1. **حسابات اينشتاين لمعاملات الاحتمالية :**

درس اينشتاين العلاقة بين احتمالية الانتقال للعمليات الثلاثة (الامتصاص, الانبعاث التلقائي, الانبعاث المحفز) اذا فرضنا بأن مادة وضعت في تجويف للاشعاع الكهرومغناطيسي بدرجة حرارة (T), فعند حصول التوازن الحراري ينتشر الاشعاع خلال التجويف ويكون لهذا الاشعاع توزيع طيفي تعطى كثافته () بالعلاقة:

وهي معادلة التوزيع الطيفي لاشعاع الجسم الاسود كما وجده بلانك.

وبفرض وجود مستويين للطاقة لذرة المادة وفرضنا بأن N2&N1 هما تأهيل هذين المستويين على التوالي في حالة توازن, فهناك احتمالية لحدوث كل من العمليات الثلاث بين هذين المستويين وبالشكل التالي:



**شكل (6): توضيح لمعاملات الاحتمالية لاينشتاين**

ولما كانت المادة في حالة توازن حراري فان عدد الانتقالات نحو الاسفل (الانبعاث) يجب ان يعادل عدد الانتقالات نحو الاعلى (الامتصاص), اي ان :

B12 N1 ρν12 ═ A21 N2 + B21 N2ρν12  ………….(17)

وبترتيب الحدود يمكن ان نحصل على الشكل التالي :

وباستخدام احصائية بوتزمان لحالة التوازن الحراري ولتوزيع ذرات المادة على مستويات الطاقة لها (معادلة 4)

وبتعويض معادلة (19) في المعادلة ((18 نحصل:

وبما اننا افترضنا ان النظام الذري في حالة توازن حراري فهذا يعطي اشعاع مطابق لإشعاع الجسم الاسود معادلة (16)

وبمقارنة المعادلتين (16) &(20) نحصل على:

المعادلات (21)& ((22 يشار اليها بمعادلات اينشتاين، فالمعادلة (21) تشير الى ان احتمالية حدوث عملية الامتصاص مكافئة لاحتمالية حدوث عملية الانبعاث المحفز اما المعادلة (22) فتمكننا من حساب النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي الى معدل الانبعاث المحفز لمستويين طاقتين نعوض المعادلة (22) في (16)

نفرض ان:

اي ان R تمثل النسبة بين معدل الانبعاث التلقائي الى الانبعاث المحفز

مثال: مصباح تنكستن يعمل بدرجة حرارة (2000K°) وكان معدل تردد الانبعاث مساويا الى (5×1014 Hz) احسب نسبة الانبعاث التلقائي الى الانبعاث المحفز؟

R=

إذا يكون الانبعاث التلقائي هو المهيمن والانبعاث المحفز مهملا.

1. **معدل الامتصاص ومعدل الانبعاث المحفز:**

 نفرض نظام ذري ذي مستويين للطاقة 1&2 ونفرض بأن الذرة متواجدة (t=o) في الحالة الارضية (مستوي1) بوجود مجال كهرومغناطيسي كثافة الطاقة له وبتردد أحادي (ν) او تردد زاوي (ω=2πν) وجود المجال يعني اضطراب معتمد على الزمن ويؤدي الى احتمالية تواجد الذرة في المستوى 2 بشرط ان طاقة الاضطراب تساوي فرق الطاقة بين المستويين (2&1). لوصف الحالة نستخدم دالة (هاملتون H)

حيث Ho هو هاملتون الذرة في حالة غياب المجال الكهرومغناطيسي "ذرة غير مضطربة " فاذا علم (ν) في اي وقت "t >o" يمكن دراسة التغيير الزمني لحالة الذرة عن طريق معرفة التغيير لدالة الموجة Ψ ومعادلة شرويدنكر المعتمدة على الزمن هي:

,

ولحل هذه المعادلة بدلالة Ψ, يتم ادخال الدالة الذاتية الغير مضطربة لكل من المستويين "2&1"

µ: هو عزم ثنائي القطب للذرة عندما تكون الذرة تحت تأثير الموجةالكهرومغناطيسية الساقطة, وتكون دالة الموجة للذرة:

حيث ان a2&a1 اعداد معقدة تعتمد على الزمن وان هي الاحتمالية لتواجد الذرة في الزمن (t) في المستويين 1&2 على التوالي :

لحساب احتمالية الانتقال W12 يجب حساب الكمية &

اذا كان المسبب للانتقال الذري يتأتى نتيجة الفعل المتبادل بين المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة وعزم ثنائي القطب الكهربائي للذرة والذي يمثل بالمعادلة:

يتطلب الحل معرفة طول الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة مقارنة بالابعاد الذرية, فعندما تكون طول الموجة الساقطة اكبر بكثير من الابعاد الذرية اي في المدى المرئي (اللون الاصفر مثلا λ=500nm) والابعاد الذرية بحدود (0.1nm) في هذه الحالة يمكن التوصل الى التعبير الاتي:

حيث n: هي معامل الانكسار للنظام الذري, εo سماحية الفراغ و 21µ يمثل عنصر المصفوفة ثنائي القطب الكهربائي ويساوي :

