

الباب الأول

مدى أهمية الكيمياء الضوئية

الكيمياء الضوئية تعتبر إحدى الطرق للتفاعلات الكيميائية، والتي تعتمد في إنشائها على الجزيئات المثارة إلكترونياً. وهذه الجزيئات المثارة قد تنتج بواسطة امتصاصها لأشعة مناسبة في طيف الأشعة فوق البنفسجية القريبة والمنطقة المرئية. وتعتبر الكيمياء الضوئية هي البنية الأساسية لهذا العالم الذي يعيش فيه، فالشمس مركز لهذا الفضاء، فالأصل في الحياة نفسها الكيمياء الضوئية هي الأم لهذه الحياة. والأصل للأشعة في ظروف هذا الكون الشمس هي المصدر الوحيد للطاقة. فمثلاً غاز الميثان والأمونيا وثاني أكسيد الكربون كأبسط الغازات تتفاعل ضوئياً لتحضير متراكبات عضوية مثل البروتينات وأيضاً الأحماض النيوكليوية وخلال تلك الأعوام، أصبحت الطبيعة ملازمة ميكانيكية للنتج من تلك الطاقة الضوئية الشمسية لكل ظواهر البيولوجيا الضوئية.

أشياء أخرى وثيقة الصلة بالكيمياء الضوئية أيضاً تقع في تطبيقاته المختلفة في العلوم والتكنولوجيا. تخليقات الكيمياء العضوية الضوئية ما هي إلا طرق للصناعة لعديد من الكيماويات حيث تلك التفاعلات لتلك التحضيرات لا تحدث بواسطة التفاعلات الكيميائية في الظلام علاوة على ذلك كتابة عالية واختباريه لتلك الطرق يمكن أن تضيف أفضلية. بعض من تلك الأمثلة صناعياً قابلة للتطبيق لتحضيرها ضوئياً قد يمكن ذكرها هنا:

- 1- تحضير فيتامين D_2 من إرجو سترول المعزول من عدة خمائر.
- 2- تحضير كوبون السام (Cowbone)- الذي يتخذ كعامل مضاد حيوي للفيروسات.
- 3- التحضير الصناعي لأحادي الجزئ للنايلون -6.
- 4- التحضيرات الصناعية للمنظفات، المبيدات الحشرية، المركبات الحلقية الهالوجينية.
- 5- تحضير مضادات الأكسدة بواسطة السلفنة الضوئية.

الضوء أيضاً يعتبر بادئ لعملية البلمرة الضوئية وقد يمكن استخدامها في التصوير الضوئي الطباعة بالأوفست، الدوائر الطبعة الصناعية للصناعة الإلكترونية. التأثير المؤذي لضوء الشمس على لون القطن كتجربة يومية، والمعاناة الأسوأ لسنارة الشباك. فالضوء الممتص كل يوم بواسطة القماش تبدأ بالأكسدة والتفاعل المستمر في سليلوز القماش، مما يؤدي إلى سهولة الكسر في المركبات العضوية، وكذلك أيضاً فعل عدم البلمرة الملاحظة في مادة البلاستيك، ومما تقدم فكان الشغل الشاغل للباحثين والمعامل البحثية في التوصل إلى ألوان لها صفة الثبات إلى حد ما عند إضافة مادة أخرى

إلى الصبغة أو البلاستيك مما يجعلها تأخذ طاقة إثارة أعلى وتحول هذا إلى عدم التحطيم أو تغييرها مثل هذه الطرق المستخدمة قد تعرف بالمثبتات الضوئية. مثل ذلك المركبات أورثور هيدروكسي بنزوفينول.

