



مقرر: الكيمياء الفيزيائية الصيدلانية

كلية: الصيدلة

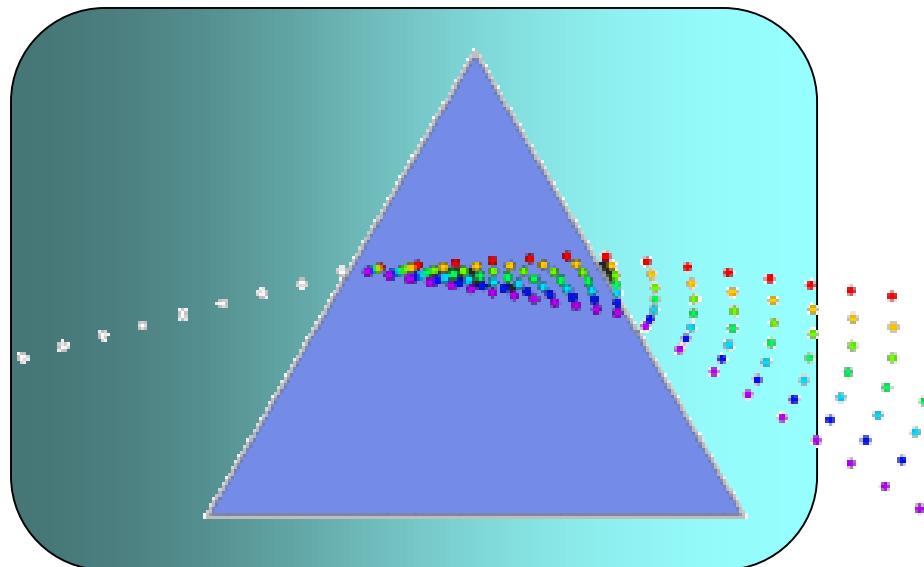
مدرس المقرر: د. زكي عجي

الرمز:



**مطيافية الأشعة ما فوق البنفسجية و الضوء المرئي**

**UV-Visible spectroscopy**



# التحليل الطيفي الضوئي : Spectrophotometric Analysis

سنتحدث اليوم عن صفة فيزيائية تمثل قدرة المادة على امتصاص الضوء أو إصداره ألا وهي الطرق الضوئية الطيفية.

وهي واحدة من أكثر طرق التحليل شيوعاً وأهمية لأن استخدامها بسيط و سهل وسريع الإجراءات ونتائجها دقيقة وتستخدم في تحليل المواد عموماً وخاصة في الكيمياء الحيوية ومخابر التحاليل الطبية فهي هامة في معايرة الثوابت الفيزيولوجية (السكر، الكوليسترول، الشحوم الثلاثية، حمض البول، الهرمونات، الفيتامينات، الكرياتين ....)، كما تستخدم لمعايرة الأجزاء الصغيرة جداً من المواد البيولوجية ومعايرة المواد الدوائية.

جزئي Vis- UV- IR

ذري Atomic  
Absorption

جزئي fluorescence  
Spectrophotometry

ذري Flame  
Photometry

مقاييس العكر  
Turbidimetry

الامتصاص  
Absorption

الاصدار  
Emission

البعثرة  
Dispersion

طائق التحليل  
الظيفي الضوئي

## الامتصاص Absorption

إما أن تكون :

- الجزيئة تمتص الضوء (امتصاص جزيئي).
- أو أن تكون الذرة تمتص الضوء (امتصاص ذري) (في حالة الامتصاص الذري نستخدم جهاز **Atomic Absorption** ويستخدم في تحديد تراكيز عدد كبير من المعادن.

## الإصدار الضوئي : (Light Emission)

الذرة أو الجزيئة تمتضض الضوء فتنتقل إلى مستوى قدره أعلى ولكن تكون بهذه الحالة غير مستقرة فتعود إلى وضعها الطبيعي بعد أن تصدر (تبث) الطاقة التي امتصتها على شكل إصدار ضوئي، نقيس هذا الضوء والذي يتاسب مع عدد الذرات أو الجزيئات فنحدد التركيز من خلال معرفة كمية الضوء الصادر.

- فالذرة يمكن أن تصدر الضوء، ويتم قياس إشعاع الضوء الصادر بمقاييس مطياف اللهب (يستخدم اللهب) . **Flame spectroscopy**
- أما الجزيئة فتصدر الطاقة بعد تحريضها باستخدام الضوء ونستخدم في هذه الحالة جهاز يدعى: **قياس التألق (الفلورة)** **Florescence** . **Spectrophotometer**

## معادلة بور – أينشتاين : (Einstein–Bohr equation)

في حالة الامتصاص أو الإصدار لدينا مستويين قdroيين فمثلاً في حالة الامتصاص عندما تمتض الجزيئه الطاقه تنتقل من مستوى قdroي إلى مستوى قdroي أعلى منه ويعطى فرق الطاقه بين المستويين القdroيين بالعلاقه:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu$$

حيث :

$E_2$  : طاقه المستوى القdroي الأعلى.

$E_1$  : طاقه المستوى القdroي الأدنى .

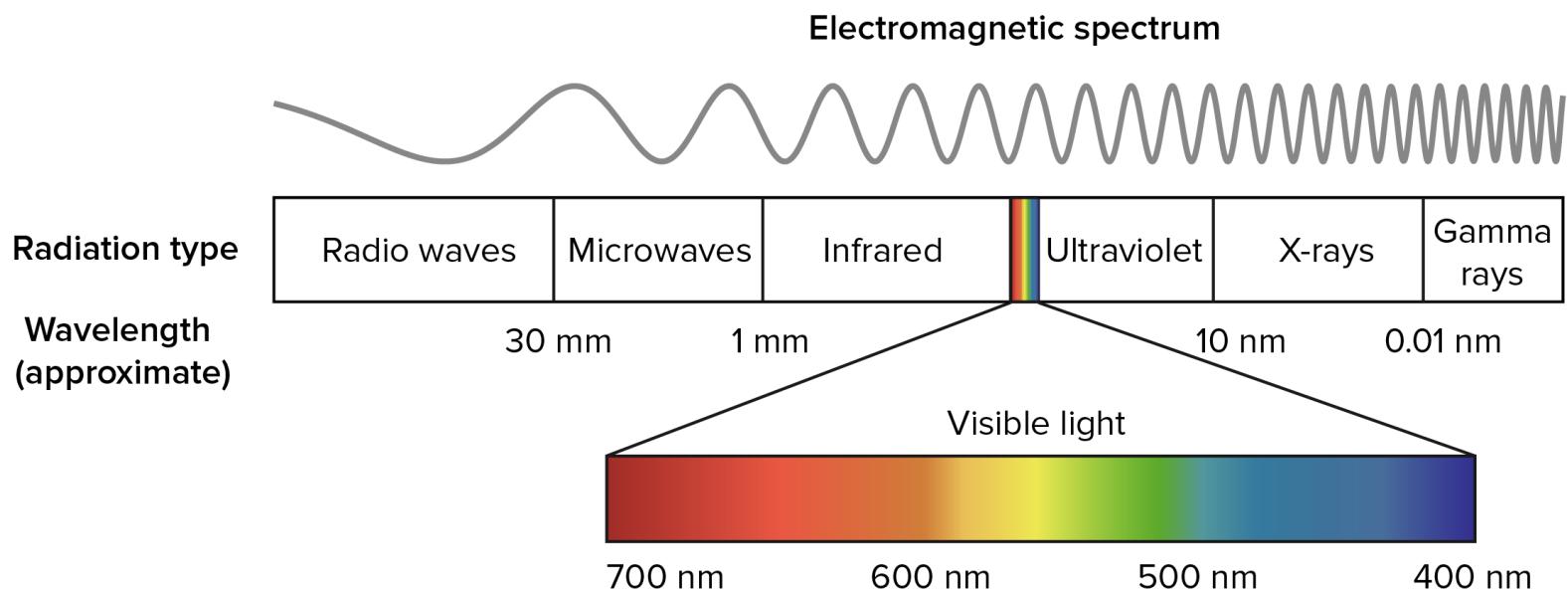
$h$  : ثابت بلانك ويعادل  $6.624 \times 10^{-34}$  جول / ثا .

$\nu$  : تواتر الشعاع الضوئي Frequency ( عدد الأمواج الصادرة عن المنبع الضوئي في الثانية ) ، واحدته الفرنل و تعادل  $10^{12}$  موجة / ثا ( يقاس التواتر أيضاً بواحدة الهرتز Hz ).

ملاحظة :

الامتصاص الجزيئي له ثلاثة مجالات :

- امتصاص الأشعة فوق البنفسجية (UV).
- امتصاص الضوء المرئي (Vis: Visible )
- امتصاص الأشعة تحت الحمراء (IR) .



## طيف الأشعة الكهرومagnetica:

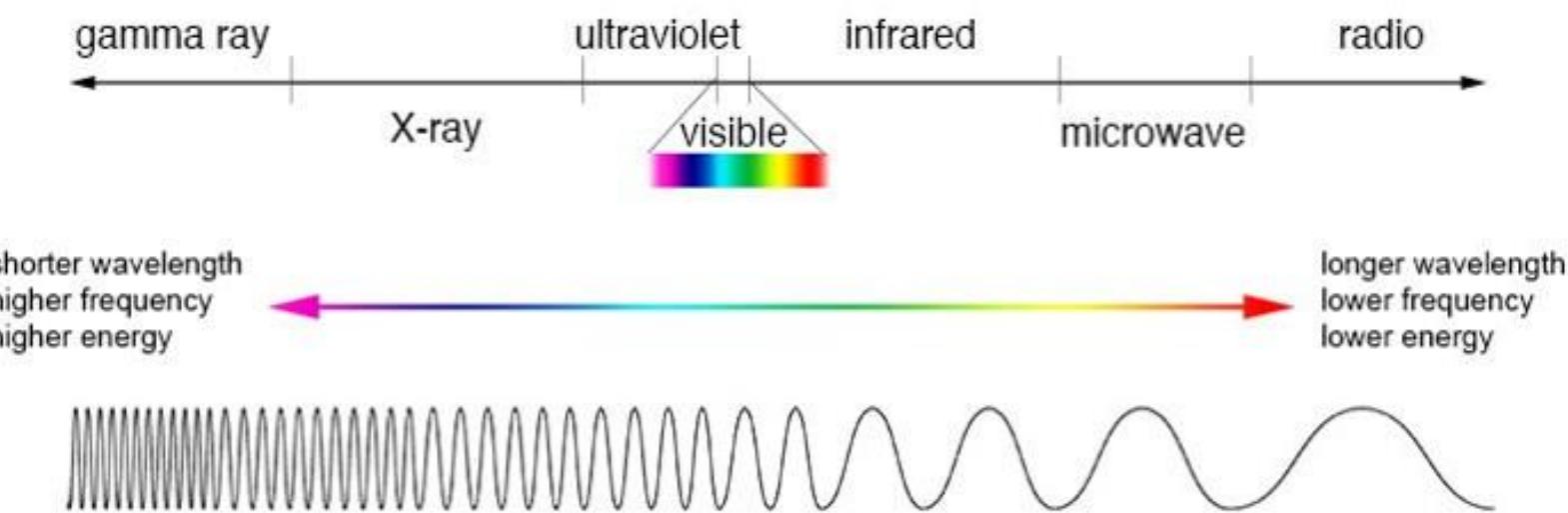
- يمتد من الأمواج فوق القصيرة (الكونية) حتى الأمواج الراديوية (أمواج طويلة).
- ويحتل **الطيف المرئي** جزء صغير من طيف الإشعاعات الكهرومagnetica حيث يمتد بين 4000 إلى (7500-8000) أنغستروم وهو يضم ألوان الطيف السبعة (بنفسجي - نيلي - أزرق - أخضر - أصفر - برتقالي - أحمر).
- حيث أن الشعاع الضوئي ذو طول الموجة  $4000\text{A}^{\circ}$  أو  $400\text{nm}$  هو الشعاع البنفسجي، أما الشعاع ذو طول الموجة  $7500\text{A}^{\circ}$  أو  $750\text{nm}$  هو الشعاع الأحمر.
- الشعاع تحت الأحمر (IR) مجاله فوق  $7500\text{A}^{\circ}$ .
- الشعاع فوق البنفسجي (UV) مجاله بين 2000 و  $4000\text{A}^{\circ}$ .

