

الفصل الثامن
Chapter Eight

الطاقة الاشعاعية (الضوئية)
Radiant (Light) Energy

مقدمة

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

الخصائص الموجبة للطاقة الاشعاعية

ان بعض الظواهر كالانتشار الضوئي (Diffraction) والتداخل (Interference) والاستقطاب (Polarization) تفترض بان الطاقة الصوتية 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 الصوتية تسير في الوسط المسمى الاثير (Ether) ولكنه اتضح بعد ذلك بان الموجات الصوتية قد تستطيع السير في الفراغ. ومما يذكر ان الموجة الصوتية (Wave) تتميز ببعض الخصائص منها:

أ- السرعة Velocity (C)

وهي المسافة المقطوعة من قبل قمة الطاقة الصوتية بوحدة الزمن. ويذكر ان سرعة كل أشكال الطاقة الصوتية تعتبر ثابتة في الفراغ وتعادل 3×10^{10} سم / ثانية (300000 كم / ثانية) وهي نفس السرعة في الهواء ولكنها تقل في الماء ($2,25 \times 10^{10}$ سم / ثانية) وفي الزجاج ($1,98 \times 10^{10}$ سم / ثانية).

ب- طول الموجة Wavelength (λ)

وهي المسافة الفاصلة بين قمتي موجتين سائرتين. ان طول موجات الطاقة الاشعاعية يختلف من الحالة القصيرة جدا (10^{-10} سم) إلى الحادة

الطويلة التي قد تصل إلى عدة كيلومترات.
هذا وإن طول الموجة يحدد الألوان الضوء.

ج- التردد (V) Frequency

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

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

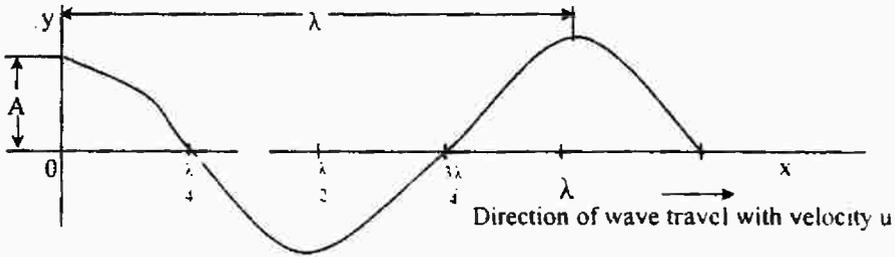
وهو عدد الموجات بالسنتيمتر الواحد ويعتبر مقلوب طول الموجة وبعبارة أخرى أنه تعبير
آخر عن التردد.

هـ- الفترة (τ) Period

وهي مدة الزمن اللازمة لحدوث نبضة واحدة كاملة.

و- المدى (A) Amplitude

وهو أعلى ارتفاع أو انخفاض عن مستوى سير الموجة. هذا وإن للشكل المرقم (٨-١) يوضح
بعض هذه الخصائص المذكورة. كما إن 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 (Wavelength)	cm أو انكستروم أو نانوميتر
٢- عدد الموجات (Wave Number)	cm^{-1}
٣- الفترة (Period)	١ ثانية أو ١ ثانية
٤- للتردد (Frequency)	ثانية أو ثانية أو Hz
٥- السرعة (Velocity)	سم / ثانية أو كم / ثانية
٦- المدى (Amplitude)	سم

كما ان العلاقات الآتية توضح بعض هذه الخصائص:

$$C = \lambda \times V$$

.....(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:

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

.....(٨-٢)

حيث ان σ هو عدد الموجات بوحدة $\frac{1}{\text{سم}}$.

وان λ هو طول موجة الضوء بوحدة سم.

أما الفترة فتعادل الآتي:

.....(٨-٣)

$$T = \frac{1}{\nu} \quad \dots\dots(3-8)$$

حيث ان T هي الفترة بالثانية

وان ν هو التردد بوحدة

$\frac{1}{\text{الثانية}}$

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

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:

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

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

عن: Anderw, 1970

Radiation	Wavelength ht			$\nu=c/T_1$ sec	Ergs particle ⁻¹	E=hv Electric accelera tion units	Kcal mole ⁻¹
	cm	μ	cm^{-1}				
Radio	10^4		10^4	3.3×10^6	2×10^{-20}		
Microwave	1	10^4	1	3.3×10^{10}	2×10^{-18}		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		1.25×10^4	4.2×10^{14}	2×10^{-12}	1.54 ev	35.7
	8000		10^4				
visible violet	0.4		2.5×10^4	8.3×10^{14}	5×10^{-12}	3.08 ev	71.5
Ultraviolet	4000						
	10^{-5}	10^{-1}	10^5	3.3×10^{15}	2×10^{-11}	12.4ev	286
	10^3						
	10^{-6}	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}	10^7	3.3×10^{17}	2×10^{-9}	1.24 ev	2.86×10^4
	10						
x- rays	10^{-8}	10^{-4}	10^8	3.3×10^{18}	2×10^{-8}	12.4 kev	2.86×10^5
	1						
Y rays	10^{-9}		10^9	3.3×10^{19}	2×10^{-7}	124 kev	2.86×10^6
	10^{-1}						
	10^{-10}		10^{10}	3.3×10^{20}	2×10^{-6}	1.24 Mev	2.86×10^7
	10^{-2}						
	10^{-11}		10^{11}	3.3×10^{21}	2×10^{-5}	12.4 Mev	2.86×10^8
Cosmic rays	10^{-3}						
	10^{-12}		10^{12}	3.3×10^{22}	2×10^{-4}	1.24 Mev	2.86×10^9
	10^{-4}						
	10^{13}		10^{13}	3.3×10^{23}	2×10^{-3}	1.24 Gev	2.86×10^{10}
	10^{-5}						

حيث ان n هو معامل الانكسار Refractive Index.

وقد افترض ان n للفراغ تعادل الواحد.

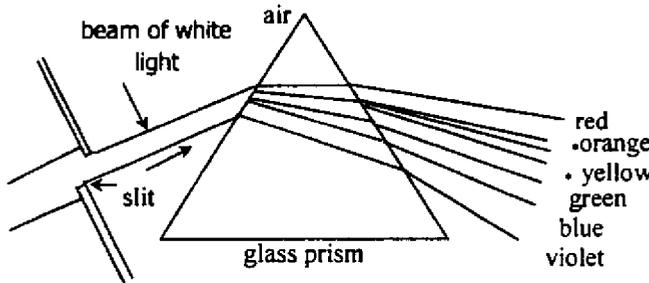
بينما n للهواء تعادل 1.003.

وان n للماء تعادل 1.330.

وان n للزيت العذسات Oil Immersion تعادل 1.515.

وان n للزجاج تعادل 1.600.

ومما يذكر انه بسبب انكسار الضوء بين الهواء وسطح الزجاج بيبت 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 تتفصل هذه الموجات المختلفة عندما يمر الضوء الابيض خلال منشور زجاجي (شكل رقم ٢-٨).



شكل رقم (٢-٨): 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 تصطم الموجات بعضها مع البعض بهينة تؤدي إلى تقوية بعضها البعض وتسمى هذه الحالة (**Constructive Interference**) او تبيد بعضها البعض الاخر وتسمى هذه الحالة باسم (**Destructive Interference**).

ط- الاستقطاب Polarization

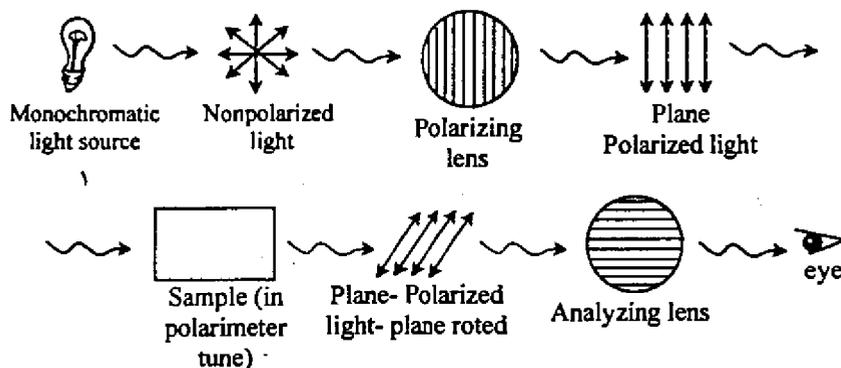
المحالات الضوئية تتذبذب عادة بمستويات عديدة موازية لاتجاه انتشار الضوء. وعندما يستقطب الضوء فان الطاقة الضوئية تتذبذب بمستوى واحد عادة ويستقطب الضوء عادة عندما يمر خلال عدة مواد او اثناء انعكاس الضوء.

