الفصل الثامن

Chapter Eight

الطاقة الاشعاعية (الضوئية)

Radiant (Light) Energy

obeikandl.com

مقدمة

بما ان النباتات تتأثر بشدة الضوء الاشعاعية او الصوئية لذا يتحسن دراسة هذه الطاقة. فالطاقة الاشعاعية هي احدى أشكال الطاقة التي تنبعث او تنتشر في الفراغ أو في بعض الاوساط المادية وهي عبارة عن موجات الكترومغناطيسية(**Electromagnetic Waves**). ولقد وضع باحثوا الطاقة الاشعاعية او الضوئية بعض المفاهيم والمعادلات التي تصف الضوء بانه ذو طبيعة موجية (**Wave**). كما وضع علماء اخرون معادلات اخرى تصف الضوء بانه ذو طبيعة مادية أو دقائقية. والحقيقة ان الطاقة الضوئية غير مفهومة جدا ولكن مصطلح الطاقة الاشعاعية قد يمتد ليشمل سيل من الذرات أو الدقائق الذرية التي تمتلك وزناً أو كتلة كالالكترونات ودقائق الفا وبيتا وبعض الاشعة الكونية (**Cosmic Rays**).

الخصائص الموجية للطاقة الاشعاعية

ان بعض الظواهر كالانتشار الضوئي (**Diffraction**)والتداخل(**Interference**) والاستقطاب (**Polarization**) تفترض بان الطاقة الضوئية او الاشعاعية عبارة عن موجات كما هو الحال في الموجات الصوتية أو الموجات المائية والتي تسير خلال وسط ما. ولهذا افترض في البداية بان الموجات الضوئية تسير في الوسط المسمى الاثير (**Ether**) ولكنه اتضح بعد ذلك بان الموجات الضوئية قد تستطيع السير في الفراغ. ومما يذكر ان الموجة الضوئية (**Wave**) تتميز ببعض الخصائص منها:

أ- السرعةVelocity (C)

وهي المسافة المقطوعة من قبل قمة الطاقة الضوئية بوحدة الزمن. ويذكر ان سرعة كل أشكال الطاقة الضوئية تعتبر ثابتة في الفراغ وتعادل٣ × ١٠١٠سم / ثانية (٣٠٠٠٠٠ كم / ثانية) وهي نفس السرعة في الهواء ولكنها تقل في الماء (٢,٢٥ × ١٠١٠سم / ثانية) وفي الزجاج (١,٩٨ × ١٠١٠ سم / ثانية).

ب- طول الموجةWavelenght (λ)

وهي المسافة الفاصلة بين قمتي موجتين سائرتين.

ان طول موجات الطاقة الاشعاعية يختلف من الحالة القصيرة جدا (١٠ ^-١٣ سم) إلى الحالة

الطويلة التي قد تصل إلى عدة كيلومترات.
هذا وان طول الموجة يحدد [illegible] نون الضوء.

جـ- التردد Frequency (V)

وهو عدد الارتفاعات والانخفاضات المارة بنقطة معينة بالثانية الواحدة ويطلق على التردد باصطلاح **Hertz (Hz)**.

د- عدد الموجات Wave Number ($\bar{V}$ او σ)

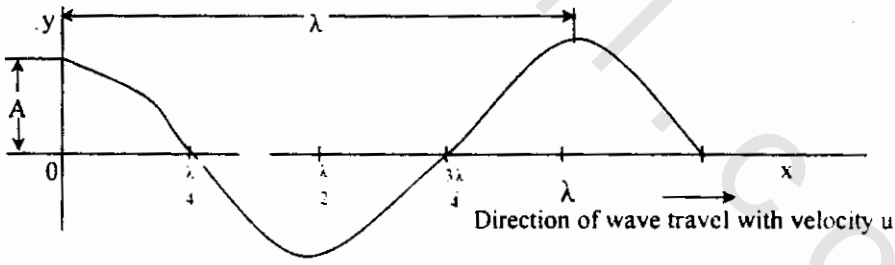
وهو عدد الموجات بالسنتمتر الواحد ويعتبر مقلوب طول الموجة وبعبارة اخرى انه تعبير اخر عن التردد.

هـ- الفترة Period (τ)

وهي مدة الزمن اللازمة لحدوث ذبذبة واحدة كاملة.

و- المدى Amplitude (A)

وهو اعلى ارتفاع او انخفاض عن مستوى سير الموجة. هذا وان الشكل المرقم (٨-١) يوضح بعض هذه الخصائص المذكورة. كما ان الجدول (٨-١) يوضح الوحدات المستعملة في خصائص الموجة.



شكل رقم (٨-١): توضيح بعض خصائص الموجة الضوئية عن Andrews, 1970.

جدول رقم (٨-١): الوحدات المستعملة لخصائص الموجة الضوئية

الخاصية	الوحدة
١- طول الموجة(Wavelenght)	cm او ا نكستروم او نانوميتر
٢- عـــدد الموجـــات(Wave Number)	cm^{-1} او $\frac{١}{سم}$
٣- الفترة(Period)	- ١ ثانية او ١ ثانية
٤- التردد(Frequency)	ثانية أو ثانية أو Hz
٥- السرعة(Velocity)	سم / ثانية أو كم / ثانية
٦- المدى Amplituse	سم

كما ان العلاقات الآتية توضح بعض هذه الخصائص:

$$C = \lambda \times V \quad .....(٨-١)$$

حيث ان C هي سرعة الضوء بالسم / ثانية.

وان λ هو طول موجة الضوء بالسم.

وان V هو التردد بالثانية.

أما عدد الموجات فيعادل الآتي:

$$\sigma = \frac{1}{\lambda} \quad .....(٨-٢)$$

حيث ان σ هو عدد الموجات بوحدة $\frac{١}{سم}$.

وان λ هو طول موجة الضوء بوحدة سم.

اما الفترة فتعادل الآتي:

$$T = \frac{1}{V} \qquad \ldots\ldots(٨-٣)$$

حيث ان **T** هي الفترة بالثانية

و ان **V** هو التردد بوحدة $\frac{١}{\text{الثانية}}$

هذا وان الجدول (٨-٢) يوضح قيم الخصائص لبعض الموجات الالكترومغناطيسية.

ز- الانكسار Refraction

وهو انحناء الأشعة او الموجة الضوئية اثناء سير الأشعة الضوئية من وسط إلى آخر حيث تختلف السرعة باختلاف الاوساط.

هذا ويقدر معامل الانكسار كالآتي:

$$n = \frac{\text{Light Speed in Vacuum}}{\text{Light Speed in Sample}}$$

obeikandl.com

جدول رقم (٨-٢): توضيح قيم الخصائص لبعض الموجات الالكترومغنطيسية.

