

# المرحلة الرابعة

## التحليل الآلي

طبيعة الاشعاع الكهرومغناطيسي

٢



## 2 - الاشعاع الكهرومغناطيسي وتأثيره مع المادة

### (1-2) مقدمة :

تتضمن الطرائق البصرية مجموعة من طرائق التحليل الآلي التي تعتمد على تأثير الطاقة الاشعاعية مع المادة. وهو امر يتطلب التطرق الى الخواص الجوهرية للأشعاع الكهرومغناطيسي وكيفية تأثيره على المادة قبل الغور في دراسة الطرائق المعتمدة على هذه الاسن بصورة مفصلة.

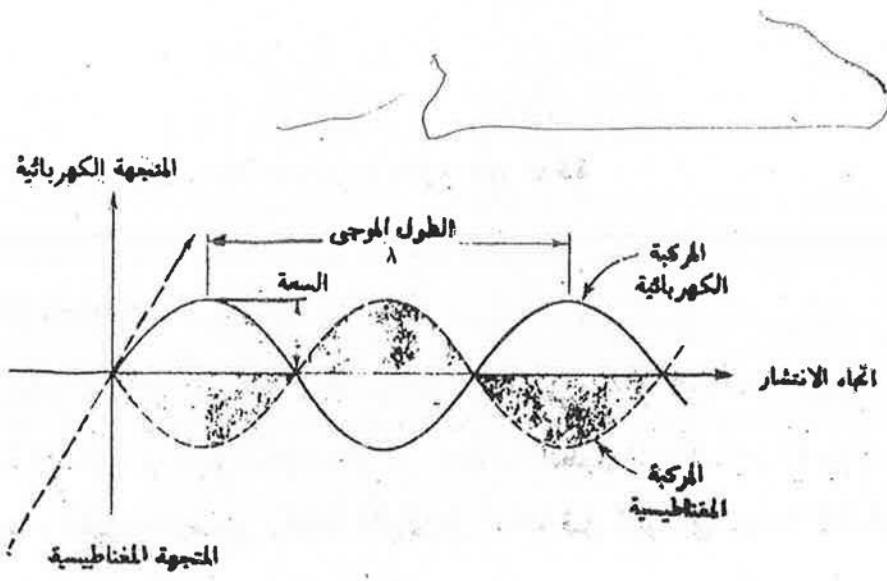
### (2-2) طبيعة الاشعاع الكهرومغناطيسي (Nature of Electromagnetic Radiation)

\* الاشعة الكهرومغناطيسية هي نوع من انواع الطاقة التي تنتقل خلال الفراغ بسرعات فائقة، وتتخذ اشكالاً متعددة كالضوء والحرارة المشعة والاشعة السينية والاشعة ما فوق البنفسجية والاشعة ما تحت الحزام وال WAVES المايكروية وال WAVES الموجات الراديوية.

\* ان دراسة العديد من خواص الاشعاع الكهرومغناطيسي اظهرت ان له خصائص موجية في بعض الاحيان وخصائص جسيمية (دقائقية) في احيان اخرى:

### (أ) الخصائص الموجية (Wave Properties)

\* افترض كل من هايجين (Huygen) وماكسويل (Maxwell) على انفراد ان الاشعاع ينتشر على هيئة موجات مركزها مصدر الاشاع، وانها تسير في جميع الاتجاهات بسرعة تبلغ ( $3 \times 10^8$  م/ثانية) خلال الفراغ وتحتفل هذه السرعة اختلافاً بسيطاً خلال الهواء. وان لwave اشعة مركبة كهربائية وآخر مغناطيسية والمركبتان تتذبذبان في مستويين متsequين وعموديتان على اتجاه توليد الاشاع كما موضح في الشكل (1-2). وعليه فان انتقال الاشاع على هيئة موجات