## الوحدات المستخدمة في قياس أطوال الأمواج:

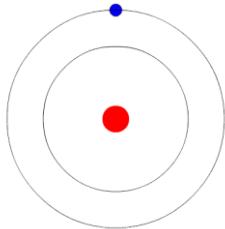
<b>Angstrom</b>	$\text{A}^\circ$	الأنغستروم
<b>Nanometer</b>	$\text{nm}$	النانومتر
<b>Micrometer</b>	$\mu\text{m}$	الميكرومتر
<b>centimeter</b>	$\text{cm}$	السنتيمتر
<b>Meter</b>	$\text{m}$	المتر

- الأنغستروم و النانومتر تستخدم كثيراً في مجالي الـ UV و الـ Vis، حيث  $\text{A}^\circ$   $1 = 10^{-10} \text{ meter}$  و  $\text{nm} = 10^9 \text{ meter}$  بينما في مجال الأشعة تحت الحمراء IR نستخدم وحدات أكبر باعتبار أنه تزداد أطوال الأمواج فنستخدم واحدة الميكرومتر  $. 1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ meter}$ .

ملاحظة: هناك علاقة عكسية بين أطوال الأمواج وطاقتها، فكلما قل طول الموجة كبرت طاقتها ، فالشعاع فوق البنفسجي أغنى بالطاقة من الشعاع تحت الأحمر.

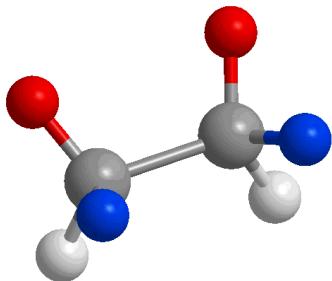


**الطاقة الكلية** التي يحملها أي جزيء هي عبارة عن مجموع ثلاثة أنواع من الطاقة :



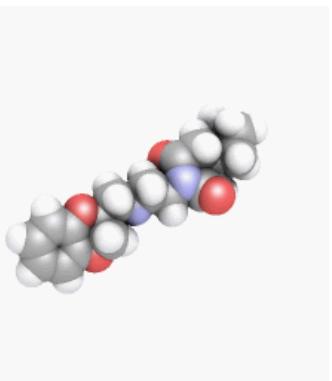
:  $E_e$  Electronic Energy (1)

عائدة لتوسيع الالكترونات على المدارات المختلفة للذرة.



:  $E_v$  Vibrational Energy (2)

عائدة للنواة .



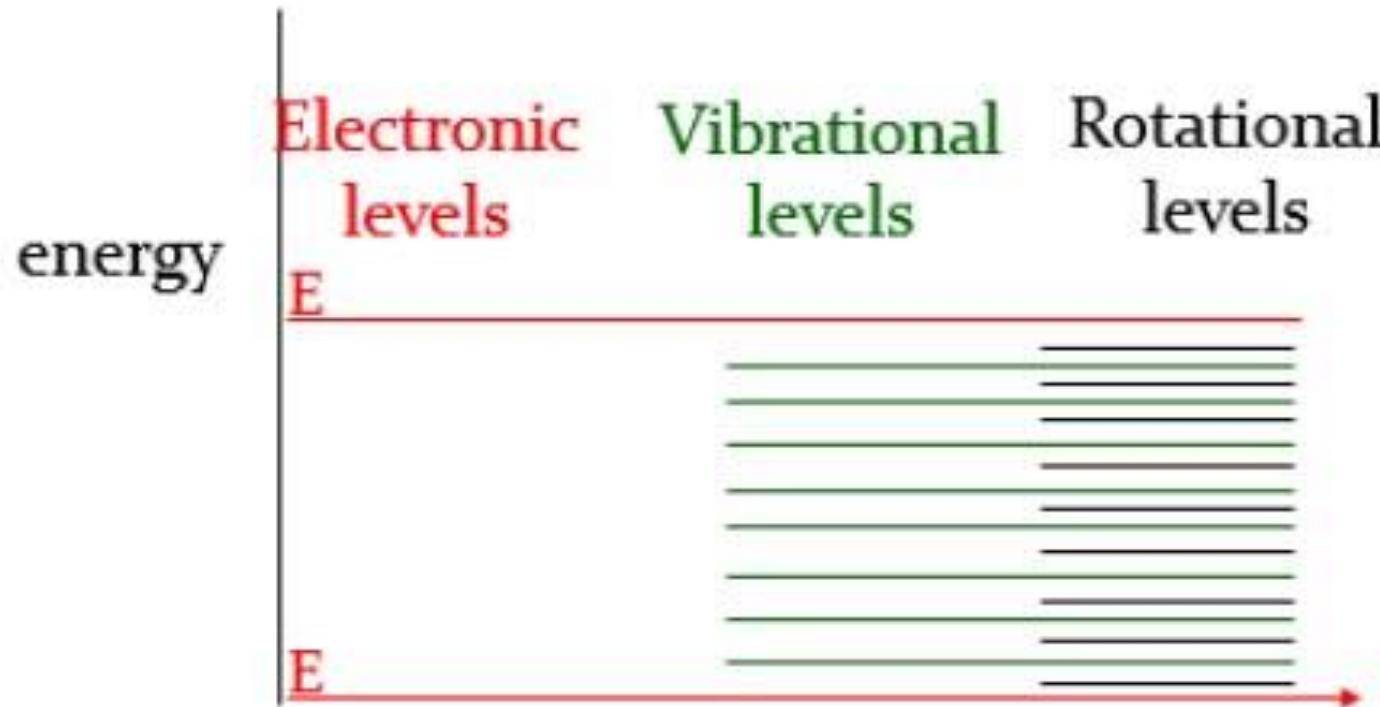
:  $E_r$  rotational Energy (3)

عائدة لدوران الجزيء حول محوره.

$$E_{Tot} = E_e + E_v + E_r$$

لكل جزيئة مجموعة من حالات الطاقة تسمى سويات الطاقة، وتقسم إلى:

## Electronic, Vibrational, Rotational



Quantized levels in a two atomic molecule

- نلاحظ من الشكل أن الفرق بين مستويين الكترونيين (باللون الأحمر) كبير لذلك يتطلب الانتقال من مستوى إلكتروني أول إلى مستوى إلكتروني ثاني امتصاص كمية كبيرة من الطاقة (امتصاص أشعة غنية بالطاقة) مثل: Vis و UV.
- أما إذا كان التغير في الحركة الاهتزازية، فنلاحظ أن المستويات الاهتزازية (باللون الأخضر) أقرب إلى بعضها أي كمية الطاقة التي يجب امتصاصها للانتقال بين هذين المستويين أقل.
- بينما بالنسبة للدورانية (باللون الأسود) فهي قريبة جداً من بعضها البعض. لذلك تكون الطاقة التي يجب امتصاصها للانتقال بين المستويات الدورانية قليلة جداً.

بما أن الطاقة الممتصة كبيرة نسبياً بأطياف الـ UV و الـ Vis فهذا يعني أنها تسبب تغيراً في الحركات الالكترونية ( تقلات الكترونية ) يرافقتها حركات اهتزازية وحركات دورانية ذلك لأن طاقتها عالية .

علل : نسمى الامتصاص في المجالين UV و Vis بـ **Spectroscopy** ؟

- وذلك لأن هذين المجالين هما الذين يسببان الانتقال الالكتروني فهما يمتلكان طاقة تمكنهما من تغيير مستوى طاقة الالكترونات .

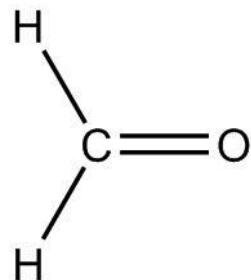
## توضيح: ماذا يعني Electron Spectroscopy ؟

- يعني الطرق الطيفية التي تسبب انتقالات الكترونية وتكون في المجالين المرئي وفوق البنفسجي على الأقل لأن الانتقال يحتاج إلى طاقة كبيرة.
- الامتصاص في المجال تحت الأحمر القريب (القريبة من مجال الأشعة المرئية أي أطوال الأمواج أقصر) تكفي طاقته ليبعد انتقالاً بين مستوى اهتزازي أول ومستوى اهتزازي ثانٍ وهو يسبب انتقالات دورانية أيضاً.
- الامتصاص في المجال تحت الأحمر بعيد (البعيدة عن مجال الأشعة المرئية أي أطوال الأمواج الأكبر) طاقته صغيرة جداً وتكفي لانتقال صغير مثل الانتقال بين مستوى دوراني أول ومستوى دوراني ثانٍ.

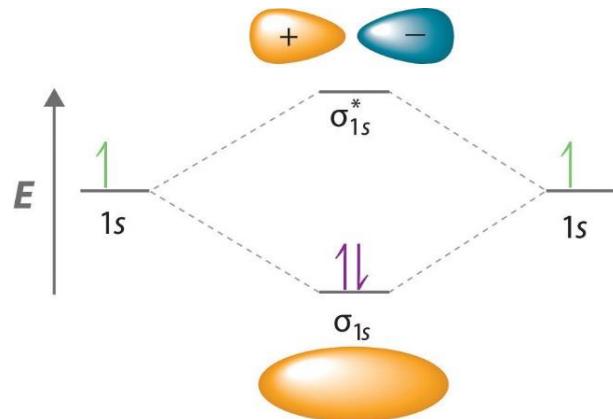
طبيعة الانتقالات التي تحدثها	طول الموجة	نوع الأشعة
انتقالات نووية	$0.01\text{nm} >$	أشعة غاما
انتقالات للإلكترونات الداخلية	$0.01 - 10\text{nm}$	أشعة X
انتقالات للإلكترونات الخارجية	$10 - 200\text{nm}$	UV البعيدة
	$200 - 380\text{nm}$	UV القريبة
	$380 - 780 \text{ nm}$	Visible
تغيرات اهتزازية و دورانية لجزيء	$0.78 - 4 \mu\text{m}$	IR
دوران جزيئي و مغزلي للإلكترونات	$0.04 - 3 \text{ cm}$	Microwave
تغيرات في الدوران المغزلي لنواة الذرة	$3\text{cm} <$	Radio wave

# الامتصاص في مجال الطيف المرئي و فوق البنفسجي

ما التغيرات التي تحدث عندما تمتضـجـة طـاقـة؟



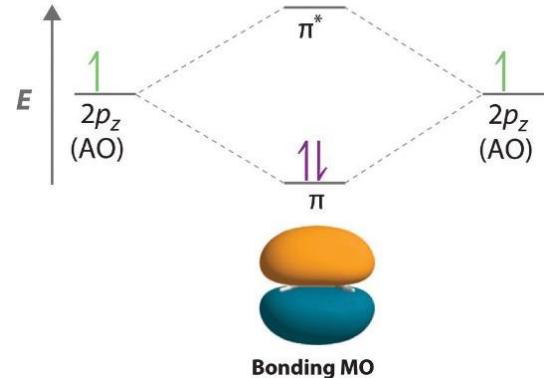
مثلاً نأخذ جزيء الفورم ألدهيد



- الرابطة الأحادية يرمز لها  $\sigma$
- الرابطة الثنائية يرمز لها  $\pi$
- ذرة تحمل الكترونات حرة نرمز لها  $n$
- تنتقل الرابطة الأحادية  $\sigma$  إلى الرابط  $\sigma^*$  المهيـج عندما تمتضـجـة (\* تعـني مـدار مـهـيـج).



