وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/1

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الرابعة

عنوان المحاضرة: الانبعاث المحفز، التلقائي، والامتصاص

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

من المفيد أخيرا ان يتم حساب **معدل الفوتونات لكل صيغة تذبذب** (معدل الفوتونات لكل نمط) والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$\overline{q} = \frac{\bar{E}}{h\nu} = \frac{1}{e^{h\nu/KT}-1} \dots\dots\dots\dots\dots (1-14)$$

فمثلا لو اخذنا قيمة التردد التي تمثل متوسط ترددات الضوء (4×10^{14} Hz) سيكون للفوتون طاقة مقدارها تقريبا ($h\nu = 1\ eV$) لجسم اسود بدرجة حرارة الغرفة (300 K) ، اما المقدار (KT) فيساوي تقريبا (1/40 eV)، لذا يكون عدد الفوتونات الموجودة بصيغة التذبذب لمثل هذا الاشعاع مساويا تقريبا الى (e^{-40}) وهو مقدار ضئيل جدا ، لذا يمكن الاستنتاج ان اشعاع الجسم الأسود الذي هو بدرجة حرارة الغرفة يكون ضئيل جدا في مدى الضوء المرئي.

ومن المفيد أخيرا معرفة **العلاقة بين كثافة طاقة الاشعاع لجسم اسود داخل تجويف والشدة** (I) للشعاع والتي يعبر عنها بالشكل:

$$\rho = \frac{4}{c} I \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-15,a)$$

كذلك تكون **العلاقة بين المقادير الطيفية**، أي ان:

$$\rho_\nu = \frac{4}{c} I_\nu \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-15,b)$$

c سرعة النمط $(c = c_o/n)$ ، c_o سرعة الضوء في الفراغ.

فاذا ما عوضنا عن ρ_ν من المعادلة (1-13,a) في العلاقة الأخيرة نحصل على تعبير يمثل **التوزيع الطيفي لشدة الضوء المنبعث عن سطح الجسم الأسود**

$$I_\nu = 2KT\frac{\nu^2}{c^2} \dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-15,c)$$

الانبعاث الذاتي، الانبعاث المحفز والامتصاص

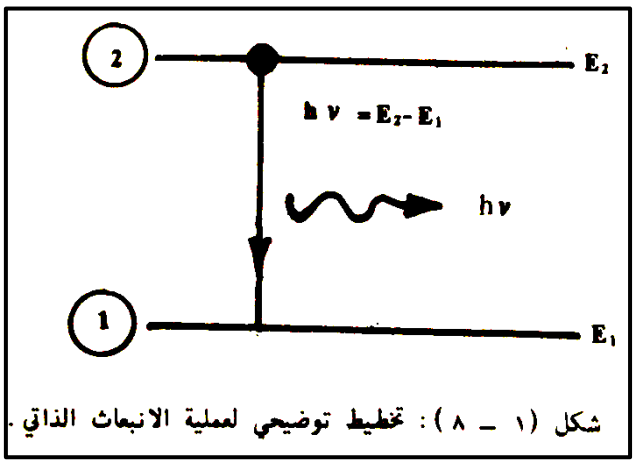
يعتبر هذا الموضوع من صلب الأسس الفيزيائية لعمل الليزر وخواص اشعته كما ان دراسة هذا الموضوع يقع ضمن الاطار العام لدراسة موضوع تعامل الموجات الكهرومغناطيسية مع المادة. ان الظواهر التي نود ان نطرحها في هذا الفصل هي ظواهر الانبعاث الذاتي، الانبعاث المحفز والامتصاص ومعدل حدوث أي منها ثم ادخال عامل ما يسمى بمعامل الامتصاص والكسب كذلك تحجيج العلاقة بين معاملات الظواهر الثلاثة وكيفية العمل على تنشيط فعالية البعض منها. لهذه الدراسة سننتخب نظام ذري ذو مستويين للطاقة واشعاع كهرومغناطيسي احادي الموجة.