يتضمن كلا من القوى الكهربائية والمغناطيسية ما ادى الى تسمية الاشعاع - بالاشعاع الكهرومغناطيسي. ان المركبة الكهربائية هي وحدتها القادرة على التفاعل مع المادة. وتتبادل العلاقة معها في الاحوال الاعتيادية، لذلك فان المجال الكهربائي ووحدة هدوء المغناطيسي بالسلبيون الموجي. ويكون وصف موجة الاشعاع الكهرومغناطيسي بالمعنى الاصلي :  $E = E_0 \sin(\omega t + kx)$

(1) الطول الموجي  $\lambda$  (Wavelength) : وهي المسافة بين قتين متتاليتين او قرار بين متتاليتين، ووحدات الطول الموجي هي وحدات قياس الطبو، وغالبا ما يعبر عن ذلك بوحدات المايكرومتر ( $\mu m$ ) والنانومتر ( $nm$ ) والانكستروم ( $A^9$ ).

والخطاب (2) يبين الرموز الخاصة بالتعبير عن دلالات الموجة وعلاقة وحدات القياس بعضها.

(2) التردد  $f$  (Frequency) الذي يمثل عدد الموجات (عدد وحدات الطول الموجي الكاملة) التي تمر ب نقطة ثابتة في مدى ثانية واحدة. والوحدة

**الجدول (1-2) : الوحدات والرموز المستعملة لوصف الاشعاع الكهرومغناطيسي**

الكتيبة	الوحدة	الرموز	تحويلات
الطول الموجي $\lambda$	Micron (micrometer) { Nanometer Millimicron Angstrom	$\mu\text{m}$ $\text{nm}$ $\text{m}\mu$ $\text{\AA}$	$1 \mu\text{m} = 10^{-4} \text{ cm}$ $1 \text{ nm} = 10^{-9} \mu\text{m} = 10^{-7} \text{ cm}$ $1 \text{ m}\mu = 1 \text{ nm}$ $1 \text{\AA} = 10^{-8} \text{ cm}$
التردد $\nu$	Cycles per sec Hertz Megahertz	cps Hz MHz	$1 \text{ Hz} = 1 \text{ cps}$ $1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ cps}$
العدد الموجي النسبة	Reciprocal centimeter	$\text{cm}^{-1}$ , or $\bar{\nu}$	$\text{cm}^{-1} = 1/\lambda$
الطاقة الشعة	Energy per sec per unit solid angle Energy per sec	I P	امبير

لاحظ الفرق بين  $\mu$  (micrometer ، micron =  $10^{-6}$ m) و mm ( millimeter =  $10^{-3}$ m)

المستعملة للتعبير عن التردد هي الميرتز (Hz)، والميرتز يساوي دورات في الثانية (Cycles per seconds)، كما يقاس بالفريزنل، حيث أن (1 Fresnel =  $10^{12}$  Hz). ان الطول الموجي والتردد يرتبطان مع سرعة الشعاع بال العلاقة

$$d = \frac{c}{\lambda n} \quad \dots (1-2)$$

\* حيث ان (c) يمثل سرعة الاشعاع في الفراغ و (n) يمثل معامل انكسار الوسط الذي يمر خلاله الاشعاع. ان التردد لاشعاع معين هو قيمة ثابتة، لا تتغير بالوسط، وان التغير هو سرعة موجة الاشعاع وطولها من وسط الى وسط آخر.

(3) العدد الموجي Wave number ( $\bar{n}$ ): وهو عدد الموجات في السننتر الواحد ونغير عنه العلاقة:

$$\nu = \frac{1}{\lambda} = \frac{v}{c} \quad \dots (2-2)$$

وبذلك فان وحدة قياس (R<sup>2</sup>) هي (م<sup>-1</sup>) والتي تسمى في بعض الاحيان كايزر (Kaiser). في كثير من الاحوال يكون اكثرا ملائمة استخدام هذه الوحدة لأنها تتناسب مباشرة مع الطاقة.

(4) قوة الاشعة Power (P): تعبير عن طاقة الاشعاع الذي يصل الى مساحة معينة خلال ثانية واحدة. ويستعمل احيانا مراوف لهذا المصطلح هو شدة الاشعة (Intensity) (I)، وتنسب هاتان الكيتتان الى مربع سعة الموجة Amplitude.

