



كلية العلوم

القسم : الكيمياء

السنة : الرابعة

المادة : كيمياء ضوئية

المحاضرة : الثانية/نظري/د. سعود

{{ مكتبة A to Z }}

مكتبة A to Z : Facebook Group

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

9

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

الأحد: 2025/10/19	مقرر الكيمياء الضوئية	المحاضرة الأولى
د. سعود عبد الحليم كده 	الفصل الأول مفاهيم تمهيدية Introductory Concepts	قسم الكيمياء السنة الرابعة - الفصل الأول 2026 - 2025
تتضمن هذه المحاضرة: 4651 كلمة تشمل: 24173 حرف موزعة ضمن: 16 صفحة		

<p>الهدف التعليمي من المحاضرة الثانية</p> <p>في نهاية هذا المحاضرة ستكون قادر على:</p> <ul style="list-style-type: none"> ✓ أهم القوانين المستخدمة في الكيمياء الضوئية. ✓ مفهوم شدة الإشعاع وطرائق قياسه. ✓ مفهوم العائد الكمومي و العوامل المؤثرة فيه. ✓ بعض الأمثلة المحولة حول المفاهيم التي درستها. <p>جميع الحقوق محفوظة لأصحابها من حيث الاقتباس والصور على الشبكة العنكبوتية</p>	
--	---

إن أهم من يميز التفاعلات الكيميائية الضوئية هو مقياس كفاءتها، الذي يتحدد بما يعرف بال **العائد الكمومي** Quantum yield، حيث يعرف بأنه مقياس لكيفية استخدام الفوتونات الممتصة، أو بتعبير آخر هو:

"مقياس لكفاءة انبعاث الفوتون كما هو محدد بواسطة نسبة عدد الفوتونات المنبعثة إلى عدد الفوتونات الممتصة"

في هذه المحاضرة سنتعرف على هذا المفهوم ونعالج جوانبه المختلفة، ولكن قبل ذلك سنتعرف على أهم قوانين الكيمياء الضوئية.

المحتوى	الصفحة
قوانين الكيمياء الضوئية.	18
قانون كروث دراير.	18
قانون ستارك آينشتاين.	18
قانون بيير لامبيرت.	19
شدة الإشعاع.	23
طرائق تحديد شدة الإشعاع.	24
العائد الكمومي (الكفاءة الكمومية).	26
العوامل المؤثرة في العائد الكمومي.	28
أسباب ارتفاع العائد الكمومي.	29
أسباب انخفاض العائد الكمومي.	30
قياس العائد الكمومي.	31

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



Telegram

@Photochemistry_tartousuniv



8-I - قوانين الكيمياء الضوئية Photochemical Laws

هناك مبدأين أساسيان يتعلقان بامتصاص الضوء، هما أساس فهم التحولات الكيميائية الضوئية، ويعتبران قانونان لا غنى عنهما يحكمان هذا الفرع من الكيمياء، هما قانون كروش ودرابر وقانون ستارك آينشتاين.

8-I-1. قانون كروش ودرابر Grothuss-Draper Law

درس كل من العالمين كروش ودرابر في وقت مبكر من القرن التاسع عشر، مجموعة من التفاعلات الكيميائية الضوئية، وتوصلوا نتيجة هذه الدراسة إلى أن:

"الضوء الذي يمتصه كيان كيميائي هو وحده الذي يمكنه إحداث تغيير كيميائي ضوئي"

عندما يسقط الضوء على خلية تحتوي على مزيج تفاعل، يتم امتصاص جزء من هذا الضوء، أما الجزء المتبقي فيتم انتقاله عبر الخلية، عندها يكون الجزء الممتص من الضوء هو وحدة القادر على إحداث التفاعل الكيميائي، ومع ذلك، فهذا لا يعني أن امتصاص الإشعاع يجب أن يتبعه تفاعل كيميائي بالضرورة، فعندما تكون الظروف غير مواتية لتفاعل الجزيئات مع بعضها البعض، تبقى الطاقة الضوئية غير مستخدمة، ويمكن إعادة انبعاثها على شكل حرارة أو ضوء.

يعتبر هذا القانون بسيط بحد ذاته لكنه نوعي في طبيعته، فهو لا يعطي أي فكرة عن طبيعة العلاقة بين الإشعاع الذي يتم امتصاصه والجزيئات التي تخضع للتغيير.

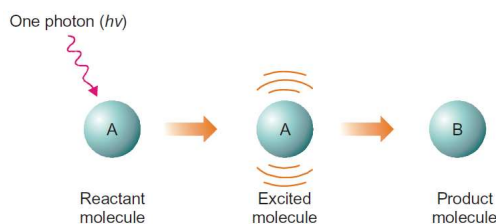
وفقاً لقانون كروش ودرابر فإن الضوء المنعكس أو المنقول لا يساهم في التفاعل الكيميائي.

8-I-2. قانون ستارك - آينشتاين Stark-Einstein Law

عام 1905، قام العالمان ستارك وآينشتاين بدراسة المفهوم الكمي للتفاعلات الكيميائية الضوئية، من خلال تطبيق النظرية الكوانتية للضوء، ووجدوا أن كل جزيء يشارك في التفاعل يمتص فوتون واحد فقط، حيث يتم تنشيط الجزيء الذي يمتص طاقة مكافئة لفوتون واحد، هذا الجزيء هو الذي يدخل في التفاعل الكيميائي، وتوصلوا إلى استنتاج قانون أساسي في الكيمياء الضوئية يحمل اسمهما، ينص على ما يلي:

"الفاعل الأساسي لامتصاص الضوء بواسطة الجزيء هو عملية كوانتية (كمية) واحدة، وهذا يعني أن لكل فوتون واحد ممتص جزيء واحد فقط مثار"

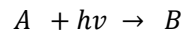
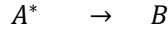
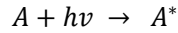
أي كل فوتون واحد ممتص يُفعل جزيء واحد فقط في التفاعل الضوئي الأساسي، ويدعى هذا القانون أيضاً بقانون "التوازن الكيميائي الضوئي"، ويمكن إيضاح آليته من خلال المثال الموضح في الشكل (I-5).



الشكل (I-5): توضيح لقانون ستارك - آينشتاين الذي يبين أن امتصاص فوتون واحد يؤدي إلى إثارة جزيء واحد (أي تحليل جزيء واحد Decomposed)

نلاحظ أن الجزيء (A)، يمتص فوتون من الأشعة الضوئية ويصبح منشطاً (أي جزيء مثار Excited Molecule)، عندها يتحلل الجزيء المثار (A*) ليعطي الجزيء (B) كناتج عن التفاعل.

يمكن التعبير عن ذلك وفق المعادلات التالية:



غالباً ما يطبق هذا القانون في حساب كفاءة الخلايا الشمسية أو التفاعلات التحفيزية الضوئية.

