

كلية العلوم

القسم : الكيمياء

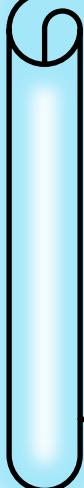
السنة : الرابعة



٩

المادة : كيمياء ضوئية

المحاضرة : السادسة/نظري/د . سعود



{{{ A to Z مكتبة }}}}

Maktabat 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

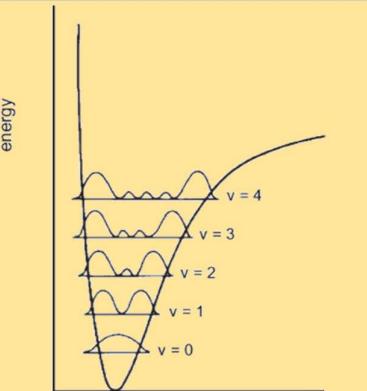
الأحد: 2025/11/16	<b>مقرر الكيمياء الضوئية</b>	<b>المحاضرة السادسة</b>
د. سعود عبد الحليم كده	<b>الفصل الثاني</b> <b>امتصاص الضوء وحالات الإثارة الإلكترونية</b> Light Absorption and Electronically Excited States	<b>قسم الكيمياء</b> السنة الرابعة - الفصل الأول 2026 - 2025
	<b>تتضمن هذه المحاضرة:</b> حرف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

**الهدف التعليمي من المحاضرة السادسة**

في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:

- ✓ فهم قانون التوزع لبولتزمان.
- ✓ فهم تأثير الترافق على الفرق الطاقية بين السويات الإلكترونية.
- ✓ الإحاطة بقواعد الاختيار.

جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على الشبكة العنكبوتية



من خلال المحاضرات السابقة، وجدنا أن لكل حالة من حالات الإثارة الإلكترونية خصائصها المميزة، التي من خلالها تتحدد طبيعة التفاعل الكيميائي الضوئي ونتائجها، 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.

<b>المحتوى</b>	<b>الصفحة</b>
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 قناته PHOTOCHEMISTRY على تلغرام وفق الرابط:



Telegram

@Photochemistry\_tartousuniv



د. سعود عبد الحليم كده

جامعة طرطوس - كلية العلوم - قسم الكيمياء - السنة الرابعة - العام الدراسي 2025-2026

تعرفنا في المحاضرة السابقة على مبدأ بورن اوينهايمير، الذي يمكن إيجازه 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.

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

هذا يقودنا لمفهوم **الانتقالات المهززة**، التي تُعرَّف 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 أن 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؟](#)

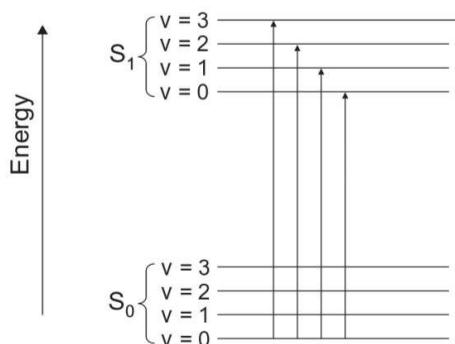
في حالة التوازن الحراري، يتم وصف عدد جزيئات أي سلسلة من مستويات الطاقة بموجب **قانون توزيع بولتزمان** Boltzmann Distribution Law فإذا كانت ( $N_0$ ) عدد الجزيئات في الحالة الأرضية، فيتم إعطاء عددها ( $N_1$ ) في أي مستوى طاقة أعلى وفق المعادلة التالية:

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

حيث:

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

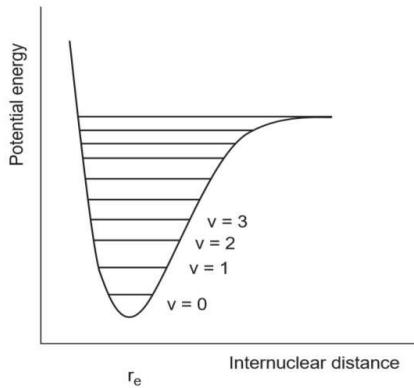
تظهر الحسابات المستندة إلى قانون التوزيع لبولتزمان أنه في درجة حرارة الغرفة، ستكون معظم الجزيئات في الحالة الاهتزازية ( $V=0$ ) للحالة الأرضية الإلكترونية، لذلك يحدث الامتصاص دائمًا تقريباً من ( $V_0$ ) كما هو موضح في الشكل (4-2).