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 البصري (**Optical Rotation**) وان مثل هذه المواد تحتوي على ما لا يقل عن ذرة كاربون واحدة تميز بانها **Asymmetric Carbon Atom** (الذرة التي ترتبط بها اربع 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 بألة مقياس الاستقطاب (**Polarimeter**) (شكل رقم ٣-٨) والتي تتكون من عدسة الاستقطاب (**Polarizing Lens**) وعدسة التحليل



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

(**Analyzing Lens**). وعند غياب المركب الفعال بصرياً (**Compound Optically Active**) فان العدسة المحللة يمكن ضبطها حتى يمكن رؤية الضوء باقل شدة ممكنة وذلك بإدارة العدسة المحللة حتى يكون مستوى اختراق الضوء عمودياً 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) كالاتي:

$$(\alpha)T_1 = \frac{A^\circ}{l \times c} \quad \dots\dots(5-8)$$

حيث ان α هو الدوران النوعي بدرجة لزووية.
وان A° هو الدوران الملحوظ (Observed Rotation) بدرجة لزووية للمقاسة.
وان l هو طول ممر الضوء في المحلول بالديسمتر.
وان c هو تركيز المحلول بالقرام/سم³.
وان T هي درجة حرارة المحلول وعادة 20-25°م.
وان λ هو طول موجة الضوء المستقطب وبصورة عامة 5893 انكستروم من الخطط للصوديوم.

لما الدوران الجزيئي (Molar Rotation).

فيقال كالاتي:

$$M = \alpha \times MW \quad \dots\dots(6-8)$$

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

ومما يذكر انه إذا كان تدوير العدسة المحللة باتجاه عقارب الساعة فتدعى المادة باسم dextrorotatory (+ dor) لما إذا كان تدوير العدسة المحللة يعكس اتجاه عقارب الساعة فتسمى المادة levorotatory (- or 1).

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

مثال (1-8)

محلول الـ L-Leucine بتركيز (0.06 غم/سم³) ذي دوران ملحوظ مقدارهِ (+1.18° درجة) وضع في قنوية مقياس الاستقطاب Polarimeter بطول 20 سم. لحسب:

أ- الدوران النوعي.

ب- الدوران الجزيئي (M).

الحل

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

$$1.18^\circ + \quad = A \quad \text{حيث لن}$$

$$.2 \text{ dm} = \frac{20}{10} = 1 \quad \text{ولن}$$

$$0.06 = c \quad \text{ولن} \quad \text{غم/سم}^2$$

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

ب- اما الدوران الجزيئي

$$M = \alpha \times MW$$

حيث لن

$$15.1^\circ = \alpha$$

$$131.2 = MW \quad \text{ولن}$$

$$M = 15.1 \times 131.2 = +1980^\circ$$

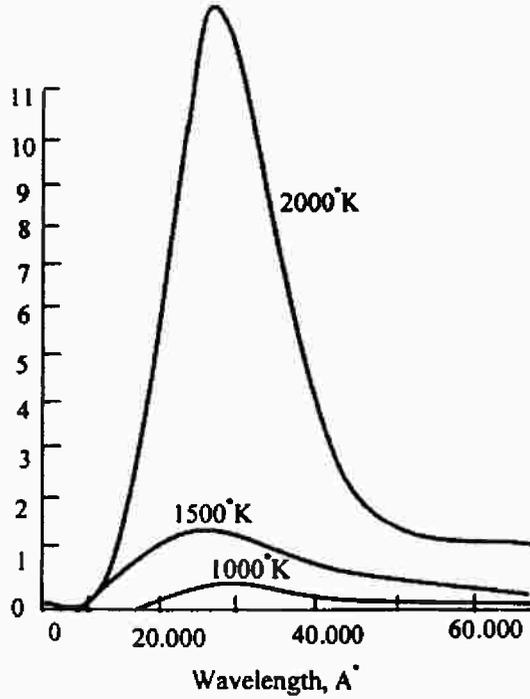
للخصائص المادية (الدقائقية) للطاقة الضوئية

articulate Properties of Radiant Energy

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

لذلك اخلت فكرة كون الضوء ينبعث بوحدات محددة دعيت كوانتوم (Quantum) لو فوتون (Photon).

ان الخصائص الدقائقية للضوء توضحها المعادلات الآتية:



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

$$E = h \times \nu$$

$$\dots(\nu-\lambda)$$

حيث أن E هي الطاقة الضوئية للـ Quantum.

بوحدته .erg

وإن ν هو التردد بوحدته $\frac{1}{\text{Sec}}$.

