وزارة التعليم العالي
والبحث العلمي
جامعة الانبار
كلية العلوم/ قسم الفيزياء

اسم المادة: الليزر/1

المستوى الدراسي: الدراسات الأولية

المرحلة: الثالثة

المحاضرة الثانية

عنوان المحاضرة: تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة

مدرس المادة

أ.م. د جمال مال الله رزيج العبيدي

تفاعل الاشعاع الكهرومغناطيسي مع المادة

يتضح من البند التمهيدي لبعض المفاهيم الأساسية والمتعلقة بالإشعاع الكهرومغناطيسي وبصفاته المتميزة والمتمثلة في نتاج الليزر أهمية فهم ماهية الاشعاع الكهرومغناطيسي وكيفية تعامله مع المادة بذراتها او جزيئاتها كامتصاصه وانبعاثه وكي يتسنى لنا أيضا فهم عمل الليزر وكذلك اساسيات تطبيقاته المختلفة.

اشعاع الجسم الأسود

إذا فرضنا بان هناك تجويفا مملوء بوسط عازل متجانس الصفات لأي اتجاه كان في الفضاء وان جدران هذا التجويف قد حُفظ بدرجة حرارة (T)، فان مثل هذه الجدران تبعث اشعاعا كهرومغناطيسيا باستمرار كما انها تستلم أيضا ما يسقط عليها من الاشعاع وعندما يصبح معدل الامتصاص والانبعاث متساوٍ يُقال بان شرط التوازن قد تحقق عند أي موضع داخل التجويف او عند جدرانه ويطلق على اشعاع هذا التجويف ((بإشعاع الجسم الأسود)). كما يمكن وصف الاشعاع لحالة التوازن هذه بكثافة طاقته (ρ) ويقصد بها مقدار الطاقة الموجودة في وحدة الحجم من التجويف، ولما كانت هذه الطاقة تخص الاشعاع الكهرومغناطيسي لهذا كان من الأفضل التعبير عنها بدلالة المجال الكهربائي E(t) والمجال المغناطيسي H(t) حيث يتم تعريفها حسب العلاقة الاتية:

$$\rho = \frac{1}{2}\varepsilon E^2(t) + \frac{1}{2}\mu H^2(t) \dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-1)$$

حيث ان: ε و μ هما على التوالي السماحية الكهربائية والنفوذية المغناطيسية للوسط الذي يملأ التجويف.

ان طاقة الاشعاع للجسم الأسود هي دالة للتردد، أي ان طاقة الاشعاع الكهرومغناطيسي تتوزع على قيم مختلفة للتردد ويعرف هذا بتوزيع الطاقة الطيفي (ρ_ν) ، حيث يمثل المقدار $\rho_\nu d\nu$ كثافة طاقة الاشعاع في مدى تردد محصور بين ν و $\nu + d\nu$ لذا تكون العلاقة بين ρ و ρ_ν على الوجه الاتي:

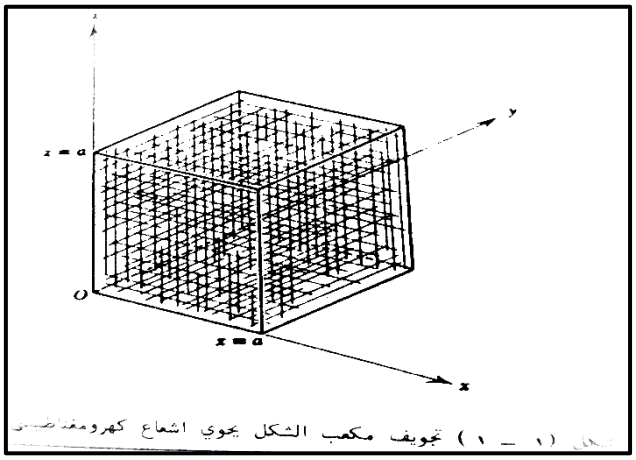
$$\rho = \int_0^\infty \rho_\nu d\nu \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-2)$$