الشكل (4-2):

رسم تخطيطي للحالة الأرضية الإلكترونية والحالة الإلكترونية الأولى المثار، مع مستويات الطاقة الاهتزازية المرتبطة بها لجزيء عضوي. تظهر الأسهם الرئيسية انتقالات اهتزازية بسبب امتصاص الفوتونات

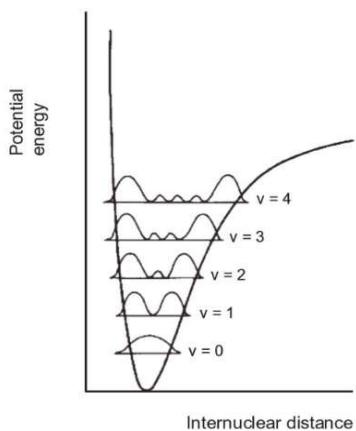
لتوضيح مفهوم المستويات الاهتزازية، يوضح الشكل (2-5) منحنى الطاقة الكمونية Potential Energy Curve لجزيء ثنائي الذرة، غالباً ما يشار إليه على أنه **منحنى مورس Morse Curve**، والذي يصور الطريقة التي تتغير بها الطاقة الكمونية للجزيء مع طول الرابطة.



الشكل (5-2):

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

نلاحظ من خلال الشكل السابق، أنه في النقاط التي تلقي فيها الخطوط الأفقية بمنحنى مورس، تكون الطاقة كمونية بشكل كلي، أما فيما بينها فالطاقة بجزء منها كمونية، وبجزء 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 متبااعدة.



الشكل (6-2):

الوظائف الموجية الاهتزازية المحتملة لسلسلة من أرقام الكم الاهتزازية، لاحظ أنه بالنسبة لقيمة الأعلى  $v=7$ ، يوجد احتمال أكبر للجزيء أن يملك طول رابطة عند الحدين الموضعين في منحنى مورس. لاحظ أيضاً أنه لكل قيمة  $v$ ، هناك احتمالية  $V+1$  قيمتها

يوضح الشكل (2-6) في الأعلى، الوظيفة المحتملة الاهتزازية لسلسلة من أرقام الكم الاهتزازية، وللإظهار 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 مثلاً فإن مربع الوظيفة الموجية  $\psi^2$  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 أقصى مسافة وأطول مسافة ممكنة للرابطة، بما يشبه البندول في حركته، حيث يبيطء 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 تدالياً هداماً، وبالتالي احتمالية وجود النظام عند هذه العقد يساوي الصفر.

## II-8-II . مبدأ فرانك كوندون Franck-Condon Principle

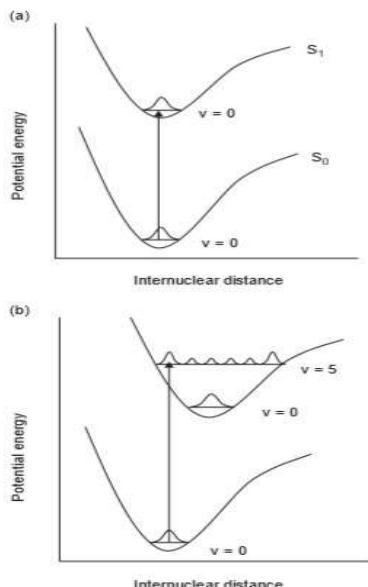
كما وجدنا في المحاضرة السابقة في دراستنا للتقرير بورن أوبنهايمير، تتحرك النواة ببطء أكثر بكثير من الإلكترونات الأخف وزناً، لذلك عندما يحدث الانتقال من حالة إلكترونية إلى أخرى، يحدث بسرعة كبيرة بحيث يمكن افتراض أن نواة الجزيء المهتز

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 **Franck-Condon Transition**.

أي وفقاً لمبدأ فرانك كوندون، فإنه:

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



الشكل (7-2):

الانتقالات الإلكترونية مع الاحتمالية الأكبر لامتصاصية من السوية  $S_0 (V=0)$ .

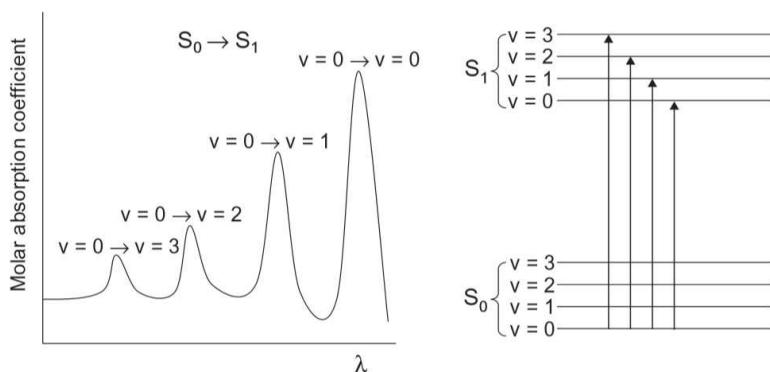
(a) تمتلك كلا الحالتين الإلكترونوتين هندسة متشابهة، كما هو موضح في الحد الأدنى للمنحنيات المتزامنة.