وبما أننا نستخدم عملياً الكميات المولية، لذلك يمكننا القول بأنّ مول واحد من المادة (A) يمتص مول واحد من الفوتونات أو (1) آينشتاين من الطاقة (E)، ويمكن حساب (E) من خلال العلاقة التالية:

$$E = \frac{2.859}{\lambda} \times 10^5 \text{ Kcal.mol}^{-1} \quad (1 - I)$$

يتم الالتزام بقانون ستارك-آينشتاين في الغالبية العظمى من الحالات، لكن الاستثناءات تحدث عند استخدام مصادر ضوئية شديدة الشدة، مثل الليزر لتشعيع عينة ما، في هذه الحالة قد يحدث امتصاص مترافق أو تسلسلي لفوتونين أو أكثر في التفاعل الكيميائي الضوئي.

3-8-I. قانون بيير لامبيرت Beer Lambert Law

يمكن تحديد الجزء من الضوء الممتص في أي عملية كيميائية، بقياس شدة الضوء الوارد (الساقط) على الجملة المدروسة، وشدة الضوء النافذ منها، وهذا ما توصل إليه العالمان بيير ولامبيرت.

• **قانون لامبيرت Labert's Law:** صاغ العالم جوهان لامبيرت في عام 1760 قانوناً يمثل علاقة تجريبية، تصف الإخماد في شدة الإشعاع حين مروره عبر وسط متجانس، ينص هذا القانون على ما يلي:

"فقدان شدة الضوء عندما ينتشر عبر وسط، يتناسب بشكل مباشر مع شدة الضوء وطول المسار الضوئي"

بمعنى آخر، لا يعتمد الجزء من الضوء الذي يمتصه وسط شفاف على شدة الضوء الساقط عليه فقط، فكل طبقة من طبقات الوسط تمتص جزءاً متساوياً من الضوء الساقط.

• **قانون بيير Beer's Law:** تمت صياغة هذا القانون عام 1852 من قبل العالم الألماني أوغست بيير August Beer، الذي يمثل علاقة تتعلق بامتصاص الطاقة الإشعاعية بواسطة وسط ماص، حيث أصبحت هذه العلاقة تُعرف بقانون بيير Beer Law، والذي ينص على ما يلي:

"القدرة الامتصاصية للمادة المذابة تتناسب طرماً مع تركيزها في المحلول"

إن الاشتقاق الحديث لقانون بيير-لامبيرت يجمع بين القانونين، ويتم حساب الامتصاصية كدالة لتركيز المادة الممتصة وسماكة هذه المادة (طول المسار)، ويمكن إيجاد التعبير الرياضي لقانون بيير لامبيرت من أجل حزمة ضوء أحادي اللون شدتها (I) تمر من خلال سماكة مقدارها (dx)، انطلاقاً من العلاقة التالية:

$$\frac{dI}{I} = -\epsilon \cdot c \cdot dx \quad (2 - I)$$

dI : التغير في شدة الضوء نتيجة عملية الامتصاص، في طبقة ثخانتها (dx)، وتركيزها (c)، بينما يشير (ε) لثابت يعرف بمعامل الامتصاص المولي، وهو الذي يحدد مقدار امتصاص الضوء الذي يختلف من مادة إلى أخرى.

بمكاملة العلاقة (2-I)، بين القيمتين (I₀) التي تمثل شدة الضوء الوارد عند مدخل الجملة، أي من أجل القيمة (x = 0)، و (I) شدة الضوء النافذ بعد قطعه مسافة (x = l)، نحصل على ما يلي:

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = -\epsilon \cdot c \cdot \int_0^L dx \rightarrow \ln \frac{I}{I_0} = -\epsilon \cdot c \cdot l \quad (13 - 1)$$

بضرب الطرفين بـ (-1)، وأخذ اللوغاريتم العشري نجد:

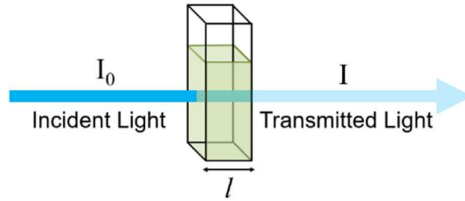
$$2.303 \times \ln \frac{I_0}{I} = \epsilon \cdot c \cdot l$$

$$\log \frac{I_0}{I} = \epsilon \cdot c \cdot l \quad (3 - I)$$

تُدعى الكمية $\log \frac{I_0}{I}$ بالإخماد Extinction ويرمز لها بالرمز (E)، وفي مصادر أخرى تُعرّف بالكثافة الضوئية Optical Density ويرمز لها بالرمز (OD)، لكن في أغلب المراجع يُشار إليها بالامتصاصية ويرمز لها بالرمز (A)، وبالتالي يمكن إعادة كتابة العلاقة (3-I) وفق ما يلي:

$$A = \epsilon \cdot c \cdot L \quad (4 - I)$$

تمثل هذه المعادلة العلاقة الخطية بين الامتصاصية، التركيز، وطول المسار، وتُعرف باسم قانون بيير لامبيرت. نلاحظ من الشكل (6-I)، أن شدة الحزمة تتناقص من القيمة (I_0) إلى القيمة (I) بعد عبورها المسافة (l).



الشكل (6-I): حزمة ضوئية تمتلك الشدة I_0 تمر من خلال وسط سماكته l ، نلاحظ أن شدة الحزمة تتناقص إلى القيمة I .

وبالتالي فإن شدة الضوء الممتص (I_α) تمثل الفرق بين شدة الضوء الوارد (I_0) وشدة الضوء النافذ (I):

$$I_\alpha = I_0 - I \quad (5 - I)$$

بضرب المعادلة (3-I) بالقيمة (-1) وإزالة اللوغاريتم نجد:

$$\frac{I}{I_0} = 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l} \rightarrow I = I_0 \times 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l}$$

بالتعويض في المعادلة (5-I) نجد:

$$I_\alpha = I_0 - I_0 \times 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l} \rightarrow$$

$$I_\alpha = I_0 (1 - 10^{-\epsilon \cdot c \cdot l}) \quad (6 - I)$$

- تُعرّف الكمية $\frac{I}{I_0}$ بالنفاذية، ويرمز لها اختصاراً بالرمز (T).
- أما الكمية $\frac{I_\alpha}{I_0}$ فتُعرّف بالامتصاصية ويرمز لها بالرمز (A)، وبالتالي نحصل على:

$$T = 1 - A \quad (7 - I)$$

تمثل العلاقة بين النفاذية والامتصاصية، ويُعبّر عنهما كنسبة مئوية.

