

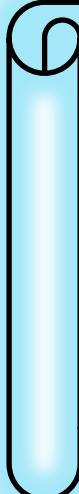
كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الرابعة



١



المادة : كيمياء ضوئية

المحاضرة : الثالثة / نظري / د . سعود

{{{ مكتبة A to Z }}}
2025 2024

مكتبة A to Z Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية ، تكنولوجيا المعلومات والاتصالات

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

٦

الأحد: 20/10/2024	الكيمياء الضوئية	المحاضرة الثالثة
د. سعود عبد الحليم كده	الفصل الأول مفاهيم تمهدية Introductory Concepts	قسم الكيمياء السنة الرابعة - الفصل الأول 2025 - 2024
PHOTOCHEMISTRY 2024-2025 (Dr. Saud KEDA)	حرف موزعة ضمن: 11 صفة	للتضمين هذه المحاضرة: كلمة تشمل: 2339

المُهَدِّفُ التَّعْلِيَّمِيُّ مِنَ الْمُهَاضِرَةِ الثَّالِثَةِ

Educational Goal

في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على فهم:

- ✓ المداريات الجزيئية، ومفهوم المداريات الرابطة والمعاكسة للربط.
- ✓ الجزيئات والحالات الإلكترونية.
- ✓ التعامل مع بعض المسائل وكيفية الحل.

جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على شبكة الانترنت



جهاز التحليل الطيفي بالأشعة فوق البنفسجية

في الكيمياء الضوئية هناك العديد من المفاهيم التي يجب أن تكون واضحة لدينا لاستيعاب الآليات التي تتم ضمن التفاعلات الكيميائية، ومن هذه المفاهيم كيفية ارتباط الجزيئات مع بعضها البعض، وهذا بدوره مرتبط بكيفية تشكيل المداريات الجزيئية والحالات الإلكترونية.

كما يجب التنويه إلى أن الكثير من التفاعلات التي تحصل من حولنا والتي تعتبر أساس الحياة هي مرتبطة بالطاقة وخصوصاً الطاقة الضوئية التي تعتبر أساس الحياة.

المحتوى	الصفحة
تشكيل الجزيئات – المداريات الجزيئية (المداريات الجزيئية: الرابطة – المعاكسنة للربط – غير الرابطة)	34
امتصاصية محلول.	40
أسئلة امتحانية.	42



يمكن متابعة المادة والاستفادة أكثر من خلال قناة **PHOTOCHEMISTRY** على تطبيق تلغرام وفق الرابط: [@Photochemistry_tartousuniv](https://t.me/Photochemistry_tartousuniv)

I-10- تشكيل الجزيئات: المداريات الجزيئية

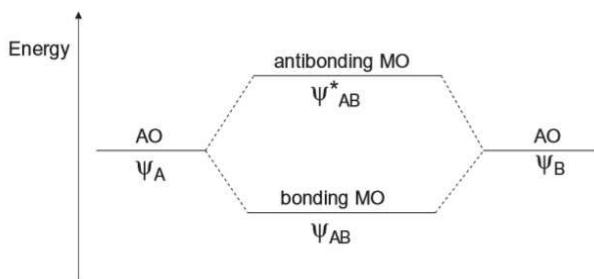
MODELLING MOLECULES: MOLECULAR ORBITALS

يتم شرح بعض جوانب الترابط في الجزيئات بواسطة نموذج يسمى **النظرية المدارية الجزيئية Molecular orbital theory**, بطريقة مماثلة لتلك المستخدمة في المداريات الذرية، حيث أن النموذج الميكانيكي الكوانتي المطبق على الجزيئات لا يسمح إلا بوجود حالات طاقة معينة للإلكترون.

يتم وصف حالات الطاقة الكمية (الكواントية) هذه باستخدام وظائف موجية محددة تسمى **المداريات الجزيئية Molecular orbitals**.