عن: Anderw, 1970

Radiation	Wavelength cm	μ	A	σ_f cm^{-1}	v=c/T_1 sec	Ergs particle^{-1}	E=hv Electric acceleration units	Kcal mole^{-1}
Radio	10^4			10^{-4}	3.3×10^{9}	2×10^{-20}		
Microwave	1	10^4		1	3.3×10^{10}	2×10^{-16}		2.86×10^{-3}
	10^{-1}	10^3		10	3.3×10^{11}	2×10^{-15}		2.86×10^{-2}
Far infrared	10^{-2}	10^2		10^2	3.3×10^{12}	2×10^{-14}		2.86×10^{-1}
	10^{-3}	10		10^3	3.3×10^{13}	2×10^{-13}	0.124 ev	2.86
Near infrared	10^{-4}	1		10^4	3.3×10^{14}	2×10^{-12}	1.24 ev	28.6
Visible red	0.8		8000	1.25×10^4	4.2×10^{14}	2×10^{-12}	1.54 ev	35.7
visible violet	0.4		4000	2.5×10^4	8.3×10^{14}	5×10^{-12}	3.08 ev	71.5
Ultraviolet	10^{-5}	10^{-1}	10^3	10^5	3.3×10^{15}	2×10^{-11}	12.4ev	286
	10^{-6}	10^{-2}	10^2	10^6	3.3×10^{16}	2×10^{-10}	12.4 ev	2.86×10^3
Soft x- rays	10^{-7}	10^{-3}	10	10^7	3.3×10^{17}	2×10^{-9}	1.24 ev	2.86×10^4
x- rays	10^{-8}	10^{-4}	1	10^8	3.3×10^{18}	2×10^{-8}	12.4 kev	2.86×10^5
Y rays	10^{-9}		10^{-1}	10^9	3.3×10^{19}	2×10^{-7}	124 kev	2.86×10^6
	10^{-10}		10^{-2}	10^{10}	3.3×10^{20}	2×10^{-6}	1.24 Mev	2.86×10^7
	10^{-11}		10^{-3}	10^{11}	3.3×10^{21}	2×10^{-5}	12.4 Mev	2.86×10^8
Cosmic rays	10^{-12}		10^{-4}	10^{12}	3.3×10^{22}	2×10^{-4}	1.24 Mev	2.86×10^9
	10^{13}		10^{-5}	10^{13}	3.3×10^{23}	2×10^{-3}	1.24 Gev	2.86×10^{10}

حيث ان **n** هو معامل الانكسار **Refractive Index**.

وقد افترض ان **n** للفراغ تعادل الواحد.

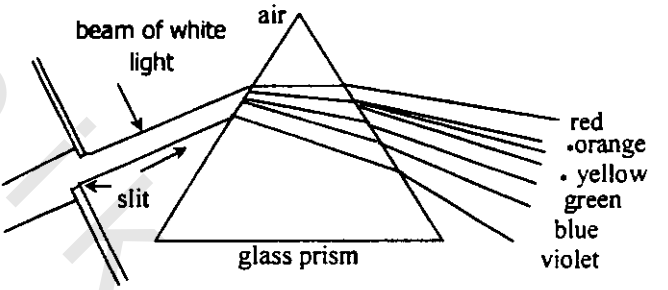
بينما **n** للهواء تعادل **1.003**.

وان **n** للماء تعادل **1.330**.

وان **n** لزيت العدسات **Oil Immersion** تعادل **1.515**.

وان **n** للزجاج تعادل **1.600**.

ومما يذكر انه بسبب انكسار الضوء بين الهواء وسطح الزجاج بنيت عملية صنع العدسات. هذا وينكسر الضوء اثناء مروره من الهواء إلى جدران خلايا الورقة او سايتوبلازم خلايا الورقة. وبما ان الوحدات الضوئية المختلفة في الطول تنكسر بدرجات مختلفة لذا تنفصل هذه الموجات المختلفة عندما يمر الضوء الابيض خلال منشور زجاجي (شكل رقم ٨-٢).



شكل رقم (٨-٢): تحليل الضوء الابيض إلى مكوناته اثناء مروره خلال منشور زجاجي.

ح- الانتشار والتداخل Diffraction and Interference

الانتشار هو ظاهرة توسع الموجات الضوئية عندما تمر خلال فتحات تماثل حجم او مدى طول الموجة الضوئية.

أما التداخل فيحدث عندما تصطدم الموجات بعضها مع البعض بهيئة تؤدي إلى تقوية بعضها البعض وتسمى هذه الحالة **(Constructive Interference)** او تبيد بعضها البعض الاخر وتسمى هذه الحالة باسم **(Destructive Interference)**.

ط- الاستقطاب Polarization

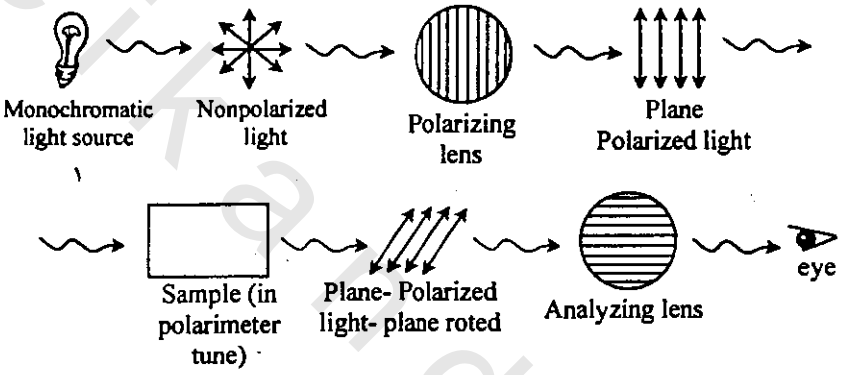
الموجات الضوئية تتذبذب عادة بمستويات عديدة موازية لاتجاه انتشار الضوء. وعندما يستقطب الضوء فان الطاقة الضوئية تتذبذب بمستوى واحد عادة ويستقطب الضوء عادة عندما يمر خلال عدة مواد او اثناء انعكاس الضوء.

هذا وتوجد بعض المواد المهمة في النبات والكائنات الحية الاخرى بحالة صلبة أو بهيئة محلول وتستطيع ان تسبب دوران مستوى استقطاب الحزمة الضوئية **(Plane Polarized Light)** ويطلق على هذه المواد باسم الجزيئات الفعالة بصرياً **(Optically Active)** كما

يطلق على عملية الدوران باسم الدوران البصر **(Optical Rotation)** وان مثل هذه المواد تحتوي على ما لايقل عن ذرة كاربون واحدة تميز بانها **Asymmetric Carbon Atom** (الذرة التي ترتبط بها أربع مجاميع مختلفة).

ومما يذكر ان الدوران البصري يكون بعدة أنواع منه الدوران الملحوظ **(Observed Rotation)** والدوران النوعي **(Specific Rotation)** والدوران الجزيئي **(Molar Rotation)**.