الظاهرة الفيزيائية الضوئية للفورسنس والفسفورسنس لها تطبيقات مختلفة في أنابيب الضوء الفلورسنسية، أشعة أكس (X-ray) وشاشة المرئيات والمزولة الضوئية للساعات البراقة، ألوان الدهان في الإعلانات عن السلع (لوحة إعلان) حيث تؤدي مثل هذه الإعلانات إلى تجميل العينة ورفع القيمة، للتبنيه عن الإشارات المعينة في الطريق أو استخدامها لبعض الإشارات الجوية لكشف الطقطة في أشغال المعادن، الإحساس لسير النيل خلال الأودية والكهوف، أو الكواشف المستخدمة في التحليلات الدقيقة.

بعض من الكيماويات يتغير لونها، لهذا فلها صفة الامتصاص عند تعرضها لأشعة مناسبة، والعكس عن إزالة المتبع الإشعاعي مثل تلك الظاهرة تعرف بالمواد أحادية الضوء. هذا النوع مثلا مركب إسبيروبيران (spiroopyrans). وهذا كثيرا ما يستخدم في الزجاجات الشمسية الوحيدة الضوء الواضحة، وقد وجد لها تطبيقات في تخزين المعلومات لأفلام التسجيل والمحو أو الإزالة الذاتية في كومبيوتر اللمس أيضا، كما أن التجارب الكلية على مثل لأحادية الضوء المستخدمة (للأشعة فوق البنفسجية) لكتابة المعلومات والضوء الخضر للقراءة، والضوء الأزرق للإزالة، كما أن تلك المواد العضوية لسوء الحظ عادة تفنقر الثباتية لعدد كبير للانعكاسات الضوئية أو مؤثرات أخرى خارجية. وهناك تطبيقات أخرى ذات أهمية عالية في دنيا الضوئيات وهي أشعة تكنولوجيا الليزر، التي أصبحت تأخذ مجالات عديدة في الطب والصناعة لجميع التخصصات.

فمنذ اكتشاف هذا الضوء في عام 1960 وله مجال تطبيقي واسع ومن المعلوم أن أشعة الليزر عبارة عن منبع له كثافة شديدة وحيدة الضوء مترابط monochromatic، كما أن له مجال قوى لدراسة ظواهر متنوعة ما بين زلازل الأجرام إلى العمليات الحسابية الدقيقة التي تصل في بعض الأحيان 10^{-13} للتلاشي التدريجي للإشعاع المنعدم للطاقة المثارة في الجزيئات وشدة الضوء وكثافته الإشعاعية الملاصقة المزدوجة التركيز للنقطة المتناهية في الصفر قد تستخدم للجراحات الدقيقة، أيضا قطع المعادن، عمل ثقب في الماس، وكثير من تلك الاستخدامات والتطبيقات اليومية. وأيضا تعتبر مهمة في التكنولوجيا والعلوم.

قواتين الكيمياء الضوئية:

تغيرات الكيمياء الضوئية مثل التلاشي الضوئي للون المراد، التمثيل الضوئي للنبات تغير لون الفضة بفعل الأكسيد (الأسود) أو كلوريد المعدن ذاته إلى آخره قد لوحظ ودرس بطريقة كيفية. والتقارب المقدر للكيمياء الضوئية قد بدأت بواسطة جروتثاس وبراير Grotthus & Draper في مستهل القرن التاسع عشر، حيث تم تحقيق أن كل شدة الضوء ليست مؤثرة في مواكبة حول التغير الكيميائي، والقانون الأول للكيمياء الضوئية والذي يعرف الآن بقانون جروتثاس والذي " يتضمن الضوء الممتص بواسطة النظام الذي يؤدي إلى تغير كيميائي " أو الضوء الممتص بواسطة النظام يمكن أن يؤثر في إيجاد تفاعل كيميائي ضوئي " وكمثال الأسيتالدهيد يمكن أن يشع بواسطة ضوء عند 366 nm ولا يوجد تفاعل عند تلك النقطة، حيث أن الأسيتالدهيد لا يمتص إشعاع إلا عند طول موجي 340 nm.