وان/21µ/ تمثل مقدار المتجه 21µ وهو قيمة يحدد موضع الذرة بالنسبة لاتجاه المجال الكهربائي للموجة الكهرومغناطيسية الساقطة. والمقدار ()g ويمثل دالة تدعى "بدالة شكل الخط الطيفي" وشكلها يعتمد على الظاهرة التي تسبب تعريض الخط الطيفي وغالبا ما يعبر عنها بدالة لورنتز كما في الشكل (7)



**شكل (7): توضيح لمنحني لورنتزي**

يمكن كتابة المعادلة "34" بدلالة شدة الاشعاع الكهرومغناطيسي الساقط اي بدلالة:

ويمكن ايضا وبنفس الطريقة اشتقاق الاحتمالية الانبعاث المحفز (w12) كون

اي ان احتمالية الانبعاث المحفز تساوي احتمالية الامتصاص

1. **الانتقالات المسموحة والانتقالات الممنوعة**

من المعادلة 34:

تكون قيمة 0=W12 عندما تكون الدالة μ21=0 اي عندما تكون الدالتين 1µ,2µ كلاهما متناظرتين او ذي تناظر عكسي

يقال للدالة (r)µ بأن لها تناظرا عندما:

r)-) µ (r) = µ

وان الدالة لها تناظرا عكسيا عندما:

µ(r) = - µ(-r)

في هاتين الحالتين لا تتغير اشارة حاصل ضرب 1µ &2µ عند التعويض عن r- بالمتجه r- كما يتبين من المعادلة ( (35حيث تكون نتيجة التكامل لهذه المعادلة في الموضعين r ,r- متساوي ولكن باشارة مختلفة فيلغي احدهما الاخر. اما عندما تكون احدى الدالتين متناظرة والاخرى ذات تناظر عكسي فأن حاصل ضرب 1µ&2µ يغير الاشارة عند تغييرr الى -r وبهذا تختلف نتيجة التكامل في المعادلة "34"عن الصفر

* ان الانتقالات لثنائي القطب الكهربائي تحصل فقط بين حالات الذرة (او مستويات الطاقة لها) ذي التماثل المضاد( اي انتقالات التماثل الفردي –الزوجي وبالعكس)
* اذا كان المقدار W=0 فأن الانتقال ممنوع
* ان الانتقالات لثنائي القطب المغناطيسي تحصل بين حالات الذرة ذي التماثل المتشابه (اي انتقالات التماثل الفردي – فردي او زوجي – زوجي)

س: ثنائي القطب الكهربائي اكبر من ثنائي القطب المغناطيسي ؟ وضح ذلك؟

ج: نفرض احتمالية الانتقال نتيجة الفعل المتبادل لثنائي القطب الكهربائي هو (We) وثنائي القطب المغناطيسي Wm وان شدة الاشعاع الكهرومغناطيسي الساقط في المدى المرئي متساوي لكلا الحالتين:



حيث ان: a= نصف قطر الذرة، °E= سعة المجال الكهربائي، °B= سعة المجال المغناطيسي °cB =°E، β = بور ماكنيتون = 9.27x10-24 Amp.m2

اي ان احتمالية الانتقال لعزم ثنائي القطب الكهربائي الى احتمالية الانتقال لعزم ثنائي القطب المغناطيسي تساوي (105)

1. **مقطع الانتقال, معامل الامتصاص , معامل الكسب (الربح)**

ان مقطع الانتقال () لموجة كهرومغناطيسية مستوية منتظمة الشدة (I) تتناسب طرديا مع التدفق الفوتوني (F) اي ان:



لذا وبالاستعانة بمعادلة "36" تكون لمقطع الانتقال التعبير التالي:

اي ان مساحة المقطع العرضي σ تعتمد على

1. نوع المادة
2. تردد الموجة الساقطة
* مساحة المقطع العرضي للانبعاث المحفز = مساحة المقطع العرضي للامتصاص
* يمكن وصف التفاعل المتبادل للاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة بمعامل الامتصاص والذي يرتبط مع مساحة المقطع العرضي بالعلاقة:

فاذا كان N2<N1 لذا فأن () يكون مقدار موجب وبالتالي فأن المعادلة "40" تصبح:

اي ان معامل الامتصاص () يعتمد على تأهيل المستويين لذرات المادة.

* يمكن قياس معامل الامتصاص () بصورة مباشرة بدلالة الشدة باستخدام قانون لامبرت في الشدة النافذة:

كما يمكن تعيين مقطع الانتقال () باستخدام المعادلة " 41" بعد معرفةN2&N1, فاذا كان الوسط في حالة توازن حراري فأن التأهيل لمستويات الطاقة للذرة يوصف حسب احصائية ماكسويل - بوتزمان والذي يكون:

 …………….(19)

* في حالة كون N1<N2 فأن معامل الامتصاص () في المعادلة "41" يصبح سالبا وفي هذا الحالة تتضخم الموجة الساقطة بدلا من ان تضعف نتيجة الامتصاص من قبل الوسط ويكون لدينا كمية موجبة جديدةG تدعى بمعامل الكسب

G ═ - α ═ σ (N2 – N1) ………..(44)