في بعض الحالات، يكون المحلول المدروس يحتوي عدة مكونات قادرة على امتصاص طاقة الإشعاع، عندها يمكن كتابة العلاقة (3-I) التي تمثل قانون بيير لامبيرت بالشكل التالي:

$$\log \frac{I_0}{I} = (\epsilon_1 \times c_1 + \epsilon_2 \times c_2 + \dots) \cdot l \quad (8 - I)$$

غالباً ما نستخدم n طول موجة من أجل n مكون فعال ضوئياً، حيث تكون معاملات الامتصاص النوعي لهذه المكونات معروفة، ومختلفة عن بعضها البعض بدرجة كافية كشرط هام.

أما بالنسبة لواحدة معامل الامتصاص المولي (ϵ)، فإنها تتطلب بعض التفسير، حيث يتم التعبير عنها عموماً كوحدة غير تابعة للجملة الدولية (SI) لأسباب تاريخية، وقد تم استخدامها في التحليل الطيفي لسنوات عديدة، فإذا انطلقنا من قانون بيري لامبيرت وفق العلاقة (4-1):

$$A = \epsilon \cdot c \cdot L$$

يمكننا بإعادة الترتيب الحصول على العلاقة التالية:

$$\epsilon = A / c \cdot L$$

حيث نجد:

c : تركيز المادة، وحسب ما هو متعارف عليه يأخذ الوحدة ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$).

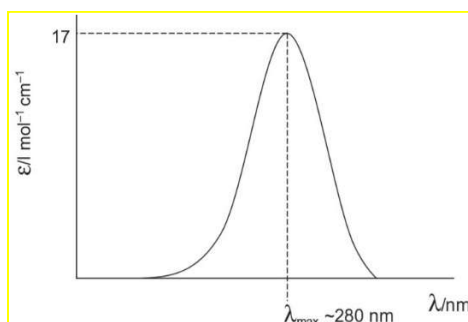
L : طول المسار ويُقاس بوحدة (cm).

A : قيمة الامتصاصية التي لا تمتلك واحدة لأنها قيمة لوغاريتمية.

وبالتالي فإنّ واحدة معامل الامتصاص الضوئي (ϵ) يعبر عنها بـ:

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

بالنسبة إلى مادة معينة، يتفاوت معامل الامتصاص المولي باختلاف الطول الموجي للضوء المستخدم، تسمى القطعة المحصورة بين (ϵ) (أو $\log \epsilon$) مقابل الطول الموجي (λ) (أو رقم الموجة) بطيف الامتصاص للمادة، كما هو موضح في الشكل (7-1) الذي يمثل طيف امتصاص الأسيتون.



الشكل (7-1): طيف الامتصاص للبروبانون (الأسيتون).

كما أن معامل الامتصاص المولي (ϵ)، يُعد مقياس لاحتمال الانتقال الإلكتروني، في معظم المخططات التي ستتم دراستها نجد أن قيمة الامتصاص تتراوح من (0) إلى (1)، فإذا كان الامتصاص عند بعض الأطوال الموجية مساوياً (0)، فهذا يعني أنه لم يتم امتصاص أي ضوء عند الطول الموجي المعين، أي أن شدة امتصاص العينة والحزمة المرجعية متماثلتان، فتأخذ النسبة ($\frac{I_0}{I}$) القيمة (1) وبالتالي:

$$\log 1 = 0$$

الاستخدام الرئيسي لطيف الامتصاص من وجهة نظر علم الكيمياء الضوئية، هو أنه يوفر معلومات عن الطول الموجي الأعظم (λ_{max}) للمركب عند القيمة العظمى لمعامل الامتصاص المولي (ϵ_{max})، وبالتالي، فإن تشيع المركب عند (λ_{max}) يسمح بتنفيذ عملية الاستكشاف الضوئي الأمثل لهذا المركب.

إضافة إلى ذلك، يتم استخدام قانون بيري لامبيرت بشكل متكرر في التحديد التحليلي للتركيز، من خلال قياس قيم الامتصاصية للمحاليل المدروسة، وهو ما يمثل مبدأ عمل جهاز التحليل الطيفي الموضح في الصفحة التالية:

**مثال توضيحي (7-1):**

يملك الغوانوزين Guanosine امتصاص اعظمي عند الطول الموجي (275 nm)، فإذا علمت أن طول المسار هو (1 cm)، وأن معامل الامتصاص المولي عند هذا الطول الموجي هو ($\epsilon_{275} = 8400 \text{ mol}^{-1}\text{cm}^{-1}$)، وأنه باستخدام جهاز التحليل الطيفي بلغت قيمة الامتصاصية عند هذا الطول الموجي القيمة ($A_{275} = 0.70$)، وفق هذه المعطيات يُحسب تركيز الغوانوزين المستخدم وفق بيير لامبيرت كالتالي:

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

بتعويض القيم في هذه العلاقة نجد:

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

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

مثال توضيحي (8-1):

في عينة ذات امتصاصية مقدارها ($A=1$)، عند طول موجي محدد، فإن الكمية النسبية للضوء الذي تم امتصاصه من قبل العينة تُحسب من خلال العلاقة المعبرة عن تعريف الامتصاصية وفق ما يلي:

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

تعطى الخسارة النسبية للشدة وفق ما يلي:

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

يمكن إعادة ترتيب المعادلة (*) باستخدام خصائص اللوغاريتمات، لحلها من أجل الخسارة النسبية لكثافة الضوء (شدته)، حيث نحصل على:

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

بتعويض 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.

لو عوضنا هذه النتيجة في المعادلة (*) لعُدتنا وحصلنا على قيمة الامتصاصية المعطاة:

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

يتضح من خلال الأمثلة السابقة، أهمية قانون بيير لامبيرت في التطبيقات الطيفية، لكن هناك حدود لتطبيق هذا القانون، فهناك حالتين، على سبيل المثال، لا يمكن فيهما تطبيق هذا القانون:

- استخدام أشعة ضوئية عالية الشدة مثل الليزر Laser، حيث ستكون عندها نسبة كبيرة من الأنواع المتألقة (المشعشة) في الحالة المثارة وليس في الحالة الأرضية.
- إذا لم يكن الضوء المستخدم وحيد اللون.

9-1 - شدة الإشعاع Intensity of Radiation

يمكن تعريف شدة الإشعاع (شدة الضوء) بأنها:

"كمية الضوء الساقطة على واحدة المساحة خلال واحدة الزمن"

أو يمكن التعبير عنها بصيغة ثانية بأنها:

"عدد الفوتونات التي تمر عبر واحدة المساحة خلال واحدة الزمن"

تُقاس شدة الإشعاع في الجملة الدولية بوحدة (W/m^2) ، أما وفقاً لنظام (CGS) فتُقاس بوحدة $(erg.s^{-1}.cm^{-2})$.

