



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الرابعة

المادة : كيمياء ضوئية

المحاضرة : السادسة / نظري / د. سعود

{{ مكتبة A to Z }}

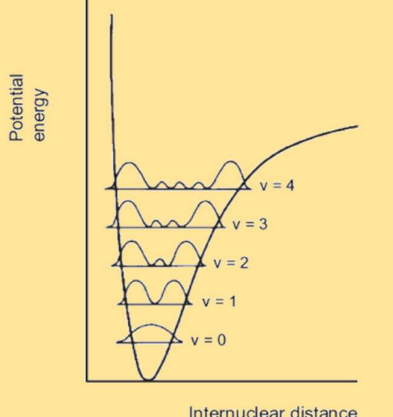
مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر (What's app-Telegram) على الرقم 0931497960



الأحد: 2025 / 11 / 16	مقرر الكيمياء الضوئية	المحاضرة السادسة
د. سعود عبد الحليم كده 	الفصل الثاني امتصاص الضوء وحالات الإثارة الإلكترونية Light Absorption and Electronically Excited States	قسم الكيمياء السنة الرابعة - الفصل الأول 2026 - 2025
تتضمن هذه المحاضرة: 2324 كلمة تشمل: 12314 حرف موزعة ضمن: 9 صفحات		

الهدف التعليمي من المحاضرة السادسة	
<p>في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ فهم قانون التوزيع لبولتزمان. ✓ فهم تأثير الترافق على الفرق الطاقية بين السويات الإلكترونية. ✓ الإحاطة بقواعد الاختيار. <p>جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على الشبكة العنكبوتية</p>	

من خلال المحاضرات السابقة، وجدنا أن لكل حالة من حالات الإثارة الإلكترونية خصائصها المميزة، التي من خلالها تتحدد طبيعة التفاعل الكيميائي الضوئي ونتائجه، وهذا يتضح أكثر من خلال دراسة قواعد الاختيار، التي تعطينا فكرة عن آلية سير التفاعل الكيميائي الضوئي.

لكن قبل ذلك سنكمل في بعض المفاهيم الأساسية التي تعتبر امتداداً للمحاضرات السابقة وتمهد للمحاضرات اللاحقة.

المحتوى	الصفحة
مبدأ فرانك كوندون	68
امتصاص الضوء من قبل الجزيئات العضوية.	69
الجزيئات المرتبطة خطياً.	70
قواعد الاختيار.	71
قاعدة اختيار الدوران.	71
قاعدة اختيار التماثل (التناظر) المداري.	72

يمكن متابعة المادة والاستفادة أكثر من خلال قناة PHOTOCHEMISTRY على تطبيق تلغرام وفق الرابط:



Telegram

@Photochemistry_tartousuniv



تعرفنا في المحاضرة السابقة على مبدأ بورن اوبنهايمر، الذي يمكن إيجازة من خلال ما يلي:

"يمكن معالجة الطاقات الإلكترونية والاهتزازية والدورانية بشكل منفصل نتيجة الاختلافات الكبيرة بين هذه الطاقات"

وبالتالي، وفقاً لهذا المبدأ يجب إدراك أن:

1. فجوة الطاقة (الفرق بين سويتين) بين الحالات الإلكترونية أكبر بكثير من الفجوة بين الحالات الاهتزازية.
2. فجوة الطاقة بين الحالات الاهتزازية أكبر بكثير من الفجوة بين الحالات الدورانية.

وكنتيجة لذلك، يمكن وصف تأثيرات التحولات الإلكترونية داخل الجزيئات بشكل كافٍ من خلال النظر في الحالات الإلكترونية والاهتزازية المقطرة دون النظر للحالات الدورانية.

