوزع على مستويات طاقة فينبعث ضوء آني في الفرق بين مستويات الطاقة الاصلية .

تكون ذرات الجسم عند درجة الحرارة معينة موزعة على مستويات مختلفة من الطاقة حسب قانون بولتزمان بحيث تشغل معظم الذرات مستويات الطاقة المتوسطة القيمة ويتضائل عددها تدريجيا في مستويات الطاقة المرتفعة او المنخفضة القيمة فينبعث الاشعاع نتيجة لتغير طاقة الذرات من مستوى عالي الى مستوى واطى وكلما زاد عدد الذرات في مستوى معين زادت شدة الاشعاع وهذا ما يفسر صعود منحنى طاقة الاشعاع الى ان يصل الى النهاية العظمى ومن ثم تقل طاقة الاشعاع نتيجة لنقصان عدد الذرات في المستويات وهذا ما يفسر نزول المنحنى .