\* وفي ضوء الخصائص الموجية للأشعاع امكن تفسير كثير من الظواهر كالتدخل والحياء والانكسار والانعكاس التي يظهرها الضوء.

#### (ب) الخصائص الجسيمية (الدقائقية) (Particle Properties) :

﴿ يتطلب فهم تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة تصور الاشعاع وكأنه من جسيمات او حزم متيبة تدعى الفوتونات (Photons) او الكات (Quanta) لها طاقات محددة مكتنة وتنتقل في الفراغ بسرعة الضوء، ان هذا التصور هو ما اعتقده اينشتاين لتفسير الظاهرة الكهرومagnetique.﴾

ان هذه الخصائص المزدوجة للأشعاع ك WAVES و ك جسيمات هي ليست متبادلة في الحقيقة وبالرغم من التباعد الملحوظ بين الفكرة الموجية والجسيمية عن الاشعة الكهرومغناطيسي فان هناك ضرورة ملموسة لادخال فكرة الجسم - الموجة المهمة لشرح تصرف كل من الالكترون وطبيعة الاشعاع الكهرومغناطيسي.

#### (3-2) طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي :

﴿ لقد عالجت النظرية الكواتومية (Quantum Theory) موضوع التفاعل بين طاقة الاشعاع والمادة في تفسير ظاهرة التأثير الكهرومغنتي او انبساط خطوط الطيف، وعبر بلانك (Planck) عن طاقة الفوتون بمعادله المعروفة:

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda} \quad (3-2)$$

حيث إن  $E$  طاقة الفوتون بوحدات الطاقة و( $\nu$ ) هو تردد الاشعة الكهرومغناطيسي بالميرتز (Hz) و( $h$ ) هو ثابت بلانك Planck's constant ويساوي  $6.6256 \times 10^{-34} \text{ J.sec}$  او  $6.6256 \times 10^{-27} \text{ erg.sec}$  (طول موجي قصير) طاقتى أعلى من الفوتون الذي له تردد واطئ (طول موجي طويل)، وكثال فان فوتونات الاشعة السينية ( $\lambda = 10^{-8} \text{ cm}$ ) لما طاقة تفوق طاقة الفوتونات المنبعثة من سلك التنكستن الساخن ( $\lambda = 10^{-4} \text{ cm}$ ) بحوالى 100000 مرة. ان شدة الحزمة تتناسب مع عدد الفوتونات وتكون غير معتمدة على طاقة كل فوتون.

غالبا ما يعبر عن الطاقة بوحدات أخرى غير وحدة الأرك، مثل وحدة الجول (Joule)، والالكترون فولت (eV) وهي وحدة تستخدم عادة للتعبير عن طاقة الاشعة السينية وما فوق البنفسجية ويمثل الالكترون - فولت الواحد الطاقة المكتسبة من قبل الالكترون عندما يكون خلال جهد مقداره فولت واحد. وان كل Joule  $= 1.6020 \times 10^{-19}$  الكترون فولت واحد. اما التعبير عن الطاقة لكل مول يتطلب ضرب القيمة العددية للطاقة بعدهد فوكادرو من الفوتونات  $(6.023 \times 10^{23})$ .