هذا يقودنا لمفهوم **الانتقالات المهتزة**، التي تُعرّف بأنها:

"التحولات الإلكترونية التي تنتج عن امتصاص الجزيئات للضوء فوق البنفسجي والضوء المرئي، حيث يحدث ضمن هذه التحولات تغييرات في كل من السويات الإلكترونية والاهتزازية"

وبما ان حالة الإثارة الإلكترونية هي حالة يصاحبها الانتقال إلى مستويات طاقة أعلى، فهذا يعني أن يجب علينا تحديد عدد الجزيئات في مستويات الطاقة المختلفة، وبالتالي يجب علينا الإجابة عن هذا السؤال:

هل يمكن تحديد عدد الجزيئات في مستويات الطاقة المختلفة؟

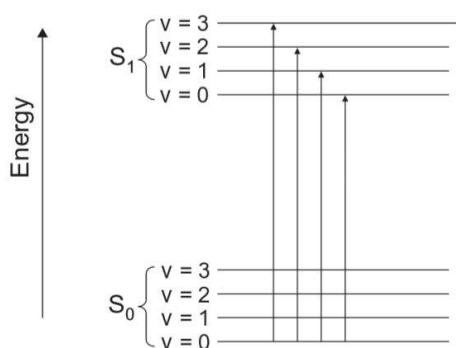
في حالة التوازن الحراري، يتم وصف عدد جزيئات أي سلسلة من مستويات الطاقة بموجب **قانون توزيع بولتزمان** Boltzmann Distribution Law، فإذا كانت (N_0) عدد الجزيئات في الحالة الأرضية، فيتم إعطاء عددها (N_1) في أي مستوى طاقة أعلى وفق المعادلة التالية:

$$\frac{N_1}{N_0} = \exp\left(-\frac{\Delta E}{RT}\right)$$

حيث:

\exp الدالة الأسية (e^* على الآلات الحاسبة)، ΔE فرق الطاقة بين مستويي الطاقة، R ثابت الغاز (والذي تبلغ قيمته $8.314 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$)، T درجة الحرارة المطلقة.

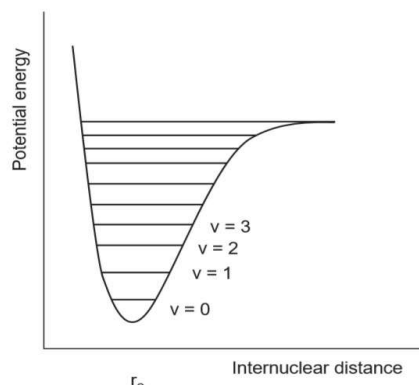
تظهر الحسابات المستندة إلى قانون التوزيع لبولتزمان أنه في درجة حرارة الغرفة، ستكون معظم الجزيئات في الحالة الاهتزازية ($V=0$) للحالة الأرضية الإلكترونية، لذلك يحدث الامتصاص دائماً تقريباً من (S_0 ($V=0$)) كما هو موضح في الشكل (4-2).



الشكل (4-2):

رسم تخطيطي للحالة الأرضية الإلكترونية والحالة الإلكترونية الأولى المثارة، مع مستويات الطاقة الاهتزازية المرتبطة بها لجزء عضوي. تظهر الأسهم الرأسية انتقالات اهتزازية بسبب امتصاص الفوتونات

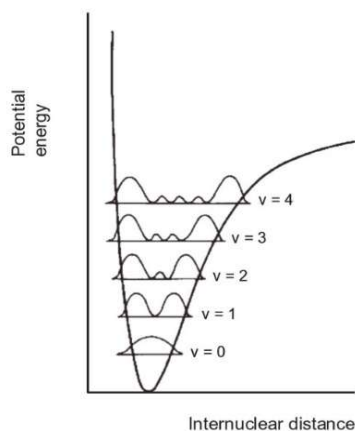
لتوضيح مفهوم المستويات الاهتزازية، يوضح الشكل (5-2) منحنى الطاقة الكمونية Potential Energy Curve لجزيء ثنائي الذرة، غالباً ما يشار إليه على أنه **منحنى مورس** Morse Curve، والذي يصور الطريقة التي تتغير بها الطاقة الكمونية للجزيء مع طول الرابطة.



