



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

اسم المادة: الليزر/1

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة العاشرة:

عنوان المحاضرة: انقسام المستويات الطاقية

مدرس المادة

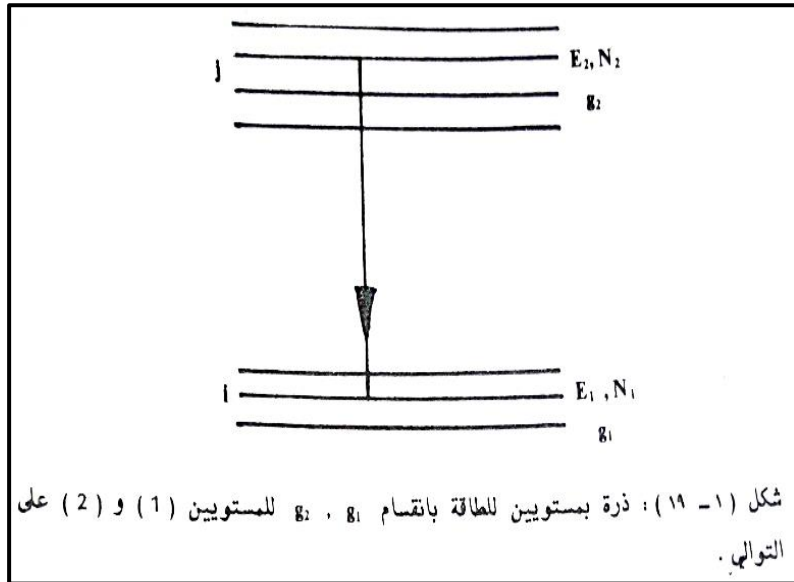
أ.م. د جمال مال الله رزيق العبيدي

حالة الانقسام لمستويات الطاقة:

لقد تناولنا سابقا ولغرض السهولة مستوى الطاقة للذرة وكأنه مستو واحد غير منقسم على ذاته، فاذا اخذنا بنظر الاعتبار هذا الانقسام في مستويات الطاقة للذرة فكيف سيكون تأثير هذا الانقسام على سياق الشرح والعلاقات الرياضية التي سبق ذكرها. لنفرض الان بان مستوى الطاقة (1) منقسم الى عدد g_1 من الحالات وان N_1 تمثل تأهيل هذا المستوي بكافة حالاته ولنفرض انها جميعا ذات تأهيل متساوي لذا يكون تأهيل احداها، i مثلا كالتالي:

$$N_{1i} = N_1/g_1$$

فاذا تعاملنا مع مستويين للطاقة بانقسام g_1 و g_2 على التوالي فاننا نستطيع ان نتعامل مع أي انتقال بين أحد حالات المستوي الأعلى، مثلا j ، الى أحد حالات المستوي الأدنى، مثلا i ويرمز له بالانتقال ji ، كما مبين في الشكل (1-19)، اما فيما يخص بعض الصفات التي تحدد الانتقال بين المستويين (1) و (2) عموما فتكون المعادلات المعبرة عنها والمناظرة لما سبق ذكره آنفا كالتالي:



احتمالية الانتقال:

$$W = \sum_{i=1}^{g_1} \sum_{j=1}^{g_2} W_{ij} = \sum_{i=1}^{g_1} \sum_{j=1}^{g_2} W_{ji} \dots \dots \dots (1 - 62)$$

مقطع الامتصاص العرضي والانبعث المحفز:

$$\sigma_{12} = \frac{W}{g_1 F} \dots \dots \dots (1 - 63)$$

$$\sigma_{21} = \frac{W}{g_2 F} \dots \dots \dots (1 - 64)$$

ومن هنا يتضح أن:

$$g_2 \sigma_{21} = g_1 \sigma_{12}$$

معامل الامتصاص:

عندما يكون $N_1 > N_2$ فان معامل الامتصاص سيكون:

$$\alpha = \sigma_{12} \left(N_1 - N_2 \frac{g_1}{g_2} \right) \dots \dots \dots (1 - 65)$$

معامل الكسب:

عندما يكون $N_2 > N_1$ فان معامل الكسب سيكون:

$$G = \sigma_{21} \left(N_2 - N_1 \frac{g_2}{g_1} \right) \dots \dots \dots (1 - 66)$$

يتضح من العلاقتين الأخيرتين عندما يكون $N_1 \gg N_2$ ، وهو ما يتحقق عادة في معادلات الامتصاص التي تتضمن انتقالات بصرية، فان العلاقة 1 - 65 ستأخذ الصيغة البسيطة $(\alpha = \sigma_{12} N_1)$. والعكس عندما يكون $N_2 \gg N_1$ ، وهو ما يتحقق في ليزر المستويات الأربعة، فان العلاقة 1 - 66 ستأخذ الصيغة البسيطة $(G = \sigma_{21} N_2)$.

