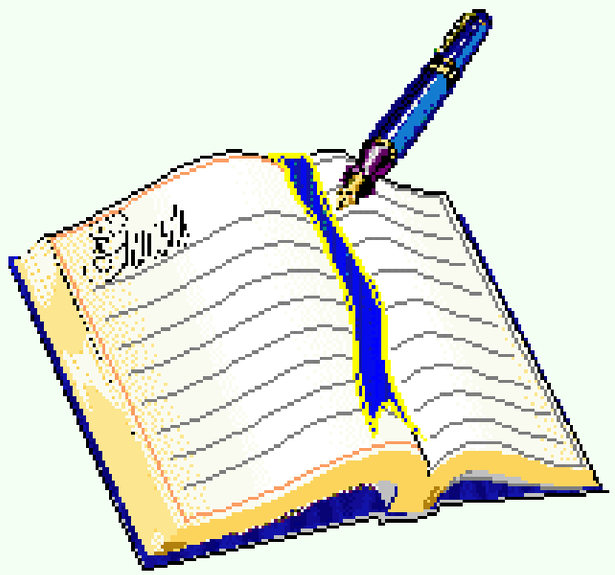
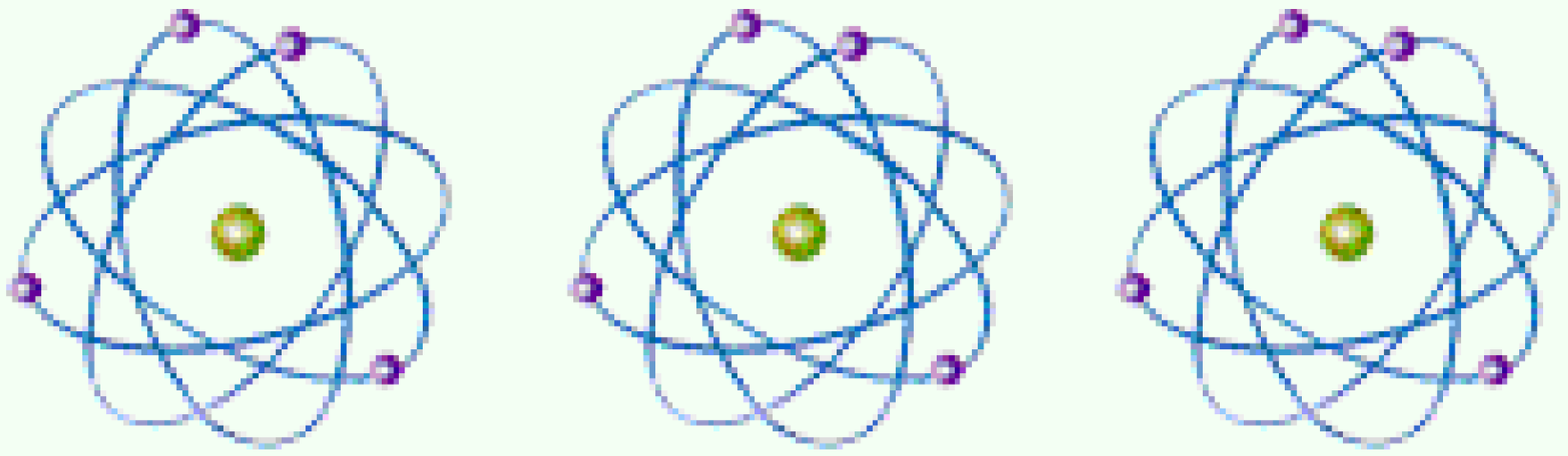
الفصل الثالث