وتكمن أهمية شدة الضوء في كونها تلعب دوراً أساسياً في حدوث التفاعلات الكيميائية الضوئية ونسبتها، وبالتالي سيكون هناك اختلاف في شدة الضوء الوارد والنافذ عبر وسط التفاعل، يتمثل هذا الاختلاف، في التحاليل الطيفية على سبيل المثال، بقيمة الامتصاصية أو النفاذية للإشعاع الضوئي المستخدم.

تُعطى الصيغة الرياضية لشدة الإشعاع (I)، وفق العلاقة:

$$I = \frac{P}{A} \quad (9 - I)$$

حيث: (A) المساحة (m^2)، (P) القدرة الضوئية (W).

تُعرف القدرة الضوئية P بأنها كمية الطاقة الضوئية المنقولة أو المُشعة لكل وحدة زمنية، وتُعد من المفاهيم الأساسية في البصريات والكيمياء الضوئية، ويُعبر عنها بالعلاقة:

$$P = \frac{E}{t} \quad (10 - I)$$

تمثل (E) الطاقة الضوئية وتُقاس بوحدة (J)، بينما تمثل (t) الزمن مقدراً بالثانية.

ترتبط شدة الإشعاع بمجموعة من القوانين، أهمها:

• **قانون التربيع العكسي Inverse Squar Law**: يعبر عنه بالعلاقة:

$$I = \frac{P}{4\pi r^2} \quad (11 - I)$$

حيث: (r) المسافة من المصدر، ووفق هذا القانون تتناقص شدة الإشعاع مع مربع المسافة من المصدر النقطي.

مثال توضيحي (9-1):

إذا كانت شدة إشعاع الشمس عند الأرض، أو ما يعرف بالثابت الشمسي هي $(I \approx 1360 W/m^2)$ ، فإنها تكون أعلى بكثير بالقرب من سطح الشمس.

• **قانون جيب لامبيرت Lambert's Cosine Law**: يُعبر عنه بالعلاقة:

$$I(\theta) = I_0 \times \cos\theta \quad (12 - I)$$

حيث: (θ) الزاوية بين اتجاه الضوء والعمود على السطح، (I_0) شدة الضوء الوارد، وفقاً لهذا القانون فإن شدة الإشعاع على سطح مائل تقل بمقدار جيب زاوية السقوط.

مثال توضيحي (10-1):

عند غروب الشمس تكون $(\theta \approx 90^\circ)$ ، وبالتالي $(\cos \theta \approx 0)$ ، لذلك تكون الشدة الضوئية منخفضة جداً.

• **قانون بلانك للإشعاع الأسود** :Plank's Law of Blackbody Radiation

يُعبر عنه بالعلاقة:

$$B_\lambda(\lambda, T) = \frac{2hc^2}{\lambda^5} \times \frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1} \quad (13 - I)$$

حيث: $B_\lambda(\lambda, T)$ الطاقة المشعة، وتمثل شدة الإشعاع الطيفي لكل واحدة مساحة لكل زاوية صلبة لكل وحدة طول موجي، وتقاس بوحدة $(W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot m^{-1})$.

(k_B) : ثابت بولتزمان $(1.38 \times 10^{-34} J/K)$.

يصف هذا القانون توزيع شدة الإشعاع المنبعث من الجسم الأسود عند أطوال موجية مختلفة، ويتضمن جزأين:

$\frac{2hc^2}{\lambda^5}$: يصف كثافة الطاقة المشعة عند طول موجي معين، ويتناسب عكسياً مع القوة الخامسة للطول الموجي، أي أن الطاقة تقل بسرعة مع زيادة الطول الموجي.

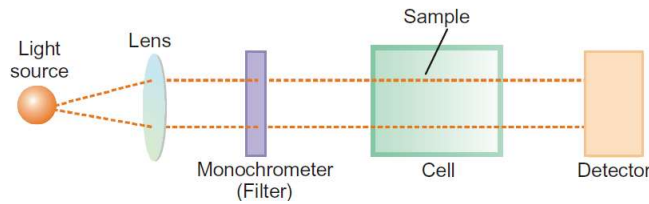
$\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda k_B T}} - 1}$: يُمثل توزيع بولتزمان للفوتونات، حيث يبين كيف تتوزع الطاقة بين الأطوال الموجية عند درجة حرارة معينة، أما الأس $(\frac{hc}{\lambda k_B T})$ فيحدد مدى سيطرة التأثيرات الكمومية على الإشعاع.

وأهم تطبيقات هذا القانون هي في مجال الفيزياء وعلم الفلك، لكننا أشرنا إليه هنا لفهم توزيع الطاقة الإشعاعية.

القوانين السابقة، تمكننا من تحديد شدة الضوء الواصل إلى نقطة معينة من مصدره، وتعطينا فكرة عن الأطوال الموجية له، وبالتالي الطاقة التي يقدمها لحدوث التحولات الكيميائية الضوئية، فيحدث التفاعل الكيميائي الضوئي عبر امتصاص فوتونات الضوء من قبل الجزيئات، لذلك من الضروري تحديد الشدة الممتصة من الضوء الوارد لتحديد نسبة التفاعل.

9-1-1. طرائق تحديد شدة الامتصاص Determination of Absorbed intensity

في الكيمياء تتبع طرق عديدة لتحديد شدة الإشعاع الممتص، أو ما يعرف بشدة الامتصاص، الشكل (8-1) يوضح الرسم التخطيطي لطريقة قياس الشدة الضوئية.



الشكل (8-1): الرسم التخطيطي للجهاز المستخدم في قياس الشدة الضوئية

يتم تقديم شعاع ضوئي من مصدر ضوئي مناسب (مصباح التنغستن، مصباح بخار الزئبق)، ليمر بالتوازي عبر العدسة، ثم يمر الشعاع من خلال محدد اللون "مرشح"، مما ينتج عنه ضوء ذو طول موجي واحد فقط، ليدخل الضوء أحادي اللون إلى خلية التفاعل المصنوعة من الكوارتز والحاوية على عينة التفاعل، ليسقط في المرحلة الأخيرة الجزء غير الممتص من الضوء على الكاشف.

يتم قياس شدة الضوء أولاً باستخدام خلية فارغة، ثم باستخدام خلية مليئة بعينة التفاعل، حيث تعطي القراءة الأولى شدة الضوء الساقط (I_0) ، بينما القراءة الثانية تعطي شدة الضوء النافذة (I) .

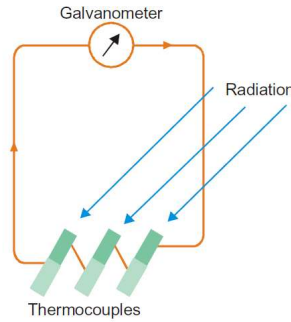
إن الفرق بين القراءتين يعبر عن الشدة الممتصة (I_{α}):

$$I_{\alpha} = I_0 - I \quad (14 - I)$$

تستخدم العديد من الكواشف لقياس شدة الضوء الممتص، حيث تعتمد في آلية عملها على تحويل الإشارة الضوئية، إلى إشارة كهربائية قابلة للقياس، سنستعرض هنا أهم هذه الكواشف المستخدمة في أجهزة التحليل الطيفي.