وينص معدل الامتصاص على أن الجزء الممتص للإشعاع بواسطة وسط شفاف لا يعتمد على شدة أو كثافة قوة الإشعاع كما أن كل مستوى سطح متعاقب للوسط يمتص كمية إشعاع متساوية " وهو ما يسمى بقانون لامبرت-بير، وأيضا ينص على أن كمية الإشعاع الممتصة تتناسب لعدد الجزيئات الممتصة للإشعاع.

٢- تركيز الامتصاص وبالتالي يمكن دمج القانونين السابقين كما يلي:

$$d I/I = \alpha_v C d \ell \quad (1)$$

حيث (α_v) ثابت التناسب واما الكميات $c d \ell$ مقياس لكمية المادة لكل وحدة مساحة السطح $d \ell$ كثافة السطح لذلك:

$$C = \frac{\text{mole}}{\text{volume}} = \frac{\text{mole}}{\text{area} \times \text{thickness}}$$

$$C d \ell = \frac{\text{mole}}{\text{area}}$$

وبتكامل المعادلة (١) متخذاً الظروف المحيطة سوف نحصل على $I = I_0$ فعندما $I = 0$ وعند $I = I_0$ نجد أن:

$$\ln \frac{I_0}{I} = \alpha_v C \ell \quad (2)$$

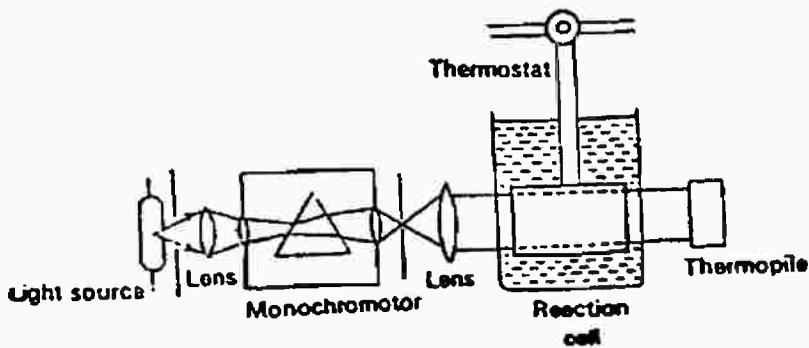
α_v معامل الامتصاص - دالة التردد - طول موجة الإشعاع والتعبير النهائي هو:

$$\log \frac{I_0}{I} = \epsilon_v C \ell \quad (3)$$

حيث $\epsilon_v = \alpha_v / 2.305$. وهو ما يعرف بمعامل الإطفاء المولارى وهو دالة أيضا للتردد كما ذكر سابقا.

٢- التركيز مول/ لتر -I سمك الخلية سم والوحدات القياسية العالمية للقيم ϵ , I , C هي $m^2 \text{ mol}^{-1} \text{ nm, mol dm}^2$ على الترتيب ، وأما (I, I_0) شدة الضوء الساقط على الخلية وكمية الضوء النافذ من الخلية على التوالي كما فى الشكل (١) ، وكمية المقدار $\log I_0/I$ تعرف عموما بشدة الضوء (OD) أو كثافته أو الممتص (A) ويرسم العلاقة ϵ_v معامل طول الموجة أو العدد الموجى تعطى مستويات الامتصاص العائلية، إذا:

$$I = I_0 e^{-\epsilon_v C l} \quad (4)$$



شكل (١) التوزيع الضوئى لتفاعل الكيمياء الضوئية بواسطة مجمع حاجز الإشعاع ذات مساحة مقطع عرضى A. LS- يتبع ضوء L- عدسة F- مرشح S- حجاب واق لخط البصر، C- خلية التفاعل -I طول خط الضوء I_0 - شدة الضوء الساقط -I الضوء النافذ.