(b) حيث تمتلك الحالة المثارة مسافة بين نووية أكبر من الحالة الأرضية.

## 9-II - امتصاص الضوء من قبل الجزيئات العضوية

من أجل توضيح هذه الفكرة، لنأخذ على سبيل المثال الطيف المرئي - فوق البنفسجي لمحلول ممد 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 مطروق)، يطلق 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 (...) للمستوى الاهتزازي **Vibrational level** للسوية الإلكترونية المثاررة.



الشكل (8-2):

طيف الامتصاص لمحلول الأنثراسين في البنزن، والتحولات المهاهثة 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 للأنصاريين أن الانتقال:

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

يعطي ارتفاع في حزمة الامتصاص الأكبر حدة، لأن هذا الانتقال يؤدي لتدخل الوظائف الموجية الاهتزازية المحتملة لـ  $S_1(V=0)$  وبشكل 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)"

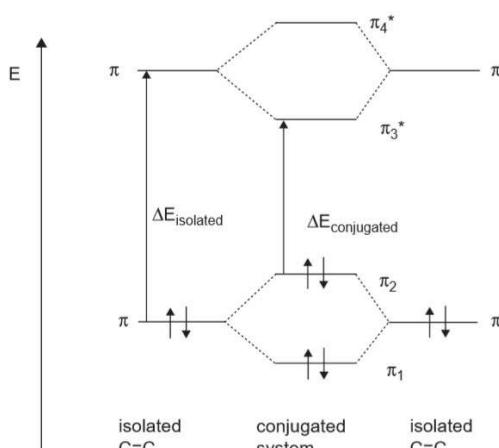
## 10-II - الجزيئات المرتبطة خطياً Linearly Conjugated Molecules

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 متراكبة Conjugated، عندما ستكون حزمة الامتصاص الأول عند أطوال موجية أطول بكثير من الأطوال الموجية الموجودة في الجزيء حيث تكون الروابط  $C=C$  معزولة Isolated (غير متراكبة).

عندما تكون مداريتان جزيئيتان قريبتين تماماً، يمكن أن يحدث تداخل، مما يعطي اثنين من المداريات المفصليّة  $\pi$ ، واحدة ذات طاقة منخفضة وواحدة ذات طاقة أعلى، وبالتالي، فإن المداريتين  $\pi^*$  تؤديان إلى إنشاء مداريتين جزيئيتين  $\pi^*$  ذات طاقات مختلفة الشكل (9-2).



الشكل (9-2): التفاعل بين وحدتين ( $C=C$ ) في نظام متراافق.

يتضح من خلال هذا الشكل، أن الانتقال من النوع  $(\pi \rightarrow \pi^*)$  الأخفض طاقة في الدينن المرتبط Conjugated Diene هو الانتقال  $(\pi_3^* \rightarrow \pi_2)$ ، 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:

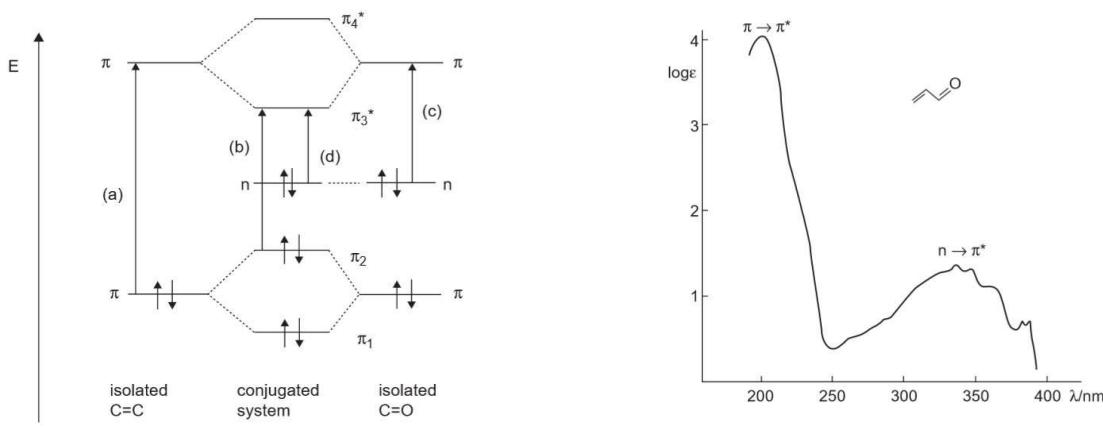
n	$\lambda_{max} nm$
2	217
3	268
4	304
5	334
6	364
7	390
8	410

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

**على سبيل المثال:**

باستخدام البروبانال propenal يمكننا فحص الاقتران بين الرابطة المضاعفة  $C=C$  ومجموعة الكاربونيل.

حيث يظهر طيف الامتصاص الإلكتروني للبروبانال في الشكل (10-2).