• العمود الحراري (أو المبرد الحراري) Thermopile:

يستخدم لقياس الإشعاع الحراري أو درجة الحرارة عن طريق تحويل الطاقة الحرارية إلى إشارة كهربائية، يعتمد على مبدأ المزدوجة الحرارية، لكن بعدة وصلات متسلسلة لتعزيز الإشارة كما هو موضح في الشكل (9-1).



الشكل (9-1): مخطط يبين آلية عمل المزدوجات الحرارية.

تُصنع المزدوجات الحرارية من معادن خاصة مثل (الفضة Ag والبزموت Bi)، بحيث ترتبط هذه المزدوجات مع بعضها البعض، ويُعتمد أحد طرفي المزدوجة عن طريق مصباح أسود، ويترك الطرف الآخر كما هو، وبالتالي عندما يضرب الإشعاع الطرف الأسود، يمتص الطاقة ويسخن، بينما يبقى الطرف الآخر بارداً عند درجة الحرارة المرجعية، مما يؤدي لنشوء جهد كهربائي يزداد بازدياد الفرق في درجات الحرارة بين الأقسام الساخنة والباردة من المزدوجة، والنتيجة تدفق تيار كهربائي في الدارة يُحدد من خلال مقياس غلفاني، يتناسب هذا التيار مع شدة الإشعاع الممتص.

يتميز هذا الكاشف بتطبيقاته الواسعة وحساسيته العالية، ويستخدم في مجالات درجة حرارة ($300^{\circ}C$)، بسبب انخفاض نقطة انصهار البزموت، وهناك مزدوجات تعمل عند درجات حرارة أعلى مثل مزدوجة نحاس - كوستانتان (Cu-CuNi)، لكن هذه المزدوجة ذات حساسية أقل.

تتم معايرة المبرد الحراري مسبقاً مقابل مصدر ضوء عياري (قياسي)، أي مصدر معلوم الشدة.

• الصمامات الضوئية Photodiodes:

تقوم بتحويل الفوتونات إلى تيار كهربائي عبر التأثير الكهروضوئي، وتستخدم العلاقة:

$$I = P \times R \quad (15 - I)$$

حيث: (I) التيار الناتج، (P) القدرة الضوئية الساقطة وتقاس بالواط، (R) الحساسية وتقاس بوحدة (A/W).

يمتاز هذا الكاشف باستجابة سريعة من مرتبة نانو ثانية، ويعمل في مدى طيفي واسع ($200 - 1100 \text{ nm}$)، من أهم تطبيقاته أجهزة القياس الطيفي (UV-Vis).

• أنابيب المضاعف الضوئي Photomultiplier Tube (PMTs):

تعمل على تضخيم الإلكترونات المنبعثة من سطح ضوئي (المهبط)، عبر سلسلة من الأقطاب، وتعتمد على المعادلة:

$$I_{out} = I_{in} \times G \quad (16 - I)$$

حيث: (G) عامل التضخيم ويصل إلى (10^6)، يمتاز هذا الكاشف بحساسية عالية للضوء الضعيف، ومن أهم تطبيقاته مطيافية الفلورة.

• مقياس الأكتينو متر الكيميائي Chemical Actinometer

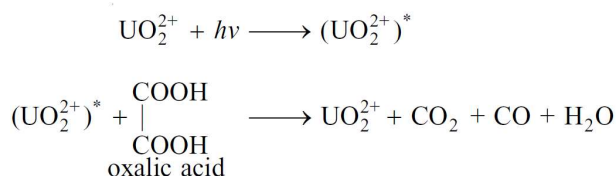
يعتبر هذا المقياس كاشف كيميائي، يستخدم لقياس شدة الضوء الممتص، أو عدد الفوتونات في التفاعلات الكيميائية بدقة عالية، يعتمد على تفاعل ضوئي معروف جيداً لتحويل الطاقة الضوئية إلى تغير كيميائي قابل للقياس، ويراعى في اختيار الأكتينو متر ما يلي:

○ الاختيار بناءً على الطول الموجي للضوء المدروس.

○ ضبط التركيز لضمان امتصاص مثالي.

○ التحكم في درجة الحرارة لأن بعض التفاعلات حساسة للحرارة.

يعتبر مقياس نشاط أكسالات اليورينيل Uranyl Oxalate من أبسط هذه الأجهزة، يحتوي هذا المقياس على حمض الأكساليك (0.05 M)، وعلى كبريتات اليورينيل في الماء (0.01 M)، وبالتالي عندما يتعرض للإشعاع الضوئي يتفكك حمض الأكساليك ($\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$) إلى CO_2 و CO و H_2O وفق ما يلي:



يتم تحديد تركيز حمض الأكساليك المتبقي بمعايرته باستخدام محلول برمنغنات البوتاسيوم KMnO_4 القياسي، فيكون التركيز المستهلك لحمض الأكساليك هو مقياس لشدة الإشعاع.

10-I - العائد الكمومي (الكفاءة الكمومية) Quantum Yield (or Quantum Efficiency)

إن أهم من يميز التفاعلات الكيميائية الضوئية هو مقياس كفاءتها، الذي يتحدد بما يعرف بالعائد الكمومي ويرمز له بالرمز (Φ)، ويعرّف على أنه:

" كمية المنتج الناتج عن كل فوتون ممتص "

بتعبير آخر، هو مقياس لكيفية استخدام الفوتونات الممتصة، ويمثل نسبة عدد الفوتونات المنبعثة إلى عدد الفوتونات الممتصة، ويعبر عنه رياضياً وفق ما يلي:

$$\Phi = \frac{\text{عدد الجزيئات المتفاعلة}}{\text{عدد الفوتونات الممتصة}} \quad (17 - I)$$

أي هو عدد الجزيئات المتفاعلة (المتفككة أو المتشكلة) في الزمن المُعطى، مقسوماً على عدد فوتونات الطاقة الإشعاعية الممتصة في ذات الزمن، أو عدد المولات المتفككة أو المتشكلة مقسومة على عدد مولات الطاقة الإشعاعية الممتصة في الزمن المُعطى ذاته، كما يستخدم أحياناً مصطلح العائد الكوانتي، أو الكفاءة الكوانتية للتعبير عنه.

يقسم العائد الكمومي إلى نوعين:

1. العائد الكمومي المطلق: يقيس الكفاءة الكمومية باستخدام جميع الفوتونات الممتصة، وهذا النوع يتطلب قياساً دقيقاً لشدة الضوء الممتص.