وكمية الضوء الممتص I_a بواسطة النظام هي:

$$\begin{aligned} I_a &= I_0 - I = I_0 - I_0 e^{-\epsilon_v C l} \\ &= I_0 (1 - e^{-\epsilon_v C l}) \end{aligned} \quad (5)$$

بالنسبة لأكثر من مركب، فإن شدة الضوء هي $\sum \epsilon_{v_i} C_i l$ لكل خلية مستقلة حيث المقدار ϵ_{v_i} - الامتصاص المولارى عند تردد v_i لكل مركب له تركيز C_i ويفرض طول المسار (للخلية) مساويا للوحدة إذا قياس شدة الضوء يعتبر مساويا لكل الخلايا المترابطة: شدة الضوء = $(\text{شدة الضوء})_1 + (\text{شدة الضوء})_2 + (\text{شدة الضوء})_3 + \dots$

والقانون الثانى فى الكيمياء الضوئية أول من تعرض له (استارك) 1908 وأخيراً اينشتاين (Stark - Einstein 1908-1912) الذى ينص على " امتصاص وحدة كم واحدة لكل جزئ ماص سيؤدى لاختفاء مادة تفاعل". وقد تم إجراء تجارب بواسطة واربورج وبود نشتاين (1912-1925) - حيث وضحا ما قد سبق من فهم الفوتون الممتص والتغير الكيمياءى الملحوظ حيث أن الجزيئات الماصة للفوتونات ستصبح فيزيائياً مثارة، كما انها تميز عن النشاط الكيمياءى، فربما الجزيئات المثارة تفقد طاقتها بطرق غير كيمياءية أو ربما تحدث إطلاق التفاعلات الناتج كيمياءى كبير. كما يمكن التعبير عن الكفاءة للتفاعلات الكيمياءية، كمية كفاءة الكم (ϕ) سنعين بواسطة العلاقة الآتية:

$$(7) \phi = \frac{\text{عدد الجزيئات المتفاعلات المختفية أو المواد الناتجة لكل وحدة زمن}}{\text{عدد الكم الممتص لكل وحدة زمن}}$$

وعملية تصدر الكم أو كفاءة الكم قد أدخلت بواسطة اينشتاين لأن عملية التردد للفوتونات وناتج الكم الملحوظ يتغير من مليون لأقل جزئية صغيرة جداً للوحدة. فعندما شدة ضوء لمنبع عال الكثافة مثل اللببات الوميضية أو الليزر المستخدمة (كثنائية الفوتونية) ستحدث تأثير كيمياءى التى تحسن قانون أينشتاين التطبيقى. الجزيئات فى بعض الأحيان تمتص فوتونين معاً فى وقت واحد عند شدة كثافة عالية. التأثير الفوتونى المشترك الإضافى الذى له الطول الموجى الأطول الممتص فى مرحلة شبه مستقرة (metastable) سيعطى (شقوق حرة أو حالات ثلاثية) لأيونات هذا بالنسبة لفعل أول فوتون. وخصوصية نواتج الفوتون وناتج الكم هنا تعتمد على شدة الضوء. وتصور ناتج الكم يمكن أن يمتد لأى عمل إما فيزيائى أو كيمياءى يتبعه امتصاص ضوء. وناتج الكم هو:

$$(8) \phi = \frac{\text{عدد الجزيئات الواقعة تحت العمليات لتحدث تفاعلات}}{\text{عدد الكميات الممتصة (الفوتونات)}} = \frac{\text{معدل العمليات}}{\text{معدل الامتصاص}}$$

التحليل الطيفى والكيمياء الضوئية:

مبدئياً فيما مضى العمليات الضوئية ما هى إلا عبارة عن امتصاص فوتونات بواسطة الجزيئات مما يؤدى لخلق جزيئات مثارة، وعليه توجد علاقة بين التحليل الضوئى والكيمياء الضوئية. وميكانيكا الكم قد يكون لها دور حيوى فى وصف حالات الطاقة للجزيئات.