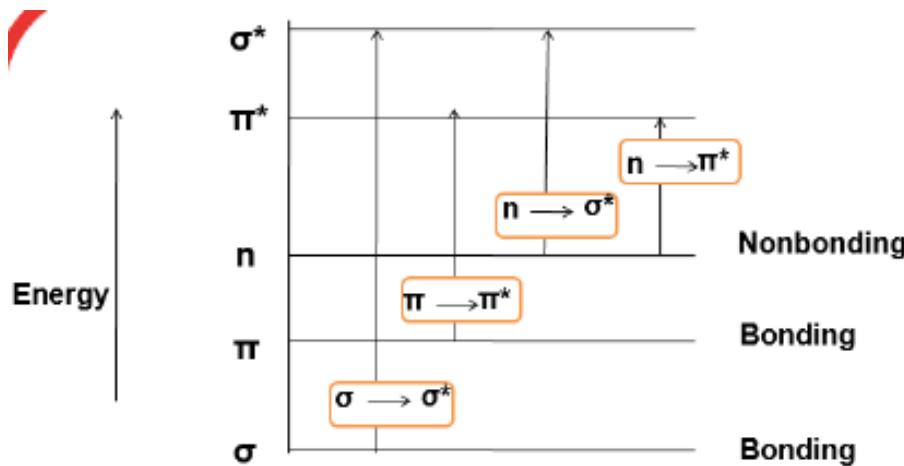
Antibonding MO



□ تنتقل الرابطة الثنائية  $\pi$  إلى المستوى الطاقي  $\pi^*$  المتهيج.

□ الالكترونات الحرة تنتقل لأقرب مستوى طاقي:

- إذا كان يوجد رابطة ثنائية في الجزيء يكون الانتقال من نوع  $n - \pi^*$
- أو يكون الانتقال من نوع  $n - \sigma^*$  في حالة وجود رابطة أحادية



إذاً يوجد أربع أنواع من التنقلات التي تحدث عندما يمتلك الجزيء طاقة و هي:

$$\sigma\sigma^* - \pi\pi^* - n\sigma^* - n\pi^*$$

$$E_{\sigma\sigma^*} > E_{n\sigma^*} > E_{\pi\pi^*} > E_{n\pi^*}$$

نلاحظ أن التنقل  $\sigma\sigma^*$  يحتاج إلى أكبر كمية من الطاقة وكذلك الانتقال  $n\sigma^*$  يحتاج إلى طاقة عالية بينما الانتقالات من نوع  $\pi^-\pi^*$  و  $n\pi^*$  تحتاج إلى طاقة أقل .

ترتيب التنقلات حسب حاجتها للطاقة :

$$E_{\sigma\sigma^*} > E_{n\sigma^*} > E_{\pi^-\pi^*} > E_{n\pi^*}$$

الترتيب هام جداً

أمثلة	مجال طول الموجة نم	نوع التنقل
C-C, C-H,	150 >	$\sigma\sigma^*$
CH <sub>3</sub> OH, CH <sub>3</sub> Cl	150 – 260	n $\sigma^*$
C=C, C=O, C=N	180 – 500	$\pi\pi^*$
C-O· , C=N· , N=N· , ·N=O	225 - 600	n $\pi^*$

إن الانتقال  $\sigma^*$  -  $\sigma$  يحتاج لطاقة كبيرة أكبر من طاقة الأشعة المرئية و فوق البنفسجي لذلك لا نستطيع رؤية هذا التنقل نهائيا في مجال الـ UV فهو يحتاج لطاقة أعلى كطاقة أشعة غاما أو أشعة X .

بعض المركبات التي تحوي ذرة تحمل الكترونات حرة وبجانبها رابطة أحادية يمكن أن تبدي امتصاصاً للضوء في المجال UV .

## مثال توضيحي:

لدينا المركبات ال haloogenine المتشابهة التالية هي تبدي جميعها تنقلات من نوع  $n\sigma^*$ :



علّ أن المركبان (2) و (3) يمتصان الأشعة في مجال  $\text{UV}$  بينما المركب (1) لا يمتص:

يعود ذلك إلى الوزن الجزيئي المرتفع لليود و البروم (نصف القطر يزداد)، حيث أن الإلكترونات السطحية بعيدة عن النواة و هي التي ستنتقل. لذلك لا تحتاج إلى طاقة كبيرة لتنقل (أي طول موجتها مرتفع بينما ذرة الكلور صغيرة وزنها الجزيئي منخفض، فالإلكترونات السطحية فيها قريبة من النواة فتحتاج إلى طاقة أكبر لتنقل (أي أطوال أمواج أقصر).

إن أحد **الشروط الهامة** حتى يكون للمركب انتقالات في مجال  $\text{UV}$  هو أن يحتوي على رابطة مضاعفة أو على ذرة تحمل الكترونات حرة (زوج الكترونات) ويجانبها رابطة مضاعفة.

أي أن التنقلات التي نراها بالامتصاص في مجال  $\text{UV}$  والمجال المرئي هي  $(\pi^* - \pi)$  و  $(n^* - \sigma)$  وبعض تنقلات  $(\sigma^*)$ .

إن المركبات التي تحوي رابطة مضاعفة، والمركبات التي تحوي ذرة تحمل الكترونات حرة و **يجانبها** رابطة مضاعفة وبعض المركبات التي تحوي ذرة تحمل الكترونات حرة ويجانبها رابطة أحادية تمتص الضوء في المجال  $\text{UV}$  وندعوها  **بالمجموعات المولدة للون chromophores** مثل :  $(\text{O}, \text{n}, \text{S})$  (ليس بالضرورة أن تكون ملونة).

مثال:

- المركب التالي:  $\text{CH}_3-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_3$  . لا يمتص الضوء في مجال UV لأنه لا تحصل فيه تنقلات من الأنواع ( $n\sigma^*$  -  $n\pi^*$  -  $\pi\pi^*$ )
- بينما الأسيتون ( $\text{CH}_3-\text{CO}-\text{CH}_3$ ) يمكننا معايرته بطيف الـ UV لأنه يمتص الأشعة في مجال الـ UV فهو يحتوي رابطة مضاعفة كما أنه يحوي ذرة تحمل الكترونات حرة و بجانبها رابطة مضاعفة .

ملاحظة هامة :

الأسيتون يتعرض لتنقلات من نوع ( $n\pi^*$ ,  $\pi\pi^*$ ) فلو رسمنا طيف الامتصاص للأسيتون (أي العلاقة بين امتصاص الضوء و طول الموجة المستعمل)، سيوضح الرسم البياني له أن التنقل الذي يحتاج طاقة أعلى سيستخدم طول الموجة الأقصر. عند دراسة الأسيتون نستخدم طول الموجة 230 و هي طول موجة الامتصاص الأعظمي للأسيتون كما أن الأسيتون لا يقاس في المجال المرئي لأنه غير ملون

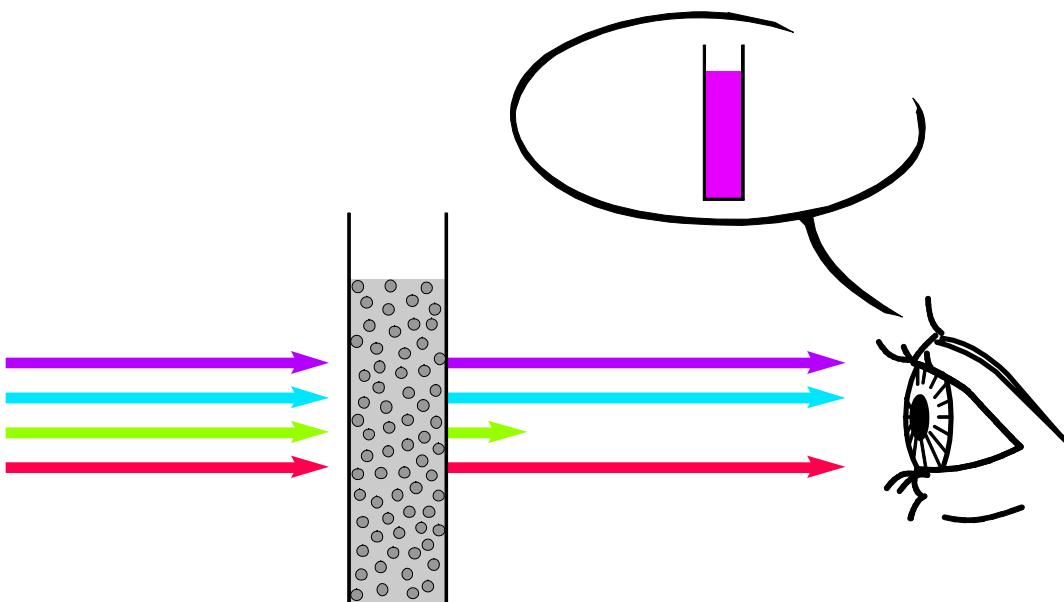
مركب البنزين:  $\text{CH}_2=\text{CH}-\text{CH}_2-\text{CH}_2\text{CH}_3$  فعند قياس امتصاصه في مجال  $\text{UV}$  نجد في الرسم البياني قمة واحدة عائدة لتنقل  $(\pi\pi^*)$ .

إذاً :

- شرط امتصاص المادة للضوء في المجال  $\text{UV}$  أن تحوي المادة مجموعة **Chromophores**
- وشرط امتصاص المادة للضوء في المجال المرئي أن تحوي المادة مجموعة **Chromophores** و أن تكون المادة ملونة.

# How we see colors ?

# كيف نرى الألوان ؟



- يتكون اللون الأبيض من مجموع الأشعة المرئية كلها
- لدى مرور هذه الأشعة خلال جسم ملون يمتص جزءً من هذه الأشعة
- وترى العين الأشعة التي لم يمتصها الجسم (الطيف الذي عبر الجسم الملون )

## كيف نرى المادة ملونة؟

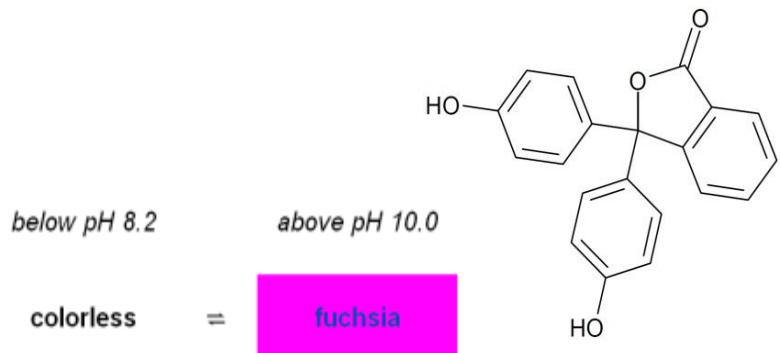
نعلم أن الضوء الأبيض هو مجموع سبعة ألوان (ألوان الطيف)، عند سقوط الضوء على مادة معينة فإنها ستتمتص أحد ألوان الطيف السبعة، والألوان الستة الباقية لن تتمتصها، ويكون **اللون الناتج عن مجموع ألوان الطيف الستة غير الممتصة** هو **اللون الذي نراه للمادة**، فمثلاً: محلول كبريتات النحاس لونه أزرق، كبريتات النحاس تمتص اللون الأصفر ويكون مجموع الألوان الباقية غير الممتصة أزرق، ندعوا اللون الأزرق والأصفر: لون المادة Color واللون المتمم **Complementary Color** أي أن الأصفر هو اللون الناقص من ألوان الطيف لكي تكتمل الألوان لتعطي اللون لأبيض.