2. العائد الكمومي النسبي: يُقاس بالمقارنة مع مرجع معروف عائده الكمومي، مثل مقارنة تفاعل مجهول بآخر عياري (أكسدة مركب باستخدام ضوء معين).

أما من أجل تحديد العائد الكمومي بشكل تجريبي، فيجب معرفة كل من كمية المادة المستهلكة أو المتشكلة (ΔN_i) مع الزمن (t)، إضافة إلى شدة الإشعاع الممتص (I_α)، وبالتالي يتم تحديد العائد الكمومي وفق العلاقة التالية:

$$\Phi = \frac{\Delta N_i}{I_\alpha \times t} \quad (18 - I)$$

يمكن تحديد ΔN_i من خلال العلاقة التالية:

$$\Delta N_i = V \times \Delta C_i \quad (19 - I)$$

تحدد قيمة ΔN_i حسب واحدة التركيز المستخدمة، فإذا كان حجم المحلول المدروس (V) مقدراً بوحدة الـ (ml)، والتركيز بوحدة (mol/l)، عندها يتم تقسيم الحجم المدروس على القيمة (1000)، وتحديد شدة الضوء (I_α) عن طريق أجهزة القياس، يمكن حساب قيمة العائد الكمومي وفق العلاقة (1-30).

مثال توضيحي (11-1):

يتم تعريض المادة A للضوء، فيتفاعل منها (0.002 mol) في (20 min) و (4 sec) نتيجة امتصاص (2.0×10^6) فوتون من الضوء في الثانية الواحدة، لحساب العائد الكمومي للتفاعل المعطى، نبدأ بحساب عدد جزيئات المادة A المتفاعلة:

$$\Delta N_i = 0.002 \times N_A = 0.002 \times 6.023 \times 10^{23}$$

الآن نحسب عدد الفوتونات الممتصة في الزمن المعطى:

$$[4 + 20(60)] \times 2.0 \times 10^6 = 2408 \times 10^6 \text{ Photon}$$

فيكون العائد الكمومي للتفاعل المعطى:

$$\Phi = \frac{\text{عدد الجزيئات المتفاعلة}}{\text{عدد الفوتونات الممتصة}} = \frac{\Delta N_i}{I_\alpha \times t}$$

$$\Phi = \frac{0.002 \times 6.023 \times 10^{23}}{2408 \times 10^6} = 5.00 \times 10^{11}$$

مثال توضيحي (12-1):

أجريت عملية تشعيع Irradiated لمادة معينة A باستخدام ضوء طول موجته (5000 \AA)، نتيجة لذلك تفكك من هذه المادة كمية مقدارها ($1 \times 10^{-4} \text{ mole}$)، والمطلوب حساب عدد الفوتونات الممتصة خلال التفاعل، إذا علمت أن الكفاءة الكمومية لعملية التشعيع هذه تبلغ القيمة (10.00)، علماً أن ($N_A = 6.023 \times 10^{23}$).

الحل: يُعطى عدد جزيئات المادة المتفككة وفق ما يلي:

$$\Delta N_i = 1 \times 10^{-4} \times 6.023 \times 10^{23} = 6.023 \times 10^{19}$$

نعلم أن العائد الكمومي للتفاعل هو عدد الجزيئات المتفككة على عدد الفوتونات الممتصة:

$$\Phi = \frac{\text{عدد الجزيئات المتفاعلة}}{\text{عدد الفوتونات الممتصة}} = \frac{\Delta N_i}{\Delta N_{ph}} \rightarrow$$

$$\Delta N_{ph} = \frac{\Delta N_i}{\Phi} \rightarrow$$

$$\Delta N_{ph} = \frac{6.023 \times 10^{19}}{10.00} = 6.023 \times 10^{18}$$

وهو عدد الفوتونات الممتصة خلال التفاعل.

مثال توضيحي (13-1):

عندما يتم تعريض البروبانال لضوء طول موجته (3020 Å)، يتفكك ليشكل غاز أحادي أكسيد الكربون وفق التفاعل التالي:



يملك العائد الكمومي من أجل التفاعل أعلاه القيمة (0.54)، فإذا علمت أن طاقة الضوء الممتص خلال زمن محدد تبلغ القيمة (15000 Erg mol⁻¹)، أحسب كمية غاز أول أكسيد الكربون المتشكل مقدرةً بالمول خلال ذات الزمن.

الحل: تعطى طاقة الضوء الممتص بوحدة آينشتاين وفق العلاقة التالية:

$$E = \frac{1.196 \times 10^{16}}{\lambda} \text{ erg. mol}^{-1} = \frac{1.196 \times 10^{16}}{3020} \text{ Erg. mol}^{-1}$$

وبالتالي فإن الطاقة المكافئة لـ (15000 Erg.mol⁻¹) تعادل:

$$E = \frac{15000}{\frac{1.196 \times 10^{16}}{3020}} = \frac{15000 \times 3020}{1.196 \times 10^{16}} = 3.78 \times 10^{-9} \text{ Einstein}$$

وبما أن العائد الكمومي للتفاعل المُعطى، هو عبارة عن عدد جزيئات غاز أحادي أكسيد الكربون المتشكلة إلى كمية الطاقة الممتصة معبر عنها بـ آينشتاين، بالتعويض نجد:

$$\Phi = \frac{N_{CO}}{3.78 \times 10^{-9}} = 0.54$$

وبالتالي يكون عدد مولات غاز أحادي أكسيد الكربون CO المتشكل:

$$N_{CO} = 0.54 \times 3.78 \times 10^{-9} = 2.04 \times 10^{-9} \text{ moles}$$

10-I- العوامل المؤثرة في العائد الكمومي Factors Affecting Quantum Yield Efficiency

ثبت أن التفاعل الكيميائي الضوئي لا يخضع دائماً لقانون آينشتاين، فعالباً ما يكون عدد الجزيئات المتفاعلة أو المتفككة، مختلفاً بشكل ملحوظ عن كمية فوتونات الإشعاع الممتصة خلال زمن معين، وهذا يعود لمجموعة من العوامل:

1. طبيعة الجزيء الخاضع للتفاعل الضوئي: بعض الجزيئات تمتلك عائد كمومي عال (~0.8) بسبب كفاءتها في نقل الطاقة (الكلوروفيل على سبيل المثال في عملية التمثيل الضوئي).
 2. طول موجة الضوء: يجب أن يتطابق مع طاقة امتصاص الجزيء.
 3. الوسط الكيميائي: إن وجود مواد مذيبة (المحل)، أو محفزات، يمكن أن يزيد أو يقلل من الكفاءة الكوانتية للتفاعل.
 4. العمليات التنافسية: مثل حصول عملية إطفاء ضوئي، نتيجة فقد الطاقة على شكل حرارة عوضاً عن التفاعل.
- هذه العوامل قد تؤثر مجتمعة أو منفردة على قيمة العائد الكمومي، ويمكننا تفسير بعض القيم الشائعة للعائد الكوانتي وفق ما يلي:

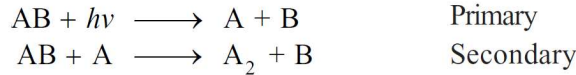
1. بالنسبة للتفاعل الذي يلتزم بدقة بقانون آينشتاين، يتحلل (يتفكك) جزيء واحد مقابل كل فوتون، وبالتالي يكون العائد الكمومي له (Φ = 1)، وتمثل هذه الحالة كفاءة مثالية نادرة الحدوث.
2. عندما يتحلل جزيئين أو أكثر لكل فوتون، عندها يكون العائد الكمومي (Φ > 1)، والتفاعل لديه عائد كمومي مرتفع، ويدل ذلك على تفاعلات متسلسلة مثل التفاعلات الضوئية التي تنتج جذوراً حرة تحفز تفاعلات إضافية.
3. أما إذا كان عدد الجزيئات المتحللة أقل من واحد لكل فوتون، يكون للتفاعل عائد كمومي منخفض (Φ < 1)، وينتج ذلك عن فقدان الطاقة بسبب عمليات غير إشعاعية، مثل الاصطدامات أو الانزياح الحراري.

10-2. أسباب ارتفاع العائد الكمومي Causes of High Quantum Yield

عندما يتحلل فوتون واحد ليتشكل أكثر من جزيء واحد، يُقال عن العائد الكمومي بأنه مرتفع ($\Phi > 1$)، ويمكن توضيح الأسباب الرئيسية لارتفاعه وفق ما يلي:

1. التفاعلات اللاحقة للتفاعل الأولي Reactions Subsequent to The Primary Reaction

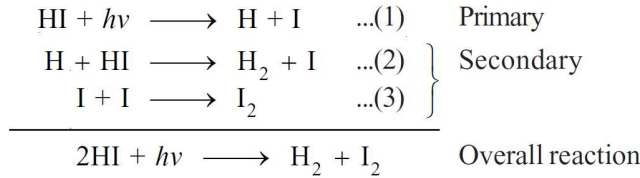
يقوم الفوتون الممتص في تفاعل أولي بفصل جزيء واحد من المادة المتفاعلة، لكن الذرات المثارة التي تنتج عن عملية الامتصاص، قد تبدأ لاحقاً تفاعلاً ثانوياً يؤدي لتحلل (تفكك) جزيء آخر، ويمكن توضيح ذلك من خلال التفاعل التالي:



من الواضح أن فوتوناً واحداً من الإشعاع قد فكك جزيئين (AB)، أحدهما في التفاعل الأولي، والآخر في التفاعل الثانوي، ومن ثم فإن العائد الكمومي للتفاعل الكلي (2).

مثال توضيحي (14-1):

يتفكك جزيء يوديد الهيدروجين HI عن طريق امتصاص ضوء طول موجته أقل من (4000 \AA)، في التفاعل الأولي يمتص جزيء يوديد الهيدروجين فوتوناً، وينفصل لإنتاج الذرات (H) و (I)، يتبع ذلك خطوات ثانوية وفق ما يلي:

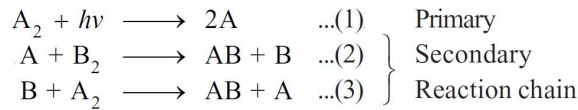


نجد أنه في التفاعل الكلي، تتفكك جزيئتان من يوديد الهيدروجين من أجل كل فوتون ($h\nu$) من الضوء الممتص، وبالتالي يكون العائد الكمومي لهذه العملية (2).

2. تُشكل سلسلة التفاعل العديد من الجزيئات لكل فوتون.

A reaction Chain Forms many Molecules Per Photon

عندما يكون هناك جزيئتان متفاعلتان أو أكثر، يمتص أحد هذه الجزيئات فوتوناً وينفصل إلى ذرات مثارة (تفاعل أولي)، فتقوم الذرة المثارة الناتجة بالبدا بتفاعل سلسلة ثانوي Secondary Reaction Chain، وفق الآلية التالية:



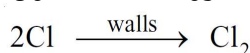
يلاحظ بأن الذرة (A) المستهلكة في (2) تتجدد في (3)، تستمر سلسلة التفاعل هذه في تكوين جزيئين في كل مرة، وبالتالي فإن عدد جزيئات (AB) المتشكلة (في التفاعل الكلي لكل فوتون) كبير جداً، مما يُعطي عائداً كمومياً مرتفعاً للغاية.

مثال توضيحي (15-1):

لنأخذ تفاعل غاز الهيدروجين (H_2) مع غاز الكلور (Cl_2)، يعتبر هذا المثال من الأمثلة المعروفة على تفاعل متسلسل ضوئي كيميائي، حيث يتعرض خليط من هذين الغازين لضوء بطول موجة أقل من (4000 \AA)، فيتفاعل الهيدروجين والكلور بسرعة لتكوين كلوريد الهيدروجين، كخطوة أولية يقوم جزيء الكلور بامتصاص فوتون وينفصل إلى ذرتي كلور (Cl)، ثم بعد ذلك تحصل مجموعة من التفاعلات الثانوية وفق ما يلي:



إن ذرة الكلور المستهلكة في الخطوة (2) يعاد تخليقها في الخطوة (3)، وبالتالي فإن الخطوتين (2) و (3) تشكلان تفاعلاً متسلسلاً ذاتي الانتشار، ينتج عن هذا جزيئين من حمض كلور الماء (HCl) في كل دورة، وهكذا فإن فوتون واحد من الضوء يمتص في الخطوة (1)، يشكل عدداً كبيراً من جزيئات حمض كلور الماء عن طريق تكرار تسلسل التفاعلات (2) و (3)، وهكذا حتى ينتهي التفاعل المتسلسل عندما تتحد ذرات الكلور (Cl) على جدران وعاء التفاعل، حيث تفقد طاقتها الزائدة.



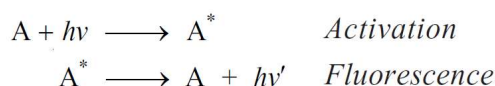
عدد جزيئات حمض كلور الماء المتشكلة مقابل كل فوتون ضوئي مرتفع للغاية، حيث يتراوح العائد الكمومي للتفاعل من (10^4) إلى (10^6).