مستويات الطاقة والانتقالات المشعة

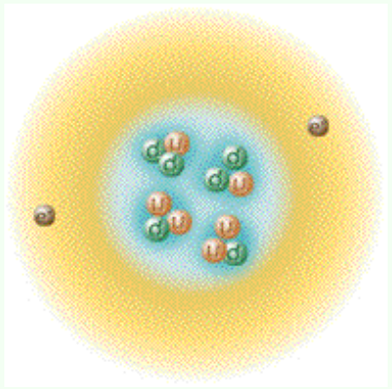


النموذج الذري الحديث

Modern Atomic Model



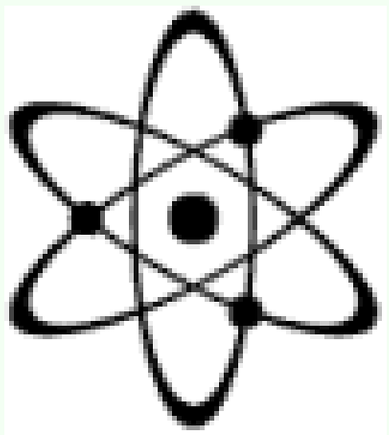
النموذج الذري الحديث



نموذج رذرفورد Rutherford Model

- نواة موجبة الشحنة تتوزع حولها سحابة من الإلكترونات سالبة الشحنة .
- اصطدم هذا النموذج بقوانين الفيزياء الكلاسيكية .

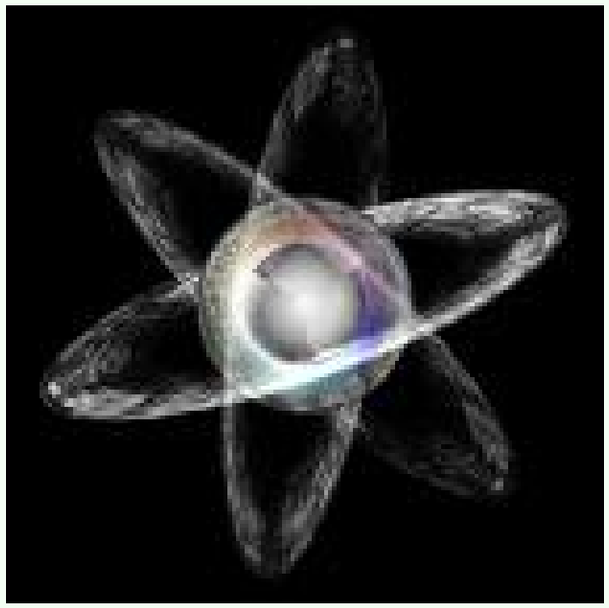
نموذج بور Bohr Model



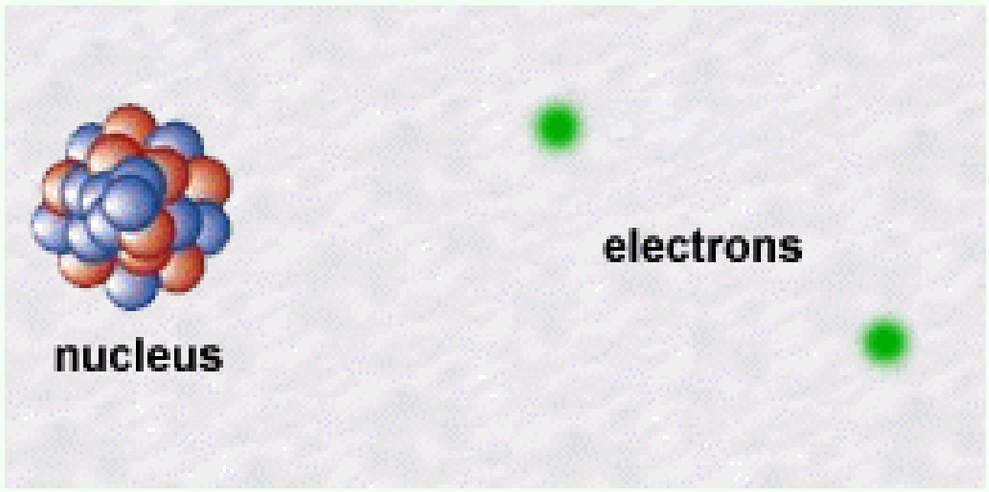
- نواة موجبة الشحنة وحولها إلكترونات سالبة الشحنة تسلك مدارات معينة ذات مستويات متفاوته في الطاقة وهذه الإلكترونات تستطيع الانتقال من مستوى إلى آخر.
- فسر هذا النموذج سلوك ذرة الهيدروجين بنجاح . لكنه عجز عن التفسير الكامل لسلوك الذرات التي تمتلك أكثر من إلكترون حيث لم يأخذ هذا النموذج في الحسبان تفاعل الإلكترونات مع بعضها البعض .
- ساهم هذا النموذج بفعالية في التمهيد لنشوء المفهوم الذري الحديث.