نلاحظ من **الشكل (I-12)** تداخل مداريات ذريتان **AO** (Atomic Orbitals) لتشكل مداريات جزيئيتان **MO** (Molecular Orbitals)

- مدارية رابطة MO .Bonding Orbital
- مدارية معاكسنة للربط Anti-bonding MO



الشكل (I-12):

تشكل المداريات الجزيئية (MO) الرابطة والمعاكسنة للربط عن طريق تداخل مداريات ذريتان محددتان

من أجل أن نختبر مفهوم المداريات الجزيئية في أبسط صورها، سننظر في حالة **الجزيئات ثنائية الذرة**.

يؤدي تفاعل الوظائف الموجية المدارية الذرية المتطابقة إلى وظائف موجية لاثنين من المداريات الجزيئية المتميزة **الشكل (I-12)** أعلاه، ويمكن توضيح ذلك من خلال ما يلي:

I-10-1- المداريات الجزيئية الرابطة Bonding Molecular Orbitals

تشكل **المداريات الجزيئية منخفضة الطاقة** (المداريات الجزيئية الرابطة) عندما تعمل الوظائف الموجية المدارية الذرية على تعزيز بعضها البعض في منطقة النواة.

فماذا يعني ذلك؟

يتم ارتباط الذرات معًا عن طريق قوى التجاذب بين النواة والإلكترونات في المدارية الجزيئية الرابطة:

$$\Psi_{AB} = \Psi_A + \Psi_B$$

I-10-2- المداريات الجزيئية المعاكسنة للربط Anti-Bonding Molecular Orbitals

تشكل **المداريات الجزيئية عالية الطاقة** (المداريات الجزيئية المعاكسنة للربط) عندما تلغى الوظائف الموجية المدارية الذرية بعضها البعض في منطقة النواة، حيث يتم رفض الإلكترونات من المنطقة:

$$\Psi^*_{AB} = \Psi_A - \Psi_B$$

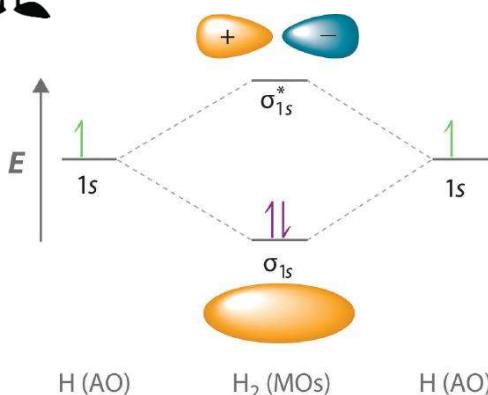
وبالتالي فإن:

"المدارية الجزيئية المعاكسة للربط تمثل حالة تميل إلى فصل الذرات بدلاً من ربطها معًا"



وهنا يمكننا التمييز بين حالتين:

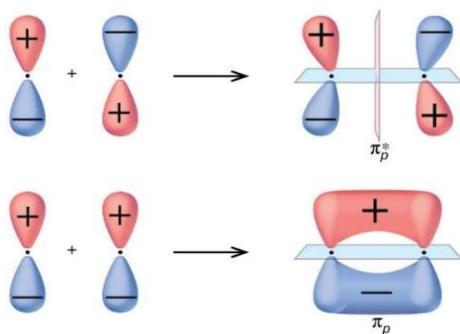
- إذا كانت المداريات الذريتان من النوع (s)، فإن المداريات الجزيئية الناتجة تدعى المداريات الجزيئية الرابطة σ ، والمداريات الجزيئية المعاكسة للربط σ^* كما هو موضح في [الشكل \(13-I\)](#).



الشكل (13-I):

الحدود الرابطة boundary surfaces للمداريات الجزيئية الرابطة σ و المعاكسة للربط σ^* لاحظ أن هذه المداريات تنتج عن تداخل مداريات ذريتان من النوع s في ذرة الهيدروجين

- إذا كانت المداريات الذريتان من النوع (p)، فإن المداريات الجزيئية الناتجة تدعى المداريات الجزيئية الرابطة π ، والمداريات الجزيئية المعاكسة للربط π^* كما هو موضح في [الشكل \(14-I\)](#).