10-3- أسباب انخفاض العائد الكمومي Causes of Low Quantum Yield

هناك بعض العوامل التي تعمل على جعل العائد الكمومي منخفضاً ($\Phi < 1$)، يمكن ايضاحها من خلال ثلاثة أسباب رئيسية:

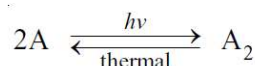
1. تعطيل تفاعل الجزيئات Deactivation of Reacting Molecules

قد يتم إلغاء تنشيط الجزيئات المثارة في العملية الأولية، قبل أن تحصل على فرصة للتفاعل، يحدث هذا الإلغاء بسبب الاصطدام مع بعض الجزيئات الخاملة، أو عن طريق الفلورة التي سنتعرف عليها لاحقاً، حيث يعبر عن هذه الآلية وفق ما يلي:



2. حدوث تفاعل عكسي للتفاعل الأولي Occurrence of Reverse of Primary Reaction

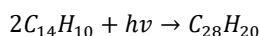
في هذه الحالة، يُنتج التفاعل الأولي بشكل عام بوليمر، ثم يخضع الناتج لتفاعل حراري يعاد من خلاله تشكل جزيئات المادة المتفاعلة، أي يتشكل المونومير من جديد، وفق الآلية التالية



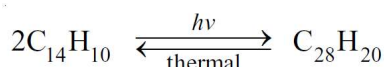
يستمر التفاعل الحراري العكسي حتى يصل إلى حالة التوازن.

مثال توضيحي (16-1):

تعتبر عملية ديمرة الأنثراسين $\text{C}_{14}\text{H}_{10}$ ، مثلاً فاعلاً لشرح هذا العامل، فعندما يتم تعريض الأنثراسين المنحل في البنزين إلى ضوء أشعة فوق بنفسجية، يتحول إلى دايمر (ثنائي المونومير) ذي الصيغة $\text{C}_{28}\text{H}_{20}$ ، وفق ما يلي:



من الواضح أن العائد الكمومي يجب أن يكون (2)، لكن في الواقع وجد أنه يساوي (0.5)، وتفسير ذلك هو أن التفاعل مصحوب بوميض (عملية فلورة)، مما يؤدي إلى تعطيل جزيئات الأنثراسين المثارة، إضافة لذلك، يكون التفاعل السابق قابلاً للانعكاس وفق ما يلي:



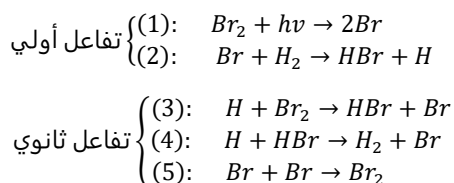
يستمر تحول المادة الناتجة مرة أخرى إلى المادة المتفاعلة، حتى يتم الوصول إلى حالة التوازن، مما يقلل من العائد الكمومي.

3. إعادة تركيب الأجزاء المنفصلة Recombination of Dissociated Fragments

قد تنفصل جزيئات المادة المتفاعلة في العملية الأولية لتعطي أجزاء أصغر، هذه الأجزاء يمكنها أن تتحد مجدداً، لتعطي المادة المتفاعلة التي تشكلت منها، أي لن تحدث التفاعلات الثانوية التي تتضمن الأجزاء المكونة للمنتج، مما يؤدي لتقليل العائد الكومومي بشكل كبير.

مثال توضيحي (17-1):

تشكيل بروميد الهيدروجين (HBr) عن طريق اتحاد الهيدروجين (H_2) والبروم (Br_2)، فعندما يتعرض مزيج من الهيدروجين والبروم للضوء، يتكون بروميد الهيدروجين من خلال الخطوات الممكنة التالية:



يمكن مناقشة هذه الآلية وفق ما يلي:

التفاعل (2) بطيء للغاية، والتفاعلات (3) و (4) و (5) تعتمد بشكل مباشر، أو غير مباشر على التفاعل (2)، وبالتالي فهي بطيئة للغاية، لذلك، معظم ذرات (Br) التي يتم إنتاجها في التفاعل الأول، تتحد لإعادة جزيئات (Br_2) وفق التفاعل (5)، وبالتالي فإن جزيئات (HBr) التي يتم الحصول عليها لكل فوتون صغيرة للغاية، حيث وجد أن العائد الكومومي للتفاعل (0.01) عند درجة الحرارة العادية، أي منخفض جداً.

4-10-I قياس العائد الكومومي Quantum yield measurement

يُقاس العائد الكومومي وفق ما يلي:

1. مطيافية الامتصاص: لقياس عدد الفوتونات الممتصة.
 2. مطيافية الانبعاث: لتحليل المنتجات الناتجة عن التفاعل.
 3. المقارنة مع معيار: مثل استخدام مركب أكتينومتر ذو عائد كومومي معروف.
- أخيراً يجب التنويه، أن مفهوم الكفاءة الكومومية مختلفة تماماً عن مفهوم الكفاءة الضوئية أو الكيميائية، حيث:
- الكفاءة الضوئية** (العائد الضوئي): تمثل نسبة الطاقة المستخدمة إلى الطاقة الممتصة، وهي قد تشمل فقداناً حرارياً (لا تركز على عدد الفوتونات).
- الكفاءة الكيميائية** (العائد الكيميائي): تمثل كمية المنتج الناتج عن التفاعل، وهي لا ترتبط بالضرورة بالفوتونات الممتصة.

ملاحظة:

يمكن استخدام مصطلح العائد الكوانتي أيضاً أو الكفاءة الكوانتية.

المفاهيم الأساسية للمحاضرة والموجز

Key Concepts and Summary

في هذه المحاضرة تعرفنا بدايةً على أهم قوانين الكيمياء الضوئية، مثل قانون كروث درابر، ستارك آينشتاين والذين يعتبران مبدئين أساسيين يتعلقان بامتصاص الضوء، ووجدنا أنه حسب كروث درابر فإن الضوء الذي يمتصه كيان كيميائي هو وحده الذي يمكنه إحداث تغيير كيميائي ضوئي، كما تعرفنا على قانون بيير لامبيرت ومن خلاله على مصطلح الامتصاصية والذي يستخدم في التحاليل المطيافية.

ثم تعرفنا على مصطلح شدة الإشعاع، ووجدنا أنه يمثل كمية الضوء الساقطة على وحدة المساحة خلال وحدة الزمن، وتعرفنا على وحدات قياسه، وأهم القوانين التي ترتبط بهذا المفهوم، مثل قانون جيب لامبيرت، وقانون بلانك للإشعاع الأسود، ثم تناولنا طرائق تحديد شدة الامتصاص الضوئي.

أخيراً درسنا مفهوم الكفاءة الكوانتية (العائد الكمومي)، والتي تمثل كمية المنتج الناتج عن كل فوتون ممتص، وتعرفنا على أهم العوامل المؤثرة في العائد الكمومي، والتي تؤدي إلى رفع هذا العائد أو خفضه.

"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 2025/10/26 ستتعرف إلى عناوين متعددة منها:

- ✓ المصاييح المستخدمة في الكيمياء الضوئية (تكملة للفصل الأول)
- ✓ الظواهر المترافقة مع حالة الإثارة الإلكترونية والتعددية السبينية.

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

د. سعود عبد الحليم كده



مكتبة
A to Z