وإن h ثابت Planck الذي يعادل $(\text{erg. Sec } 6.624 \times 10^{-27})$ و $(\text{cal. Sec } 1.58 \times 10^{-34})$.

أما سرعة الضوء (C) فنقدر من المعادلة (١-٨) وهي:

$$C = \nu \lambda$$

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

وقد افترض **Planck** ان شدة الاشعاع تتعلق بكل من طول الموجه الصوتيه ودرجه الحرارة كالاتي:

$$I_{\lambda} = \frac{2 \pi C^2 h}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda T} - 1)} \quad \dots (8-8)$$

وعند الاستعاضة بالمعادلة (8-1) تصبح المعادلة (8-8) كالاتي:

$$I_{\lambda} = \frac{2 \pi C^2 h}{\lambda^5 (e^{hv/KT} - 1)} \quad \dots (9-8)$$

حيث ان I_{λ} هي شدة الاشعاع.

وان C هي سرعة للضوء.

وان K هو ثابت **Boltzmann** أو **Gas Constant (R)** 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 موجه الضوء.

وان ν هو التردد.

وبعد ذلك افترح اثنانين بان الطاقة تحدث في وحدات دعاها الكوانتم (**Quantum**).

واقترح المعادلة الآتية:

$$\frac{1}{2} mC^2 = h\nu - W \quad \dots (10-8)$$

حيث ان $1/2$ هي كمية ثابتة.

وان m هي الكتلة.

وان C هي سرعة للضوء.

وان h هو ثابت **Planck**.

وان ν هو تردد الضوء.

وان W هو الشغل المنجز .

ثم اطلق اسم الفوتون **Photon** على الحزمة الضوئية المحددة ومما يذكر ان الكوانتم **Quantum** والفوتون **Photon** هما مصطلحان لمعنى واحد وهو ان الطاقة الضوئية ذات طبيعة دافقية. هذا ويعتقد انشتاين في نظريته النسبية بوجود علاقة بين الكتلة والطاقة كالاتي:

$$E = m C^2 \quad \dots(11-8)$$

حيث ان E هي طاقة الجزيئة.

وان m هي الكتلة.

وان C هي سرعة الضوء.

ويمكن ربط المعادلة (8-11) مع المعادلة (8-11) كالاتي:

$$m C^2 = h\nu \quad \dots(12-8)$$

ثم افترض انشتاين بأن كل **Quantum** من الطاقة الضوئية المتممة تنشط جزيئة واحدة عندما تمتص هذه الطاقة الضوئية ولكي ينشط مول واحد من المادة يجب توفر عدد من الـ **Quanta** بقدر عدد افكارو. أي أن:

$$E_e = Nh\nu = Nh \frac{C}{\lambda} \quad \dots(13-8)$$

حيث ان E_e هي طاقة الـ **Quantum** للمول الواحد. وان N هو عدد الـ **Quanta** المعادل لعدد افكارو أي ($6.2 \times 10^{23} \text{ atom / mole}$) ويسمى هذا العدد بالـ **Enstein** أو **mole of Quanta**.

مثال (8-2)

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

الحل

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

$$6.02 \times 10^{23} \text{ Photon / Einstein} = N$$

$$1.58 \times 10^{-34} \text{ cal. sec} = h$$

$$3 \times 10^{10} \text{ cm / sec} = C$$

$$6.6 \times 10^{-5} \text{ cm} = \lambda$$

وبالتعويض يحدث:

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

$$E_e = 43200 \text{ cal / Einstein}$$

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

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

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 كيميائي ضوئي ويعادل الآتي:

$$\phi = \frac{M}{Q} \dots (٨-١٥)$$

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 **(Light Intensity) Radiant Flux**.

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 تخرق الجسم او تنعكس منه فقد وجد ما يأتي:

$$T = \frac{I}{I_0} \dots (٨-١٦)$$

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

وان **I** هو شدة الضوء المخترق.

وان **I₀** هو شدة الضوء الساقط الأصلي ويمكن استعمال النسبة المئوية كالاتي:

$$....(١٧-٨) T = \frac{I}{I_0} \times 100$$

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

ويطلق عليه سابقا بالكثافة الضوئية او البصرية **(O.D.) Optical Density** والذي

يعادل لو غاريتم مقلوب الاختراق **(T)**.