اما النسبة بين تأهيل هذين المستويين في حالة التوازن وحسب إحصائية بولتزمان فتكون:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{g_2}{g_1} e^{-(E_2 - E_1 / KT)} \dots \dots \dots (1 - 67)$$

ومن الواضح أيضا ان العلاقة بين معاملات اينشتاين ستكون كالتالي:

$$g_1 B_{12} = g_2 B_{21} \dots \dots \dots (1 - 68)$$

يدعى المقدار g بالوزن الاحصائي للمستوي او الحالة والتي تعبر عن حالة الانقسام له ويعتمد مقداره بصورة عامة على الاعداد الكمية (J, L, S) . فمستوي الطاقة ذو العدد الكمي J له انقسام بمقدار $(2J + 1)$ في حالة غياب الذرة عن أي مجال خارجي. أي ان الوزن g الاحصائي للمستوي يعطى بالمقدار $(2J + 1)$.

مستويات الطاقة لجزيئة:

تلعب الجزيئة دورا مهما في حقل فيزياء الليزر حيث يشكل الوسط ذو التركيب الجزيئي للمادة او الغاز الجزيئي وسطا فعالا لبعض أنواع الليزر ذات الأهمية العلمية مثل ليزر ثاني أوكسيد الكربون او ليزر الصبغة. الجزيئة تركيب متين مترابط من ذرتين او أكثر متشابهة او مختلفة وفيزياء الجزيئة بلا شك تكون أكثر تعقيدا وتشعبا من فيزياء الذرة. ولكي نتعرف على الطيف الجزيئي لابد لنا أولا من ان نتعرف على الطاقة التي يمكن للجزيء ان يتخذها.

تتألف الطاقة الكلية للجزيئة بصورة عامة من مجموع اربعة أجزاء :

أ- الطاقة الالكترونية (E_e) الناشئة من حركة الإلكترونات حول النوى.

ب- الطاقة الاهتزازية (E_v) الناشئة من الحركة الاهتزازية للنوى.

ت- الطاقة الدورانية (E_r) الناشئة من الحركة الدورانية للجزيئة.

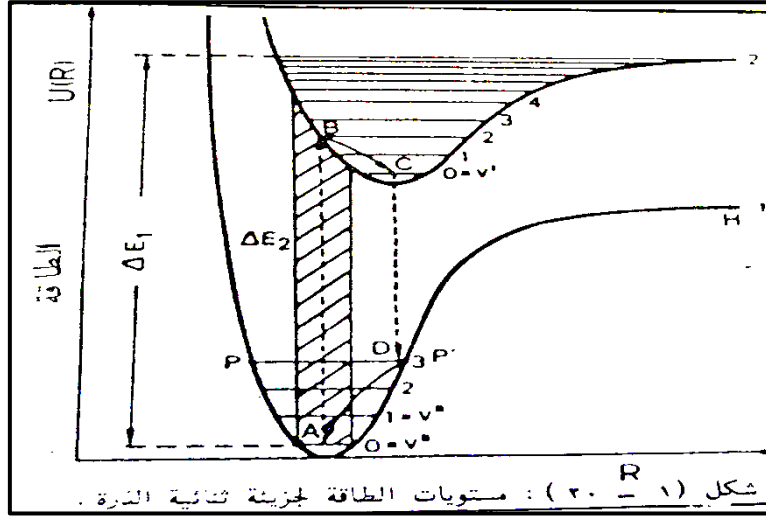
ث- الطاقة الانتقالية.

وسوف لن نقوم بدراسة الطاقة الانتقالية كونها طاقة غير مكتملة اما بقية أنواع الطاقة فهي تخضع لقوانين الكم. ولغرض معرفة فرق الطاقة بين مستويين للإلكترون (ΔE_e) بالمقارنة مع فرق الطاقة بين مستويين للتذبذب (ΔE_v) وبالمقارنة أيضا مع مستويين للدوران (ΔE_r) سننتخب جزيئة ثنائية.