النموذج الذري الحديث

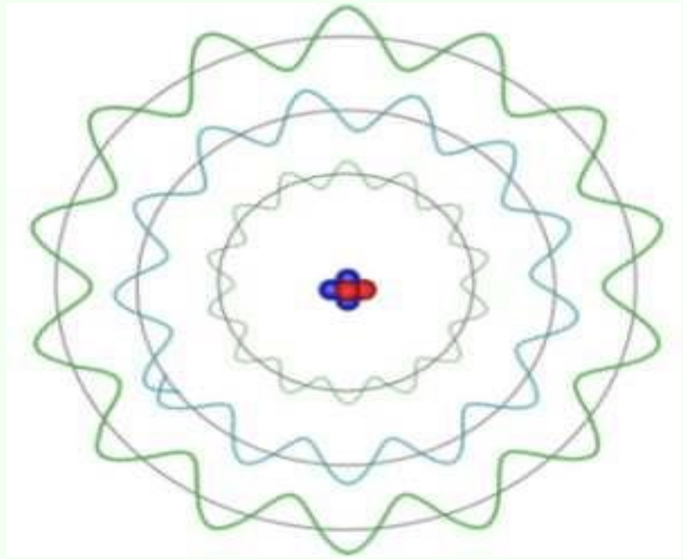
التصور الحديث للذرة Modern Atomic Concept



- المدارات الإلكترونية ذات مستويات طاقة منفصلة كلياً عن بعضها البعض (مكممة) .
- يقصد بالمدار الإلكتروني ذلك الحيز الذي يملك كثافة إحتمالية عليا لوجود الإلكترون .
- هناك فقط عدد محدود من هذه المدارات التي يمكن أن تشغلها الإلكترونات .
- وعليه فقيم الطاقة التي يمكن أن تملكها الإلكترونات يستحيل أن تكون كمية متصلة .
- تزداد طاقة الإلكترون كلما بعد عن النواة والعكس صحيح .