فالدوران البصري الملحوظ يقاس بالة مقياس الاستقطاب **(Polarimeter)** (شكل رقم ٨-٣) والتي تتكون من عدسة الاستقطاب **(Polarizing Lens)** وعدسة التحليل



شكل رقم (٨-٣): مكونات الة مقياس الاستقطاب **Polarimeter** عن: **Segel, 1968**

(Analyzing Lens). وعند غياب المركب الفعال بصريا **(Compound Optically Active)** فان العدسة المحللة يمكن ضبطها حتى يمكن رؤية الضوء باقل شدة ممكنة وذلك بادارة العدسة المحللة حتى يكون مستوى اختراق الضوء عموديا على مستوى اختراق العدسة الاستقطابية.

اما في حالة وجود المركب الفعال بصرياً فأن هذا المركب يسبب دوران مستوى الضوء المستقطب.

وفي هذه الحالة يجب تدوير العدسة المحللة إلى موقع جديد لتقليل شدة الضوء وان زاوية تدوير العدسة المحللة يطلق عليها بالدوران الملحوظ **(Observed Rotation)** ومنه يقاس

الدوران النوعي **(Specific Rotation)** كالآتي:

$$(\alpha)T_{\lambda} = \frac{A^{\circ}}{l \times c} \qquad .....(٥-٨)$$

حيث ان α هو الدوران النوعي بدرجة الزاوية.
وان A° هو الدوران الملحوظ **(Observed Rotation)** بدرجة الزاوية المقاسة.
وان **l** هو طول ممر الضوء في المحلول بالديسمتر.
وان **c** هو تركيز المحلول بالغرام/ سم^{٣}.
وان **T** هي درجة حرارة المحلول وعادة ٢٠- ٢٥م$^{\circ}$.
وان λ هو طول موجة الضوء المستقطب وبصورة عامة ٥٨٩٣ انكستروم من الخط **D** للصوديوم.
لما الدوران الجزيئي **(Molar Rotation)**.

فيقاس كالآتي:

$$M = \alpha \times MW \qquad .....(٦-٨)$$

حيث ان **M** هو الدوران الجزيئي بدرجة الزاوية.
وان α هو الدوران النوعي بدرجة الزاوية.
وان **MW** هو الوزن الجزيئي للمادة.

ومما يذكر انه إذا كان تدوير العدسة المحلة باتجاه عقارب الساعة فتدعى المادة باسم **dextrorotatory (dor +)** لما إذا كان تدوير العدسة المحللة يعكس اتجاه عقارب الساعة فتسمى المادة **levorotatory (l or-)**.

وان هذين الرمزين **(d و l)** قد يكونا محيرين لالتباسهما بالرمزين **(D و L)** المتعلقين بخصائص السكريات والاحماض الامينية وغير ذلك.

مثال (٨-١)

محلول الـ **L- Leucine** بتركيز **(0.06** غم/ سم^{٣}) ذي دوران ملحوظ مقداره **(+1.18°** درجة) وضع في انبوبة مقياس الاستقطاب **Polarimeter** بطول **20** سم. احسب:

أ- الدوران النوعي.

ب- الدوران الجزيئي (M).

الحـــل

$$-[\alpha] = \frac{A}{l_{dm} \times c_{g/ml}}$$

حيث ان $A = +1.18°$

وان $l = \frac{20}{10} = 1$ dm.2

وان $c = 0.06$ غم/ سم^3

$$\alpha = \frac{+1.18}{2 \times 0.06} = +15.1°$$

ب- اما الدوران الجزيئي

حيث ان $M = \alpha \times MW$

$\alpha = 15.1°$

وان $MW = 131.2$

$M = 15.1 \times 131.2 = +1980°$

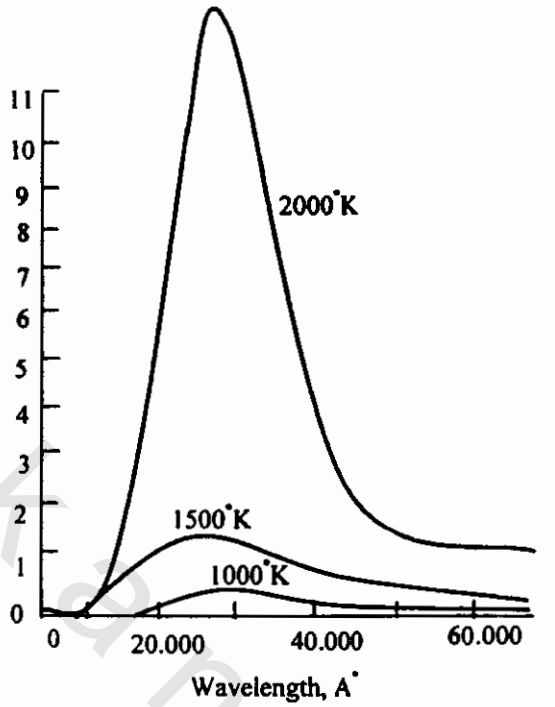
الخصائص المادية (الدقائقية) للطاقة الضوئية

articulate Properties of Radiant Energy

في الماضي كانت نظرية الموجة الضوئية هي السائدة ولكن لوحظت بعض الصعوبات منـــها ان ارتفاع درجة الحرارة تسبب زيادة شدة الضوء (شكل رقم ٨-٤) مما يدل على ان الضـــوء له خصائص مادية وان الطاقة الحركية تزداد بزيادة درجة الحرارة.

لذلك ادخلت فكرة كون الضوء ينبعث بوحدات محـــددة دعيـــت كوانتـــم **(Quantum)** او فوتون **(Photon)**.

ان الخصائص الدقائقية للضوء توضحها المعادلات الآتية:



شكل رقم (٨-٤): ازدياد شدة الضوء المنبعثة من جسم اسود بارتفاع درجة الحرارة. عن: **Andrews, 1970**

$$E = h \times V \qquad \ldots.(٨-٧)$$

حيث ان **E** هي الطاقة الضوئية للـ **Quantum**.

بوحدة **erg**.

وان **V** هو التردد بوحدة $\frac{1}{Sec}$.

و ان **h** ثابت **Planch** الذي يعادل (6.624×10^{-27} **erg. Sec**) او (1.58×10^{-34} **cal. Sec**).

اما سرعة الضوء **(C)** فتقدر من المعادلة (٨-١) وهي:

$$C = V\lambda$$

ومن المعلوم ان سرعة الضوء هي 3×10^{10} cm/ sec

وقد افترض **Planch** ان شدة الاشعاع تتعلق بكل من طول الموجة الصوتية ودرجة الحرارة كالآتي:

$$I_\lambda = \frac{2\pi C^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/kT\lambda} - 1)} \quad .....(٨-٨)$$

وعند الاستعاضة بالمعادلة (٨-١) تصبح المعادلة (٨-٨) كالآتي:

$$I_\lambda = \frac{2\pi C^2 h}{\lambda^5 (e^{h\nu/KT} - 1)} \quad .....(٨-٩)$$

حيث ان I_λ هي شدة الاشعاع.

وان **C** هي سرعة الضوء.

وان **K** هو ثابت **Boltzmann** أو **(R) Gas Constant** الذي يقسم على عدد افكادرو.

وان **T** هي درجة الحرارة المطلقة.

وان π هي النسبة الثابتة $\left(\frac{22}{7}\right)$.