ومن المعلوم أن أي تفاعل كيميائي حيث تكون الطاقة المطلوبة في اتجاهين أحدهما طاقة تنشيط E_a ، ثانيها إنتالبي أو حرارة تفاعل ΔH وعملية احتياج طاقة التنشيط الناشئة تتوقف على التجارب، وشحنة السحابة الإلكترونية للمواد المتفاعلة المرافقة التي يمكن أن تؤدي إلى عملية التنافر. كما أن المواد المتفاعلة يجب أن تمتلك كمية من الطاقة كافية (طاقة الانتقاء الكافي) للتغلب على هذا التنافر وهو ما نعبر عنه بحاجز الطاقة أو بالطاقة الانتقالية لتعطي ناتج التفاعل أو ما يسمى (بثمرة التفاعل)، كما أن الحرارة أو الإنثالبي ما هي إلا محصلة التغير في الحرارة المصاحبة لعمليات كسر الروابط للمواد المتفاعلة أو تزاوج للمواد الناتجة (الروابط لنواتج التفاعل). ففي التفاعلات الحرارية أو التفاعلات التي تجرى في الظلام، فطاقة التنشيط قد تعوض كطاقة حرارية، وفي التفاعلات الكيميائية فالطاقة الانتقالية قد تؤدي إلى إثارة إلكترونية وأحد النواتج ربما يوجد في الحالة المثارة.

كما أن طاقة تفكك الروابط لكل مول لمعظم الجزيئات تقع بين 150 ك جول و 600 ك جول والواقع بين 800 نانو ميتر، 200 نانوميتر على الترتيب، الذي يقع في المنطقة المرئية والمنطقة فوق البنفسجية القريبة للطيف الإلكتروني ومغناطيسي كمغير المنطقة للطاقة المطلوبة للإنتقال الإلكتروني لمعظم الذرات والجزيئات. فمثلا الإنتراسين له حزمة ضوء امتصاص عند طول موجي قيمته العظمى 365 نانو ميتر. هذا يعني أن الفوتون عند هذا الطول الموجي الممتص بواسطة تلك الجزيئات لأخذه من حالة المنطقة الأقل الأرضية إلى الحالة المثارة أي من E_1 - أرضية إلى E_2 - مثارة ومن علاقة بوهر لمكافئ الطاقة للفوتون لهذا الطول الموجي يمكن حساب الفرق بين الطاقيتين كما يلي:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

وهنا h - ثابت بلانك ، C - سرعة الضوء λ - الطول الموجي ν - التردد للإشعاع الممتص. وعندما نعبر عن العدد الموجي بمقلوب السم (cm^{-1}) أو الطول الموجي

بالنانوميتر (nm)، أو بالاستبدال بالنسبة لقيم h , C سرعة الضوء نحصل على:

$$E = h\nu = hC \bar{\nu} \quad \& \quad \nu = C \bar{\nu} \quad (10)$$

$$= \frac{hc}{\lambda} \quad \bar{\nu} = \frac{1}{\lambda} \quad (10)$$

$$= \frac{6.626 \times 10^{-27} \text{ erg s} \times 2.998 \times 10^8 \text{ cm s}^{-1}}$$

$$313 \times 10^{-7} \text{ cm}$$

$$= 5.44 \times 10^{-12} \text{ erg photon}^{-1}$$

$$= \frac{8.52 \times 10^{-3} \times 2.3 \times 10^{-4}}{6.346 \times 10^{-19}}$$

$$= \frac{5.23 \times 10^{+19} \times 6.345 \times 10^{-19}}{8.52 \times 10^{-3} \times 2.3 \times 10^4} = 0.17$$

وهذا يعنى أن $\phi = \frac{\text{عدد الجزيئات المتفككة}}{\text{عدد الكم الممتص}}$

الوحدات والأبعاد:

طبقا للمعاهد الحديثة، للكميات المناسبة والمعبر عنها للوحدات فى الأنظمة القياسية. واستبدال نظام السم جرام/ ثانية فى (cgs). فى هذا النظام وحدة الطول (m) والكيلو جرام kg والزمن (s) وكل الوحدات الأخرى قد تشتق من الوحدات الأساسية، كما أن الطاقة الحرارية بالسعر الحرارى قد يستبدل بالكيلو جول أو بارج وثابت بلانك فيه ثابتة وقيمته 6.62×10^{-34} جول ثابتة. وسرعة الضوء 3×10^8 طول الموجة للإشعاع (λ) يعبر عنها بالنانوميتر 10^{-8} متر.