<b>Wavelength absorbed (A)</b>	<b>Color observed (transmitted)</b>
4000 (violet)	Greenish yellow
2450 (dark blue)	Yellow
4500 (blue)	Orange
4900 (blue –green)	Red
5100 (green)	purple
5300 (yellow-green)	Violet
5500 (yellow)	Dark blue
5900 (orange)	Blue
6400 (red)	Bluish green
7300 (purple)	Green

وكل مادة تمتص اللون المتمم لها، فعندما نريد دراستها على جهاز Spectrophotometer الـ فحسب لون الضوء المتمم لها:

○ مادة خضراء تمتص الأحمر، مادة بنفسجية تمتص الأخضر المزرق لذلك لقياسها نمر ضوء أخضر مزرق طول موجته 510 – 525 ، مادة لونها أصفر مخضر تمتص البنفسجي نمر ضوء طول موجته 400... الخ، ويجب ألا ننسى أن طول موجة الضوء البنفسجي أصغر بكثير من طول موجة الضوء الأحمر، وتتزايد اطوال الأمواج من البنفسجي إلى الأحمر.

○ هناك مواد ملونة بطبعتها مثل: (اليود:بني، كبريتات النحاس: أزرق، برمونفات البوتاسيوم: بنفسجي) فيإمكاننا معايرتها مباشرةً باستخدام جهاز Spectrophotmeter، أما المواد التي لا لون لها يمكن تحويلها إلى ملونة،



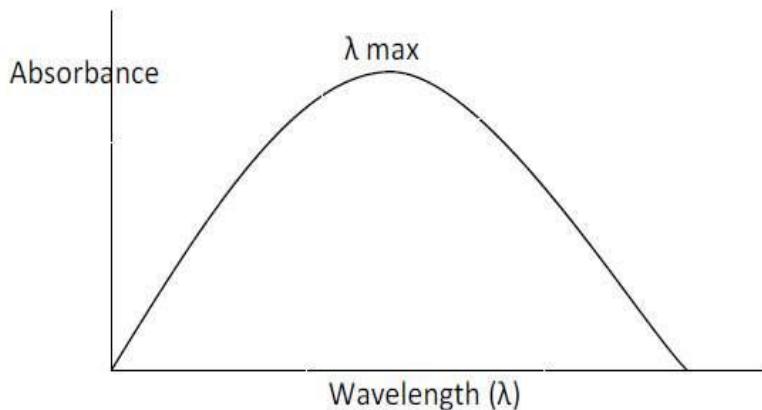
**فمثلاً:**  
 الفينول فتالين غير ملون أضفنا له الصود (وهو مادة قلوية) فأصبح زهري اللون.

ولكن يوجد مواد شفافة/ عديمة اللون (أي لاتحوي مجموعات مولدة لللون مثل الغلوكوز) لذلك من أجل معايرتها نضيف لها **كواشف** تشكل معها **معقدات ملونة**، فمثلاً: لمعايرة الغلوكوز نضيف له كاشف يشكل معه معقد لونه أحمر، وتزداد شدة لون المعقد بازدياد تركيز (**شوارد**) **المادة** (الغلوكوز) حيث تعبّر شدة اللون عن التركيز. من طرق المعايرة المستخدمة بكل المخابر أنه يتم إحضار الكيت وهي علبة تحوي بداخلها عبوتين: عبوة غلوكوز عياري (معلومات التركيز) و عبوة تحوي كاشف مناسب يعطي لوناً عند إضافة الغلوكوز معه

يرد في الامتحان سؤال هام : تأتي صيغة مركب و نسأل عن أي مجال يستطيع امتصاص الضوء فيه؟ أو هل المركب قابل للمعايرة بالطرق الطيفية ؟ كما يمكن أن يأتي رسم بياني لمركب نحدد عليه القمم لأي تنقل تعود .

## طول موجة الامتصاص الأعظمي : $\lambda_{\max}$

بدايةً، يجب أن نعرف أن طول موجة الامتصاص الأعظمي  $\lambda_{\max}$  هي القيمة التي تستطيع عدّها المادة أن تبدي أفضل امتصاص، لأن الامتصاص يختلف من مركب لآخر حسب تركيز لونه (لون فاتح-غامق)، فمثلاً إذا كانت المادة حمراء نعلم أنها ستبدى امتصاصاً في مجال طول الموجة 550-450 ، فنقوم بمسح طيفي أي قياس الامتصاص بأطوال أمواج مختلفة ضمن هذا المجال لمعرفة  $\lambda_{\max}$ ، وعندما نجد طول الموجة الذي يحصل عدّها أفضل امتصاص (هي في مثالنا 530) نكمل عملنا عليها لحساب التركيز.



**سؤال:**

ما الفائدة من اختيار طول الموجة  $\lambda_{\max}$  الذي يبدي أفضل امتصاص؟

1. **تخفيض الأخطاء وإلغاء التداخلات:**  $\lambda_{\max}$  نوعية للمادة المدروسة، فإذا وجدت مواد أخرى في الوسط تمتص الضوء في هذا المجال لن يكون امتصاصها للضوء عند طول الموجة  $\lambda_{\max}$  كامتصاص المادة المدروسة، أي أننا **الغينا تأثير بقية المواد على الامتصاص** وبقي تأثير المادة المدروسة فقط.
2. **رفع انتقائية أو حساسية الطريقة:** عند طول الموجة  $\lambda_{\max}$  تبدي المادة أفضل امتصاص، أي أننا لو استخدمنا أقل كمية ممكنة من المادة فستبدي المادة امتصاصاً للضوء.

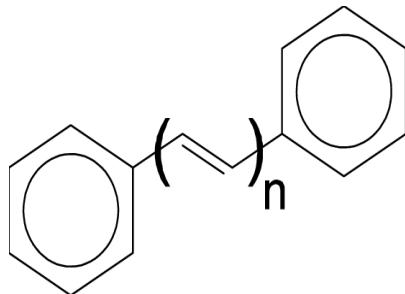
## العوامل المؤثرة على طيف الامتصاص :

لا يعتمد طول موجة الامتصاص الأعظمي على المجموعة الوظيفية فقط وإنما على البيئة حيث يتأثر بعده متغيرات: مثلا: وجود الروابط المضاعفة المتناوية (أنظمة الترافق) يؤدي إلى انزياح الامتصاص باتجاه أطوال الأمواج الأعلى.

## متغيرات داخلية :

البنية الكيميائية :

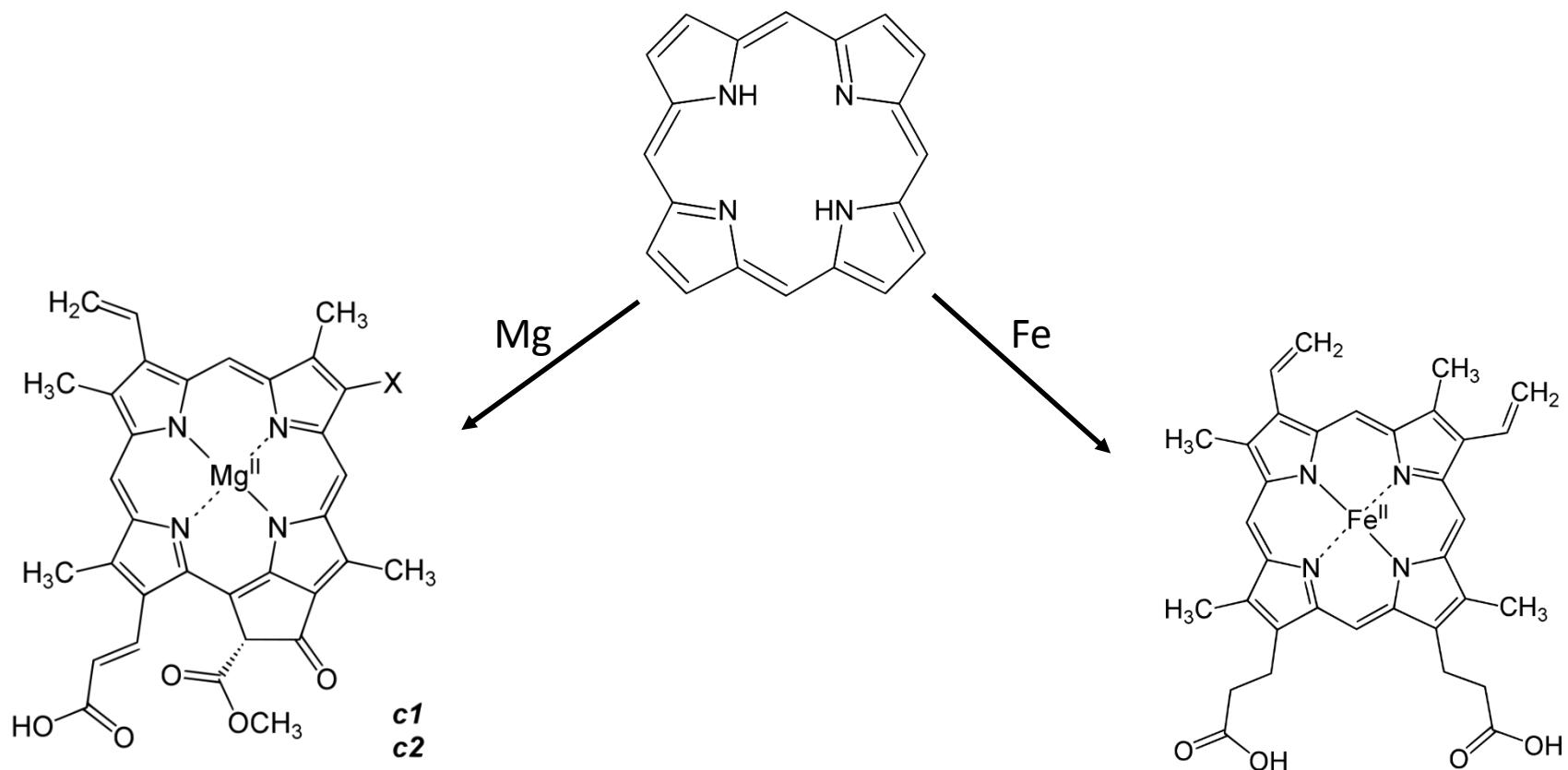
مثلاً:



□ في مركب **Diphenyl polyene** حسب عدد الروابط المضاعفة الموجودة حوله يمتص الضوء، فإذا كان يملك رابطة مضاعفة واحدة أو اثنين يمتص الضوء في مجال ال UV من 200 إلى 400 أما إذا أصبح العدد 3 روابط انزاح الامتصاص باتجاه أطوال الأمواج المرئية فيكون الامتصاص للضوء الأصفر الفاتح، وإذا ازداد العدد إلى 15N ين扎ح إلى اللون الأخضر المسود حيث أطوال الأمواج أكبر.