#### (4-2) التأثير الكهروضوئي The Photoelectric Effect

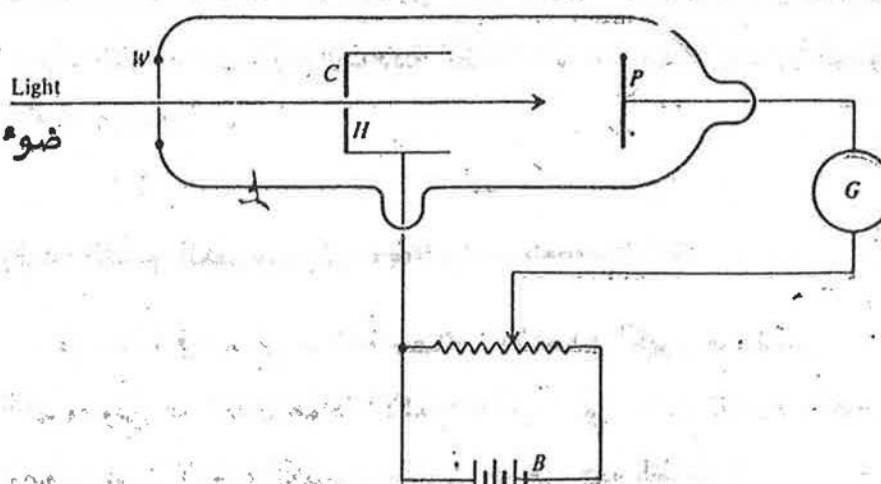
لقد ذكرنا في معرض مناقشة خصائص الاشعاع الكهرومغناطيسي ان التأثير الكهروضوئي هو احدى ظواهر الاشعاع (الضوء) التي تتطلب تفسيرها وضع تصور لوصف سلوك الاشعاع الكهرومغناطيسي. فما هي هذه الظاهرة؟ يقصد بظاهرة التأثير الكهروضوئي انبعاث الالكترونات من سطوح بعض المعادن الحساسة عند ملامسة اشعاع له الطاقة الكافية لتحريرها، كأنبعاث

الإلكترونات من سطوح بعض الفلزات القلوية عند سقوط أشعة من النطقة المرئية أو ماقعه البنفسجية عليها. ولقد وجد أن طاقة الإلكترونات المنبعثة ( $E$ ) ترتبط بتردد الأشعة الساقطة بوجبة المعادلة:

$$E = h\nu - W \quad (2)$$

حيث أن  $W$  هي دالة الشغل (Work function)، وهي الشغل (الطاقة) اللازم لتحرير الإلكترون من المعدن إلى الفراغ، وهذا مقدار ميز ومحنة بالمعدن ذاته. فللفلزات القلوية مثلاً دالة شغل واطئة ولذلك تكفي الأشعة المرئية لتحرير الإلكترونات من سطحها، أما الفلزات الثقيلة كالكاesium فلها دالة شغل عالية وتطلب سقوط أشعاع ذي طاقة عالية كأشعة مافوق البنفسجية لظهور التأثير الكهروضوئي.

يبين الشكل (2.2) مخطط جهاز يمكن ب بواسطته دراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي:



الشكل (2.2) مخطط جهاز دراسة ظاهرة التأثير الكهروضوئي

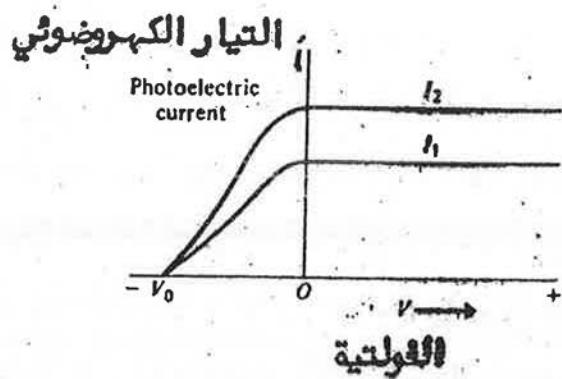
\* يتالف الجهاز من أنبوب زجاجي فيه شباك من الكوارتز (W) يسمح بمرور اشعاع مافوق البنفسجية. كما يحتوي في داخله على اسطوانة جوفاء (C) لما تقب صغير في مركز قاعدتها يسمح بمرور الاشعاع الذي يسقط على سطح الصفيحة (P) الذي يراد اختباره. تعمل الاسطوانة (C) على جمع الالكترونات المنبعثة من الصفيحة (P) التي يجب ان يكون سطحها نظيفاً جداً، وكما يجب تفريغ الانبوب الزجاجي من الهواء مع تسخينه اثناء عملية التفريغ للتخلص من الهواء قدر المستطاع. وللتتأكد من عدم انبعاث الالكترونات من الاسطوانة (C) نتيجة تأثير الاشعة المشتتة تقطن الاسطوانة (C) عادة بعادة عدية الاستجابة نسبياً لظاهرة التأثير الكهروضوئي. واذا ما صنعت الاسطوانة (C) والصفيحة (P) من مادتين مختلفتين سيحصل بينهما فرق جهد هو ما يعرف بفرق جهد التاس (Contact potential) قد يبلغ احياناً نحو فولت او فولتين. وعندما يبلغ فرق الجهد هذا حداً بحيث يجعل الاسطوانة (C) سالبة للصفيحة (P) مما يعيق حركة الالكترونات وبالتالي يلزم اجراء بعض التصحيح في كافة التجارب الكهروضوئية لتجاوز الخطأ الناتج من تأثير جهد التاس عن طريق المقاومات المبينة في الشكل (22).