فقد وجد ان:

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

وعند التعويض بالمعادلة (١٦-٨) يحدث الآتي:

$$A = - \log \frac{I}{I_0} \quad \dots(١٩-٨)$$

وتحور المعادلة (١٩-٨) الى ماياتي:

$$A = \log \frac{I_0}{I} \quad \dots(٢٠-٨)$$

هذا وقد وجد ان الامتصاص الضوئي يعتمد على تركيز الصبغة الممتصة الموجودة في

المحلول حسب قانون **Beer** و **Lambert** اللذين دمجا الى ماياتي:

$$A = \log \frac{I_0}{I} = \epsilon \times c \times l \quad \dots(٢١-٨)$$

حيث ϵ هو معامل ثابت ويسمى **Extinction Coefficient**.

وان **I₀** هي شدة الضوء الأصلية الساقطة.

وان **I** هي شدة الضوء المخترقة.

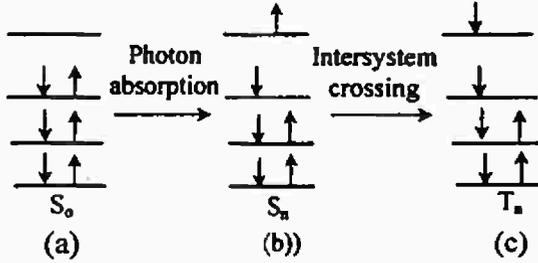
وان **c** هو تركيز المادة الممتصة للضوء.

وان **l** هو طول ممر الضوء.

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

التهييج الضوئي Photoexcitation

عندما تمتص جزيئة ما فوتوناً واحداً من الضوء فإن تلك الجزيئة ترتفع إلى مستوى الكتروني جديد ذي طاقة أكثر 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 ٨-٥-٨) ويقال لهذه الحالة بالحالة الاصلية او البدائية (**So**) **Single State**. ولكن بعد امتصاص للطاقة الضوئية فان أحد الالكترونات يصبح في مستوى اعلى من الطاقة



شكل رقم (٨-٥): هييج الالكترونات بالضوء.

(a) الالكترونات بحالة مزدوجة لي حالة (S_0).

(b) حالة **Single State** (S_n) مع الالكترون واحد بهيج.

(c) حالة **Triplet State** (T_n) بعد تغير الحال غير الضوئي.

من: Andrews, 1970.

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

والخلاصة ان للزخم 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 لـ **Triplet State** للنشطة قد تتغير إلى الحالات الأخرى بعدة عمليات منها:

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

لتحلل.

- ٢- جزيئة قد تتحول إلى حالة أخرى دون حدوث الإشعاع.
- ٣- طاقة الجزيئة قد تتحرك إلى جزيئة أخرى أثناء اصطدام الجزيئات.
- ٤- الجزيئة قد تتبادل الطاقة مع جزيئة أخرى بسبب التفاعل معها.
- ٥- الجزيئة لو الذرة في الحالة النشطة قد تفقد طاقة التنشيط بثلاثة طرق هي:

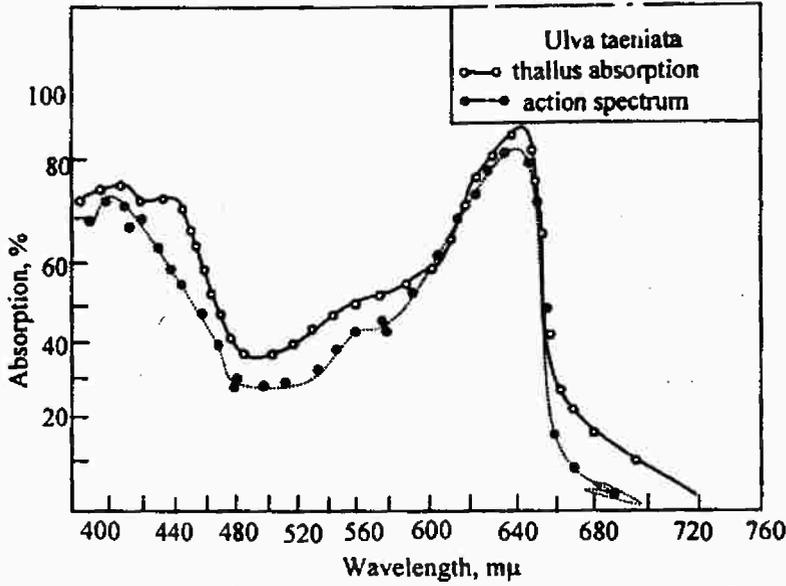
أ- قد تفقد الطاقة مباشرة بشكل الحرارة. أي تتحول إلى طاقة انتقالية أو تذبذبية أو دورانية.