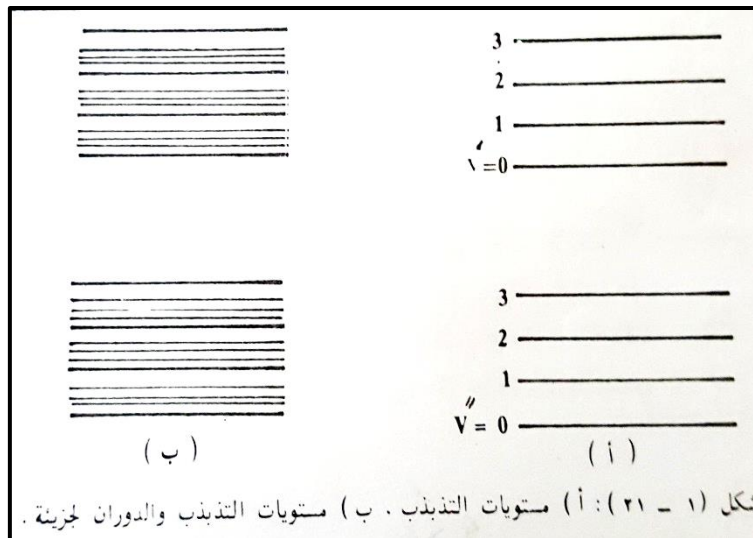
بالاستعانة بمراجع للفيزياء الذرية والجزيئية سنجد بشكل مبسط وتقريبي ان المسافة الفاصلة بين مستويات الطاقة للدوران تشكل تقريبا واحد في المئة من المسافة الفاصلة بين مستويات التذبذب. اما هذه المسافة فتشكل هي الأخرى حوالي واحد في المئة من المسافة الفاصلة بين مستويات الطاقة للإلكترونات. فاذا تذكرنا هذه القيم نستطيع ان نستنتج بان الانتقالات الخاصة بين

المستويات المختلفة للدوران لنفس المستوي التذبذبي والالكتروني تكون واقعة في مدى الموجات الميكروية (او الدقيقة)، أي بطول موجة تتراوح بين 100 مايكرومتر لغاية 30 سنتيمتر. في حين تقع الانتقالات الخاصة بين المستويات المختلفة للتذبذب بتركيبها الدوراني الدقيق ولنفس المستوي الالكتروني في مدى الموجات تحت الحمراء أي ما بين 100 مايكرومتر ولغاية 1 مايكرومتر. اما الانتقالات بين المستويات الالكترونية المختلفة، كما هو الحال في الذرة، فتقع في مدى يتراوح بين الموجات تحت الحمراء القريبة ممتدة الى المرئي وكذلك الموجات فوق البنفسجية. تُعطى الاعداد الكمية لمستويات التذبذب والدوران بعلامة مفردة للمستوي الأعلى وبعلامة مزدوجة للمستوي الأوطأ.

نبدأ الان بمستويات الطاقة للإلكترون ولنفرض أولاً انعدام الحركة الدورانية وكذلك ان ذرتي الجزيئة على مسافة ثابتة (R) بينهما، أي انعدام الحركة الاهتزازية أيضاً. يمكننا ان نستنتج سواء من حل معادلة شرودينكر لمثل هذه الجزيئة او بدون التطرق الى ذلك بان اعتماد الطاقة لحالة الالكترون على المسافة (R) تكون كما هو مبين في الشكل (20-1)، يظهر في هذا الشكل مستوى الطاقة للحالة الأرضية (المستوي 1) وأيضاً مستوى الطاقة للحالة المثيجة الأولى، (المستوي 2). ان شكل أي من المستويين يوضح اعتماد القوى الجزيئية على المسافة (R) وما القوة الا التغير في الطاقة بالنسبة للمسافة (R)، فعندما تكون المسافة الفاصلة بين الذرتين كبيرة جداً ($R \rightarrow \infty$) فنحصل على الشكل المألوف لمستوي الطاقة في حالة الذرة المفردة (الجزء المستقيم). اما عند نقصان المسافة بين الذرتين فان قوة التجاذب بينهما تزداد أولاً ولغاية قيمة معينة للمسافة ($R = R_0$) فاذا ما نقصت المسافة (R) عن القيمة (R_0) فان قوة تنافر سوف تظهر بينهما. لذا تكون الجزيئة أكثر استقراراً (اقل طاقة) عند الموضع ($R = R_0$) حيث تكون القوة بين الذرتين مساوية الى الصفر. يتضح من الشكل أيضاً بان منحنى الحالة الأرضية (1) مُزاح الى يسار منحنى الحالة المثيجة (2) وهذا يشير الى ان المسافة بين الذرتين في وضع الاستقرار، للجزيئة المثيجة تكون أكبر مما هي عليه للجزيئة التي هي في الحالة الأرضية.