وان **h** هو ثابت بلانك **Planck**.

وان λ هو طول موجة الضوء.

وان **V** هو التردد.

وبعد ذلك اقترح انشتاين بان الطاقة تحدث في وحدات دعاها الكوانتم **(Quantum)**.

واقتراح المعادلة الآتية:

$$\frac{1}{2} mC^2 = hV - W \quad .....(٨-١٠)$$

حيث ان **1/2** هي كمية ثابتة.

وان **m** هي الكتلة.

وان **C** هي سرعة الضوء.

وان **h** هو ثابت **Planck**.

وان **V** هو تردد الضوء.

وان **W** هو الشغل المنجز.

ثم اطلق اسم الفوتـــرن **Photon** علـــى الحزمـــة الضوئيـــة المحـــددة وممـــا يذكـــر ان الكوانتم**Quantum** والفوتون **Photon** هما مصطلحان لمعنـــى واحـــد وهـــو ان الطاقـــة الضوئية ذات طبيعة دقائقية. هذا ويعتقد انشتاين في نظريته النسبية بوجود علاقة بين الكتلـــة والطاقة كالآتي:

$$E = mC^2 \qquad .....(٨-١١)$$

حيث ان **E** هي طاقة الجزيئة.

وان **m** هي الكتلة.

وان **C** هي سرعة الضوء.

ويمكن ربط المعادلة (٨-٧) مع المعادلة (٨-١١) كالآتي:

$$mC^2 = hV \qquad .....(٨-١٢)$$

ثم افترض انشتاين بأن كل **Quantum** من الطاقة الضوئية الممتصة تنشط جزيئة واحـــدة عندما تمتص هذه الطاقة الضوئية ولكي ينشط مول واحد من المادة يجب توفر عـــدد مـــن الـــ **Quanta** بقدر عدد افكادرو. أي أن:

$$E_e = NhV = Nh\ \frac{C}{\lambda} \qquad ....(٨-١٣)$$

حيث ان E_e هي طاقة الـــ **Quantum** للمول الواحد. وان **N** هو عـــدد الـــ**Quanta** المعادل لعدد افكادرو أي $(6.2 \times 10^{23}\ atom / mole)$ ويســـمى هـــذا العـــدد بالـــ **Enstein** أو **mole of Quanta**.

مثال (٨-٢)

احسب عدد الـــ **Einstein** للضوء الاحمر علماً بأن طول الموجة هي: **(660 nm)**.

الحـــل

$$E_e = Nh\ \frac{C}{\lambda}$$

6.02×10^{23} Photon / Einstein = N

1.58×10^{-34} cal. sec = h

3×10^{10} cm / sec = C

6.6×10^{-5} cm = λ

وبالتعويض يحدث:

$$E_e = \frac{(6.02 \times 10^{23})(1.58 \times 10^{-34})(3 \times 10^{10})}{6.6 \times 10^{-5}}$$

E_e = 43200 cal / Einstein

وبصورة عامة تستعمل λ بدل الضوء الاحمر وتختصر المعادلة (٨-١٣) إلى ما يأتي:

$$E_e = \frac{2.86 \times 10^8}{\lambda} \quad .....(٨-١٤)$$

حيث ان E_e هي طاقة الـ **Quantum** للمول الواحد من المادة وان λ هو طول الموجة الضوء بالانكستروم.

وان 2.86×10^8 هي كمية ثابتة.

حاصل الكوانتم **Quantum Yield**

هو تعبير عن كفاءة امتصاص الفوتون من قبل الجزيئة عندما يحدث تفاعل كيمياوي ضوئي ويعادل الآتي:

$$\varphi = \frac{M}{Q} \quad .....(٨-١٥)$$

حيث ان ϕ هو **Quantum Yield**.

وان **M** هو عدد الجزيئات المتفاعلة او الممتصة للفوتونات.

وان **Q** هو عدد الفوتونات الممتصة ويفيد الـ **Quantum** في دراسة التركيب الضوئي.

شدة الاضاءة **Radiant Flux (Light Intensity)**.

هي الطاقة الاشعاعية الساقطة على سطح ما في وحدة الزمن مثل **Joules / sec**.

الاشعاع/ الجسم الأسود/ الصبغة/ معامل الامتصاص/ الاختراق والانعكاس الطاقة الضوئية التي لم يمتصها الجسم اما ان تخترق الجسم او تنعكس منه فقد وجد مايأتي:

$$I = \frac{I}{!} \quad .....(٨-١٦)$$

حيث ان **T** هو نسبة الضوء المخترق **Transmission**.

وان **I** هو شدة الضوء المخترق.

وان I_o هو شدة الضوء الساقط الأصلي ويمكن استعمال النسبة المئوية كالآتي:

$$T = \frac{I}{I_o} \times 100 \quad \ldots(١٧-٨)$$

الامتصاص الضوئي **Light Absorption or Absorbance (A)**

ويطلق عليه سابقا بالكثافة الضوئية او البصرية **Optical Density (O.D.)** والذي يعادل لوغاريتم مقلوب الاختراق **(T)**.

فقد وجد ان:

$$\textbf{O. D. = A = log } \frac{I}{T} \textbf{ = - log T} \quad \ldots(١٨-٨)$$

وعند التعويض بالمعادلة (٨-١٦) يحدث الآتي:

$$\textbf{A = - log } \frac{I}{I_o} \quad \ldots(١٩-٨)$$

وتحور المعادلة (٨-١٩) الى مايأتي:

$$\textbf{A = log } \frac{I}{I_o} \quad \ldots(٢٠-٨)$$

هذا وقد وجد ان الامتصاص الضوئي يعتمد على تركيز الصبغة الممتصة الموجودة في المحلول حسب قانون **Beer** و**Lambert** اللذين دمجا إلى مايأتي:

$$\textbf{A = log } \frac{I}{I} \textbf{ . } \varepsilon \textbf{ x c x 1} \quad \ldots(٢١-٨)$$

حيث ان ε هو معامل ثابت ويسمى **Extinction Cofficient**.

وان **Io** هي شدة الضوء الأصلية الساقطة.

وان **I** هي شدة الضوء المخترقة.

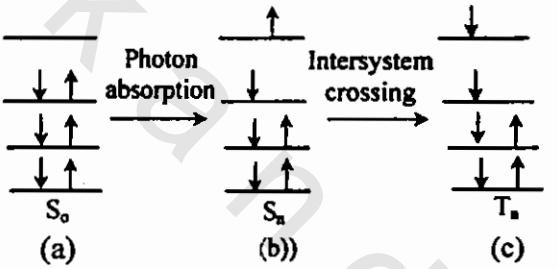
وان **c** هو تركيز المادة الممتصة للضوء.

وان **1** هو طول ممر الضوء.

وسنتناول بالدراسة كل من قانوني **Lambert Beer** في فصل لاحق.