ب- قد يفقد قسم من الطاقة بشكل حرارة. لما بقية الطاقة فتبعث بشكل ضوء مرئي بموجة أطول عادة (فوتون بطاقة أقل) من طول الموجة الممتصة. وإذا حدث هذا الانبعاث ضمن مدة 10^{-10} - 10^{-9} ثانية بعد امتصاص الضوء أو لفوتون الأصلي سميت هذه الحالة باسم **Flourescence**. أما إذا كان الانبعاث يحدث ضمن مدة أطول (10^{-4} - 10^{-1} ثانية) فيسمى باسم **Phosphorescence**.

ج- الطاقة قد تستخدم في حدوث تفاعل كيميائي ضوئي كما في التركيب الضوئي.

Photosensitization الإحساس الضوئي

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

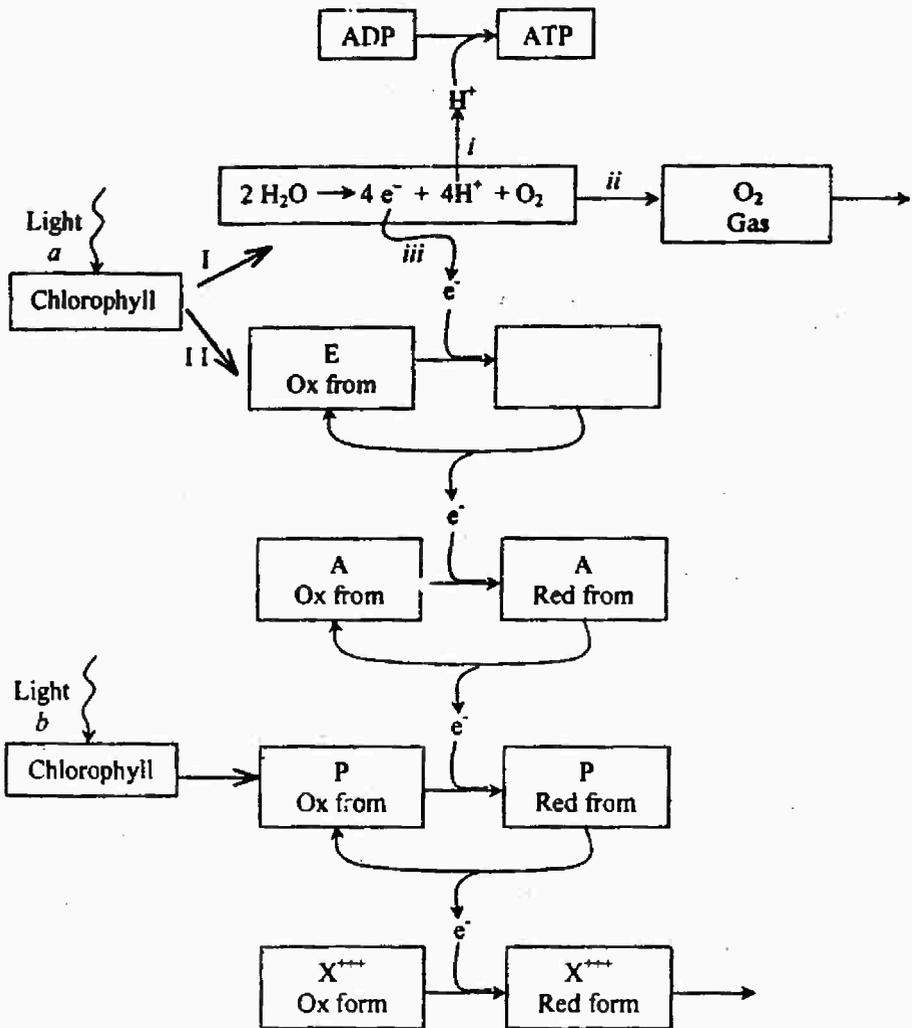


شكل رقم (٧-٨): طيف الامصاص الضوئي من قبل كلوروفيل أ (a). وطيف فعالية التركيب الضوئي. عن: Bidwell, 1974