والان لو سمحنا لجزيئة بالتذبذب فسوف تهتز حول موضع استقرارها ومقدار طاقة التذبذب مكتم وبفروقات متساوية، أي ان مستويات الطاقة الخاصة بالتذبذب تبتعد عن بعضها البعض بمسافات متساوية وان أوطأ مستوي للتذبذب ($V = 0$) لا ينطبق مع النهاية الصغرى للمنحني لان الطاقة الصغرى لمذبذب هارموني لا تساوي صفر وانما تساوي $(\frac{1}{2} \hbar \omega_0)$. ولرسم مستويات الطاقة للجزيئة يُستعان غالبا وللسهولة بالشكل (1-21) ليوضح المستويات المختلفة للجزيئة.



الآن نعتبر وجود الجزيئة في مجال كهرومغناطيسي. فاذا كانت طاقة الفوتون الساقط اكبر من ΔE_1 ، راجع الشكل (1-20)، فان الجزيئة تتفكك عند امتصاصها هذا المقدار من الطاقة. اما إذا كانت طاقة الفوتون اقل من هذا المقدار وبمقدار مناسب فان الجزيئة عند امتصاصها لهذا المقدار من الطاقة تنتقل من أوطأ مستوى للتذبذب للحالة الأرضية وباتجاه احدى مستويات التذبذب للحالة المثيجة. فاذا فرضنا بان هذا الانتقال يحدث خلال فترة زمنية اقل بكثير من مدة الذبذبة للحركة التذبذبية للجزيئة وهذا ما يدعى بمبدأ فرانك-كوندون فان الانتقال في هذه الحالة يقع ضمن المنطقة المضللة في الشكل (1-20) وان احتمالية الانتقال تتناسب مع ما يسمى بمعامل فرانك-كوندون.

إذا اخذنا بنظر الاعتبار الحركة الدورانية أيضا، أي كون أي مستوى تذبذبي للحالة الالكترونية منقسم على نفسه الى عدة مستويات للدوران فان الجزيئة وبامتصاصها لطاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي تنتقل من احدى مستويات الدوران للمستوي الاوطأ للتذبذب ($\nu'' = 0$) للحالة الأرضية الى احدى مستويات الدوران لاحد مستويات التذبذب للحالة المثيجة (مثلا الحالة $\nu' = 0$) كما يكون بالإمكان ان يحدث الانتقال ضمن الحالة نفسها أي مثلا من ($\nu'' = 0$) الى الحالة ($\nu'' = 1$). وعلى العموم تكون الانتقالات في الجزيئة كماهي الحال في الذرة خاضعة لقوانين انتقاء معينة.

اما عن تأهيل مستويات الطاقة للجزيئة في حالة التوازن الحراري فتكون أيضا خاضعة الى إحصائية بولتزمان، أي ان تأهيل مستوي دوراني - تذبذبي لحالة الكترونية معينة يُعبر عنه بالمعادلة:

$$N = \alpha g e^{-E/KT} \dots \dots \dots (1 - 69)$$

حيث يكون الانقسام (g) في هذه الحالة مساويا الى $g_e g_v g_r$ ، اما E فتساوي $E_e + E_v + E_r$ وفق تقديراتنا السابقة وفي درجة حرارة الغرفة مثلا ($T = 300K$) تكون $\left(\frac{KT}{hc} = 209 \text{ cm}^{-1}\right)$ ، في حين تكون $\left(\frac{E_v}{hc} \approx 100 \text{ cm}^{-1}\right)$ وان $\left(\frac{E_e}{hc}\right)$ تكون أكبر من هذا المقدار. لذا وكما تبين تكون E_e و E_v أكبر بكثير من KT لذا يمكننا ان نقول ان لحالة التوازن هذه تأخذ الجزيئة أوطأ مستوى للتذبذب للحالة الالكترونية الأرضية.

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.