التهيج الضوئي Photoexcitation

عندما تمتص جزيئة ما فوتوناً واحدا من الضوء فان تلك الجزيئة ترتفع إلى مستوى الكتروني جديد ذي طاقة اكثر من الحالة السابقة ويقال لمثل هذه الجزيئة بانها متهيجة او نشطة **(Excited or Activated)**. ومما يذكر انه في كل الحالات الاعتيادية تمتلك الجزيئة عددا زوجياً من الالكترونات وان نصف العدد ذو دوران يعادل $(+\frac{1}{2})$ والنصف الاخر ذو دوران معاكس يعادل $(-\frac{1}{2})$. لذا فالالكترونات تكون ازدواجية (شكل رقم ٨-٥- a) ويقال لهذه الحالة بالحالة الاصلية او البدائية **(So) Single State**. ولكن بعد امتصاص الطاقة الضوئية فان أحد الالكترونات يصبح في مستوى اعلى من الطاقة



شكل رقم (٨-٥): تهيج الالكترونات بالضوء.
a) الالكترونات بحالة مزدوجة في حالة (S_o).
b) حالة Single State (S_n) مع الالكترون واحد يتهيج.
c) حالة Triplet State (T_n) بعد تغير الحال غير الضوئي.
عن: Andrews, 1970.

(شكل رقم ٨- ٥- b) ولكنه يكون في نفس مستوى الدوران ولهذا مايزال الالكترون في الحالة الاصلية **Singlet State (S_n)**. غير ان الالكترون قد يعكس اتجاه دورانه (شكل رقم ٨-٥-٢) محدثاً حالة أخرى ذات زخم دوراني يعادل الواحد.

والخلاصة ان الزخم الدوراني قد يكون + 1، صفر، - 1 ويقال لهذه الحالة النشطة بالـ **Triplet State (T_n)**. ويطلق على التغير من الحالة **b** إلى الحالة **c** باسم **Intersystem Crossing**.

اما الحالة الـ **Triple State** النشطة قد تتغير إلى الحالات الاخرى بعدة عمليات منها:

١- الجزيئة قد تتحلل إذا كانت طبيعة الحالة النشطة تعادل او تزيد عن طاقة

التحلل.

٢- الجزيئة قد تتحول إلى حالة أخري دون حدوث الاشعاع.

٣- طاقة الجزيئة قد تتحرك إلى جزيئة أخري اثناء اصطدام الجزيئات.

٤- الجزيئة قد تتبادل الطاقة مع جزيئة أخري بسبب التفاعل معها.

٥- الجزيئة او الذرة في الحالة النشطة قد تفقد طاقة التنشيط بثلاثة طرق هي:

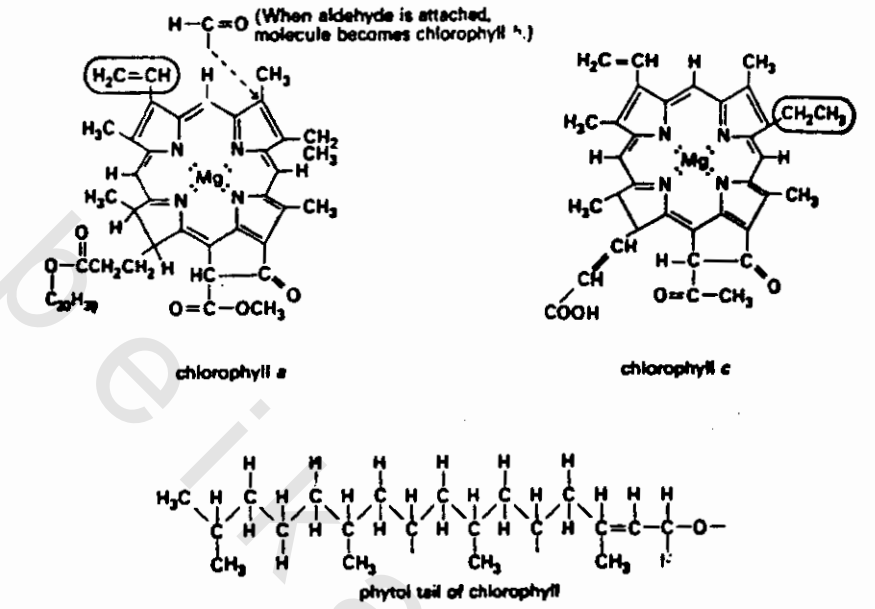
أ- قد تفقد الطاقة مباشرة بشكل الحرارة. أي تتحول إلى طاقة انتقالية او تذبذبية او دورانية.

ب- قد يفقد قيسم من الطاقة بشكل حرارة. اما بقية الطاقة فتبعث بشكل ضوء مرئي بموجة لطول عادة (فوتون بطاقة اقل) من طول الموجة الممتصة. وإذا حدث هذا الانبعاث ضمن مدة $١٠^{-٩} - ١٠^{-٥}$ ثانية بعد امتصاص الضوء او الفوتون الأصلي سميت هذه الحالة باسم **Flourescence**. اما إذا كان الانبعاث يحدث ضمن مدة لطول ($١٠^{-٤} - ١٠$ ثانية) فيسمى باسم**Phosphorescence**.

جـ- الطاقة قد تستخدم في حدوث تفاعل كيماوي ضوئي كما في التركيب الضوئي.

الإحساس الضوئي**Photosensitization**

عندما تتغير ذرة او جزيئة ما إلى الحالة النشطة **(Activated State)** ومن ثم تحدث تفاعل ضوئي كيماوي اثناء رجوعها إلى الحالة الاصلية غير الفعالة فيطلق على هذه العملية اسم **Photosensitization** أو الإحساس الضوئي.



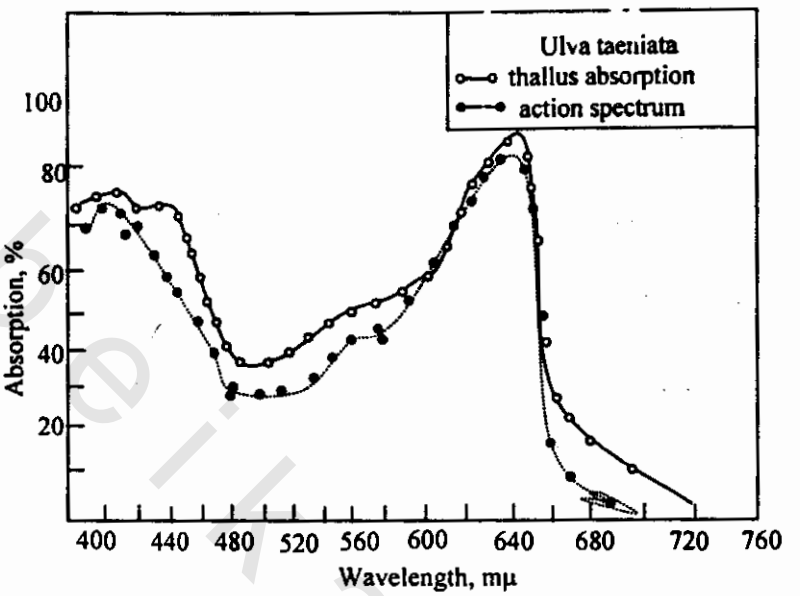
شكل رقم (٨-٦): الصيغة التركيبية للكلوروفيل مظهرة المجاميع في الكلوروفيل (a) وكلوروفيل (b) وكلوروفيل (c).