وهذا يعني أن ازدياد الروابط المضاعفة المتناوبة (أنظمة الترافق) يؤدي إلى انزياح الامتصاص باتجاه أطوال الأمواج الأكبر.

□ نواة البورفرين Porphin (تحوي أربع نوى عطرية) عند ربطها مع شاردة الحديد ينتج لدينا معقد لونه أحمر هو الهيموغلوبين Haemoglobin، أما عند ربط نواة البورفرين نفسها مع شاردة المغnezيوم فتحصل على لون أخضر والمركب هو اليخضور Chlorophyll.



## متغيرات خارجية :

هناك عوامل خارجية تؤثر على طول موجة الامتصاص لذلك يجب تثبيتها، ألا وهي:



حيث يمكن للمركب أن يمتص طول موجة محددة في محل معين بينما إذا غيرنا المحل فسيتغير طول الموجة الممتصة.

### شروط المحل المستخدم :

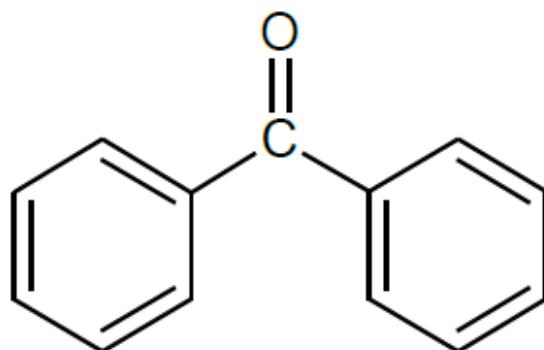
- 1) ألا يكون طيف امتصاصه في مجال الموجة المستخدمة.
  - 2) أن تكون مقاومته عالية وأن يحل المادة بشكل جيد.
  - 3) ألا يتفاعل مع المادة المراد معايرتها (لا يعطي نواتج ثانوية تؤثر على التفاعل).
  - 4) تأثير قطبية المحل:
- يجب أن أستخدم نفس المحل لأن المحل يغير من طيف الامتصاص  $\Leftrightarrow$  وبالتالي يغير من طول موجة الامتصاص الأعظمي  $\Leftrightarrow$  فيغير في الروابط  $\Leftrightarrow$  وبالتالي يغير من التترات.

حيث:

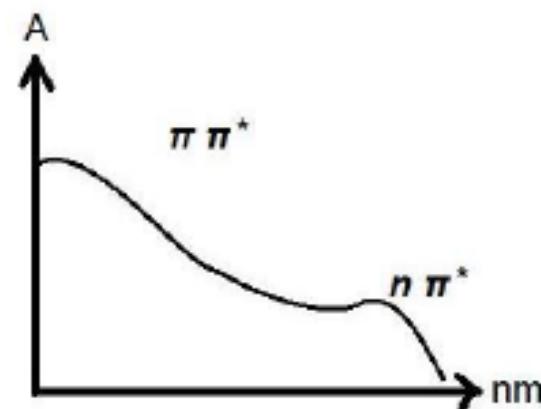
الانتقال  $\pi\pi^*$  يحتاج طاقة أعلى من الانتقال  $n\pi^*$  بينما الانتقال  $n\pi^*$  يملك طول موجة أعلى من الانتقال  $\pi\pi^*$ .

مثال :

إذا استخدمنا محل قطبي مثل السيكلوهكسان والمادة كانت البنزوفينون فيكون شكل طيف الامتصاص ( الذي هو تغير الامتصاص بتغير طول الموجة) عندها كالتالي:



البنزوفينون

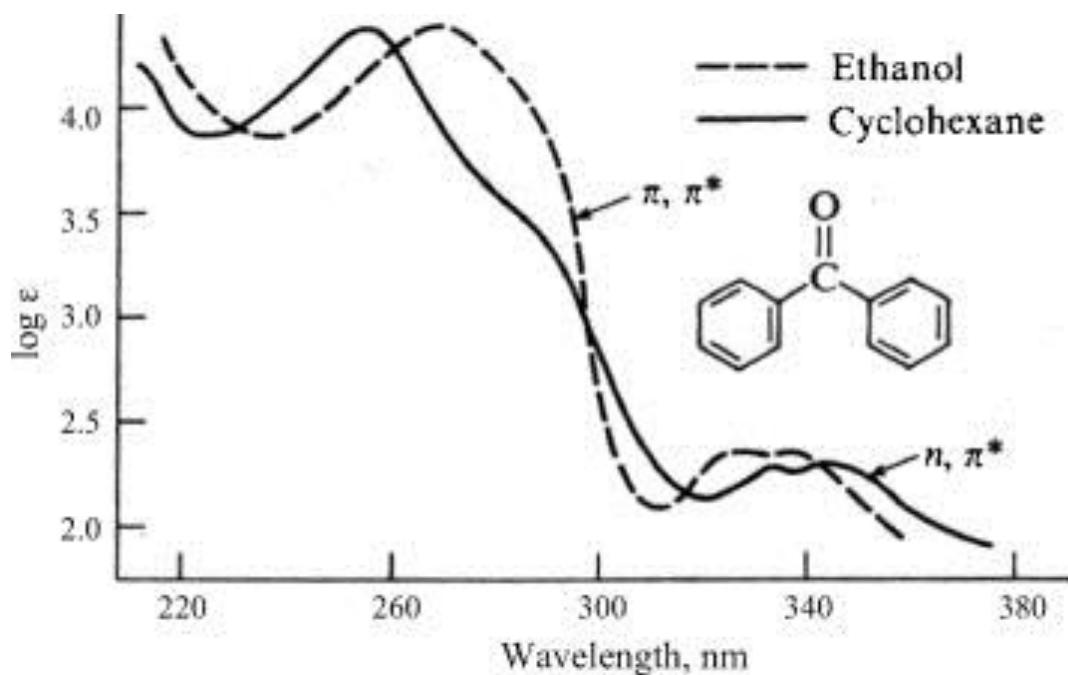


أنواع التنقلات في البنزوفينون : (  $n\pi^* - \pi\pi^*$  ).

في حال استبدلنا السيكلو هكسان (قطبي ضعيف) بالميتانول (قطبي بشكل أعلى من السيكلو هكسان) يصبح طيف الامتصاص بالشكل التالي:

تنقل( $\pi\pi^*$ ) يصبح باتجاه أطوال الأمواج الأعلى (طاقة أخضر).

تنقل( $*n\pi$ ) يصبح باتجاه أطوال الأمواج الأخضر (طاقة أعلى).



تفسير ذلك :

ارتباط الالكترونات الحرة الموجودة على الأوكسجين في المركب بال محل القطبي يجعل انتقالها أصعب وبالتالي سيحتاج لطاقة أعلى (أي طول موجة أقل)، انخفض طول الموجة وذلك بالنسبة لانتقال  $n\pi^*$ .

في الانتقال  $\pi^*$  :  $\pi^*$  المهيّج (طاقة عالية) وهو الذي يرتبط بال محل القطبي وارتباطه به هذا يؤدي لخفض طاقته (طول موجة أعلى).

### الخلاصة:

إذا كان المحل قطبي تزاح التنقلات (  $\pi^*$  ) باتجاه أطوال الأمواج الأعلى، في حين تزاح تنقلات (  $n\pi^*$  ) باتجاه أطوال الأمواج الأخفض .

**تأثير لا pH:** تؤثر درجة لا  $pH$  في القدرة المعطاة أو المكتسبة للإلكترونات لبعض الوظائف:

إن لا  $pH$  يؤثر على تشد المادة وبالتالي يؤثر على الامتصاصية من خلال تأثيره على نوع الانتقال وبالتالي يغير من طول الموجة.

مثال: مركب الفينول:



يعطي الفينول في الوسط الحمضي موجة امتصاص أعظمي عند طول الموجة  $\lambda_{max} = 270\text{nm}$  في الوسط القلوي يتشرد الفينول وتشكل الفينات ويصبح طول الموجة  $\lambda_{max} = 286\text{nm}$  الأعظمي. ما هو السبب؟.. الترافق!

## ٢ . درجة الحرارة :

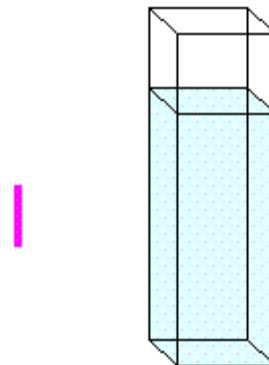
تلعب درجة الحرارة (الطاقة الحرارية) دوراً كبيراً في الامتصاص وخاصة في حالة الاشتقاق (أي مادة غير ملونة أصبحت ملونة)، حيث تؤثر على طيف الامتصاص، لذلك يفضل في المخبر قراءة السلسة العيارية والمجهول بنفس درجة الحرارة.

## ٣ . الزمن :

يجب تحضير السلسة العيارية والمجهول بنفس الوقت لأن أي تفاعل حتى يتطور يحتاج إلى وقت و بالتالي التفاعلين حينها سيكونان بنفس السرعة وعندما أقرأ الامتصاص يكون بنفس النسبة لكل من السلسة و المجهول .

## ❖ قانون لامبير:

عندما يجتاز شعاع ضوئي وحيد اللون شدته  $I$  سمكاً معيناً في وسط من محلول متجانس لمادة لها خواص ضوئية ( قادره على امتصاص الضوء) تركيز  $Mol/L$  فإن جزءاً من هذه الحزمة يُمتص من قبل هذا الوسط ويكون هذا الامتصاص متناسباً طرداً مع سماكة الطبقة التي يعبرها الضوء.



$$\frac{dI}{dL} = -KI$$

$I$  : شدة الضوء الوارد .  
 $L$  : سماكة الوسط

$$\frac{dI}{I} = K \cdot dL$$

Absorption Coefficient  $K$   
 تتعلق قيمته بالمادة والشروط المحيطة .

$dL$  : مقدار التناقص في الشدة الضوئية .

$$\int_{I_o}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^L K \cdot dL$$

$$Ln \frac{I}{I_o} = -KL$$

بأخذ تكامل الطرفين :

$$\frac{I}{I_o} : \text{نقلب الكسر}$$

$$Ln \frac{I_o}{I} = KL$$

$I_o$  : شدة الحزمة الضوئية الساقطة

$$I : \text{شدة الضوء النافذ بعد اختراقه للسمك } L$$

$$2.303 \log \frac{I_o}{I} = KL$$

حولنا من لوغاریتمي لعشري :

$$\log \frac{I_o}{I} = \epsilon L$$

$I_o$  : الضوء النافذ.

$I$  : الضوء الوارد .

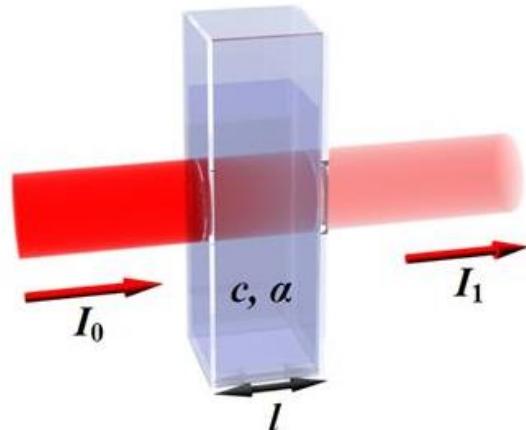
$\epsilon$  : (أويسيلون) هي عامل الانطفاء Extinction Coefficient وتساوي  $\frac{k}{2.303}$

## قانون بيير :

في السوائل و الاجسام الصلبة تكون عوامل الإنطفاء و الامتصاص ثابتة، أما في المحاليل فهناك عامل آخر يؤثر على الامتصاص هو التركيز (( تأثير عدد جزيئات المادة، حيث يزداد الامتصاص بازدياد التركيز )) ، فاستنتج بيير قانون:

$$DO = A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon C$$

حيث  $C$ : التركيز.