الشكل (5-2):

منحنى مورس لجزيء ثنائي الذرة، يوضح مستويات الطاقة الاهتزازية المقطرة مع تغير البعد بين النواتين. يمثل الحد الأدنى على المنحنى مسافة رابطة التوازن r_e

نلاحظ من خلال الشكل السابق، أنه في النقاط التي تلتقي فيها الخطوط الأفقية بمنحنى مورس، تكون الطاقة كمومية بشكل كلي، أما فيما بينها فالطاقة بجزء منها كمونية، وجزء منها طاقة حركية، كما نلاحظ أن أسفل المنحنى تكون الطاقة منخفضة، وبالتالي الذرات قريبة من بعضها ومستقرة، بينما أعلى المنحنى تكون الطاقة مرتفعة، وبالتالي تكون الذرات متباعدة.



الشكل (6-2):

الوظائف الموجية الاهتزازية المحتملة لسلسلة من أرقام الكم الاهتزازية، لاحظ أنه بالنسبة للقيمة الأعلى لـ v ، يوجد احتمال أكبر للجزيء أن يملك طول رابطة عند الحدين الموضحين في منحنى مورس. لاحظ أيضاً أنه لكل قيمة v ، هناك احتمالية قيمتها $V+1$

يوضح الشكل (6-2) في الأعلى، الوظيفة المحتملة الاهتزازية لسلسلة من أرقام الكم الاهتزازية، ونلاحظ ما يلي:

- بالنسبة للمستوى $(V=0)$ ، يُظهر مربع الدالة الموجية Wave function أن الجزيء يمضي معظم وقته في منطقة التكوين المتوازن، أي قرب طول الرابطة التوازني.
- من أجل مستوى طاقة اهتزازية مثار فإن مربع الوظيفة الموجية ψ^2 يعتبر الأكثر قرباً من نقاط تحول الحركة الاهتزازية، أي يقضي الجزيء وقتاً أطول عند الطرفين (حيث تكون الطاقة كلها كمونية)، مما يدل على أن الرابطة تقضي معظم وقتها في التكوين المضغوط تماماً أو الممتد تماماً، أي عند أقصر مسافة وأطول مسافة ممكنة للرابطة، بما يشبه البندول في حركته، حيث يبطئ عند أقصى ارتفاعين له نتيجة اتجاه سرعته للصفر.
- نلاحظ أنه من أجل كل مستوى اهتزازي، هناك احتمالية قيمتها $(V+1)$ ، وتمثل عدد العقد، حيث تداخل الوظائف الموجية عند هذه العقد تداخلاً هداماً، وبالتالي احتمالية وجود النظام عند هذه العقد يساوي الصفر.

8-II . مبدأ فرانك كوندون Franck-Condon Principle

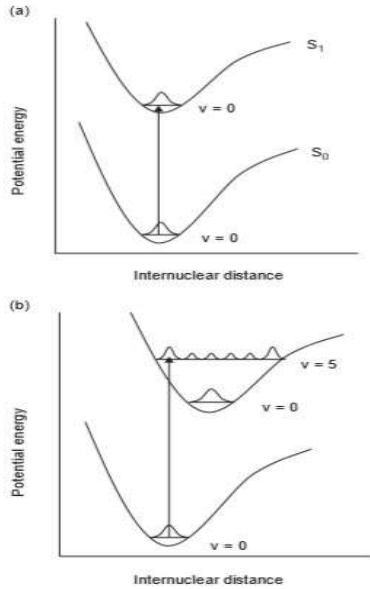
كما وجدنا في المحاضرة السابقة في دراستنا لتقريب بورن اوبنهايمر، تتحرك النواة ببطء أكثر بكثير من الإلكترونات الأخف وزناً، لذلك عندما يحدث الانتقال من حالة إلكترونية إلى أخرى، يحدث بسرعة كبيرة بحيث يمكن افتراض أن نواة الجزيء المهتز

تكون ثابتة أثناء الانتقال وهذا ما يسمى **مبدأ فرانك كوندون**، ونتيجة لذلك، يتم تمثيل الانتقال الإلكتروني بسهم عمودي مثل السهم الموضح في الشكل (7-2).