تحدث عملية الاحساس الضوئي في كثير من العمليات الكيمياوية والحيوية كالتركيب الضوئي. فصبغات الكلوروفيل هي المواد التي تعاني الاحساس الضوئي في عملية التركيب الضوئي والصيغة التركيبية للكلوروفيل بصورة عامة يوضحها الشكل المرقم (٨-٦) حيث

توجد حلقة او راس يحتوي على المغنيسيوم في المركز وتمتلك الحلقة اواصر منفردة (مشبعة) ومزدوجة (غير مشبعة) مما يفسح مجالا لـ الكترونات بان تتذبذب بشكل موجات مسببة تهيج الكلوروفيل ويحدث التاثير البايولوجي. وقد وجد ان المئات من جزيئات الكلوروفيل تكون بشكل وحدات متراصة في الخلايا النباتية.

ويسبب هذا التقارب الشديد فان طاقة الفوتون الممتص قد تتبدد بوقت قصير جدا وترجع جزيئات الكلوروفيل إلى الحالة الاصلية غير النشطة في ظرف $١٠^{-٨}$ ثانية.

ان الشكل المرقم (٨-٧) يوضح طيف الامتصاص الضوئي للكلوروفيل **(a)**.



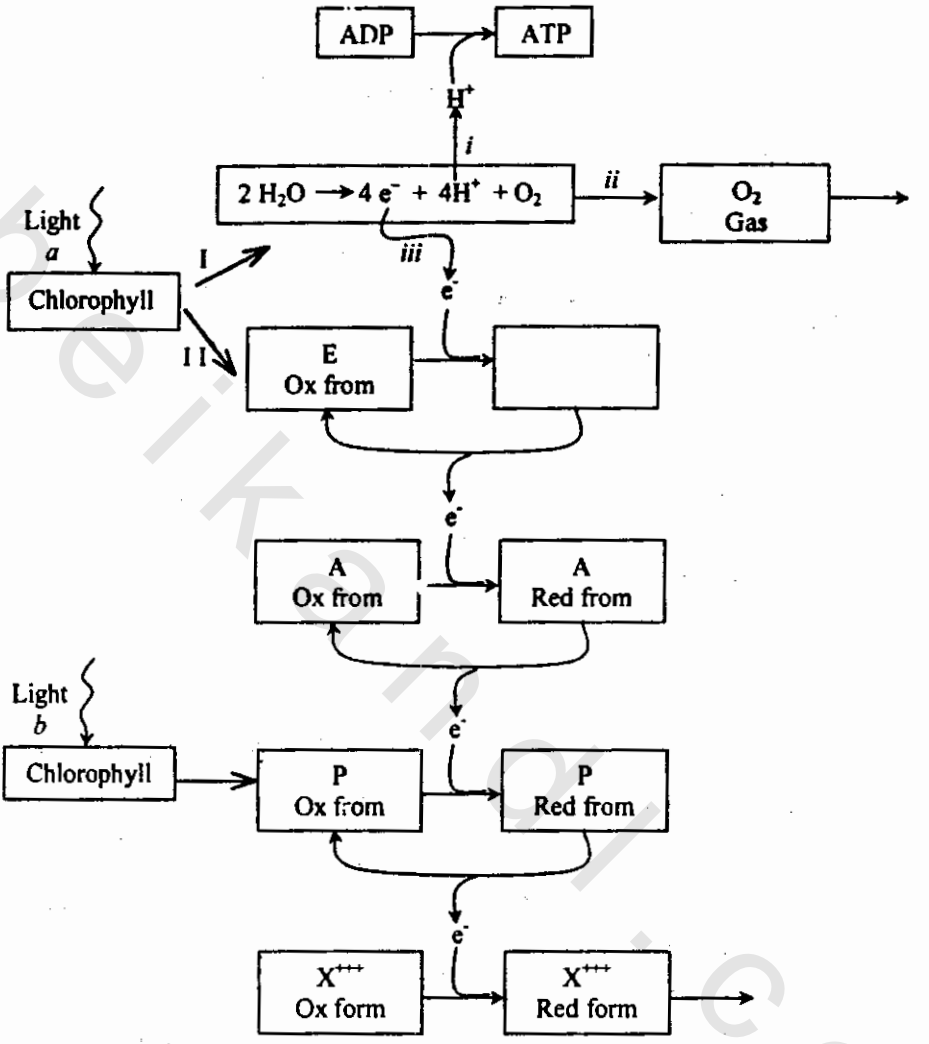
شكل رقم (٨-٧): طيف الامتصاص الضوئي من قبل كلوروفيل أ (a). وطيف فعالية التركيب الضوئي. عن: Bidwell, 1974

انتقال الطاقة Energy Transfer

عندما لا تتبدد طاقة الفوتون بل تستخدم بالتركيب الضوئي فان سلسلة من التفاعلات تحدث ويوضحها الشكل المرقم (٨-٨). اما التغيرات في الطاقة الاختزالية (Redox Potential) اثناء خطوات التركيب الضوئي فتوفر بعض المعلومات المتعلقة بالقوة الداخلة كما في الشكل المرقم (٨-٩).

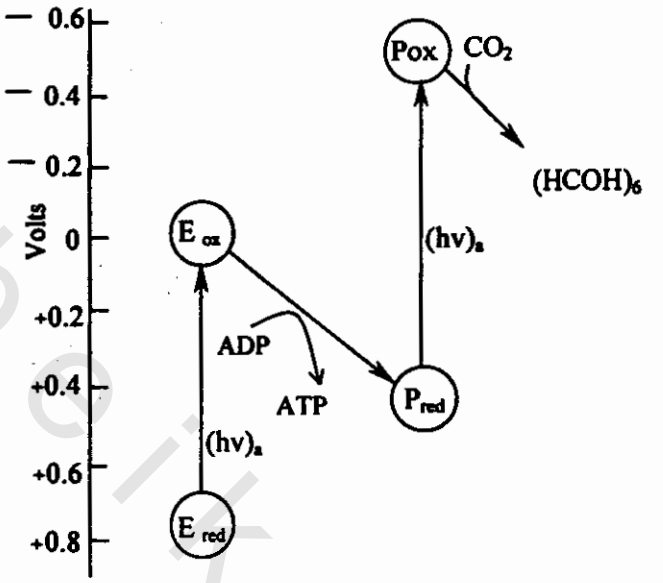
ففي الخطوة الاولى من الاشعاع يحدث ازدياد في الطاقة الحرة (Free Energy) من قيمة E_o المعادلة (+ 0.8 volt) إلى مستوى الطاقة الحرة المقاربة صفرا $E_o = 0$.