الشكل (11-2):

التفاعل بين الرابطة  $C=C$  ومجموعة الكاربونيل 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 ( $\pi$ ) و ( $\pi^*$ ) يشبه المثال السابق مع الدايئين Diene، ولكن تبقى المدارية (n) بدون تغيير تقريباً نتيجة الاقتران.

يوضح الشكل (11-2) أعلى تأثير الاقتران على الانتقالات ( $\pi^* \rightarrow \pi$ ) و ( $\pi \rightarrow n$ ) الأخضر 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:

$$\Delta S = 0$$

بال التالي، وفقاً لهذه القاعدة، فالانتقالات من حالة الإثارة الأحادية للثلاثية وبالعكس هي انتقالات محظوظة Forbidden أو ضعيفة للغاية، ويعبر عنها بأنها محظوظة سينياً.

#### مثال توضيحي (17-2):

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

تشتق قاعدة اختيار الدوران من الحسابات الميكانيكية الكمية 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 (18-2):**

المركب 1-Iodonaphthalene يمتلك امتصاص  $S_0 \rightarrow T_1$  أقوى من 1-Chloronaphthalene.

#### 2. تأثير الذرة الثقيلة الخارجية External Heavy atom effect

حيث يظهر تأثير ذرة ثقيلة خارجية عند اتحاد ذرة ثقيلة في جزيء المذيب.

**مثال توضيحي (19-2):**

يمتلك 1-chloronaphthalene امتصاص  $S_0 \rightarrow T_1$  أقوى بكثير في محل يود الإيثان Iodoethane Solvent مقارنة مع محل الإيثanol Ethanol Solvent.

#### 4-II-2- قاعدة اختيار التمايز (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 ( $\Psi$  و $\Psi^*$ ) على الترتيب.

**نتيجة لذلك:**

يتم الانتقال الإلكتروني بشكل أسرع Most rapidly عندما:

تشابه كل من الوظيفتين الموجيتين ( $\Psi$  و $\Psi^*$ ) بعضها البعض، أي عندما يكون الاقتران بين الحالة الأولية والحالة النهائية أقوى، ونظرًا لأن معامل الامتصاص المولري، ( $\epsilon$ ) يكون أكبر عندما يكون الانتقال الإلكتروني الإلكتروني احتمالاً (عندما يكون معدل الامتصاص أكبر)، فإن أكبر قيمة ل( $\epsilon$ ) تحدث أيضًا عندما تكون الوظائف الموجية ( $\Psi$  و $\Psi^*$ ) تشبه بعضها البعض.

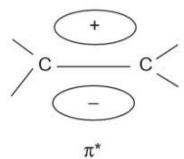
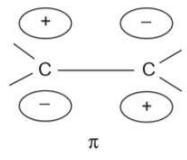
بناءً على ذلك يمكننا القول:

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

**نتيجة:**

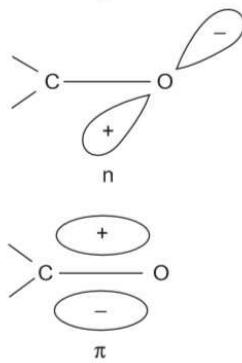
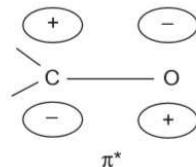
الانتقالات التي تنتهي على تغيير كبير في منطقة الفضاء التي يحتلها الإلكترون هي انتقالات محظوظة (بسبب التباعد في قيم الوظائف الموجية).

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



الشكل (12-2)

المداريات الجزيئية  $\pi$  و  $\pi^*$  العائدة للكروموفور  $C = C < O$ ، حيث أن كلا المداريتان تتواضعان في مستوى الورقة



الشكل (13-2)

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

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

#### 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 تدل (-) أن الوظيفة الموجية سالبة في منطقة معينة من الفضاء. وفقاً لما سبق، وبناءً لقواعد اختيار التماثل فإن:

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

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

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

طرقنا في هذه المحاضرة بداية لمفهوم قانون التوزع لبولتزمان، حيث وجدنا أنه وفقاً لهذا القانون ستكون معظم الجزيئات في الحالة الاهتزازية ( $V=0$ )، ثم تناولنا مفهوم السويات الاهتزازية وفق مخطط مورس، لنتوصل 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 لخوض فجوة الطاقة في هذه الانتقالات.

أخيراً تناولنا بعض قواعد الاختيار التي تحدد شكل الانتقال الإلكتروني، وتعرفنا على قاعدة اختيار الدوران، وقاعدة التمايل المداري، وبالتالي وفقاً لها وجدنا أن الانتقالات ( $\pi^* \rightarrow n$ ) 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 23/11/2025 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

✓ قواعد الاختيار في المعتقدات الاعضوية

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

د. سعود عبد الحليم كده