وبجمع القانونين ينتج قانون لامبير - بير التالي:

$$DO = A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon \cdot L \cdot C$$

حيث :

ع: عامل الإنطفاء (يتعلق بطبيعة المادة ونوع المحل و درجة الحرارة).

L: سماكة المحفد وهي غالباً . 1cm

C: التركيز.

عامل الإنطفاء الجزيئي Molecular : إذا كان التركيز mol/l .

عامل الإنطفاء النوعي specific : إذا كان التركيز g/100ml .

**ملاحظة:**

نسمی  $\frac{I_0}{I}$  بالامتصاص الضوئي (Optical Absorption) ونرمز له بالرمز A  
أو نسمیه الكثافة الضوئية (Optical Density) ونرمز له بالرمز D.

**تذكرة:**

للتتحويل من إلى  $mol/l$ :  $g/100ml$  إلى  $mol/l$ :  
مثالاً: لدينا التركيز  $g/100ml$  5 نحولها إلى الليتر فتصبح  $g/1000ml$  50  
ثم نقسم على الوزن الجزيئي لحساب عدد المولات.

## النفاذ / النفاذية : Transmittance

إن جهاز الـ **Spectrophotometer** الذي نستخدمه في المخبر يقىس النفاذ بالإضافة لقياسه الامتصاص و يعرف النفاذ بأنه: **النسبة المئوية للضوء النافذ على الضوء الوارد** (يعبر عن الضوء النافذ كنسبة مئوية) و يرمز له بـ  $T$  . العلاقة بين النفاذ والامتصاص هي علاقة عكسيّة ولوغاريتمية:

$$\log \frac{I_0}{I} = -\log T = \epsilon \cdot L \cdot C$$

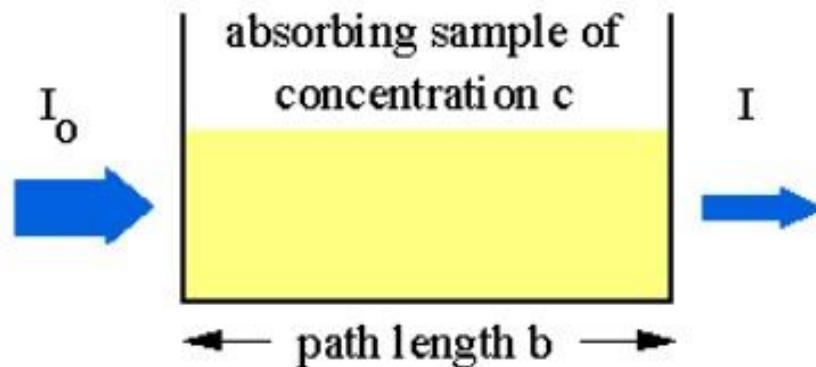
**Transmittance** is given by the equation:

$$T = I/I_o$$

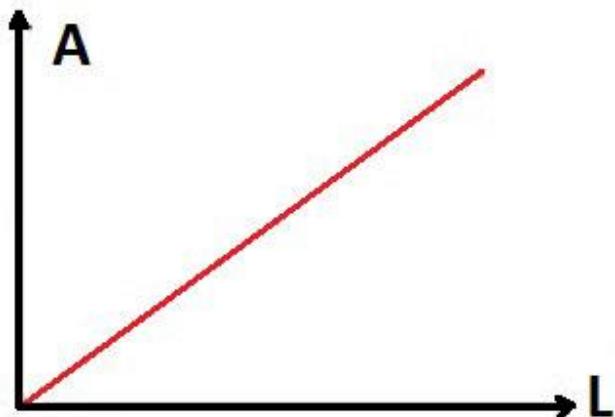
where  $I$  is the intensity of the light after it has gone through the sample &  $I_o$  is the initial light intensity.

**Absorbance** is related to the %T:

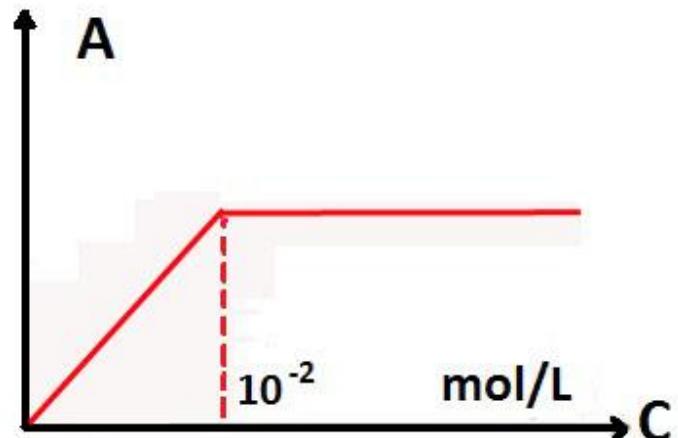
$$A = -\log T = -\log(I/I_o)$$



إن قانون لامبر المتعلق بسماكة المحفد قابل للتطبيق دوماً (أي أن العلاقة خطية بشكل دائم)، بينما ينعدم التطبيق في حالة التراكيز العالية فهو خطى لحدود معينة حتى التراكيز  $10^{-2} \text{ mol/L}$  (عندما تصبح التراكيز أعلى منه تصبح الألوان غير متدرجة لذلك نلجأ للتمديد).



Lamber Law Applies Always



Beer's Law

## تطبيقات قانون لامبير - بير

### 1- قياس تركيز المجهول بالطريقة العيانية المباشرة:

نشكل سلسلة عيارية ونقارن المجهول بها ونأخذ أقرب أنابيب السلسلة لوناً إلى أنبوب المجهول (درجته أعلى من درجة لون المجهول) ونمده حتى يتطابق اللوانان ونستفيد من تركيز المعلوم في حساب تركيز المجهول (طريقة مستخدمة جداً في معامل التغذية عندما تكون الدقة العالية غير مطلوبة).

### 2- جهاز لون دويوسك:

نغير فيه  $L$  (سماكة السائل أو محلول) حتى نحصل على الساحة المجهرية مضاءة فيصبح:

امتصاص المجهول = امتصاص المعلوم أى

$$\varepsilon \cdot L_I \cdot C_I = \varepsilon \cdot L_2 \cdot C_2$$

ع تتعلق بطبيعة المادة والمادة نفسها، فتصبح العلاقة

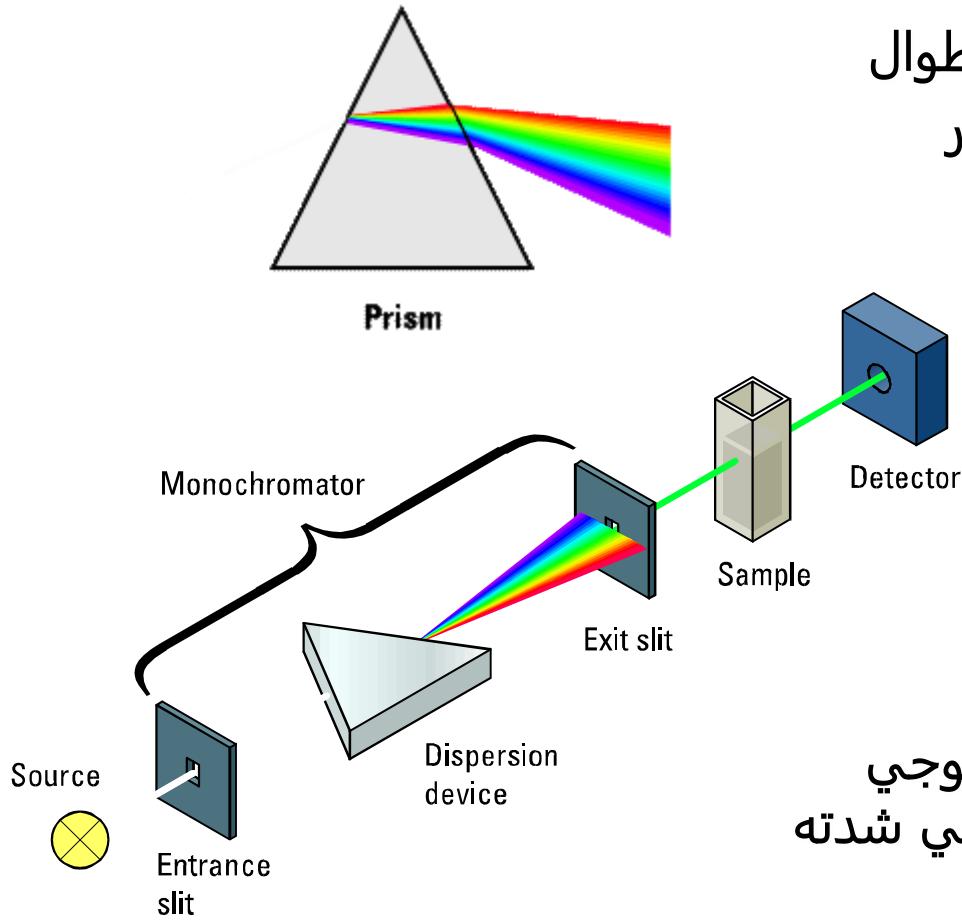
$$L_I \cdot C_I = L_2 \cdot C_2$$

قيم  $L_I$  و  $L_2$  معلوماتان من الجهاز، نحسب تركيز المجهول من العلاقة

$$\frac{C_1}{C_2} = \frac{L_2}{L_1}$$

بدأ عمل مطيافية الأشعة ما فوق البنفسجية و الضوء المرئي

## Principle of UV-Visible spectroscopy



- يقوم الجهاز بفصل الضوء إلى أطوال موجية مختلفة باستخدام المنشور

- ثم يقوم بتمرير شعاع ذو طول موجي وحيد على العينة وقياس التغير في شدته

### 3- مقياس الطيف الضوئي : spectrophotometer

ماذا تتضمن الأجهزة المستخدمة في تطبيق قانون لامبر-بيير؟

- 1- المنبع الضوئي: - **في المجال المرئي:** مصابيح سلك التungssten أو مصباح هالوجيني.
- **في مجال فوق البنفسجية:** مصباح الهيدروجين أو الديتيريوم
- 2- **مستفرد اللون:** ليعطي ضوء وحيد اللون، قد يكون شبكات معدنية أو مراشح معدنية أو مواشير.
- 3- **المحافد:** - **في المجال المرئي:** وعاء مصنوع من الزجاج - **في مجال فوق البنفسجية:** أوعية مصنوعة من الكوارتز او السيليكا المصهورة (لأن الزجاج يمتص الأشعة فوق البنفسجية)

3- مستقبل الإشارة (متحريات، كاشف): أداة لتحديد كمية الضوء الممتص وهي تحول الاستجابة إلى إشارة مقرءة ويوجد أنواع عديدة من هذه المتحريات.

بعد أن تتمتص المادة جزء من الضوء وينفذ جزء آخر يمر عبر خلية كهربائية تحول الضوء إلى تيار كهربائي، وفي النهاية يظهر لدينا على الشاشة قراءة مقدار الامتصاص أو النفاد.

يوجد لدينا نوعين من مستقبل الإشارة:

○ أحادي الحزمة :One Beam

نضع الشاهد ثم نضع العينة كالذى نستخدمه في مخبر العملي.