ولهذا فالوحدات القياسية العالمية.

$$E = \frac{6.626 \times 10^{-34} \text{ JS} \times 3.00 \times 10^8 \text{ m s}^{-1}}{365 \times 10^{-9} \text{ m}} = 5.44 \times 10^{-19} \text{ photon}^{-1}$$

هذه الكمية من الطاقة الموجودة فى الفوتون ذو الطول الموجى 365 نانوميتر، وبالتالي فإن عدد أفوجادرو يعرف فى هذه الحالة بالقيمة الذاتية (إنشتاين) وكمية الطاقة

الممتصة لنقل واحد مول من الأنتراسين إلى أول حالة إلكترونية مثارة هي:

$$= 5.44 \times 10^{-19} \times \text{phot}^{-1} \times 6.02 \times 10^{23} \text{ phot. mol}^{-1}$$

$$= 3.27 \times 10^5 \text{ mol}^{-1} = 327 \times \text{kJ mol}^{-1}$$

هذه الكمية من الطاقة قد تحتوى لواحد مول من المادة أو واحد لإينشتاين فوتون

لطول موجى 365 نانوميتر، وقد يعبر عنها بالمقدار نانومتر للطول الموجى ويمكن

حسابها من التعبير:

$$\frac{1.196 \times 10^8}{\lambda} \text{ KJ einstein}^{-1} \quad (12)$$

ومعدل الامتصاص قد يعبر بالإنتشتاين لكل وحدة مساحة لكل ثانية:

$$I_a = \frac{1.196 \times 10^2}{\lambda} \text{ einstein m}^{-2} \text{ s}^{-1} \quad (13)$$

وغالبا طاقة الإشعاع قد يعبر عنها بالكيلو سعر حرارى لكل مول (ك سعر/مول) وعموما (١ سعر حرارى = 4.18 جول) وثابت التناسب (hC) يتضمن فى هذا المكان، كذلك وحدات الإلكترون فولت قد يستخدم كطاقة لواءد أو جزئى حدث أو واقع. الجهد الكيمياءى لواءد فولت وهذا يعنى لواءد إلكترون لكل جزئى، جدول (١).

بعض القيم الطاقة الإشعاعية فى المنطقة المرئية وفوق البنفسجية:

المنطقة	مدى الطول الموجى بالنانومتر	الطول الموجى سم ^{-١}	ك جرام	الطاقة بالمول ^{-١} ك سعر	إلكترون فولت
فوق البنفسجية	٢٠٠	٥٠,٠٠٠	٥٩٨	١٤٢,٩	٦,٢٠
البنفسجية	٤٠٠	٢٥,٠٠٠	٢٩٩	٧١,٤	٣,١٠
الأزرق	٤٥٠	٢٢,٢٢٢	٢٦٦	٦٣,٥	٢,٧٦
الأخضر	٥٠٠	٢٠,٠٠٠	٢٣٩	٥٧,١	٢,٤٨
الأصفر	٥٧٠	١٧,٥٤٤	٢٥٩	٤٩,٩	٢,١٦
البرتقالى	٥٩٠	١٦,٥٤٩	٢٠٣	٤٨,٥	٢,١٠
الأحمر	٦٢٠	١٦,١٢٩	١٥٢	٤٥,٩	٢,٠٠
	٧٥٠	٢٣,٣٣٣	١٥٩	٣٨,٠٠	١,٦

$$\lambda(\text{nm}) = \frac{C}{\nu} = \frac{1}{\bar{\nu}} \text{ cm}^{-1} = 10^{-9} \text{ cm}$$

$$1 \text{ Cal} = 4.186 \text{ J}$$

$$1 \text{ eV} = 1.6 \times 10^{-19}$$

$$1 \text{ cm}^{-1} \text{ mol}^{-1} = 2.859 \text{ Cal mol}^{-1} \\ = 0.0135 \text{ KJ mol}^{-1}$$

$$1 \text{ ev mol}^{-1} = 23.06 \text{ K Cal mol}^{-1} \\ = 96.39 \text{ KJ mol}^{-1}$$