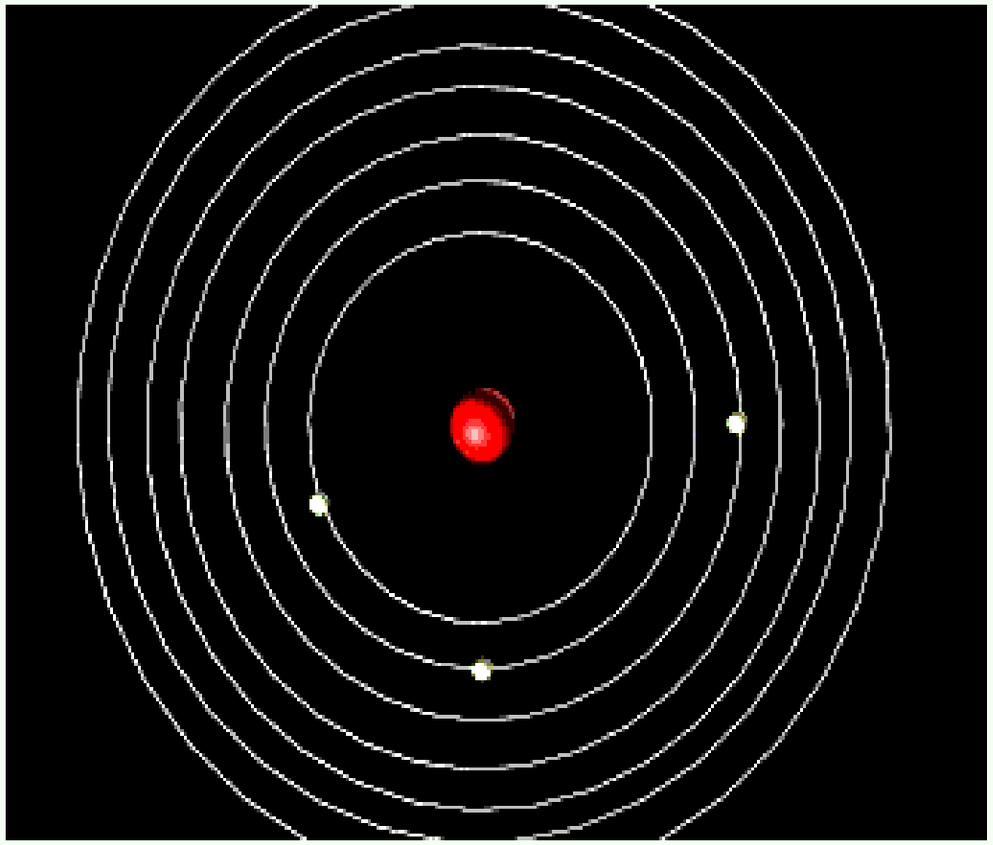


النموذج الذري الحديث



- لايطلق الإلكترون أي نوع من أنواع الطاقة حال بقائه في مداره ، ذلك أن الإلكترون لا يتحرك فعلياً بشكل دائري ، وإنما موجة ديبرولي المصاحبة هي التي تتوائم مع حيز المدار .

- إذا امتص الإلكترون فوتوناً فإنه ينتقل لمستوى طاقة أعلى E_2 أما إذا أطلق فوتوناً فإنه ينتقل لمستوى طاقة أقل E_1 .



- يمكن حساب تردد الفوتون الممتص أو المنبعث من المعادلة التالية :

$$f\,h = E_2 - E_1 \qquad (24)$$

- القواعد السابقة هي السبب في نشوء أطياف ذرية فذة لكل عنصر على حدة .

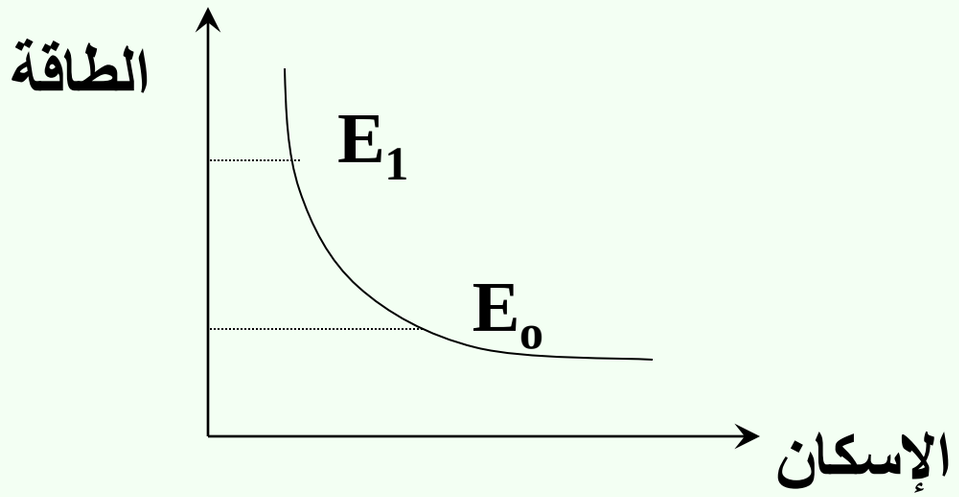
النموذج الذري الحديث

توزيع بولتزمان Boltzman 's Distribution

تتهيج ذرات أي عنصر وتنتقل إلى مستويات طاقة عليا عند حصولها على الطاقة (الحرارية مثلاً) ، فكيف يتم توزيع هذه الذرات على مستويات الطاقة ؟