○ ثانى الحزمة : Double Beam

له حجرتين: الأولى تحوى الشاهد والثانية تحوى العينة ويعطى الجهاز الامتصاص مباشرةً.

○ إذا كان الناخب للون (طول الموجة) شبكة معدنية او موشور يُسمى الجهاز

## Spectrophotometer

○ أما إذا كان مستفرد اللون مرشحة يُسمى الجهاز مقياس الضوء Photometer

وتكون المراشح ذات ألوان عديدة (خضراء وحمراء ...) نستخدم المرشحة التي

تناسب طول الموجة المرغوب، ويختلفان عن بعضهما بـ:

يقيس الضوء في المجال المرئي فقط (المحاليل

الملونة). **Photometer** (مقياس الضوء):

: يقيس في المجال المرئي وفوق البنفسجي. **Spectrophotometer**

# تطبيقات قياس الامتصاص في مجال UV والمجال المرئي في الصيدلة:

## 1- التحاليل الكيفية:

يمكن أن تفيدنا في معرفة **هوية المادة** وذلك في حالة تطبيقات أطیاف الامتصاص في مجال **الـUV** و **المرئي**، إلا أن هذه التطبيقات قليلة جداً لأنها ليست نوعية، فهي تعطي انطباع عام عن المركب لكنها لا تفيد في معرفة **بنيتها**، وذلك لأن الأمواج **الـUV** والمرئي **تمتلك طاقة عالية فتسبب انتقالات الكترونية في مستويات الطاقة الثلاث للجزيء** (الإلكترونية، الاهتزازية، الدورانية)، فتنتج لدينا أطیاف معقدة ولا نستطيع تمييز وظيفة عن أخرى، وبالتالي المجالان المرئي والـUV لا يقدمان خدمات في مجال معرفة **بنية المادة**، على عكس مجال **الـIR** الذي يقدم ذلك لأن **الاهتزاز فيه يعود لكل وظيفة بشكل مختلف عن الآخر حيث أنه يسبب تغيراً في الحركة الاهتزازية والدورانية أو الدورانية فقط.**

**مثلاً**: اهتزاز  $\text{CO}_2$  يختلف عن اهتزاز  $\text{OH}$  والذي بدوره يختلف عن الرابطة المضاعفة وهذا ... وبالتالي اختلاف الاهتزاز يعطي أطیاف مختلفة عن بعضها البعض، فالحركة نوعية مما يفيدهنا في معرفة بنية المواد.

يمكن أن اعرف من خلال المجالين المرئي والـUV هوية المادة فقط بالاعتماد على طيف الامتصاص لكن دون معرفة بنيتها الكيميائية

**توضيح:**

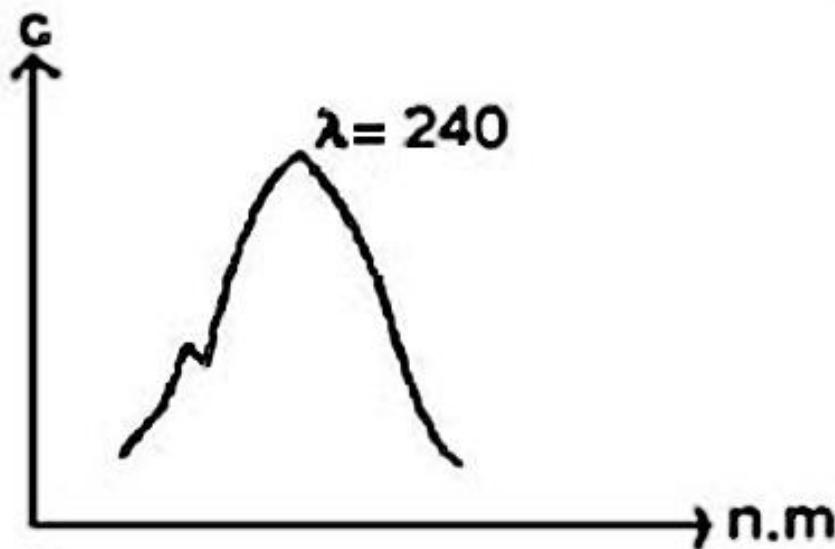
قياس الامتصاص في مجال UV والمجال المرئي يمكننا من **تحديد هوية المادة** حيث نقارن الطيف المجهول مع أطیاف الامتصاص المرجعية وأطوال الأمواج الأعظمية لمادة.

فمثلاً:

لدينا مركب الفينوبارييتال يكون له طيف امتصاص مع محل معين كما في الشكل :

$$\lambda_{\max} = 240$$

نقارنه مع أطيف الامتصاص المرجعية وأطوال الأمواج الأعظمية ومن خلال ذلك أستطيع معرفة هوية المركب.



## 2- التحاليل الكمية:

الامتصاص في مجال  $\text{UV}$  والمجال المرئي يملك تطبيقات واسعة في مجال التحاليل الكمية وتعتمد على:

جهاز السبيكتروفوتومتر وقانون لامبير بير

معظم التحاليل الفيزيولوجية مثل (الشحوم، الكوليسترون، البولة، حمض البول، السكر الغلوكوز، الفيتامينات، الكرياتينين، الكربوهيدرات) تتم باستخدام السبيكتروفوتومتر كما وتم معايرة الكثير من المواد الدوائية والعديد من المركبات في مجال الأغذية.

من أهم هذه التطبيقات:  
1- حساب التركيز لعينة مجهولة التركيز.

2- مقارنة التفاعلات اللونية.

3- حساب  $\text{Pka}$  للأدوية.

## أولاً: حساب التركيز:

1) في حال عامل الإنفقاء معلوم مرجعيًا يمكن حساب التركيز مباشرة باستخدام

$$A = \varepsilon \cdot L \cdot C$$

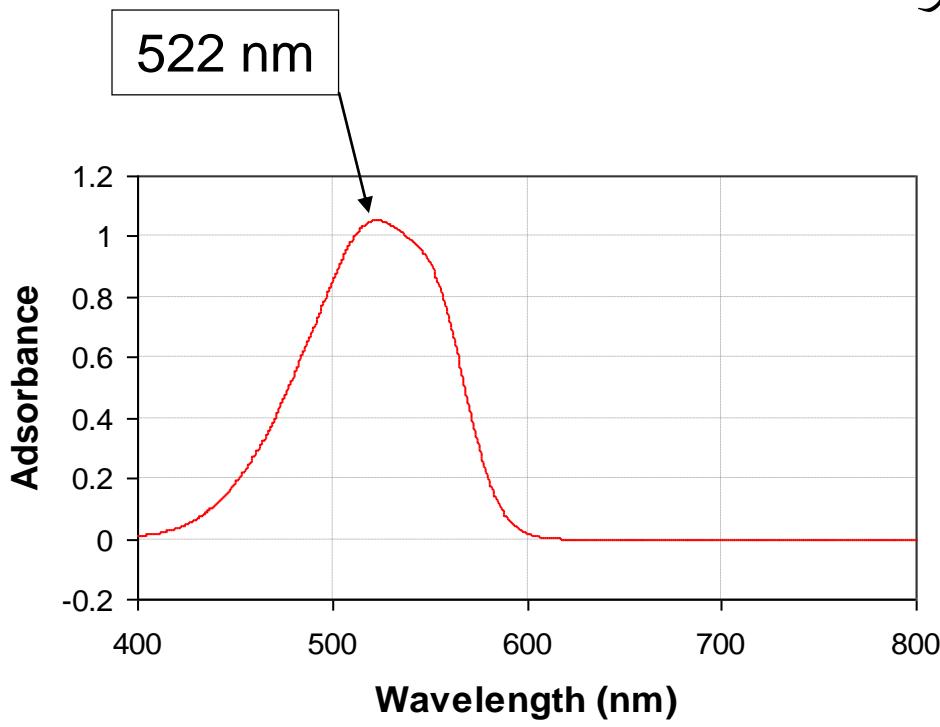
القانون :

2) في حال كان عامل الإنفقاء مجهول نقوم بتحضير سلسلة عيارية تحوي نفس مادة المجهول بتركيزات مختلفة، ثم نقرأ الامتصاص على الجهاز ثم نرسم الخط البياني الذي يمثل علاقة الامتصاص بالتركيز (ويجب أن يبدأ الخط البياني من الصفر لأنه عندما لا يوجد تركيز للمادة المدروسة لا يوجد امتصاص لأن العلاقة خطية) ومن ثم نستطيع معرفة تركيز المجهول من خلال الخط البياني.

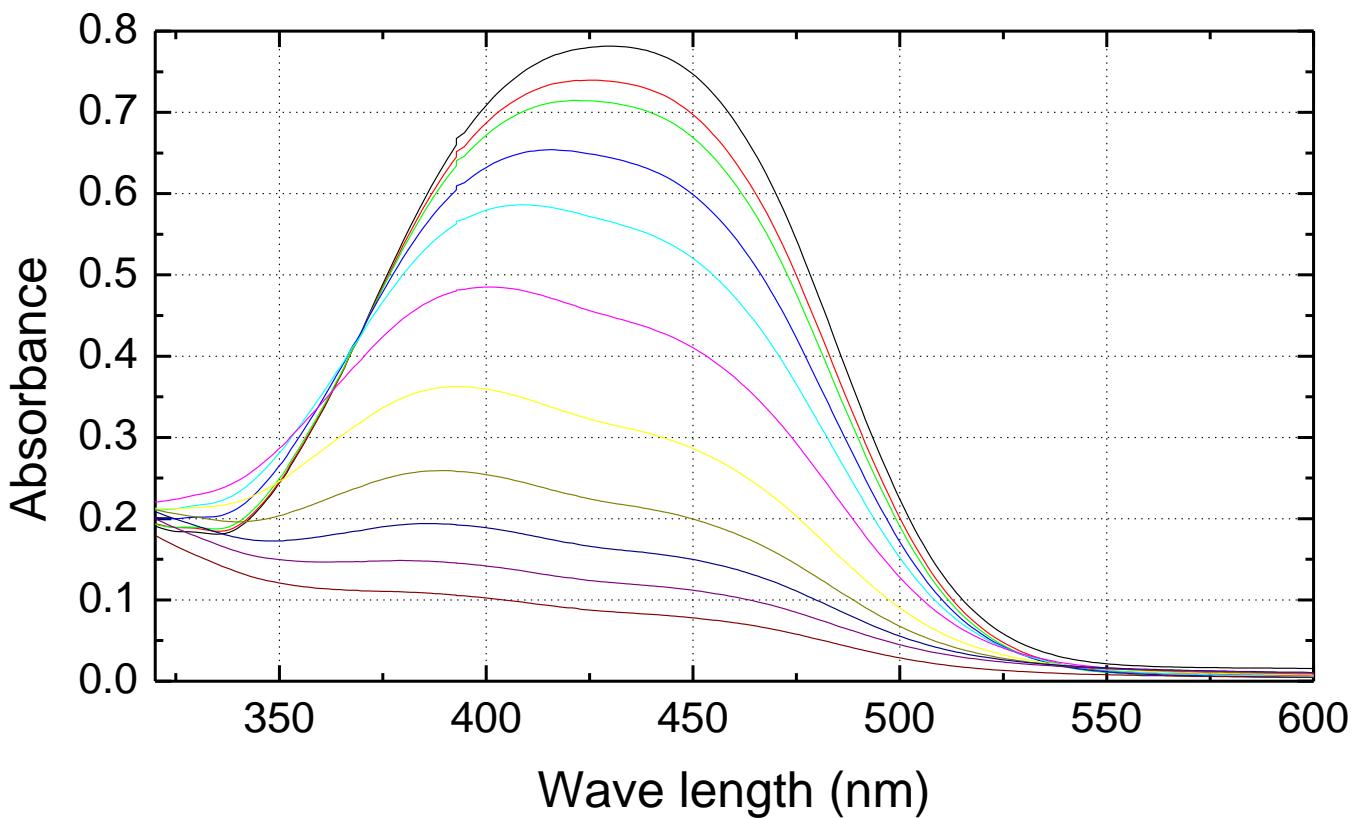
3) بوجود مادة عيارية وهي الطريقة المتبعة **بمخابر التحليل**:

حيث يؤخذ عياري واحد موضوع ضمن علب نحصل عليها من الشركات المصنعة ويجانبه عبوة الكاشف التي تتفاعل مع المجهول وتعطي معقد ملون.