الانبعاث الذاتي ((Spontaneous Emission))

لنفرض ان مستويي الطاقة لذرة او جزيئة لوسط ما هما (1) و (2) ولنفرض بان $E_1 < E_2$ ، لاحظ الشكل (1-8). وللسهولة نفرض ان المستوي (1) هو المستوي الأرضي لذرة المادة وان الذرة في البداية هي في المستوي (2). وحيث ان $E_1 < E_2$ فالذرة طبيعيا تحاول الاضمحلال الى المستوي (1) وبهذا تحرر طاقة بمقدار $(E_2 - E_1)$ على شكل موجات كهرومغناطيسية هذه الظاهرة تدعى بالانبعاث الذاتي (المُشِّع ـ Radiative emission)، اما تردد الموجة المنبعثة فيعبر عنها بدلالة قانون بلانك، أي ان:

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-16)$$

h ثابت بلانك.



شكل (١ ـ ٨): تخطيط توضيحي لعملية الانبعاث الذاتي.

ان الانبعاث الذاتي يكون يكون مميزا بانبعاث فوتون بطاقة $(E_2 - E_1)$ مساوية الى $h\nu$ عندما تضمحل الذرة من مستوي الطاقة (2) الى مستوي الطاقة (1). ويوصف هذا الانبعاث عادة على النحو التالي: لنفرض ان وحدة الحجم من المادة تحوي عددا من الذرات يساوي N_2 في المستوي (2) في الزمن (t) مثلا. بهذا يكون معدل الاضمحلال لذرات المادة نتيجة الانبعاث الذاتي والمعبر عنه بالمقدار $\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{Sp}$ متناسبا مع العدد (N_2) أي ان:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{sp} = -AN_2 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-17)$$

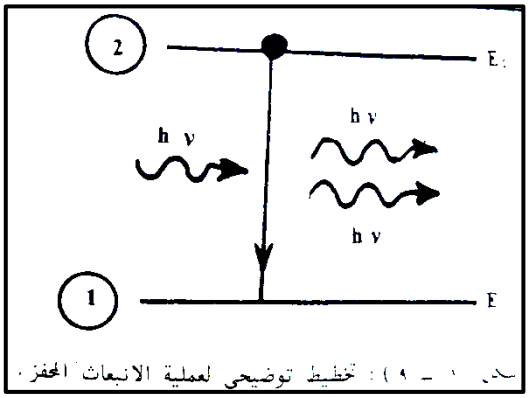
يطلق على العدد N المتواجد في مستوي طاقة ما للذرة بتأهيل المستوي (level population) ويأخذ الوحدات $(atom/m^3)$. مثلا يكون تأهيل المستوي (2) يساوي N_2 ذرة لكل متر مكعب كما يدعى المعامل (A) باحتمالية الانبعاث الذاتي او المعامل A لاينشتاين، ويدعى باسمه لأنه اول من حصل عليه، ومن الاعتبارات الثرموديناميكية لا الكمية يدعى متوسط زمن عمر الانبعاث أي متوسط زمن بقاء الذرة في المستوي المهَّيج بمتوسط زمن عمر الانبعاث الذاتي (τ_{Sp}) ويكون مساويا الى مقلوب المقدار (A) اذا كان اضمحلال هذا المستوي يتم عبر انتقال واحد فقط الى مستوي اوطأ، هذا ويعتمد مقدار كل من τ_{Sp} و A على الانتقال او الاضمحلال المعين بين المستويين المناظرين (1) و (2).

ان الانبعاث الذاتي هو أحد الطريقتين المحتملتين لاضمحلال الذرة. فالاضمحلال قد يحدث دون ان يصحبه انبعاث لموجات كهرومغناطيسية ويدعى هذا الاضمحلال ((بالاضمحلال غير المشع)) وتخسر الذرة فرق الطاقة عن طريق اصطدامها بما حولها من ذرات او جزيئات مماثلة او مخالفة او عن طريق اصطدامها بجدار الاناء الذي يحتويها. اما ما يتسبب عن فقدان الطاقة هذه فيعتمد على طبيعة المادة نفسها وحالتها وكذلك على طبيعة المادة التي تتبادل الطاقة معها ومن هنا تكون عملية الاضمحلال غير المشع عملية معقدة ومتشعبة.