بسقوط الاشعاع مافوق البنفسجي، مثلاً، على الصفيحة (P) تجتمع الالكترونات المنبعثة منها في الاسطوانة (C) وينتج عن ذلك فرق جهد بين الصفيحتين يمكن تعديله بواسطة مقياس الجهد. اما التيار الكهروضوئي المتولد فيقاس باستعمال الكلفانوميتر (G) الحساس، ولقد دلت التجارب التي اجريت على ان التيار الكهروضوئي الناتج من هذه العملية يتوقف على ما يأتي:

#### (1) شدة الاشعاع الساقط :

عندما يسقط اشعاع احادي اللون طول موجته ( $\lambda$ ) وشدته ( $I$ ) على السطح (P) فان الالكترونات تنبعث من السطح لتقع تحت تأثير المجال الكهربائي الموجود بين الصفيحة (P) والاسطوانة الجامدة (C) للمبنية في الشكل السابق، والذي يبين

بأن التحكم في هذا المجال وتغييره يتم بايصال الدائرة الكهربائية الى مقاومة متغيرة، وبذلك يتغير فرق الجهد بين (C) و(P). ان رسم العلاقة بين التيار الكهروضوئي وفرق الجهد الكهربائي بين (C) و (P) المبين في الشكل (3-2) يوضح ان قيمة التيار (I) تبقى ثابتة بجميع قيم فرق الجهد (V) الموجب. اما اذا اصبحت (C) سالبة نسبة الى (P) فان التيار يتناقص بسرعة حتى يصبح صفراء حينها تكون قيمة فرق الجهد الكهربائي مثل (V<sub>0</sub>).



الشكل (3.2) التيار الكهرومغناطيسي الناتج من حزمة اشعاعية احادية اللون بشدتتين مختلفتين هما  $I_1$  و  $I_2$

ومع ازدياد شدة خزمة الاشعاع ذي الطول الموجي ( $\lambda$ ) من 1 إلى 7، يزداد التيار الكهرومغناطيسي بنفس النسبة لمجموع قيم (V) الموجية. وعندما تصبح قيم (V) سالبة يتناقص التيار حتى يبلغ الصفر عندما يبلغ فرق الجهد القيمة (V<sub>0</sub>). نفسها. ويسمى فرق الجهد هنا بجهد الاقطاف (Stopping potential) لذلـك الاشعاع ذي الطول الموجي ( $\lambda$ ) وتتغير قيمة (V<sub>0</sub>) لنفس المقدار عندما يتغير الطول الموجي للأشعاع الساقط عليه. ونحصل من هذه التجربة على نتائجتين

卷之三

اولما : ان قيمة التيار الاعظم (Maximum current) تتناسب طرديا مع شدة الاشعاع الساقط. وهذا يعني ان عددا الالكترونات النبعة من السطح في الثانية الواحدة بطاقة قدرها (E) تتناسب طرديا مع شدة الاشعاع الساقط.