أي أن الانتقال الإلكتروني يحدث ضمن مجال نووي ثابت. وبالتالي فإن الانتقال الإلكتروني المصاحب لامتصاص الفوتون يُشار إليه غالباً باسم **الانتقال العمودي** Vertical Transition أو **انتقال فرانك-كوندون** Franck-Condon Transition.

أي وفقاً لمبدأ فرانك كوندون، فإنه:

"يمكن افتراض نواة الجزيء المهتز ثابتة أثناء الانتقالات من سوية (حالة) الكترونية إلى أخرى بسبب سرعة هذه الانتقالات"



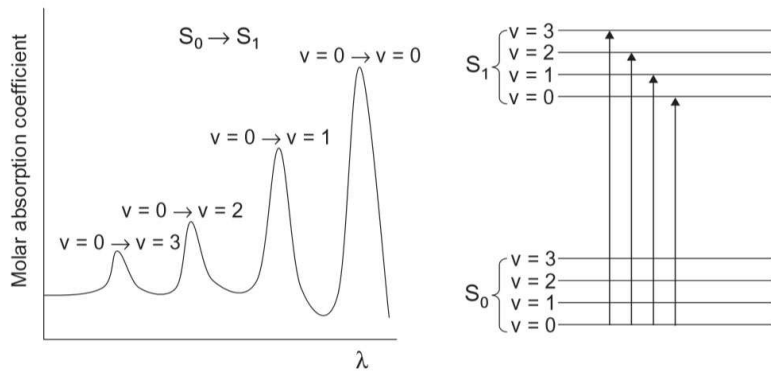
الشكل (7-2):

الانتقالات الإلكترونية مع الاحتمالية الأكبر للامتصاصية من السوية $S_0(v=0)$.
(a) تمتلك كلا الحالتين الإلكترونيتين هندسة متشابهة، كما هو موضح في الحد الأدنى للمنحنيات المتزامنة.
(b) حيث تمتلك الحالة المثارة مسافة بين نووية أكبر من الحالة الأرضية.

9-II - امتصاص الضوء من قبل الجزيئات العضوية ABSORPTION OF LIGHT BY ORGANIC MOLECULES

من أجل توضيح هذه الفكرة، لنأخذ على سبيل المثال الطيف المرئي - فوق البنفسجي لمحلول ممدد للغاية من الأنثراسين في البنزن كما هو موضح في الشكل (8-2)، حيث يظهر الطيف بوضوح على شكل مؤشرات صغيرة متراكبة على نطاق واسع (أو مظروف)، يُطلق على هذه المؤشرات اسم **البنية الدقيقة الاهتزازية** Vibrational fine structure

يمكننا أن نرى أن كل مؤشر Finger يتوافق مع الانتقال من $(v=0)$ للحالة الإلكترونية الأرضية إلى $(v=0, 1, 2, 3, \dots)$ للمستوى الاهتزازي Vibrational level للسوية الإلكترونية المثارة.



الشكل (8-2):

طيف الامتصاص لمحلول الأنثراسين في البنزن، والتحويلات المهتزة المسؤولة عن البنية الدقيقة الاهتزازية

يظهر الطيف أن العديد من التحولات الاهتزازية Vibronic Transitions مسموح بها، وأن بعضها أكثر احتمالاً من غيرها، وهذا يعني تنوع شدة التحولات الاهتزازية المختلفة، حيث نلاحظ من خلال طيف الامتصاص Absorption Spectrum للأنتراسين أن الانتقال:

$$V = 0 \rightarrow V = 0$$

يعطي ارتفاع في حزمة الامتصاص الأكثر حدة، لأن هذا الانتقال يؤدي لتداخل الوظائف الموجية الاهتزازية المحتملة لـ $S_0(V=0)$ و $S_1(V=0)$ بشكل أكبر، وهذا يعني أن عامل فرانك - كوندون لهذا الانتقال هو الأكبر، وبالتالي تكون النتيجة:

"الانتقال $V = 0 \rightarrow V = 0$ يؤدي لارتفاع في الحزمة (0-0)"

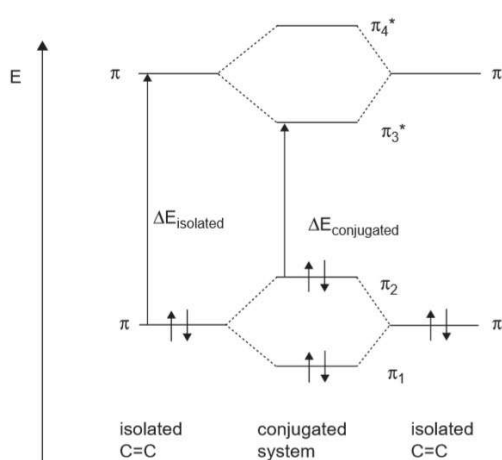
10-II - الجزيئات المرتبطة خطياً Linearly Conjugated Molecules

عندما يكون هناك رابطتان مزدوجتان (كربون - كربون) في الجزيء، فإن التأثير على طيف الامتصاص الإلكتروني يعتمد على المسافة بينهما.

ماذا يعني ذلك؟

إذا كانت الروابط المزدوجة مترابطة Conjugated، عندها ستكون حزمة الامتصاص الأول عند أطوال موجية أطول بكثير من الأطوال الموجية الموجودة في الجزيء حيث تكون الروابط $C = C$ معزولة (غير مترابطة).

عندما تكون مداريتان جزيئيتان قريبتين تماماً، يمكن أن يحدث تداخل، مما يعطي اثنتين من المداريات المفصلية π ، واحدة ذات طاقة منخفضة وواحدة ذات طاقة أعلى، وبالمثل، فإن المداريتين π^* تؤديان إلى إنشاء مداريتين جزيئيتين π^* ذات طاقات مختلفة الشكل (9-2).



الشكل (9-2):

التفاعل بين وحدتين ($C=C$) في نظام مترافق.

يتضح من خلال هذا الشكل، أن الانتقال من النوع ($\pi \rightarrow \pi^*$) الأخفض طاقة في الديثن المرتبط Conjugated Diene هو الانتقال ($\pi_2 \rightarrow \pi_3^*$)، والذي يحدث عند طاقة أقل من تلك الطاقة المطلوبة في حالة الروابط ($C=C$) الغير مرتبطة (المعزولة)، وبالتالي:

إن تأثير الاقتران هو جعل حزمة الامتصاص الأولى تنتقل إلى طول موجة أطول (الطاقة متناسبة عكساً مع طول الموجة).

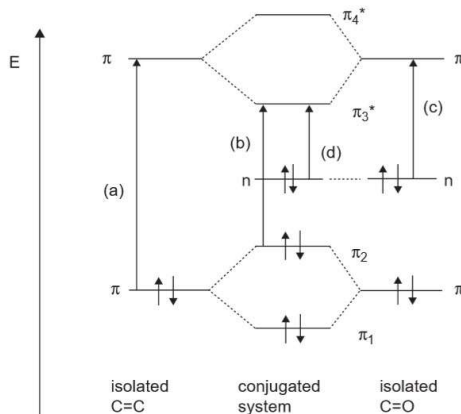
يمكن القول إن تأثير الاقتران الإضافي هو خفض طاقة الانتقال ($\pi \rightarrow \pi^*$) كما هو واضح من خلال الجدول التالي:

n	$\lambda_{max} nm$
2	217
3	268
4	304
5	334
6	364
7	390
8	410

نلاحظ من خلال الجدول أنه بزيادة عدد الروابط المضاعفة المقترنة يزداد الطول الموجي وبالتالي تتناقص طاقة الانتقال ($\pi \rightarrow \pi^*$)، هل تذكر لماذا؟