لقد أوجد العالم بولتزمان معادلته الرياضية التي ارتبطت باسمه وعالجت كلياً عملية توزيع الذرات على مستويات الطاقة المختلفة وتنص هذه المعادلة على مايلي :

$$N_i = N_o \, exp\,(\Delta E / KT) \qquad (25)$$



N_o تعداد الذرات في المستوى الأرضي

N_i تعداد الذرات في المستوى ... i = 1,2,3

ΔE طاقة المستوى ($E_i - E_o$)

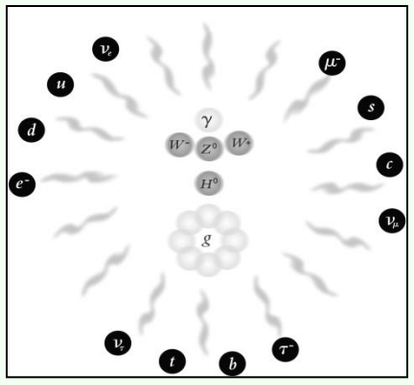
K ثابت بولتزمان

T درجة الحرارة المطلقة

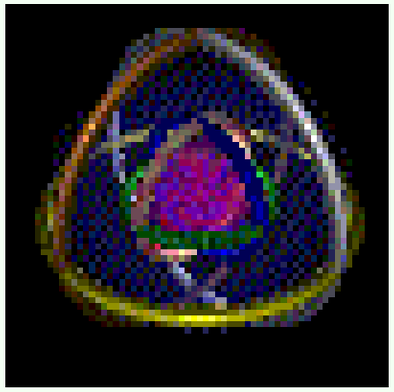
إحصاء الجسيمات الكمية

Quantum Particles Statistics

إحصاء الجسيمات الكمية



الجسيمات الكمية



فيرميونات Fermions

الإلكترونات ، البروتونات ، النيوترونات
تتبع توزيع فيرمي – ديراك :

$$f(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - E_f}{KT}\right) + 1}$$

E_f مستوى طاقة فيرمي

بوزونات Bosons

الفوتونات ، الفونونات
تتبع توزيع بوز - آينشتاين :

$$F(E) = \frac{1}{\exp\left(\frac{E - \mu}{KT}\right) - 1}$$

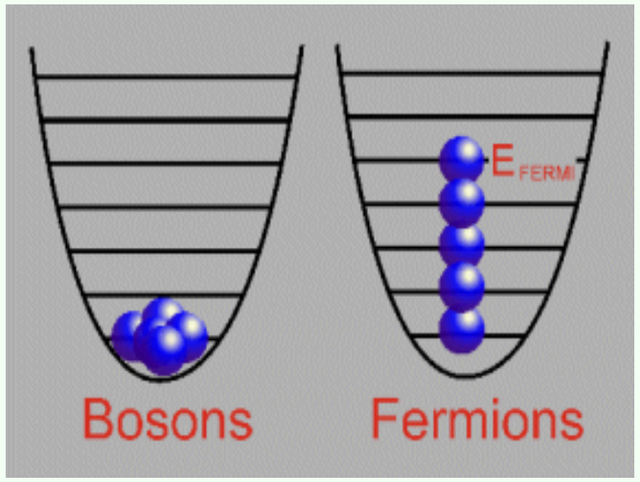
μ Chemical potential

K ثابت بولتزمان
1.38×10^{-23} J/K =
T درجة الحرارة المطلقة

إحصاء الجسيمات الكمية

كلا التوزيعان يقتربان من توزيع ماكسويل – بولتزمان (للجسيمات التقليدية) لدى درجات الحرارة العالية أو الكثافة المنخفضة

الفيرميونات تخضع لمبدأ باولي للإستبعاد



البوزونات لا تخضع لمبدأ باولي للإستبعاد

Pauli's Exclusion Principle مبدأ باولي للاستبعاد

لايمكن لإلكترونين أن تكون لهما تماماً نفس الحالة الكمومية ، أي لايمكن أن تتساوى جميع الأعداد الكمية لأي إلكترونين في نفس الذرة .