الشكل (14-I):

الحدود السطحية boundary surfaces للمداريات الجزيئية الرابطة π و المعاكسة للربط π^* لاحظ أن هذه المداريات تنتج عن تداخل مداريات ذريتان متوازيتان من النوع p

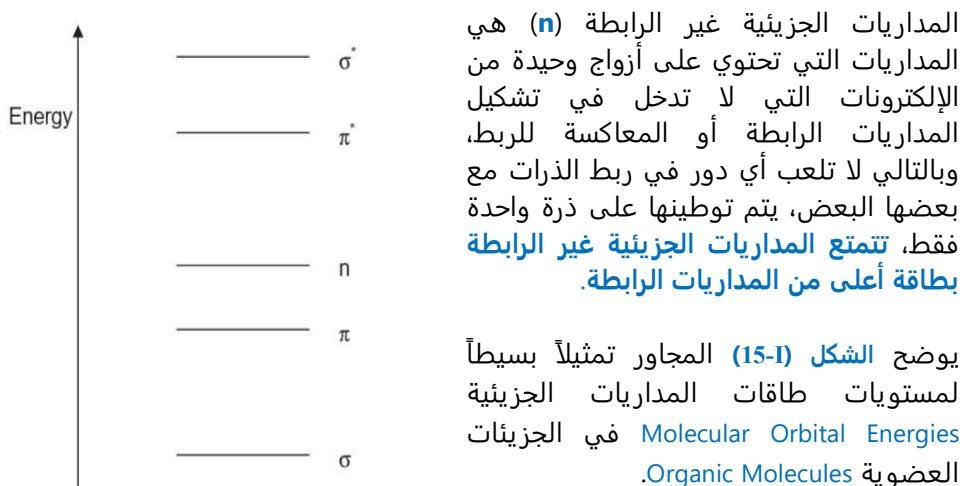
من ملاحظة الشكلين السابقين نجد أن طور المداريات الجزيئية (يوضح على شكل إشارة + أو -)، وهو نتيجة للوظائف الموجية التي تصف المداريات، وليس رمز شحنة موجبة أو سالبة كما يتصور البعض، حيث:

- (+) تدل على أن الوظيفة الموجية موجبة في منطقة معينة في الفضاء **(التموضع وفق الإحداثيات)**.
- (-) تدل على أن الوظيفة الموجية سالبة في منطقة معينة في الفضاء **(التموضع وفق الإحداثيات)**.

بالإضافة إلى المداريات الجزيئية الرابطة والمعاكسة للربط، من الضروري مراعاة المداريات الجزيئية غير الرابطة (n).

فما هي هذه المداريات؟

I-10-3- المداريات الجزيئية غير الرابطة (n)



الشكل (I-15):
طاقات المداريات الجزيئية للجزيئات العضوية

I-11- تشكيل الجزيئات: الحالات الإلكترونية

MODELLING MOLECULES: ELECTRONIC STATES

يتم تحديد الخواص الفيزيائية والكميائية للجزيئات بواسطة التوزيع الإلكتروني Electronic distribution داخل الجزيئات.

على سبيل المثال:

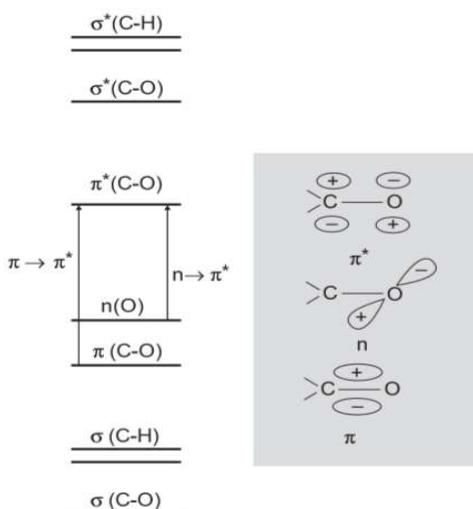
يحتوي جزيء الميثانال Methanal (الفورم ألدهيد) في حالته الأرضية، مثل الجزيئات العضوية الأخرى، على **بنية غلافية مغلقة**.