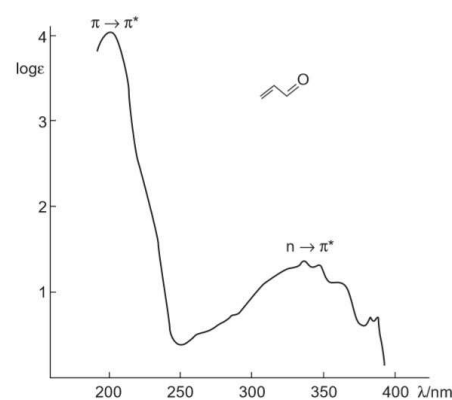
على سبيل المثال:

باستخدام البروبنال propenal يمكننا فحص الاقتران بين الرابطة المضاعفة $C=C$ ومجموعة الكربونيل. حيث يظهر طيف الامتصاص الإلكتروني للبروبنال في الشكل (10-2).



الشكل (11-2):

التفاعل بين الرابطة $C=C$ ومجموعة الكربونيل في البروبانال، حيث تظهر الحزمة $\pi \rightarrow \pi^*$ كانتقالات (a) و (b)، وتحدث عند طاقة أخفض (طول موجي أطول) نتيجة الاقتران، أما الحزمة $n \rightarrow \pi^*$ فتظهر على شكل انتقالات (c) و (d)، حيث بالمثل تحدث عند الطول الموجي الأطول نتيجة الاقتران.



الشكل (10-2):

طيف الامتصاص الإلكتروني للبروبانال

إن تأثير الاقتران على المداريات (π) و (π^*) يشبه المثال السابق مع الداينين Diene، ولكن تبقى المدارية (n) بدون تغيير تقريباً نتيجة الاقتران.

يوضح الشكل (11-2) أعلاه تأثير الاقتران على الانتقالات ($\pi \rightarrow \pi^*$) و ($n \rightarrow \pi^*$) الأخفض طاقة.

يبقى أن نعرف أن التحولات بين مستويات الطاقة في الجزيئات العضوية تخضع لقيود معينة Certain Constraints، يشار إليها باسم قواعد الاختيار، فما هي أهم هذه القواعد؟

11-II - بعض قواعد الاختيار SOME SELECTION RULES

تخضع التحولات بين مستويات الطاقة في الجزيئات العضوية لقيود معينة Certain Constraints، يشار إليها باسم قواعد الاختيار، فما هي هذه القواعد؟

11-II-1- قاعدة اختيار الدوران Spin Selection Rule

يحدث الانتقال الإلكتروني دون أي تغيير في مجموع دوران الإلكترون، أي:

$$\Delta S = 0$$

بالتالي، وفقاً لهذه القاعدة، فالانتقالات من حالة الإثارة الأحادية للثلاثية وبالعكس هي انتقالات محظورة Forbidden أو ضعيفة للغاية، ويعبر عنها بأنها محظورة سببياً.

مثال توضيحي (17-2):

الانتقال ($S_0 \rightarrow T_1$) في الأنثراسين Anthracene الذي يمتلك معامل امتصاص مولي أعظمي (ϵ_{max}) هو أقل بحدود 10^8 مرة من الانتقال المقابل ($S_0 \rightarrow S_1$).

تُشتق قاعدة اختيار الدوران من الحسابات الميكانيكية الكمومية التي لا تأخذ في الاعتبار تفاعلات الإلكترونات مع الإلكترونات الأخرى أو مع النواة الموجودة في الجزيء.

يؤدي اقتران مدار - دوران Spin-orbit إلى دوران الإلكترون تحت تأثير حركته المدارية، ونتيجة لذلك يمكن القول بأن:

- حالة الإثارة الأحادية Singlet State تمتلك بعض صفات حالة الإثارة الثلاثية Triplet State.
- حالة الإثارة الثلاثية تمتلك بعض صفات حالة الإثارة الفردية.

نتيجة لذلك:

يحدث بعض الاختلاط بين الحالات وتصبح قاعدة اختيار الدوران غير مطبقة بشكل صارم، وينطبق هذا بشكل خاص على الجزيئات التي تحتوي على ذرات ذات كتلة ذرية مرتفعة (ما يسمى تأثير الذرة الثقيلة Heavy Atom Effect).