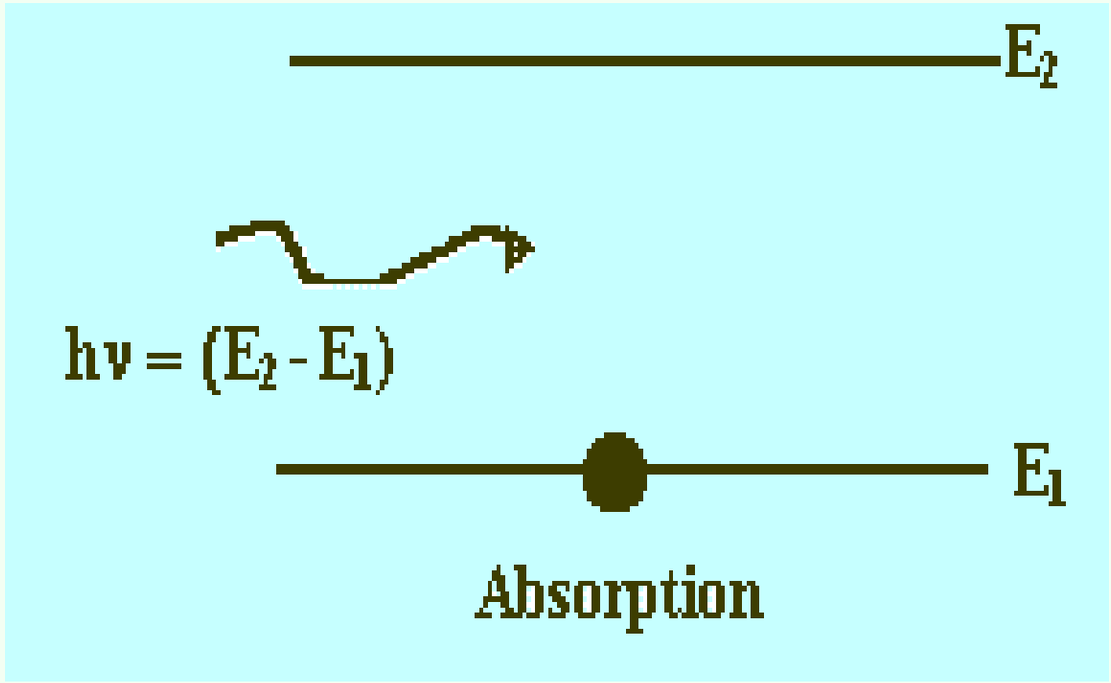
الجدول الدوري

الانتقالات المشعة ومعاملات آينشتين

Radiative Transitions and Einstine 's Coefficients

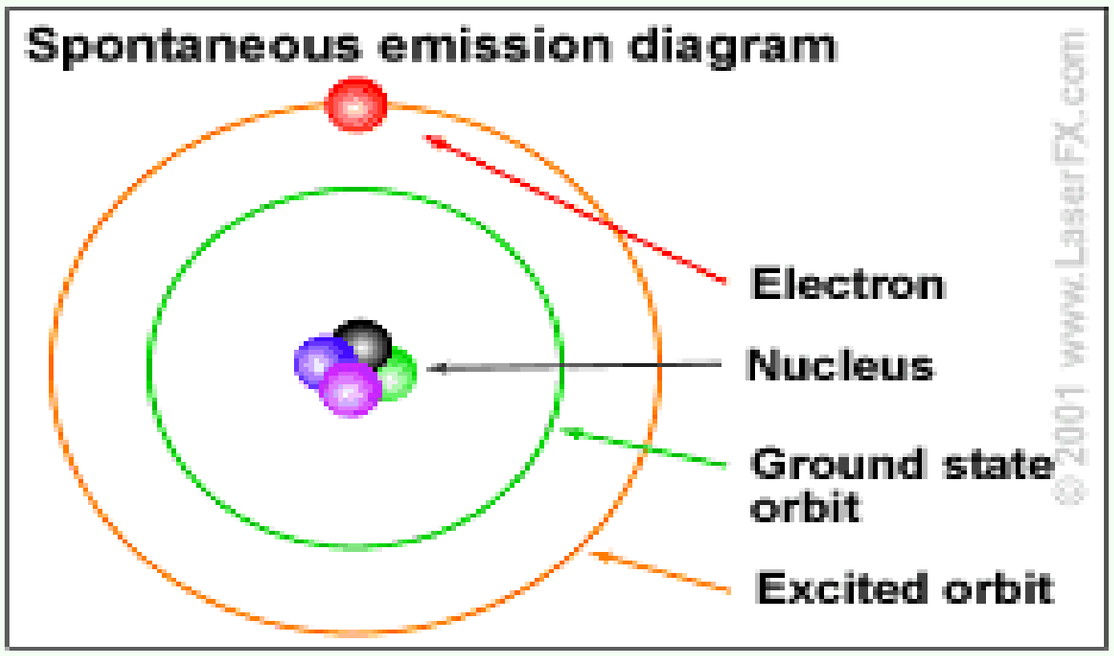
الامتصاص
Absorption

امتصاص الذرة أو الإلكترون لطاقة الفوتون الساقط بحيث ينتقل إلى مستوى طاقة أعلى



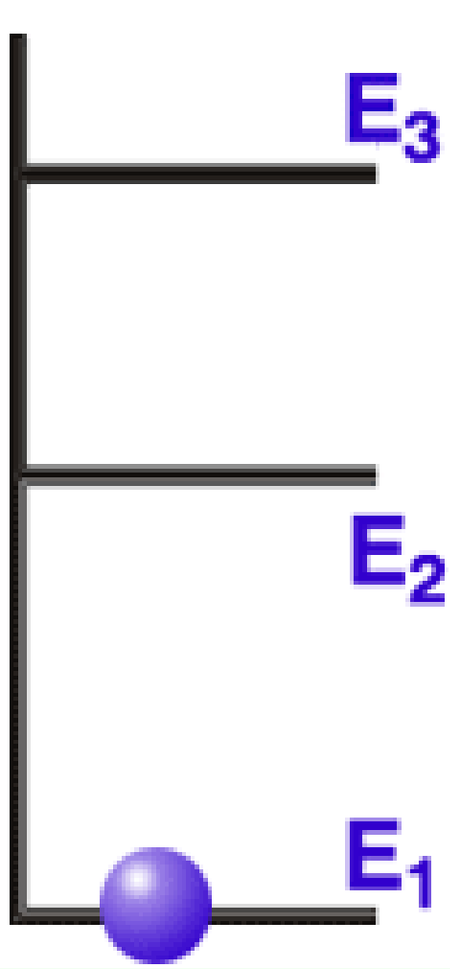
الانبعاث التلقائي
Spontaneous Emission

رجوع الذرة أو الإلكترون من حالة الإثارة إلى المستوى الأرضي بحيث يبعث فرق الطاقة على شكل فوتون دون أي تأثيرات خارجية



الانبعاث المستحث
Stimulated Emission

رجوع الذرة أو الإلكترون من حالة الإثارة إلى المستوى الأرضي بحيث ينبعث فرق الطاقة على شكل فوتون تحت تحفيز فوتون آخر



معاملات آينشتين

لنفترض عدد N من الذرات المتجانسة داخل فجوة الليزر ، وبكل ذرة مستويين من الطاقة بحيث يكون :

$$h f = E_2 - E_1 \qquad (26)$$

ولنفترض أن كثافة الذرات الموجودة في المستوى E_1 و E_2 يعطى بالأعداد السكانية N_1 و N_2 على التوالي والتي بدورها تتأثربالانتقالات المشعة طبقاً لمعادلات آينشتاين التالية :

* ينحل الإسكان العلوي N_2 بسبب الانبعاث التلقائي وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{spon} = -A_{21}\, N_2 \qquad (27)$$

حيث A_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث التلقائي لكل وحدة زمن . (لماذا الاشارة السالبة ؟)

* يزداد الإسكان العلوي N_2 بسبب الامتصاص وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{abs} = +B_{12}\, N_1\, \rho(f) \qquad (27)$$

حيث B_{12} هو احتمالية حدوث الامتصاص لكل وحدة زمن و $\rho(f)$ هي كثافة طاقة الاشعاع .