فماذا يعني ذلك؟

هذا يعني أن **المداريات الجزيئية المشغولة تحتوي على إلكترونيين متزاوجين Paired**. لأنأخذ بعين الاعتبار التوزيع الإلكتروني المحتمل الذي يمكن أن يحدث في جزيئات الميثانال في الحالتين، الأرضية والمثارة.

يظهر **الشكل (I-16)** مخطط المدارية الجزيئية للميثانال (الفورم ألدهيد) ($\text{H}_2\text{C=O}$).

ماذا نلاحظ؟



الشكل (I-16):

مخطط المدارية الجزيئية للميثانول، حيث يظهر الانتقالات:



كما تظهر السطوح الرابطة للمداريات الجزيئية π , m , و n^* .

نلاحظ من المخطط ما يلي:

١. أعلى المداريات الجزيئية المشغولة

highest occupied molecular orbital

: هی (HOMO)

المدارية الجزيئية (n) الغير رابطة nonbonding على ذرة الأكسجين (O) لمجموعة الكاريونيبل.

٢. أخفض المداريات الجزيئية غير

lowest unoccupied المشغولة

هي: **(LUMO)** molecular orbital

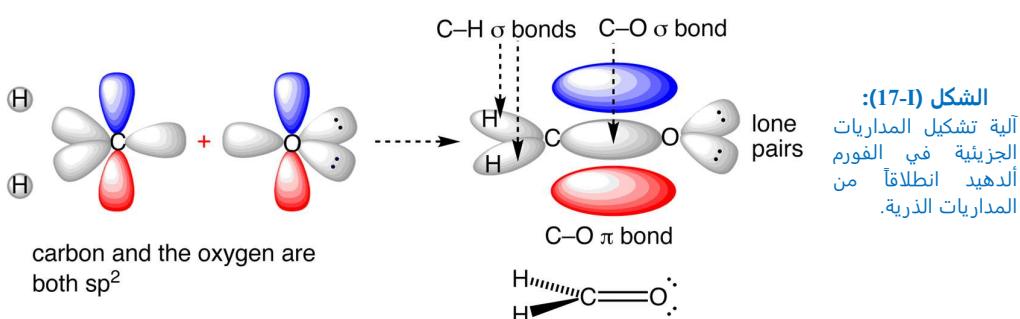
المدارية الجزيئية π^* المضادة للربط
(CO) للمجموعة anti-bonding

يُهمَال المداريات الممتلئة σ منخفضة الطاقة، فإن التوزيع الإلكتروني لأدنى حالة الكترونية (الحالة الأرضية) هو $\pi^2 n^2$.

١٦

- ينبع عن امتصاص فوتون ذو طاقة ملائمة حدوث حالات إثارة الكترونية عن طريق نقل الإلكترون واحد من مدارية جزيئية مشغولة إلى مدارية جزيئية شاغرة.
 - الانتقال الإلكتروني منخفض الطاقة $n \rightarrow \pi$ والانتقال $HOMO \rightarrow LUMO$ يقودان للتوزيعات الإلكترونية المثاررة $\pi^* n\pi^2$ و $\pi^* \pi^2$ على التوالي.

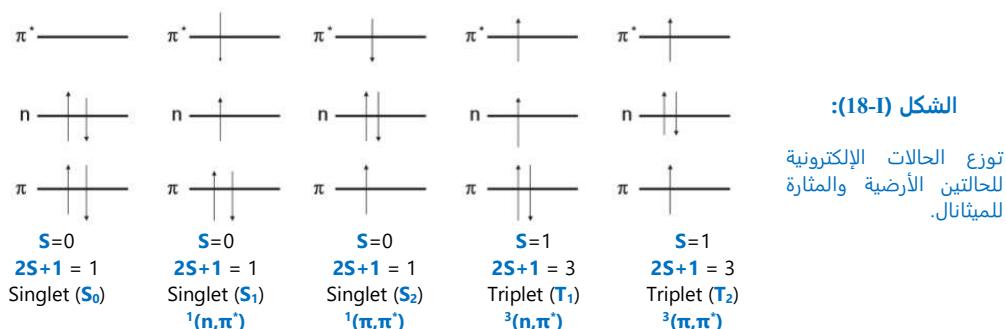
في **الشكل (I-17)** تبين كيفية تشكيل المداريات الحزئية في حزئة الفورم الدهيد.