وهذه الزيادة في الطاقة الحرة تسبب تكوين المركب الغني بالطاقة (ATP) اما في الخطوة الثانية فان الطاقة الضوئية الممتصة تنشط النظام وتزيد الطاقة الحرة إلى E_o = 0.6 volt – مسببة تكوين الطاقة واختزال CO_2 إلى الكاربوهيدرات.



شكل رقم (٨-٨): سلسلة التفاعلات الحادثة في الكلوروفيل اثناء تفاعلات الضوء. عن: Andrews, 1970

obeikandl.com



شكل رقم (٨-٩): التغيرات في الطاقة الاختزالية اثناء التركيب الضوئي.

قانون Stefan- Boltzman

ان كل الاجسام التي درجة حرارتها فوق درجة الصفر المطلق تبعث الطاقة الضوئية وان كمية الانبعاث دالة للقوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة كالآتي:

$$Q = e S T^4 \quad .....(٢٢-٨)$$

حيث ان **Q** هو مقدار الطاقة الضوئية الممتصة بالسعرة الحرارية **cal** وان **e** هو معامل الانبعاث ويقدر بـ ٠,٩٨ للورقة التي تنمو بدرجة الحرارة الفسيولوجية.

وان **S** هو ثابت **Stefan – Boltaman** ويعادل

$$8.132 \times 10^{-11} \text{ cal / cm}^2 \text{ / min / deg K}^4$$

وان **T** هي درجة الحرارة المطلقة بوحدة كالفن.

ان القوة الرابعة لدرجة الحرارة المطلقة تعني ان الانبعاث الضوئي يزداد بشدة ازدياد درجة الحرارة. وبالرغم من ان المدى الطبيعي لدرجات الحرارة التي تتعرض لها ا

لنباتات هو ضيق بالنسبة لقياس درجة الحرارة المطلقة إلا ان القـــوة الرابعـــة تعنـــي ان الطاقة المنبعثة من الاجسام في هذا المدى الضيق تختلف بكثرة كما في الجـــدول الرقـــم (٨-٣).

جدول رقم (٨-٣): الاشعاع المنبعث من سطح الجسم الاســـود فـــي درجـــات الحـــرارة المختلفة. عن: **Andrews, 1970**

deg C	deg K	T^4	Q = cal cm^{-2} min^{-1}	% of Q at 0 C
0	273	5.55×10^9	0.431	100
20	293	7.38×10^9	0.572	133
30	303	8.42×10^9	0.651	151
5477	5750	1.10×10^{15}	84, 900	19, 700, 000

الاشعاع الصافيNet Radiation

وهو الفرق بين الاشعاع الممتص من قبل الجسم والاشعاع المنبعث منه. فالورقة النباتيـــة مثلا تبعث الضوء حسب قانون **Stefan – Bolzman**. وعند درجات الحرارة الاعتياديـة في الظل فان اكثرية الاشعاع يكون بشكل **Far – Infrared** من الطيف الضوئي مســـبباً تبريد الورقة. ولكن عند تعريض الورقة إلى ضوء الشمس فانها تمتـــص قســـما (حســـب معامل الامتصاص) من الطاقة الضوئية المسببة لرفع درجة حرارة الورقة. ان ازديـــاد او انخفاض درجة حرارة الورقة يعتمد على امتصاص او فقدان الورقـــة للطاقـــة الضوئيـــة وعلى عوامل اخرى (كالنتح) التي قد تضيف او تزيل الحرارة من الورقة.

قانون Wien

لا تعتمد فقط كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من الجسم على درجة الحرارة ولكـــن نوعيـــة

الضوء تتأثر ايضا بدرجة الحرارة. فعند ازدياد درجة الحرارة فان ذروة طـــول الموجـــة الضوئية المنبعثة تتحول نحو الموجات الضوئية القصيرة. وقد وجد **Wien** مايأتي:

$$\lambda_{max} = \frac{2.9 \times 10^7}{T} \quad .....(٢٣-٨)$$

حيث ان λ_{max} هو طول الموجة الضوئية الأعلى المنبعث بالانكستروم.

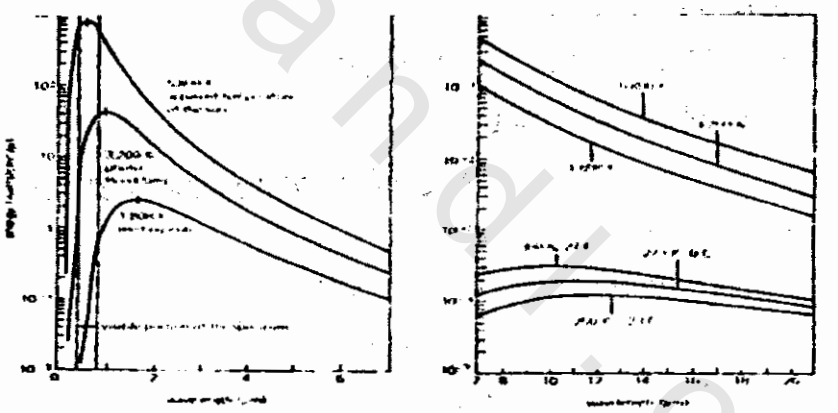
وان **T** هي درجة الحرارة المطلقة.

وان $10^7 \times 2.9$ هي كمية ثابتة تسمى ثابت **Wein**.

ويمكن تحوير المعادلة (٨-٢٣) إلى مايأتي:

$$W = \lambda_{max} \times T \quad .....(٢٤-٨)$$

حيث ان **W** هو ثابت **wein** لتحول الانبعاث. هذا وان الشكل المرقـــم (٨-١٠) يوضـــح قانون **Wein**.



شكل رقم (٨-١٠): عند انخفاض درجة الحرارة يزداد طول الموجة الضوئية المنبعثة. عن: Salisbury and Ross, 1978

مثال (٨-٢)

وضح الخصائص الموجية والدقائقية للاشعاع الازرق (λ = 4000 A).

الحـــل

١- الخصائص الموجية **Wave Properties**.

.Wave Properties

0.4×10^{-4} cm = 4000 A

أ- λ =

$$V = \frac{C}{\lambda}$$

ب- V=

$$V = \frac{3 \times 10^{10} \text{ cm/ sec}}{0.4 \times 10^{-4} \text{ cm}}$$

$V = 7.5 \times 10^{14}$ Hz (cycle / sec)

٢- الخصائص الدقائقية

. Pariculate Properties

$E = hV$

$E = (6.62 \times 10^{-27})(7.5 \times 10^{4})$

$E = 5.0 \times 10^{-12}$ erg

اما طاقة المول الواحد من اللون الازرق فتعادل الآتي:

$E_e = NhV$

$E_e = (6.02 \times 10^{23})(5.0 \times 10^{-12})$

$E_e = 3.01 \times 10^{12}$ erg / mole

$E_e = 3.01 \times 10^{15}$ Joule / mole

$E_e = 72 \times 10^{3}$ cal / mole

$E_e = 72$ K cal / mole

مثال (٨-٣)

ان طول موجة ضوء ما هو 6867 انكستروم. احسب التردد والعدد الموجيWave Number لهذا الضوء.

$$V = \frac{C}{\lambda} = \frac{3.0 \times 10^{10}}{6867 \times 10^{-8} \text{ cm}}$$

الحـــل

$$V = 4.366 \times 10^{14}\ sec^{-1}$$

اما العدد الموجي:

$$\sigma = \frac{1}{\lambda}$$

$$\sigma = \frac{1}{6867 \times 10^{-8}} = 14562/\ cm$$

مثال (٨-٤)

احسب كمية الطاقة بالـ **erg** والسعرة **cal** لفوتون واحد من الضوء علما بان طول الموجة 6867×10^{-8}.