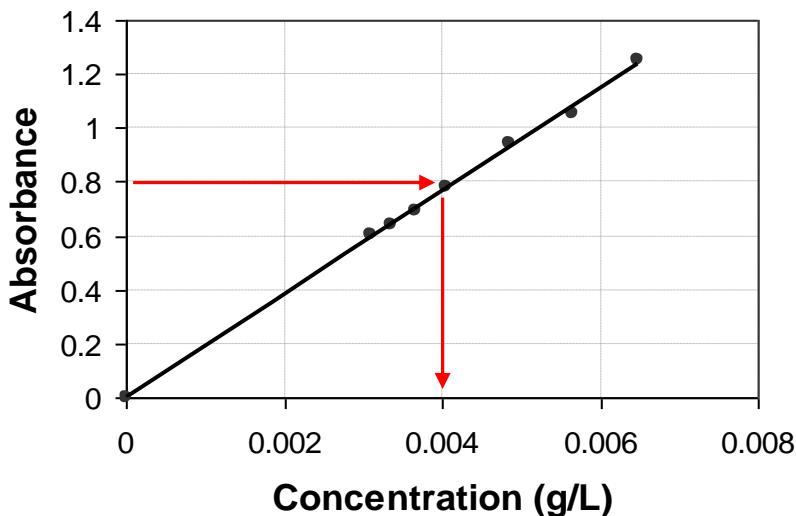
## مثال على استخدام مطيافية الأشعة فوق البنفسجية و الضوء المرئي



- لدى قياس الامتصاصية لعينة ذات لون أحمر باستخدام جهاز المطيافية على كامل مجال الأطوال الموجية
- يظهر لدينا المنحني التالي :
- يرسم فيه الامتصاصية الضوئية بالنسبة للأطوال الموجية المختلفة
- حيث تظهر العينة امتصاصية عظمى لدى الطول الموجي 522 نانوميتر



## مثال على استخدام مطیافية الأشعة ما فوق البنفسجية و الضوء المرئي



- نقوم بعد ذلك برسم منحني المعايرة حيث نقيس الامتصاصية عند الطول الموجي الاعظمي (522) لعدة تراكيز معلومة من المادة.

وباستخدام هذا المستقيم و بالإسقاط عليه يمكن حساب تركيز عينات مجهولة لدى معرفة امتصاصيتها

مثال:

إذا كنا نريد أن نعایر 10 عينات من الغلوكوز في الدم نضع عينات الدم في المثلثة لنأخذ منها المصل.

ثم نأخذ عشرة أنابيب ونضع في كل أنبوب 1 مل من المصل ثم نضيف على كل أنبوب 1 مل من كاشف الغلوكوز الذي يشكل معقد يعطي الانابيب اللون الأحمر ولكن بدرجات مختلفة حسب تركيز الغلوكوز.

نقرأ الامتصاص للغلوكوز العياري ثم نقرأ الامتصاص للعينات العشرة ثم نطبق القانون:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

تركيز المادة العيارية وهي معلومة ايضاً بالنسبة لنا

امتصاص المادة العياري وهو معلوم بالنسبة لنا

ترکیز المادة المجهول وهو الذي نريد ان نحصل عليه

امتصاص المادة المجهول وهنا عينات الغلوكوز التي قسناها بالجهاز

توضيح:

عياري

$$A_1 = \epsilon_1 \cdot L_1 \cdot C_1$$

مجهول

$$A_2 = \epsilon_2 \cdot L_2 \cdot C_2$$

ع عياري يساوي ع مجهول لأنه نفس التفاعل ونفس الشروط.

$$\epsilon_1 = \epsilon_2 \quad \text{نفس المحفاد.}$$

**تطبيق:** امتصاص عينة غلوكوز عند مريض  $A_2 = 0.86$  وامتصاص العياري

$$C_1 = 100 \text{ mg/DL} = 0.43$$

الحل:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{C_1}{C_2} \quad \frac{0.43}{0.86} = \frac{100}{C_2} \quad \Rightarrow \quad C_2 = \frac{0.86 \times 100}{0.43} = 200 \text{ mg/dL}$$

سكر المريض مرتفع (السكر الطبيعي  $80 - 110$ )

## 1) عدم وجود مادة عيارية:

اذا لم نستطع الحصول على المادة العيارية بسبب تكلفتها المرتفعة يمكن ان نحصل على الامتصاص من دستور الادوية فيعبر عن الامتصاص ثابتة تذكر في دستور الادوية بهذه الطريقة

$$A\%_{1cm} = 520$$

فهي الامتصاص المئوي تعبر عن امتصاص محلول العياري بتركيز g/100ml (دائماً يكون تركيز العياري g/100ml)

### تطبيق:

الامتصاص المئوي للكلورامفينيكول يساوي  $A_1 = 730$  ما هو تركيز الكلورامفينيكول في العينة، علماً بأن امتصاصها المقياس على الجهاز  $A_2 = 0.73$  الامتصاص المئوي عبارة عن الامتصاص مضافاً لها قيمة عامل الامتصاص (الامتصاص المئوي)

الحل:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{C_1}{C_2}$$

$$\frac{730}{0.73} = \frac{1}{C_2}$$

$$C_2 = \frac{0.73}{730} = 0.001 \text{ mg/100mL}$$

## ثانياً: مقارنة التفاعلات اللونية

في حال استخدام قانون لامبير بير أو سبيكترو فوتوميتر.

مثلاً : إذا أردنا معايرة الحديد نشكل معقد ملون ، ولمعرفة المركبات التي يشكل معها معقدات ملونة نعود للمراجع فنجد أنه يشكل معقد بني مع نتروسيانات البوتاسيوم، ومعقد أحمر مع 1.1 فينانترولين .

ما الطريقة المتبعة لاختيار الأفضل في حال تواجدهما كليهما في المخبر ؟

الطريقة الأمثل هي معرفة التفاعل الذي يعطي حساسية أكثر (يقيس التراكيز القليلة).

يكون الامتصاص أكبر عندما يكون التركيز أكبر وذلك عندما يكون عامل الإنطفاء أكبر.

لذلك أقوم بتفاعلين بنفس التركيز من الحديد العياري وبمحفظة الجهاز نفسه وأقوم بتفاعلين اللوني والذى يعطيني امتصاص أكبر ← يكون عامل الإنطفاء أعلى ← وبالتالي تكون حساسيته أفضل.

اختار التفاعل الذي يعطيني عامل إنطفاء أعلى وذلك لأنه ولو كان التركيز صغير ممكن أن يحدث لدى امتصاص

### ثالثاً: حساب pka للأدوية:

يمكن استخدام السبيكتروفوتوميتر لحساب الـ pka للأدوية ويهمنا ذلك لأن الفعالية العلاجية تتبع لـ pka حسب تشردتها، عن طريق العلاقة (هاندرسون هاسليباخ) :

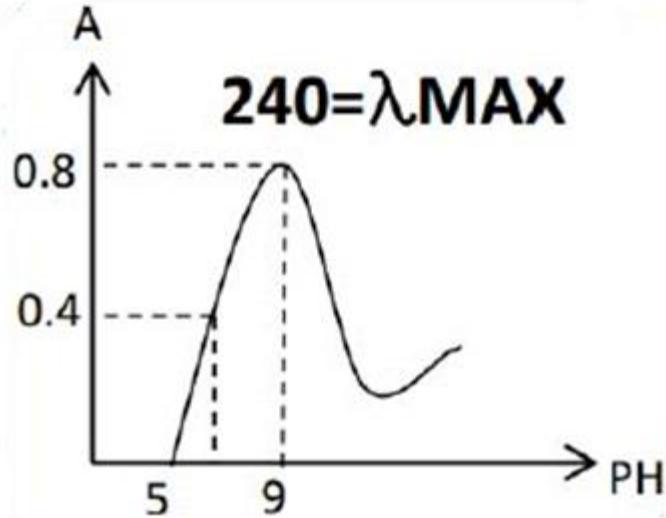
$$pH = pka + \log \frac{\text{الحمض}}{ca} \frac{(non\ protorated)}{(protorated)}$$

مركبات الأدوية تكون إما ضعيفة الحموضة أو ضعيفة القلوية ، وتمتص الضوء بشكل متعلق جداً بالتشرد (الامتصاص الضوئي له علاقة بأشكالها المتشردة أو غير المتشردة حيث أن الشكل المتشرد يمتص الضوء بطريقة مختلفة عن الشكل غير المتشرد وعن طريق هذا الاختلاف نحسب الـ pka للأدوية ) .

مثال:

الفينوباربيتال (دواء يعالج الصرع و السلس البولي عند الأطفال) إذا كان بشكل ملح صودي (متشد<sup>د</sup>) فإنه يعطي امتصاصاً أعظم بطول موجة 240 نانومتر ، أما إذا كان بشكل حمض فلا يعطي امتصاصاً نهائياً عند طول الموجة 240 ، وبالتالي إذا حدث امتصاص عند طول الموجة فإنه يكون عائد للشكل المتشد . وبالتالي في هذه الحالة يمكننا أن نعاير الدواء (الحمض) وأثناء المعايرة مع الوقت أقيس  $\text{pH}$  والامتصاص كلما ستلنا مل من الصود .

## ملاحظات على الشكل:



كلما سلنا من الصود سيزيد الشكل المتشرد عند  $\text{pH}=5$  لا يكون لدى أي امتصاص وعندما نرفع قيمة  $\text{pH}$  وذلك بإضافة  $\text{NaOH}$  يزداد الامتصاص حتى يصل إلى قيمة عظمى عند طول الموجة 240 نانومتر وتكون قيمته 0.8 وتكون كل قيمة الفينوبارييتال متشردة ولحساب قيمة  $\text{pH}$  التي يتشرد فيها نصف كمية الفينوبارييتال نطبق علاقة هندرسون -هاسليباخ:

$$pka = pH + \log \frac{A^-}{HA}$$

عندما تكون المادة نصفها متشرد ونصفها غير متشرد يكون  $pH=pka$  أي  $\frac{A^-}{HA} = 1$

$$\log \frac{A^-}{HA} = 0$$

نأخذ نصف قيمة الامتصاص ونوجد قيمة  $pH$  على الخط البياني وبذلك يكون لدينا:

$$pH=pka$$

تطبيقات:

اذا كان لدينا محلول بتركيز  $5 \text{ ppm mg/L}$  وزنها الجزيئي  $200 \text{ g}$  احسب عامل الانطفاء النوعي والجزيئي بفرض أن هذا محلول يعطي امتصاص  $A=0.3$  محلول لمادة دوائية وزنها الجزيئي  $200 \text{ mol}$  عامل الانطفاء الجزيئي  $4000 \text{ mol/L}$  اعطى امتصاص  $0.8$  ما هو تركيز هذه المادة؟

THANK YOU

شكراً لاستماعكم