* ينحل الإسكان العلوي N_2 بسبب الانبعاث المستحث وفقاً للمعدل التالي :

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{stim} = -B_{21}\, N_2\, \rho(f) \qquad (28)$$

حيث B_{21} هو احتمالية حدوث الانبعاث المستحث لكل وحدة زمن .

تسمى المعاملات A و B بمعاملات آينشتين .

وعليه يكون المعدل الكلي للتغير في الاسكان الذري على النحو التالي :

$$\frac{dN_2}{dt} = -\frac{dN_1}{dt} = +B_{12}\ N_1\ \rho(f) - B_{21}\ N_2\ \rho(f) - A_{21}\ N_2 \qquad (29)$$

حالة الاتزان الحراري

في حالة الاتزان الحراري يكون معدل انتقال الذرات إلى المستوى العلوي (الامتصاص) مساوياً لمعدل اتحلالها (بالانبعاث التلقائي أو المستحث) أي أن :

$$B_{12}\ N_1\ \rho(f) = B_{21}\ N_2\ \rho(f) + A_{21}\ N_2 \qquad (30)$$

$$\Rightarrow \qquad \rho(f) = \frac{A_{21}}{\frac{N_1}{N_2} B_{12} - B_{21}} \qquad (31)$$

وحيث المنظومة الذرية المتزنة حرارياً تتبع توزيع بولتزمان وباستخدام المعادلة (25) يمكننا كتابة الانعكاس السكاني كالتالي :

$$\frac{N_2}{N_1} = \exp\left(-\frac{hf}{KT}\right) \qquad (32)$$

الاشارة السالبة في الدالة الأسية تدل على أن الانعكاس السكاني في انحلال وتوهين والمنظومة الليزرية بحاجة إلى عملية ضخ كما سنرى في الفصل القادم .

وبتعويض المعادلة (32) في (31) وافتراض أن مستويات الطاقة غير منحلة نحصل على :

$$\rho(f) = \frac{A_{21}}{\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)B_{12} - B_{21}} \qquad (33)$$

ينص قانون بلانك لإشعاع الجسم الأسود على أن كثافة الإشعاع تعطى بالصيغة الرياضية التالية

$$\rho(f)=\frac{8\pi h f^{3}}{c^{3}}\left(\frac{1}{\left[\exp\left(\frac{hf}{KT}\right)\right]-1}\right) \qquad (34)$$

وبمقارنة المعادلتين الأخيرتين نجد أن :

$$B_{21}=B_{12}=B \qquad (35)$$

$$\frac{A_{21}}{B}=\frac{8\pi h f^{3}}{c^{3}} \qquad (36)$$

لقد وجد آينشتاين أن النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز في حالة الاتزان الحراري تعطى بالعلاقة :

$$R = \frac{A_{21}}{B\ \rho(f)} \qquad (37)$$

وباستخدام العلاقة (34) نحصل على علاقة للمعدل كدالة في درجة الحرارة وتردد الإشعاع :

$$R = \exp\left(\frac{hf}{KT}\right) - 1 \qquad (38)$$

أسئلة ومسائل

س 1: في حالة الاتزان الحراري ($T = 300\ K$) ، تكون نسبة الانعكاس السكاني بين مستويين 1/æ ، أوجد تردد الفوتون المناظر للانتقال بين هذين المستويين ؟ في أي حزم الطيف يقع ؟

س 2 : أوجد النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز في فتيلة التنجستين عند درجة حرارة 2000 K ، إذا كان تردد الضوء المنبعث يبلغ 6×10^{14} Hz ؟

س 3 : ليزر هيليوم – نيون له طول موجي حوالي 630 nm أوجد النسبة بين معاملي آينشتين ؟