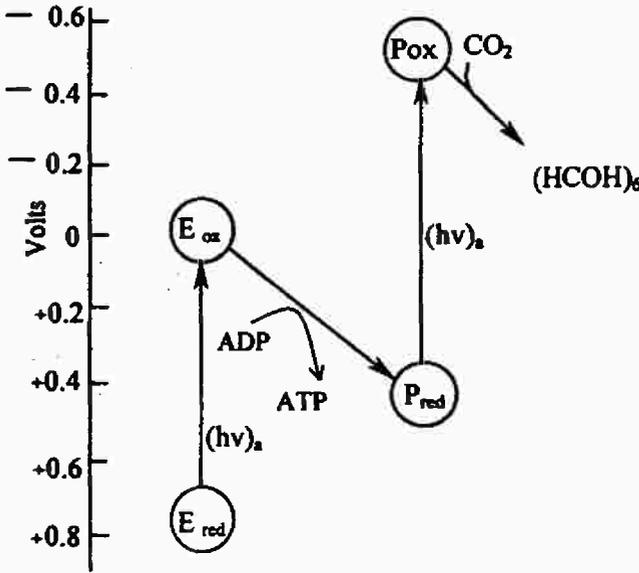
انتقال الطاقة Energy Transfer

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

ففي الخطوة الاولى من الاشعاع يحدث ازدياد في الطاقة الحرة (Free Energy) من قيمة E_0 المعادلة (+ 0.8 volt) إلى مستوى الطاقة الحرة المقاربة صفرا $E_0 = 0$. 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 $E_0 = -0.6 \text{ volt}$ مسببة تكوين الطاقة ولختزال CO_2 إلى الكاربوهيدرات.



شكل رقم (A-8): سلسلة الضاعلات الحادثة في الكلوروفيل أثناء تفاعلات الضوء. عن: Andrews, 1970.



شكل رقم (٨-٩): الصغرات في الطاقة الاحتزالية أثناء 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:

$$Q = eST^4 \quad \dots\dots(٢٢-٨)$$

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 - Boltzman 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 القوة الرابعة تعني ان الطاقة المنبعثة من الاجسام في هذا المدى الضيق تختلف بكثرة كما في الجدول المرقم (٣-٨).

جدول رقم (٣-٨): الاشعاع المنبعث من سطح الجسم الاسود في درجات الحرارة 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 الصافي Net Radiation

وهو الفرق بين الاشعاع الممتص من قبل الجسم والاشعاع المنبعث منه. فالورقة النباتية مثلا تبعث الضوء حسب قانون Stefan - Boltzman. وعند درجات الحرارة الاعتيادية في الظل فان اكثرية الاشعاع يكون بشكل Far - Infrared من الطيف الضوئي مسيياً تبريد الورقة. ولكن عند تعريض الورقة إلى ضوء الشمس فانها تمتص قسماً (حسب معامل الامتصاص) من الطاقة الضوئية المسببة لرفع درجة حرارة الورقة. ان ازدياد او انخفاض درجة حرارة الورقة يعتمد على امتصاص او فقدان الورقة للطاقة الضوئية وعلى عوامل اخرى (كالنتج) التي قد تضيق او تزيل الحرارة من الورقة.

قانون Wien

لا تعتمد فقط كمية الطاقة الضوئية المنبعثة من الجسم على درجة الحرارة ولكن نوعية

الضوء تتأثر أيضا بدرجة الحرارة. فعند ازدياد درجة الحرارة فإن نزوة طول الموجة الضوئية المتبعثة تتحول نحو للموجات الضوئية القصيرة. وقد وجد **Wien** ما يأتي:

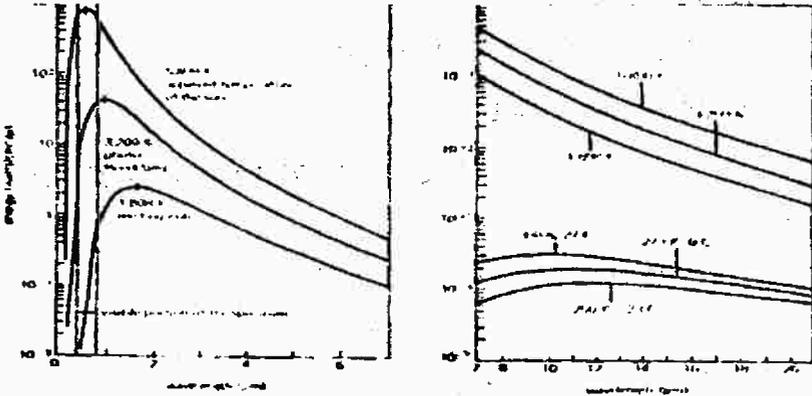
$$\lambda_{\max} = \frac{2.9 \times 10^7}{T} \quad \dots (23-8)$$

حيث ان λ_{\max} هو طول الموجة الضوئية الأعلى المنبعث بالانكسروم. وان T هي درجة الحرارة المطلقة.