الشكل (I-17):

آلية تشكيل المداريات
الجزئية في الفورم
الدهيد انطلاقاً من
المداريات الذرية.

فيما يتعلق بالتلعديّة السببية للحالة الأرضية والحالات المثارّة للميثانول، فإنّ الحالة الأرضية هي حالة مفردة (أحادية) (S_0)، مع حالات إثارة ممكّن أن تكون إما أحادية (... S_1 , S_2 , ...)، أو ثلاثة (... T_1 , T_2 , ...) كما هو موضح في [الشكل \(I-18\)](#) في الصفحة التالية: Triplet



من خلال الشكل أعلاه نلاحظ ما يلي:

- تنشأ كلا الحالتين المثارتين T_1 و T_2 من:

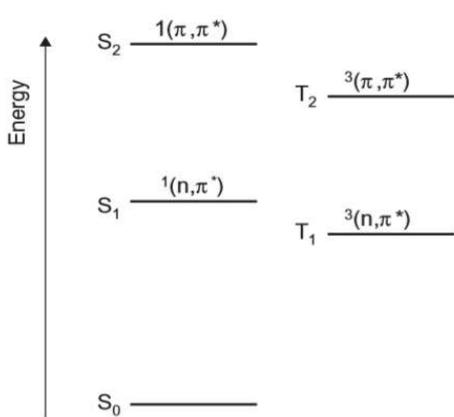
منح الكترون من المدارية الجزيئية n إلى المدارية الجزيئية π^* ، ويشار إلى هاتين الحالتين بـ

$${}^3(n,\pi^*) \text{ و } {}^1(n,\pi^*)$$

- تنشأ الحالتين المثارتين S_2 و T_2 من:

منح الكترون من المدارية الجزيئية π إلى المدارية الجزيئية π^* ، ويشار إلى هاتين الحالتين بـ

$${}^3(\pi,\pi^*) \text{ و } {}^1(\pi,\pi^*)$$



هنا يجب التأني في تفسير الانتقالات الإلكترونية الحاصلة، وكل ما هو مطلوب هو فهم الآلية المتبعة وهذا يقودنا لفهم العمليات الحاصلة.

الشكل (I-19) المجاور يظهر مخطط الحالات للميثانول، حيث تتوضح عليه حالات الإثارة الأحادية والثلاثية والحالة الأرضية، لاحظ فرق الطاقة بين الحالات جميعها، تجد أن حالة الإثارة الثلاثية هي دائمًا الأخفض طاقة من حالة الإثارة الأحادية لنفس السوية الرئيسية.

الشكل (I-19): مخطط حالة للميثانول، وتظهر السويات الانتقالية فيه

عزيزي الطالب:

الأمل والألم كلمتان لذات الحروف، أنت من يرسم الحرف فأتقن رسم مستقبلك

بعض الأفكار التي يجب ألا تغفل عنها فيما يتعلق بالدوران السبيخي:

- تتمتع حالة الإثارة الثلاثية دائمًا بطاقة أخفض من طاقة الحالة الأحادية ذات الصلة، وهذا يتماشى مع **قاعدة هوند** التي تنص على: عندما يشغل إلكترونان غير مرتبطين مداريات مختلفة، يكون هناك حد أدنى لطاقة التناقض بين الإلكترونات عندما يكون دورانها متوازي.

عندما تحدث إثارة الكترونية لجزيء في حالته الأرضية (S_0) يكون هناك ميل للاحتفاظ بقيمة التعددية السبيئية، حيث نقول عن الانتقال $T_1 \rightarrow S_0$ بأنه دوران محظوظ **Spin forbidden**، معنى أنه يمكن أن يحدث ولكن ببقى أقل احتمالاً من الانتقال $S_0 \rightarrow T_1$.