ثانيما : ان جهد الايقاف ( $V_0$ ) لا يتوقف على شدة حزمة الاشعاع الساقط. ولا يمكن تفسير هذا الا بفرض ان الطاقة الحركية للالكترونات النبعة من السطح (E) لا تتعدى قيمة قصوى معينة يمكن حسابها من المعادلة

(5.2)

$$E = V_0 e = \frac{1}{2} m v_{max}^2 \quad \dots \quad (5-2)$$

حيث ان  $e$  تمثل شحنة الالكترون و  $m$  كتلة الالكترون و  $v_{max}$  السرعة القصوى للالكترون. اما الالكترونات التي ترك السطح بطاقة حرکية اقل من الطاقة القصوى فستتوقف بفعل فرق جهد قيمته اقل من ( $V_0$ ), وهذا يفسر سبب تناقص التيار حينما يصبح فرق الجهد بين ( $P$ ) و ( $C$ ) سالبا.

## (2) تردد الاشعاع الساقط :

قادت الدراسات المتعلقة باستخدام ترددات مختلفة لاشعاع شدته (I) الى ان:

أ - طاقة الالكترونات الضوئية (Photoelectrons) النبعة من سطح المعدن

تناسب طرديا مع تردد الاشعاع الساقط ( $f$ ) ولا تعتمد على شدته.

ب - ان الالكترونات الضوئية لا يمكن ان تنطلق من سطح المعدن ما لم يكن للأشعاع الساقط تردد لا يقل عن حد ثابت يمثل الحد الادنى الذي يجب ان يكون عليه وهو ما يسمى بالتردد الحرج ( $f_0$ ) ويعرف بأنه التردد اللازم

لقطع الالكترون من سطح المعدن وتحريره فقط دون اكسابه أية طاقة حركية.

يبينت الحسابات عدم استطاعة الالكترون الفرد ان يحرز طاقة كافية للهلاك اذا توزع الشعاع الساقط على سطح المعدن بصورة متجانسة، كما لا يستطيع اي الكترون ان يجمع طاقة لفرض المقادرة في زمن معقول، وعليه يصبح من الضروري الافتراض ان الطاقة لا تتوزع بصورة متجانسة على جبهة الموجة، وانما تتركز على نقاط معينة او على شكل دقائق او جسيمات من الطاقة.

لقد فسر اينشتاين ظاهرة التأثير الكهرومغناطيسي على اعتبار ان الفوتون الساقط يصرف جزءا من طاقته ( $h\nu$ ) لتحرير الالكترون من سطح المعدن مقداره ( $W_0$ )، اما الجزء المتبقى من طاقة الفوتون فيكون بشكل طاقة حركية للالكترونات الضوئية. وبالرجوع الى المعادلة (4.2) يمكن كتابة المعادلة:

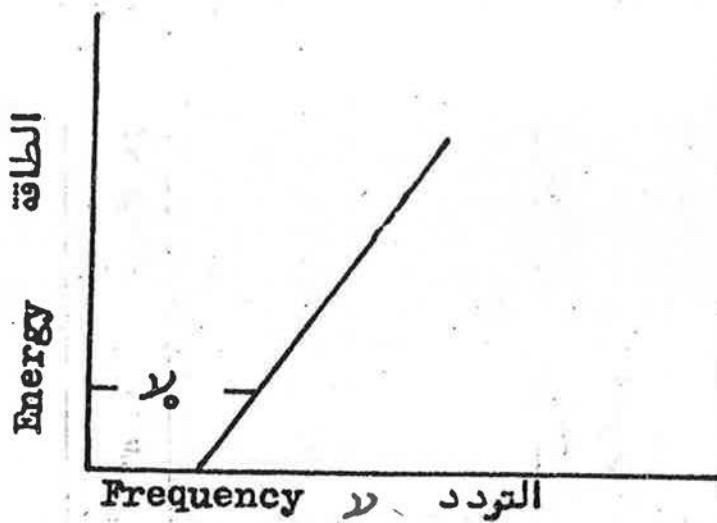
$$\frac{1}{2} mU_{\max}^2 = h\nu - W_0 \quad \dots\dots(6-2)$$