وان 2.9×10^7 هي كمية ثابتة تسمى ثابت **Wein**. ويمكن تحويل المعادلة (23-8) إلى ما يأتي:

$$W = \lambda_{\max} \times T \quad \dots (24-8)$$

حيث ان W هو ثابت **Wein** لتحويل الانبعاث. هذا وان الشكل المرقم (10-8) يوضح قانون **Wein**.



شكل رقم (10-8): عند انخفاض درجة الحرارة يزداد طول الموجة الضوئية المنبعثة. عن: Satisfy and Ross, 1978

مثال (2-8)

وضح الخصائص الموجية والدقاتية للأشعاع الأزرق ($\lambda = 4000 \text{ \AA}$).

الحل

1- الخصائص الموجية **Wave Properties**.

.Wave Properties

$$0.4 \times 10^{-4} \text{ cm} = 4000 \text{ \AA}$$

$$- \lambda - \text{أ}$$

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

$$-V - \text{ب}$$

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

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

٢- الخصائص الدقائفة

. Pariculate Properties

$$E = hV$$

$$E = (6.62 \times 10^{-27}) (7.5 \times 10^{14})$$

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

اما طاقة المول الواحد من اللون الازرق فتعادل الآتي:

$$E_e = NhV$$

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

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

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

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

$$E_e = 72 \text{ K cal / mole}$$

مثال (٨-٣)

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

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

الحل

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

اما العدد الموجي:

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

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

مثال (٤-٨)

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

الحل

$$E = hV$$

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

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

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

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

Joul)

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

مثال (٥-٨)

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

الحل

$$E = m C^2$$

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

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

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

مثال (٦-٨)

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

nm 400 – a

nm 600 –b

nm 1000 –c

الحل: باستعمال المعادلة

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

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

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

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

الأسئلة

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

(٢-٨) محلول من الـ **L-Arabinose** يمتلك دوراناً ملحوظاً يقدر $(+ 23.7^\circ)$ وضع في أنبوبة **Polarimeter** ذات طول 10 سم بدرجة حرارة 25°C . احسب تركيز السكر علماً بأن الدوران الجزيئي للسكر يعادل $(+ 15550^\circ)$.

(٣-٨) محلول من الـ **D - Histidine** (تركيز $4 \text{ g} / 100 \text{ ml}$ of 1M HCl) يمتلك دوراناً ملحوظاً يقدر بـ $(- 0.41^\circ)$ وموضوع في أنبوبة **Polarimeter** ذات طول 20 سم بدرجة حرارة 25°C . احسب:
أ- الدوران النوعي.
ب- الدوران الجزيئي للمحلول.

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

(٥-٨) مزيج متوازن من **$\beta - \text{D} - \text{Glucose}$** , **$\alpha - \text{D} - \text{Glucose}$** يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ $(+ 52.7^\circ)$. ان **$\alpha - \text{D} - \text{Glucose}$** النقي يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ $+ 112^\circ$ بينما **$\beta - \text{D} - \text{Glucose}$** النقي يمتلك دوراناً نوعياً يقدر بـ $+ 18.7^\circ$ احسب نسب تركيز شكلي α و β من الكلوكور في المزيج بدرجة حرارة 25°C .

(٦-٨) مزيج متوازن من **$\beta - \text{D} - \text{Glucose}$** , **$\alpha - \text{D} - \text{Glucose}$** 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°). لحسب نسب تركيز شكلي لـ α ولـ β من السكر.

(٧-٨) 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 المرئى من الضوء.

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

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

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

(١٢-٨) 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.

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

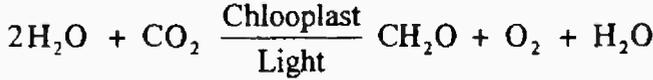
(١٤-٨) حلقة مركب الـ **Adenine** الداخلة في الحامض للنوي **DNA** تستطيع التذبذب عندما تمتص الضوء تحت المرئي بالعدد الموجي 950 cm^{-1} . احسب الزيادة في الطاقة بالسرعات للمول الواحد من الـ **Adenine** عندما تمتص 6.02×10^{23} فوتون ضوئي.

(١٥-٨) ان الجزء السكري للـ **DNA** يمتص الضوء تحت الاحمر بشدة بعدد موجي 3300 cm^{-1} احسب طول الموجة بالسنتيمترات والميكرونات والانكسندومات

لهذا الضوء الممتص.

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

(١٧-٨) من معادلة التركيب الضوئي العامة



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