فما هو تأثير الذرة الثقيلة؟

يمكن أن يظهر تأثير الذرة الثقيلة نفسه وفق نمطين:

1. تأثير الذرة الثقيلة الداخلية Internal Heavy atom effect: حيث يعزز دمج الذرة الثقيلة في الجزيء الامتصاص من النوع:

($S_0 \rightarrow T_1$) بسبب اقتران مدار-دوران.

مثال توضيحي (2-18):

المركب 1-Iodonaphthalene يمتلك امتصاص ($S_0 \rightarrow T_1$) أقوى من 1-Chloronaphthalen.

2. تأثير الذرة الثقيلة الخارجية External Heavy atom effect: حيث يظهر تأثير ذرة ثقيلة خارجية عند اتحاد Incorporated ذرة ثقيلة في جزيء المذيب.

مثال توضيحي (2-19):

يمتلك 1-chloronaphthalene امتصاص ($S_0 \rightarrow T_1$) أقوى بكثير في محل يود الإيثان Iodoethan Solvent مقارنة مع محل الإيثانول Ethanol Solvent.

4-II -2- قاعدة اختيار التماثل (التناظر) المداري Orbital Symmetry Selection Rule

وفقاً لنظرية الكم، يتم شرح شدة الامتصاص Intensity of Absorption من قبل الجزيئات من خلال النظر في الوظائف الموجية Wave Functions للحالات الأولية والنهائية (ψ و ψ^*) على الترتيب.

نتيجة لذلك:

يتم الانتقال الإلكتروني بشكل أسرع Most rapidly عندما:

تشابه كل من الوظيفتين الموجيتين (ψ و ψ^*) بعضها البعض، أي عندما يكون الاقتران بين الحالة الأولية والحالة النهائية أقوى، ونظراً لأن معامل الامتصاص المولي، (ϵ) يكون أكبر عندما يكون الانتقال الإلكتروني هو الأكثر احتمالاً (عندما يكون معدل الامتصاص أكبر)، فإن أكبر قيم لـ (ϵ) تحدث أيضاً عندما تكون الوظائف الموجية (ψ و ψ^*) تشبه بعضها البعض.

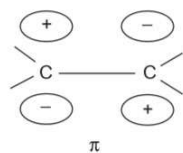
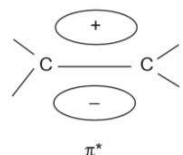
بناءً على ذلك يمكننا القول:

الامتصاص الضعيف للانتقال ($n \rightarrow \pi^*$) مقارنة مع الامتصاص ($\pi \rightarrow \pi^*$) هو نتيجة لاختيار قاعدة التماثل (التناظر) المداري، والسبب أنه في حالة الانتقال ($n \rightarrow \pi^*$) فإن الوظائف الموجية (ψ و ψ^*) لا تشبه بعضها البعض، وبالتالي يمكننا القول:

نتيجة:

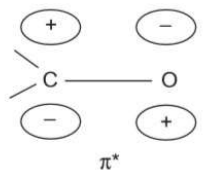
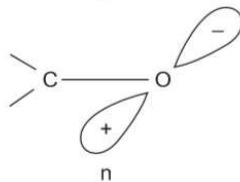
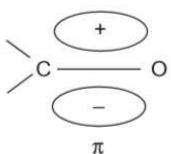
الانتقالات التي تنطوي على تغير كبير في منطقة الفضاء التي يحتلها الإلكترون هي انتقالات محظورة (بسبب التباعد في قيم الوظائف الموجية).

يجب أن يكون التداخل المداري بين الحالة الأرضية والحالة المثارة أكبر قدر الإمكان للانتقال المسموح به An Allowed Transition، حيث تشغل المداريات (π, π^*) نفس مناطق الفضاء Regions of space، لذلك التداخل بينهما كبير كما هو موضح في الشكل (2-12).