كما أن شدة انسياب منبع الضوء يعرف بالقوة وات لكل وحدة مقطع عرض ($\text{Watt} = \text{Js}^{-1}$) إذا القوة لكل وحدة زمن لكل فوتون له طاقة مصاحبة له. شدة الضوء (I) يعبر عنها بالكم م⁻² ثانية⁻¹. سنحصل على $E = nh\nu C$. كما أن

$$\text{القوة} = \frac{\text{وات}}{\text{م}^2} = \frac{\text{جول}}{\text{م}^2 \text{ ثانية}} \quad \text{أى أن}$$

$$I = \frac{n}{\text{m}^2 \text{ s}} = \frac{E}{h\nu C} = \frac{J}{\text{m}^2 \text{ s}}$$

$$= \frac{\text{Watt}}{hc\nu} = 5.03 \times 10^{24} \times \lambda \text{ (nm)} \times \text{power} \times \text{(watt)}$$

أيضا $I = \frac{\text{einstein}}{\text{m}^2 \text{ s}} = 8.36 \times \lambda(\text{nm}) \times \text{power} \times \text{watt}$

مثال:

أشعة الليزر مكون من هيليوم- أرجون له قوة مقدارها $2 \times 10^{-3} \text{ w}$ عند 632.8 nm تشع كمية كم مقدارها $6.27 \times 10^{15} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$ أو إينشتاين قدره $.66 \times 10^{-8} \text{ s}^{-1} \text{ m}^{-2}$

قلو ان منطقة أو مساحة إناء التفاعل معرضة للأشعة هي (A) إذا معدل الإسقاط ستعين بالشدة (I) مضروبة فى المساحة (A).

الانبعاث الحرارى والتوهج الضوئى:

يمكن للذرات أو الجزيئات أن تمتص كمية من التردد للإشعاع بواسطة التركيب الإلكتروني لها عند ظروف خاصة يمكنها الفقد لتلك الترددات أو الفقد للإشعاعها. وقد يعرف الامتصاص الكامل أو المثالى لوحد سوف يمتص كل الإشعاع الساقط عليه وأيضا يشع مرة أخرى كل تلك الترددات بكفاءة واحد وكأنه مثل المرآة العاكسة. ويعرف هذا الجسم الماص والفاقد بطاقة واحدة بالجسم الأسود. وقد يعرف عن تلك وهي وجود حالة الاتزان الحرارى مع الوسط المحيط به وهذا يعنى أن معدل الامتصاص ومعدل الإشعاع متساويان بقانون (كريتشوف). هذا الاتزان قد يتغير الطاقة من منبع آخر داخله إليه الجزيئات المثارة إلكترونيا بواسطة الضوء ليست فى حالة أتران حرارى مع الجزيئات الأخرى المجاورة.

إذا مجموع الطاقة الكلية E لكل أطوال الموجات الإشعاعية لكل م² ثانية بواسطة الجسم الأسود عند درجة حرارة يكن إيجادها بقانون استيفان-بولتزمان (Stefan-Boltzmann).

$$E = \sigma T^4$$

حيث σ ثابت استيفان وهو يساوى 5.699×10^{-8} جول متر درجة ثانية ومن قانون بلانك للإشعاع الطاقة لكل m² للإشعاع أو شدة الإشعاع α المطوقة الذى لها طول موجى (λ) ما بين $(\lambda + d\lambda)$ هى $(\rho_\lambda d\lambda)$ لتصبح:

$$\rho_\lambda d\lambda = \frac{8\pi hC}{\lambda^5} \frac{d\lambda}{(e^{hc/\lambda KT} - 1)} = \frac{C_1}{\lambda^5} \left(\frac{d\lambda}{e^{C_2/\lambda T} - 1} \right) \quad (15)$$

حيث C_1 تساوى 4.992×10^{-24} جول م⁻¹، $C_2 = 1.439 \times 10^{-2}$ م درجة وثابت بولتزمان 1.38×10^{-28} جزي⁻¹.