عندي الطالب:

فهي المعاشرة للأباء، (الصفحة 8) وهذا أن علاقة باب لاعب س تطهير وفق ما ياتي:

$$A = \varepsilon cl$$

حيث تمثل ^٤ معاً، الامتصاص، الموله، والسؤال، هنا:

تطلب الواحدة هنا بعض التفسير، حيث يتم التعبير عنها عموماً كوحدات غير تابعة للجملة الدولية **SI** لأسباب تاريخية، وقد تم استخدامها في التحليل الطيفي لسنوات عديدة، حيث:

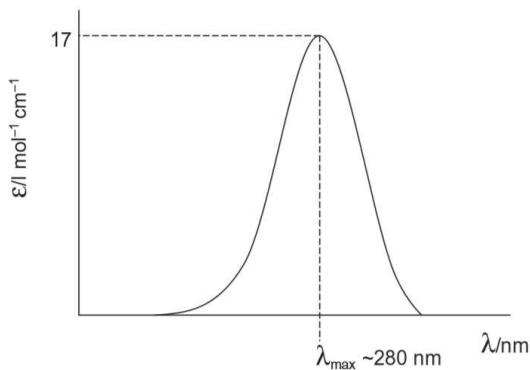
- التركيز **C**: من المتعارف عليه يأخذ الواحدة mol. L⁻¹
 - طول المسار **L**: يأخذ الواحدة cm.
 - القيمة **A**: لا تمتلك واحدة لأنها قيمة لوغاريتمية.

من قانون بیس لامبیت یمکن آن نکتب:

$$\epsilon = A/CL$$

لذلك فإن واحدة عادة ما تكون:

$$\text{cm}^{-1} \times (\text{mol. L}^{-1})^{-1} = \text{L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$$



بالنسبة إلى مادة معينة، يتفاوت معامل الامتصاص المولي باختلاف الطول الموجي للضوء المستخدم.

تسمى القطعة المحسورة بين ϵ أو $\log(\epsilon)$ مقابل الطول الموجي (أو رقم الموجة) **طيف الامتصاص للمادة** (Absorption Spectrum) كما هو موضح في **الشكل (I-20)** المجاور الذي يمثل طيف امتصاص الأسيتون.

الشكل (I-20): طيف الامتصاص للبروبانون (الأستينون).

الاستخدام الرئيسي لطيف الامتصاص من وجهة نظر علم الكيمياء الضوئية هو أنها توفر معلومات عن الطول الموجي الأعظم (λ_{\max}) للمركب عند القيمة العظمى لمعامل الامتصاص المولى (ϵ)، وبالتالي، فإن تشغيل المركب عند λ_{\max} يسمح بتنفيذ عملية الاستكشاف الضوئي الأمثل للمركب.



إضافة إلى ذلك، يتم استخدام قانون Beer-Lambert بشكل متكرر في التحديد التحليلي للتراكيز من خلال قياس قيم الامتصاصية للمحاليل، (مبدأ عمل جهاز التحليل الطيفي الموضح جانبًا).

فما هي امتصاصية محلول؟

امتصاصية محلول

إن معامل الامتصاص المولى (ϵ) هو مقياس لاحتمالية الانتقال الإلكتروني، في معظم المخططات التي ستدرسها عزيزي الطالب ستتجدد أن الامتصاص يتراوح من 0 إلى 1، ولكن يمكن أن يكون أعلى من ذلك، فإذا كان الامتصاص عند بعض الأطوال الموجية مساوياً 0 فهذا يعني أنه لم يتم امتصاص أي ضوء عند الطول الموجي المعين، أي أن شدة العينة والحرزمه المرجعية متماثلتان، لذا فإن النسبة $\frac{I_0}{I}$ هي 1 وبالتالي:

$$\log 1 = 0$$

لمناقشة تلك الأفكار من خلال الأمثلة المحلولية التالية:

مثال محلول (5)

هذا المثال يدعم فكرة الامتصاصية وقانون بيير لامبيرت

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى الزمن الإمتحاني: 10 دقائق كحد أقصى

يمتلك الغوانوزين Guanosine امتصاص اعظمي عند الطول الموجي 275 nm، فإذا علمت أن طول المسار هو 1 cm، وأن معامل الامتصاص المولى عند هذا الطول الموجي هو:

$$\epsilon_{275} = 8400 \text{ mol}^{-1} \text{cm}^{-1}$$

وأنه باستخدام جهاز التحليل الطيفي وجد أن قيمة الامتصاصية عند هذا الطول الموجي هي:

$$A_{275} = 0.70$$

ما هو تركيز الغوانوزين المستخدم؟

الحل:

من أجل حل هذه المسألة يتوجب علينا استخدام قانون بيير لامبيرت:

$$A = \epsilon \times l \times c$$

بالتعويض نجد:

$$0.70 = (8400 \text{ mol}^{-1} \text{cm}^{-1}) \times (1 \text{ cm}) \times c$$

وبالتالي:

$$c = 8.33 \times 10^{-5} \text{ mol/L}$$



مثال محلول (6)

هذا المثال يدعم فكرة الامتصاصية والكمية النسبية للضوء الممتص

زمن الحل: 8 دقائق كحد أقصى الزمن الإمتحاني: 10 دقائق كحد أقصى

في عينة ذات قيمة امتصاصية (1) عند طول موجي محدد، ما هي الكمية النسبية للضوء التي امتصتها العينة؟

الحل:

هذه المسألة لا تتطلب استخدام معادلة ببير لاميبرت، وإنما العلاقة المعتبرة عن تعريف الامتصاصية وفق ما يلي:

$$A = \log\left(\frac{I_0}{I}\right) \dots \dots \dots \quad (1)$$

تعطى الخسارة النسبية Relative Loss للشدة وفق ما يلي:

$$\frac{I - I_0}{I_0} = 1 - \frac{I}{I_0}$$

يمكن إعادة ترتيب المعادلة (1) باستخدام خصائص اللوغاريتمات لحلها من أجل الخسارة النسبية لكتافة الضوء (شدة)، حيث نحصل على:

$$10^A = \frac{I_0}{I} \rightarrow 10^{-A} = \frac{I}{I_0} \rightarrow 1 - 10^{-A} = 1 - \frac{I}{I_0}$$

بتعمويض قيمة الامتصاصية في نص المسألة نجد:

$$1 - \frac{I}{I_0} = 1 - 10^{-1} = 1 - \frac{1}{10} = 0.9$$

أي أنه يتم امتصاص 90% من الضوء عند هذا الطول الموجي، وأن شدة الضوء النافذة تبلغ فقط 10% من شدة الضوء الساقط.

ملاحظة:

لو عوضنا هذه النتيجة في المعادلة (1) لعدنا وحصلنا على قيمة الامتصاصية المعطاة:

$$\frac{I_0}{I} = \frac{100}{10} = 10 \rightarrow \log 10 = 1$$

ملاحظة هامة

العائد الكمومي Quantum Yield يدعى أيضًا بالكفاءة الكمومية Quantum Efficiency في المراجع العلمية.



أسئلة امتحانية

EXAMINATION QUESTIONS

نماذج أسئلة امتحانية تتعلق بمحتوى الفصل الأول الذي تناول:

"المفاهيم التمهيدية في الكيمياء الضوئية"

السؤال 1:

عرف أو اشرح المصطلحات التالية:

- التفاعل الكيميائي الضوئي - قانون بير لامبرت - قانون كروش درابر - قانون ستارك آينشتاين - العائد الكمومي - طاقة الفوتون - آينشتاين.

السؤال 2:

أجب عما يلي:

- ناقش الاختلافات بين التفاعلات الضوئية والتفاعلات الحرارية.
- اشتق علاقة بير لامبرت.

يسقط شعاع ذو طول موجي $\text{Å} = 2530$ على عينة يوديد الهيدروجين، مما يؤدي لتفكك 1.85×10^{-2} مول من العينة لكل 1000 كالوري من طاقة الإشعاع أي $(1.85 \times 10^{-2} \text{ mol}/1000 \text{ cal})$. أحسب العائد الكمومي علماً أن: $(h = 6.62 \times 10^{-34} \text{ J s}, NA = 6.023 \times 10^{23}, C = 3 \times 10^{10} \text{ cm/sec})$

الجواب: 2.09

السؤال 3:

أجب عما يلي:

- ما المقصود بطاقة الفوتون وطاقة آينشتاين؟
- اشرح قانون التوازن الكيميائي الضوئي وفق آينشتاين.
- في التفاعل الكيميائي التالي:



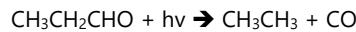
يتشكل $(1.00 \times 10^{-5} \text{ mol})$ من المادة **C** نتيجة امتصاص اشعاع ذو طاقة $6.00 \times 10^7 \text{ ergs}$ عند الطول الموجي 3600 Å . أحسب العائد الكمومي.