 π  π^*

الشكل (2-12):

المداريات الجزيئية π و π^* العائدة للكروموفور $C = C$ ، حيث أن كلا المداريتان تتوضعان في مستوى الورقة

 π^*  n  π

الشكل (2-13):

المداريات الجزيئية العائدة للكروموفور $C = O$ ، حيث أن كلا المداريتان π و π^* تتوضعان في مستوى الورقة، بينما المداريات n عمودية على مستوى الورقة

أما التداخل المداري بين المداريات n و π^* فهو صغير للغاية، لأن هذه المداريات تتعامد Perpendicular مع بعضها البعض كما يظهر من خلال الشكل (2-13).

عزيزي الطالب:

إن أطوار المداريات الجزيئية (التي تظهر على شكل إشارة + أو - هي نتيجة الوظائف الموجية التي تصف المدارية، حيث تدل (+) أن الوظيفة الموجية موجبة في منطقة معينة من الفضاء، في حين تظهر (-) أن الوظيفة الموجية سالبة في منطقة معينة من الفضاء. وفقاً لما سبق، وبناءً لقاعدة اختيار التماثل فإن:

- الانتقالات ($\pi \rightarrow \pi^*$) مسموحة
- الانتقالات ($n \rightarrow \pi^*$) محظورة

مع ذلك من الناحية العملية فإن الانتقالات ($n \rightarrow \pi^*$) يمكن أن تحدث بشكل ضعيف نتيجة اقتران الحركات الاهتزازية والإلكترونية في الجزيء (الاقتران المهتز Vibronic Coupling)، هذا الاقتران المهتز هو نتيجة انهيار تقريب بورن اوبنهايمر.

كما هو الحال مع المركبات العضوية، تخضع شدة الانتقال لقواعد الاختيار بالنسبة للمعقدات غير العضوية، وهذا ما سنتعرف عليه في المحاضرة القادمة، بعد التعرف على امتصاص الضوء في المعقدات اللاعضوية.

المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

Key Concepts and Summary

تطرقنا في هذه المحاضرة بداية لمفهوم قانون التوزيع لبولتزمان، حيث وجدنا أنه وفقاً لهذا القانون ستكون معظم الجزيئات في الحالة الاهتزازية ($V=0$)، ثم تناولنا مفهوم السويات الاهتزازية وفق مخطط مورس، لتتوصل لنتيجة أن الجزيئات تقضي معظم وقتها في منطقة التوازن.

أيضاً استنتجنا أنه يمكن افتراض نواة الجزيء المهتز تكون ثابتة أثناء الانتقالات من سوية الكترونية لأخرى بسبب سرعة هذه الانتقالات، وهو ما يعرف بمبدأ فرانك كوندون، ثم تناولنا مفهوم تأثير ترافق الروابط المضاعفة على طاقة الانتقالات الإلكترونية، ووجدنا أن الترافق يؤدي لخفض فجوة الطاقة في هذه الانتقالات.

أخيراً تناولنا بعض قواعد الاختيار التي تحدد شكل الانتقال الإلكتروني، وتعرفنا على قاعدة اختيار الدوران، وقاعدة التماثل المداري، وبالتالي وفقاً لها وجدنا أن الانتقالات ($n \rightarrow \pi^*$) محظورة، على عكس الانتقالات ($\pi \rightarrow \pi^*$) .

"هذا موجز مدرس المقرر، الأهم منه هو موجزك عزيزي الطالب بعد قراءة المحاضرة ومعرفة أهم الأفكار التي وردت فيها وتطبيقاتها"

-- نهاية المحاضرة --

في المحاضرة القادمة يوم الأحد تاريخ 2025/11/23 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

✓ قواعد الاختيار في المعقدات اللاعضوية

أعدت هذه المحاضرة وفق قواعد الجودة العالمية لمناهج التدريس، كما تم الاستعانة في إعداد هذه المحاضرة بجامعات متخصصة في الولايات المتحدة والاتحاد الأوروبي.

د. سعود عبد الحليم كده