الفصل الخامس

الأشعة الكهرطيسية

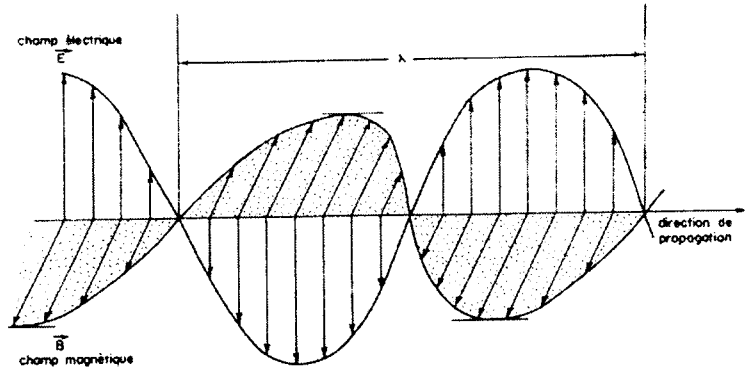
تتضمن الأشعة الكهرطيسية الأمواج الكهربائية اللاسلكية، الأشعة تحت الحمراء، المرئية، فوق البنفسجية وأخيراً أشعة X و γ .

ولجميع هذه الأشعة طبيعية فيزيائية متشابهة، لكن خواصها مختلفة جداً.

ولشرح هذه الخواص من الضروري اللجوء إلى أحد النموذجين اللذين يسمحان بوصفها حيث تتكون هذه الأشعة في الوقت نفسه من ظاهرة موجية (موجة كهرطيسية) وظاهرة جسيمية (تدفق فوتوني) وحسب طاقتها، سنرى بأن الأشعة الكهرطيسية تملك مع المادة تأثيرات متبادلة مختلفة ما هي إلا انعكاساً لبنية المادة من خلال روابط مستويات طاقية مختلفة جداً.

I ــ الأمواج الكهرطيسية:

الموجة الكهرطيسية هي اجتماع حقل كهربائي دوري جيبي $\vec{E}$ مع حقل مغناطيسي جيبي $\vec{B}$ له نفس الدور وعمودي عليه في كافة النقاط. وأن انتشار الموجة في الفراغ يتم وفق منحى عمودي على المستوى المحدد بالحقلي $\vec{E}$ و $\vec{B}$ (الشكل 1) وهذا يعني موجة مستوية.



الشكل 1

انتشار موجة كهرطيسية

ويتم هذا الانتشار في الفراغ بسرعة ثابتة مهما كانت الموجة المعتبرة ($C\#3.10^8 m.s^{-1}$) وأن الخواص الرئيسية للموجة الكهرطيسية هي:

ـ ترددها υ (تردد مشرك لاهتزاز $\vec{E}$ و $\vec{B}$) بالهرتز.

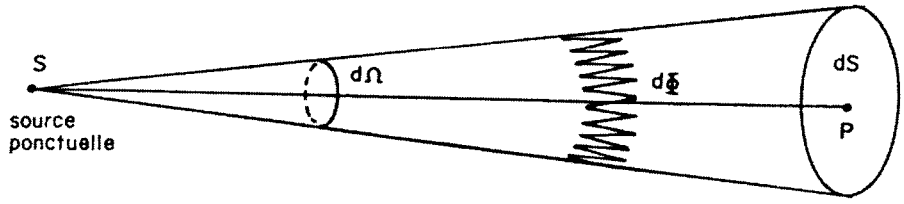
ـ دورها $T = \frac{1}{\upsilon}$ بالثواني.

ـ طول موجتها بالفراغ $\lambda = C.T = \frac{C}{\upsilon}$ (مسافة الانتشار خلال دور) بالأمتار.

شدتها الطاقية $I = \frac{d\phi}{d\Omega}$ بالواط /ستراديان .

حيث $d\phi$:التدفق الطاقي المرسل بالزاوية المجسمة $d\Omega$

$d\Omega$:الزاوية المجسمة المحيطة بالمنحى S P (الشكل 2)



الشكل 2

مثال: موجة حاملة للموسيقى صادرة من دولة ما

λ =3,08 m T=10,26 ns υ =97,6 MHZ

يسمى الإشعاع الكهرطيسي المكون من أمواج لها نفس التردد بأحادي الطول الموجي، أما في الحالة المعاكسة فهو متعدد الطول الموجي .