الانبعاث المُحفَّز ((Stimulated Emission))

لنفرض ان الذرة موجودة أيضا في المستوي (2) ولكن هذه المرة بحضور اشعاع كهرومغناطيسي متواجد في الوسط وبتردد (ν) بحيث ان $(h\nu)$ يساوي تماما الفرق بين طاقتي المستويين (1) و(2). عند توفير هذا الشرط أي عندما يكون تردد الموجات الساقطة مساويا لتردد الانتقال الذري

فهناك احتمالية محدودة لهذا الاشعاع ان يحفز الذرة التي هي في المستوي (2) ويجبرها على الانتقال منه الى المستوي الاوطأ (1). في هذه الحالة يتحرر فرق الطاقة $(E_2 - E_1)$ للذرة المنتقلة على شكل موجات كهرومغناطيسية تضاف الى الموجة الساقطة وتتحد صفاتهما معا بشكل خاص. ففي هذه الحالة وبسبب كون عملية الانبعاث المحفز عملية اضطرارية ومن قبل الموجة الساقطة فالموجة المنبعثة من اية ذرة محفزة في المستوي (2) تكون متحدة في الطور مع الموجة الساقطة كما ان الأخيرة تحدد اتجاه انتقال الموجة المنبعثة. ان هذا يمثل فرقا جوهريا بين الانبعاث المحفز والانبعاث الذاتي فالأخير يحدث بصورة تلقائية محضة وبمجرد وجود الذرة في حالة محرضة فالذرة المضمحلة تبعث اشعاعا كهرومغناطيسيا لا يكون له علاقة طور –محددة بتلك الذي تبعثه ذرة أخرى متواجدة في المستوي ذاته كما ان هذا الاشعاع قد ينتقل باي اتجاه في الفضاء.



شكل (1 – 9): مخطط توضيحي لعملية الانبعاث المحفز.

توصف عملية الانبعاث المحفز بالمعادلة الآتية:

$$\left(\frac{dN_2}{dt}\right)_{st} = -W_{21}N_2 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-18)$$

حيث يمثل الطرف الايسر معدل الانقال من المستوي (2) الى المستوي (1) نتيجة الانبعاث المحفز. كما يدعى المقدار (W_{21}) باحتمالية الانتقال المحفز وكما هو الحال للمعامل (A) يكون للمعامل (W) وحدة مقلوب الزمن (s^{-1}) لكن المقدار (W) لا يماثل المقدار (A) من ناحية كون الأول لا يعتمد فقط على الانتقال المحدد بين المستويين المعنيين (1) و (2) وانما يعتمد أيضا على شدة الاشعاع الكهرومغناطيسي الساقط، فلموجة كهرومغناطيسية مستوية يكون:

$$W_{21} = \sigma_{21} F \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-19)$$

حيث يمثل المقدار (F) التدفق الفوتوني للموجة الساقطة، اما ثابت التناسب (σ_{21}) فهو كمية لها ابعاد المساحة وتدعى بمقطع الانبعاث وتعتمد فقط على صفات الانتقال المعطى.

الامتصاص ((Absorption))

لنفرض الان بان الذرة متواجدة في المستوي الاوطأ للطاقة، المستوي(1). فاذا كان هذا المستوي هو المستوي الأرضي فان الذرة ستبقى هناك مالم تتعرض الى محرض خارجي وكمثال على هذا تعرض الوسط الى اشعاع كهرومغناطيسي ذي تردد (ν) بحيث ان $(h\nu)$ يساوي الفرق بين مستويي الطاقة قيد الدراسة. في هذه الحالة تكون للذرة احتمالية محدودة للارتقاء الى المستوي الأعلى (2) اذ تُغذي الموجة الكهرومغناطيسية الساقطة الذرة بمقدار فرق الطاقة $(E_2 - E_1)$ الذي تحتاجه لإتمام عملية الانتقال هذه والتي تدعى بعملية الامتصاص.