الحـــل

$$E = hV$$

$$E = (6.62 \times 10^{-27}) \frac{3.0 \times 10^{10}}{6867 \times 10^{-8}}$$

$$E = 6.62 \times 10^{-27} \times 4.366 \times 10^{14}$$

$$E = 2.893 \times 10^{-12}\ erg$$

$$E = 2.893 \times 10^{-12} \times 10^{-7}\ (Joul / erg) \times (0.239\ cal / Joul)$$

$$E = 6.914 \times 10^{-20}\ cal$$

مثال (٨-٥)

احسب الطاقة التي يمكن ان تأتي من كتلة ذرة هيدروجين واحدة.

الحـــل

$$E = m C^2$$

$$E = \left(\frac{1.008}{6.02 \times 10^{23}} \right) (3.0 \times 10^{10})^2$$

$$E = 1.67 \times 10^{-24} \times 9 \times 10^{20}$$

$$E = 1.50 \times 10^{-3} \text{ erg}$$

مثال (٨-٦)

احسب الطاقة بالـ **quantum** للاشعاعات ذات الاطوال الموجية الآتية:

a – 400 nm

b – 600 nm

c – 1000 nm

الحـــل: باستعمال المعادلة

$$E = \frac{2.86 \times 10^{8}}{\lambda}$$

$$E = \frac{2.86 \times 10^{8}}{400 \times 10} = 7.1 \times 10^{4} \text{ cal/mole}$$

$$E = \frac{2.86 \times 10^{8}}{600 \times 10} = 4.7 \times 10^{4} \text{ cal/mole}$$

$$E = \frac{2.86 \times 10^{8}}{1000 \times 10} = \mathbf{2.86 \times 10^{4} \text{ cal / mole}}$$

obeikandl.com

الأسئلة

(٨-١) محلول من سكر الـ **L -Arabinose** يمتلك دوراناً ملحوظاً **Observed Ratation** يقدر بـ **(+ 23.7°)** وضع في انبوبة **Polarimeter** ذات طول **10** سم بدرجة حرارة **25**م°. احسب تركيز السكر علماً بأن الدوران النوعي يعادل **(+ 105°)**.

(٨-٢) محلول من الـ **L -Arabinose** يمتلك دوراناً ملحوظاً يقدر **(+ 23.7°)** وضع في انبوبة **Polarimeter** ذات طول **10** سم بدرجة حرارة **25**م°. احسب تركيز السكر علما بان الدوران الجزيئي للسكر يعادل **(+ 15550°)**.

(٨-٣) محلول من الـ **D - Histidine** (تركيز **4 g/ 100 ml of 1M HCl**) يمتلك دوراناً ملحوظاً يقدر بـ **(- 0.41°)** وموضوع في انبوبة **Polarimeter** ذات طول **20** سم بدرجة حرارة **25**م°. احسب:

أ- الدوران النوعي.

ب- الدوران الجزيئي للمحلول.

(٨-٤) محلول من سكر الـ **L - Ribulose** (المخلوط من شكلي α و β) يمتلك دوراناً ملحوظاً يقدر بـ **(- 3.75°)** ووضع في انبوبة **Polarimeter** ذات طول **10** سم. احسب تركيز السكر في المحلول (علما بأن الدوران النوعي للسكر بدرجة حرارة **25**م° يعادل **(- 16.6°)**.

(٨-٥) مزيج متوازن من **β – D - Glucose, α - D - Glucose** يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ **(+ 52.7°)**. ان **α – D - Glucose** النقي يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ **+ 112°** بينما **β - D – Glucose** النقي يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ **+ 18.7°** احسب نسب تركيز شكلي α و β من الكلوكور في المزيج بدرجة حرارة **25** م°.

(٨-٦) مزيج متوازن من **β D Glucose, α - D – Glucose** يمتلك دوراناً نوعياً

بدرجة حرارة 25م° يقدر (+ 14.5°). ان الشكل النقي من D – Glucose – α يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ (+ 29.3°).

بينما الشكل النقي من D – Glucose – β يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ (- 16.3°). احسب نسب تركيز شكلي الـ α والـ β من السكر.

(٨-٧) ماهو طول الموجة والتردد للاشعاع الذي يمتلك Quanta بطاقة 3×10^{-12} erg .

(٨-٨) احسب درجة الحرارة لطول موجة الـ Infra Red من الجزء المرئي من الضوء.

(٨-٩) في احد انواع الطيف كان طول الموجة 5896 انكستروم. احسب قيمة التردد لهذا الضوء عندما يمر الفراغ.

(٨-١٠) ان طول موجة احد انواع الضوء هو 486.1×10^{-7} ماهو العدد الموجي Wave Number.

(٨-١١) احسب الطاقة للفوتون الواحد من الضوء طول موجته 6563 انكستروم.

(٨-١٢) بعض المجاميع الخاصة من الذرات في الحامض النووي DNA تمتص الضوء تحت الاحمر Infra Red عندما يكون العدد الموجي $3450\ cm^{-1}$. احسب تردد هذا الضوء.

(٨-١٣) احسب الطاقة الممتصة بالسعرات من قبل 6.02×10^{23} ذرة من الهيدروجين عندما تمتص كل ذرة فوتون واحد من الضوء بالعدد الموجي $3450\ cm^{-1}$.

(٨-١٤) حلقة مركب الـ Adenine الداخلة في الحامض للنووي DNA تستطيع التذبذب عندما تمتص الضوء تحت المرئي بالعدد الموجي $950\ cm^{-1}$. احسب الزيادة في الطاقة بالسعرات للمول الواحد من الـ Adenine عندما تمتص 6.02×10^{23} فوتون ضوئي.

(٨-١٥) ان الجزء السكري للـ DNA يمتص الضوء تحت الاحمر بشدة بعدد موجي $3300\ cm^{-1}$ احسب طول الموجة بالسنتمترات والمايكرونات والانكستروم

لهذا الضوء الممتص.

(٨-١٦) ان كمية الطاقة الناتجة من احد انواع الضوء عندما يمتصه مـــول واحـــد مـــن صبغات التركيب الضوئي هي 4×10^4. ما تردد الضوء.

(٨-١٧) من معادلة التركيب الضوئي العامة

$$2H_2O + CO_2 \xrightarrow[\text{Light}]{\text{Chlooplast}} CH_2O + O_2 + H_2O$$

وان كمية ΔE هي **1.4 volt** احسب تردد الضوء.

obeikandl.com