كما أن تردد الموجة الكهرطيسية في وسط غير الفراغ لايتغير بينما تتعلق سرعة انتشارهاV بطبيعة الوسط المعتبر و بالطول الموجي للإشعاع وأن قرينة الانكسار الضوئية تعطى بالعلاقة التالية:

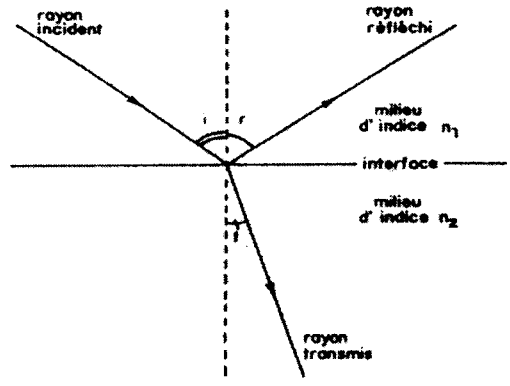
$$n = \frac{C}{V}$$

وبما أن V تتعلق بالموجة و بالوسط المعتبر لذا فإن n دائماً أكبر من 1.

يسمح المظهر الموجي للأشعة الكهرطيسية بشرح:

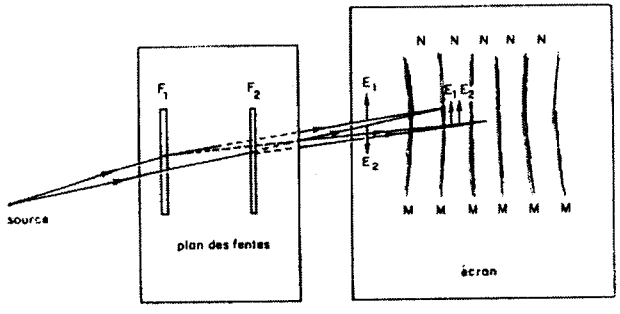
- القوانين الأساسية للضوء الهندسي، المشتركة بالنسبة لجميع الاشعاعات الكهرطيسية (الشكل3)

$$(n_1 \sin i = n_2 \sin t \ , \ i = r)$$



الشكل 3

- الخواص التداخلية لهذه الأشعة (الشكل4)



الشكل 4

- خواصها المرتبطة بالاستقطاب.

II – الفوتون:

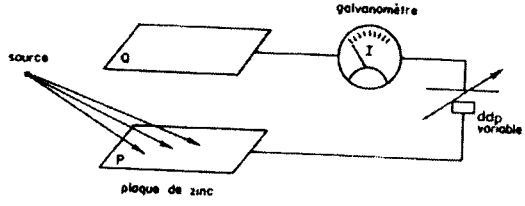
بعض التأثيرات المتبادلة ما بين الأشعة الكهرطيسية المتوسطة أو عالية الطاقة مع المادة لا تكون قابلة للتفسير بالاستناد إلى النموذج الموجي. بينما يكـــون تفســـيرها سهلاً إذا اعتبرنا هذه الأشعة كتدفق متقطع من كميات طاقية كهرطيسية تســـمى

فوتونات. بحيث إن انتشارها يتم بنفس سرعة الموجة الكهرطيسية المرافقة (C في الفراغ). وأن كل فوتون ينقل كمية من الطاقة قدرها $E = h\upsilon$ (υ تردد الموجة الكهرطيسية بالهرتز، $h = 6{,}62.10^{-34}$ J.S ثابت بلانك و E الطاقة بالجول).

أما كمية حركته فتعطى بالعلاقة التالية:

$$P = \frac{h\upsilon}{C}$$

يسمح المظهر الجسيمي للأشعة الكهرطيسية بشرح تأثيرها المتبادل مع جمل من مرتبة مقدار جزيء أو ذرة. هذا ونستشهد بالمفعول الكهرضوئي كمثال على الفوتون (الشكل5).

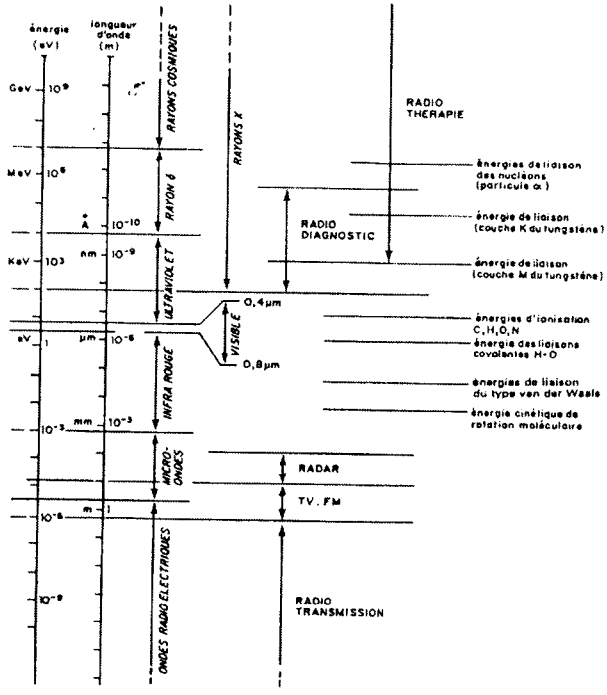


الشكل 5

III – تصنيف الأشعة الكهرطيسية:

يلخص (الشكل 6) الخواص الرئيسية والتطبيقات للأشعة الكهرطيسية مصنفة وفق التردد (إذاً وفق الطاقة) المتزايد، وأن الطاقة معطاة بالجول وبمضاعفات الألكترون – فولط مشيرين إلى أن:

$$1ev = 1{,}6.10^{-19} \quad J$$



الشكل 6

وأن الفوتون الذي تردده υ ينقل طاقة قدرها:

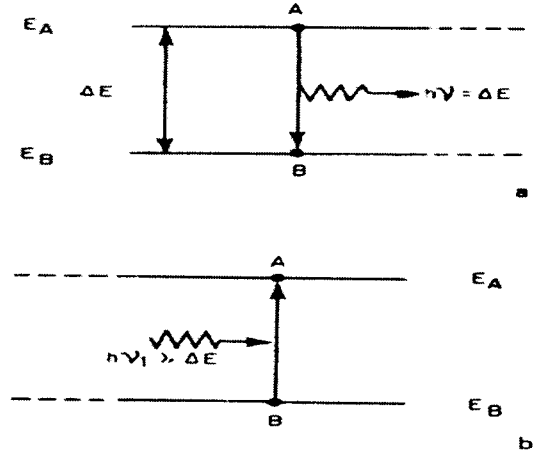
$$w = h\upsilon = \frac{hc}{\lambda} = \frac{(6{,}62.10^{-34}).(3.10^{8})}{\lambda}$$

$$= \frac{1{,}98.10^{-25}}{\lambda} J$$

$$= \frac{1{,}98.10^{-25}}{\lambda} \cdot \frac{1}{1{,}6.10^{-19}} = \frac{1{,}24.10^{-6}}{\lambda} ev$$

أما العمود الأخير من الشكل فيعطي مرتبة مقدار مستويات الانتقال الطاقية الجزيئية الإلكترونية (طاقة ارتباط الإلكترونات) أو النووية (طاقة ارتباط النيكلونات) وأن المقارنة مع طاقة الفوتونات تسمح بفهم عدة نماذج للتأثيرات المتبادلة ما بين الفوتونات والمادة.

لنتخيل جملة يمكن أن توجد في حالتين A وB مستوياتها الطاقية $E_A>E_B$ (نفترض بأن $\Delta E = E_A - E_B$)



الشكل 7

وبالتالي يتم احتواء الأشعة الكهرطيسية في نموذجين من الظواهر الرئيسية:

- انتقال تلقائي من A إلى B مع إصدار طاقة كهرطيسية (الشكل 7a).
- انتقال من B إلى A بامتصاص طاقة كهرطيسية (الشكل 7b) ولا يحصل النموذج الثاني للظاهرة إلا إذا $h\upsilon_1 \geq \Delta E$

وكمثال هام على هذا النموذج هو التأين حيث B تمثل ذرة غير مؤينة وA الشاردة الموافقة و ΔE طاقة التأين.

تتعلق ΔE بالذرة المعتبرة وأنه من أجل بعض الذرات الرئيسية ذات الأهمية البيولوجية تكون قيم هذه الطاقة كما يلي:

C	ΔE =11,24	Ev
H	ΔE =13,54	Ev
O	ΔE =13,57	Ev
N	ΔE =14,24	Ev

هذا ونطلق اسم أشعة غير مؤينة على جميع الأشعة الكهرطيسية التي طاقتها أقل من13,6 ev (إذاً ذات طول موجي $\lambda > 9{,}13.10^{-8}$m)

وهذا يعني الأمواج الكهربائية اللاسلكية والحمراء والمرئية وفوق البنفسجية. ونطلق اسم أشعة مؤينة على الأشعة الكهرطيسية التي طاقتها أكبر من 13,6 ev وهي أشعة X وγ

لقد تم اختيار هذا الحد بتابعية أهمية ظواهر تأين الماء (إذاً H وO) أثناء التأثير المتبادل للأشعة الكهرطيسية مع المادة الحية.

IV – الإزدواجية: موجة – جسيم:

من أجل الأشعة ذات الطاقة المنخفضة (أمواج كهربائية لاسلكية والأمواج الميكروية)، يكون للمظهر الموجي فائدة عملية (تملك الفوتونات المرافقة طاقة فردية ضعيفة جداً للتفاعل مع المادة) أما من أجل الأشعة ذات الطاقة العالية (أشعة X ، γ).

فإن لأبعاد الظواهر الموجية (طول الموجة عدة أعشار من النانومتر) ولقرائن الانكسار الضوئية القريبة من 1 يجعل المظهر الجسيمي الوحيد الذي يؤخذ بعين الاعتبار.

أما فيما يتعلق بالأشعة الوسطية (تحت الحمراء وفوق البنفسجي..) فإن هنـــاك بعض الظواهر تفسر بشكل أفضل بالمظهر الموجي وبعضها الآخر يفسر بشكل أفضل بالمظهر الجسيمي.