الجواب: 0.553

السؤال 4:

أجب عما يلي:

- اشرح ما تعرفه عن العائد الكمومي المنخفض والعائد الكمومي المرتفع.
- ما هو الأكتينيو متراً، تحدث بالتفصيل عن آلية عمله باستخدام أكسالات البيرينيل.
- عندما يتم تشيعي البروبينو الأدھید بضوء ذو طول موجي $\text{Å} = 3020$ ، يتفكك ليشكّل أحادي أكسيد الكربون وفق التفاعل التالي:



فإذا علمت أن العائد الكمومي لهذا التفاعل هو 0.54 ، وأن طاقة الضوء الممتص 15000 erg mol في الزمن المعطى، أحسب كمية غاز أول أكسيد الكربون المنشكّلة خلال هذا الزمن.

الجواب: $2.09 \times 10^{-9} \text{ mol}$

السؤال 5:

أجب عما يلي:

- على ماذا ينص مبدأ كروش درابر، وهل هناك استثناءات؟ وضح إجابتك.
- اشرح الفروقات بين الانبعاث التلقائي والانبعاث المحفز داعماً الشرح بالمعادلات.
- أي الألوان يمتلك أعلى طول موجي وأيها يمتلك أخفض طول موجي، وما هي العلاقة بين تلك الأطوال وطاقة هذه الألوان.

السؤال 6:

أجب عما يلي:

- اشرح آلية تفاعل الهيدروجين مع الكلور موضحاً الآلية بالمعادلات، هل هذا التفاعل ذو عائد كمومي مرتفع أم منخفض ولماذا؟
- ما هي التعددية السينية وإلى ماذا تشير؟
- ما الفرق بين حالي الإثارة الأحادية والثلاثية؟

عزيزي الطالب: هذه بعض النماذج لتعلم طريقة السؤال وكيفية الحل

المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

Key Concepts and Summary

في هذه المحاضرة درسنا تشكيل المداريات الجزيئية وفق النظرية المدارية الجزيئية، حيث تتبع أيضاً النموذج الميكانيكي الكوانتي، وجدنا أن هناك مداريات رابطة، أو معاكسنة للربط، أو غير رابطة، حيث على سبيل المثال إن المداريات المعاكسنة للربط تمثل حالة تميل إلى فصل الذرات بدلاً من ربطها، وبالتالي هي مداريات عالية الطاقة، كما درسنا تشكيل الجزيئات من خلال الحالات الإلكترونية، وتناولنا دراسة الميثانول كنموذج عن السويات الجزيئية وعرفنا من خلاله على مفهوم الـ HOMO والـ LUMO، وأهم التوزيعات الإلكترونية في السويات المثارة، حيث وجدنا أن حالة الإثارة الثلاثية تتمتع دائمًا بطاقة أقل من طاقة حالة الأحادية ذات الصلة بما يتماشى مع قاعدة هوند.

أيضاً تطرقنا إلى واحدة معامل الامتصاص المولي وجدنا أنها تساوي $L \cdot mol^{-1} \cdot cm^{-1}$ ، وبنهاية الفقرة كنا مع مجموعة من الأمثلة المحلولية التي تدعم هذه الفكرة.

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 بتاريخ 27/10/2024 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

- ✓ فهم معنى تقرير بورن اوينهايمر.
- ✓ فهم مبدأ فراكل كولدون.

أعدت هذه المحاضرة وفق قواعد الجودة العالمية لمناهج التدريس، كما تم الاستعانة في إعداد هذه المحاضرة بجامعة مانشستر ميتروبولitan Manchester metropolitan في المملكة المتحدة.

د. سعود كده