ولأن  $W_0$  تمثل طاقة الالكترون عند التردد الحرج ( $\nu_r$ )

$$\frac{1}{2} mU_{\max}^2 = h\nu_r - W_0 \quad \dots\dots(6-7)$$

$h\nu_r$  ثابت =

وقد استطاع ميليكان وبتجارب دقيقة من رسم العلاقة بين الطاقة الحرارية او  $W_0$  مع التردد ( $\nu$ ) لأشعاع احادي اللون ساقط على سطح حساس معين وحصل على خط مستقيم كما في الشكل (4.2) قيمة الميل له تمثل الثابت ( $h$ ) الذي هو ثابت بلانك ووجد انه يساوي  $6.55 \times 10^{-27}$  erg.s، وقد اظهرت هذه القيمة تطابقا مع القيمة التي حصل عليها من قياسات اخرى في حينه علما ان أحدث قيمة ثابت بلانك تساوي  $(6.6256 \times 10^{-27})$  erg.s.



الشكل (4.2) : تغير الطاقة القصوى للإلكترونات مع تغير تردد الإشعاع الساقط.

#### \* 5.2) الطيف الكهرومغناطيسي The Electromagnetic Spectrum

يغطي الطيف الكهرومغناطيسي جميع أنواع الإشعاع ابتداءً من الأشعة الكونية (Cosmic rays) ذات الطاقة العالية جداً وانتهاءً بأشعة التيار المتناوب (A.C) ذات الطاقة الواطئة جداً، وأنه طيف مستمر نتيجة التدرج والتدخل بين أطوال موجاته المختلفة مع بعضها بحيث تنعدم الحدود الفاصلة بين الميقات الطيفية التي يتكون منها. وتعتبر هذه الحدود حدوداً تقريرية. وبين الشكل (5.2) مناطق الطيف التي لها تطبيقات مفيدة للأغراض التحليلية وما يقابل كل منطقة من انتقالات حتملة نتيجة تأثير إشعاعاتها مع الأنظمة الكيميائية، وهذه المناطق هي المحسورة بين أشعة كاما ذات الطاقة العالية والأمواج الراديوية ذات الطاقة الواطئة.

$\lambda$	$\nu$	$E$	$I$	$\sigma$	$\tau$	$\omega$	$f$	$\mu$	$\Delta E$
$0.01 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{28} \text{ Hz}$	$10,000$	$1,000$	$10^{-12}$	$10^{-12}$	$10^{18}$	$3 \times 10^{18}$	$10^{12}$	$1240$
$0.1 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{27}$	$100$	$10$	$10^{-11}$	$10^{-11}$	$10^{17}$	$3 \times 10^{17}$	$10^{11}$	$124$
$1 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{26}$	$10$	$1$	$10^{-10}$	$10^{-10}$	$10^{16}$	$3 \times 10^{16}$	$10^{10}$	$12.4$
$10 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{25}$	$1$	$0.1$	$10^{-9}$	$10^{-9}$	$10^{15}$	$3 \times 10^{15}$	$10^9$	$1.24$
$100 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{24}$	$0.1$	$0.01$	$10^{-8}$	$10^{-8}$	$10^{14}$	$3 \times 10^{14}$	$10^8$	$0.124$
$1,000 \text{ \AA}$	$3 \times 10^{23}$	$0.01$	$0.001$	$10^{-7}$	$10^{-7}$	$10^{13}$	$3 \times 10^{13}$	$10^7$	$0.012$
		$1 \text{ \mu m}$	$10 \text{ \mu m}$	$100 \text{ \mu m}$	$1,000 \text{ \mu m}$	$0.01 \text{ cm}$	$0.1 \text{ cm.}$	$1 \text{ cm}$	$10 \text{ cm}$

四八

جنة حكمها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها
جنة إيمانها	جنة حكمها	جنة حكمها	جنة حكمها	جنة حكمها
جنة حكمها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها
جنة إيمانها	جنة حكمها	جنة حكمها	جنة حكمها	جنة حكمها
جنة حكمها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها	جنة إيمانها

الشكل (ج) للطيف الكهرومغناطيسي

# المصادر

1- التحليل الكيميائي الآلي \ الدكتور عبد الحسن عبد الحميد الحيدري

2- Analytical Chemistry / Skoog and Douglas