يمكننا بطريقة مماثلة ان نعبر عن معدل الامتصاص بالمعادلة:

$$\left(\frac{dN_1}{dt}\right)_{ab} = -W_{12}N_2 \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-20)$$

حيث تمثل (N_1) تأهيل المستوي (1). أي عدد الذرات المتواجدة في المستوي (1) لوحدة الحجم من الوسط الذري في زمن معين. كما يمثل المقدار (W_{12}) احتمالية الامتصاص وتعتمد كذلك على شدة الاشعاع الساقط وكذلك على الانتقال الذري بين المستويين المعنيين.

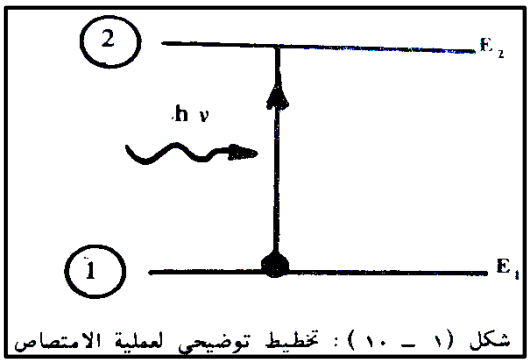
بنفس الطريقة يمكن التعبير عن المقدار (W_{12}) بالعلاقة:

$$W_{12} = \sigma_{12}\, F \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-21)$$

حيث يكون للمقدار (σ_{12}) وحدات المساحة ويدعى بمقطع الامتصاص ويعتمد فقط على الانتقال المعين.

خلاصة ما سبق: لقد أُعطيت المبادئ الأساسية لعملية الانبعاث الذاتي، المحفز والامتصاص. يمكننا أيضا وصف هذه العمليات بدلالة الفوتونات. ففي الشكل(8-1) حيث تتم عملية الانبعاث الذاتي باضمحلال الذرة من المستوي (2) الى المستوي (1) عن طريق تحرير فوتون اما في الشكل (9-1) فتتم عملية الانبعاث المُحفَّز باستخدام فوتون ساقط يُحفِّز الذرة المُهَّيجة أصلا للانتقال الى

المستوي الأوطأ وبهذا يكون الناتج فوتونان (الحافِز والمُحفَّز). اما في الشكل (10-1) حيث تتم عملية الامتصاص للفوتون الساقط والنتيجة ارتقاء الذرة من المستوي الأوطأ (1) الى المستوي الأعلى منه، المستوي (2).



شكل (١ ـ ١٠) : تخطيط توضيحي لعملية الامتصاص

ان عملية الانبعاث التلقائي تحدث بمعدل ثابت ولا تعتمد على أي مؤثر خارجي في حين تجد كل من عملية الانبعاث المحفز والامتصاص عن طريق تأثير مجال كهرومغناطيسي خارجي.

أخيرا لابد لنا ان نذكر بان مقطعي الامتصاص والانبعاث المحفز متساويان أي ان $\sigma_{12} = \sigma_{21}$ وهذا يعني ايضا تساوي احتمالية عملية الانبعاث المحفز لاحتمالية عملية الامتصاص أي ان $W_{12} = W_{21}$ عند تواجد الذرة في اشعاع كهرومغناطيسي مناسب لهذا يمكن الاكتفاء بكتابة الرمز (σ) وكذلك الرمز (W) ليشيرا الى مقطع الانتقال او احتماليته على التوالي. كما يمكن القول بان عملية الانبعاث المحفز هي عملية امتصاص سالبة (او باتجاه معاكس).

المصادر:

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.