والمقابل شدة الإشعاع خلال مدى التردد من $(-v)$ وحتى $(v + dv)$ يكون:

$$\rho_v dv = \frac{8\pi h v^3}{C^3} \frac{dv}{e^{hv/KT} - 1} \quad (16)$$

وبضرب المعادلة (15) بالمقدار $(C/4)$ حيث (C) سرعة الضوء وعملية يمكن

أن تغير المعادلة لشدة الضوء إلى الطاقة الإنسيابية E الطاقة المشعة فى وحدة الجول (J) لكل ثانية لكل وحدة مساحة خلال وحدة طول الموجة المرحلة عند طول موجى λ (كما يمكن التعبير بالنانوميتر) بواسطة الجسم الأسود لمساحة السطح A من هنا:

$$\begin{aligned} \Delta E = E_\lambda d\lambda &= \frac{C}{4} \frac{8\pi hC \times 10^{-7} \times A}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda KT} - 1)} d\lambda \text{ J s}^{-1} \text{ m}^{-1} \\ \frac{dE}{d\lambda} &= \frac{2\pi hC^2 \times 10^{-7} A}{\lambda^5} \text{ J s}^{-1} \text{ nm}^{-1} \\ &= \frac{3.44 \times 10^{-7} A}{\lambda^5 (e^{hc/\lambda KT} - 1)} \text{ watt nm}^{-1} \end{aligned} \quad (17)$$

وللتعبير عن وحدة الكم $\text{m}^{-1} \text{s}^{-1}$ (متر⁻¹ ثانية⁻¹) ومعادلة بلانك $h\nu$ التى تقسم بواسطة طاقة لوحد كم.

$$Q_v (\text{quanta/m}^2 \text{ s}) = \frac{\rho_v (\text{J/m}^3)}{h\nu} = \frac{8\pi}{C^3} \left(\frac{v^2}{e^{hv/KT} - 1} \right) \quad (18)$$

حيث Q_v شدة الكم لكل وحدة تردد لكل ثانية، ومعدل الإشعاع لكل وحدة مساحة لكل وحدة عدد موجى مار سوف نحصل عليه وذلك بالقسمة على المقدار $(C/4)$.

معادلة بلانك تطبق بشكل محدد للإشعاع فى الفراغ عند الصفر المطلق، لكن بالنسبة للطول الموجى فى المنطقة المرئية والمنطقة فوق البنفسجية من منبع التوهج. بالنسبة لحرارة منخفضة والتردد فى مدى الضوء $1 \gg e^{hv/KT}$ وللتيسير يمكن عمل الآتى:

$$\rho_v = \frac{8\pi h v^3}{C^3} e^{-hv/KT} \quad (19)$$

$$Q_v = \frac{8\pi h v^2}{C^3} e^{-hv/KT} \quad (20)$$

ينبعث الضوء من الجسم الأسود كلية كنتاج لحرارة عالية كما فى الانتفاخ الكهربى والذى يعرف بالإشعاع الحرارى أو التوهج الحرارى. وكمية التوهج الحرارى سواء كمياً أو بالكيف عبارة عن دالة الحرارة فقط.

والطول الموجى لمعظم الإشعاع المنبعث القوى فى الطيف المتواصل من الجسم الأسود سوف نحصل عليه بقانون وأين للإزاحة (Wien's). $b = \lambda_{\max} T$ حيث b - ثابت واين ويساوى 2.88×10^{-3} درجة كما فى الانبعاث الفلورسينى للمبات الأنبوبية، تعتبر ليست دالة للحرارة ويعرف هذا التوهج الضوئى بالضوء البارد، وهو مميز لهذا النظام الماص.