ان دالة توزيع الطاقة الطيفي هي دالة عامة لا تعتمد على شكل التجويف او طبيعة جدرانه وتعتمد فقط على التردد ودرجة حرارة التجويف، ويمكن البرهان على ذلك بسهولة بالاستعانة بمبادئ الثرموداينمك. فلو فرضنا وجود تجويفين بشكلين مختلفين ولكن درجة حرارة جدران كل منهما (T) وتبقى هذه الحرارة منتظمة لكل منهما كأن نفرض ارتباط هاتين التجويفين بمنظم لدرجة الحرارة وليكن بدرجة (T) ولنفرض أيضا ولتردد معين (ν) ان كثافة الطاقة للتجويف الأول هي $\rho_{\nu'}$ وللتجويف الثاني $\rho_{\nu''}$ فاذا كانت $\rho_{\nu'}$ أكبر او أصغر من $\rho_{\nu''}$ فيعني ان هناك جريان للطاقة الكهرومغناطيسية من أحدهما الى الآخر. ان هذا الجريان يخالف القانون الثاني للثرموداينمك وما دام التجويفين في درجة حرارة واحدة لذا وجب ان تكون $\rho_{\nu''} = \rho_{\nu'}$ وكذلك تكون لجميع الترددات.

- **شكل دالة التوزيع الطيفي $\rho(\nu, T)$**

لقد رافق اشتقاق هذه الدالة وضع أسس النظرية الكمية في الفيزياء الحديثة ولقد تم حل هذه المسالة على يد العالم ((بلانك)) حيث تطلب الحل الصحيح الكامل وضع فرضية جديدة تدعى بفرضية ((الضوء الكمي)) وبهذا تكون دراسة اشعاع الجسم الأسود قد ارست الأسس الرئيسية في الفيزياء الحديثة.

لما كانت الدالة ρ_ν لا تعتمد على شكل التجويف ولا على طبيعة المادة العازلة بداخله فلنفترض مثلا وجود تجويف بشكل مكعب طول ضلعه (a)، كما في الشكل (1-1) ذو جدران موصلة ومملوءة بانتظام بمادة عازلة ولحساب ρ_ν نبدأ بحساب توزيع المجال الكهرومغناطيسي للموجات الواقفة المتواجدة داخل التجويف، اذ ان الموجات الواقفة تحدث نتيجة الانعكاسات المتتالية عن الجدران،



تجويف مكعب الشكل يحوي اشعاع كهرومغناطيسي

ملاحظة: أنواع الأمواج

تصنف الأمواج حسب اتجاه حركة جزيئات الوسط الذي تسير فيه الموجة بالنسبة لخط انتشارها الى نوعين:

1- الموجات الواقفة (المستعرضة) 2- الموجات الطولية

1- الموجات الواقفة (المستعرضة):

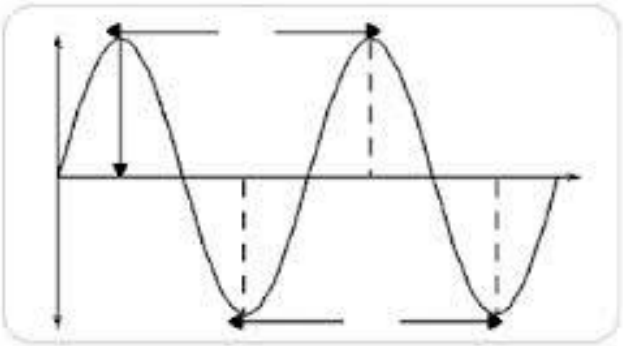
وهي الموجات التي تكون فيها حركة الاهتزازية لجزيئات الوسط عمودية على اتجاه انتشار الموجة وتتكون من قمم وقيعان ومن الأمثلة على هذه الموجات موجات الماء، موجات الحبل، موجات النابض الحلزوني والموجات الكهرومغناطيسية.

الطول الموجي للموجة المستعرضة يمثل المسافة بين قمتين متتاليتين او قعرين متتاليين كذلك يمثل المسافة بين أي نقطتين متتاليتين لهما نفس الطور أي نفس (السرعة والسعة والاتجاه).

السعة: هي اقصى إزاحة من حالة السكون.

الطول الموجي: وهو المسافة بين أي قمتين متتاليتين او قعرين متتاليين او المسافة بين أي نقطتين لهما نفس الطور.

التردد: وهو عدد الموجات الكاملة المنتجة لكل ثانية.



2- الموجات الطولية:

وهي النوع من الموجات التي يكون فيها اهتزاز الجزيئات في نفس اتجاه انتشار الموجات (بخط متوازي).

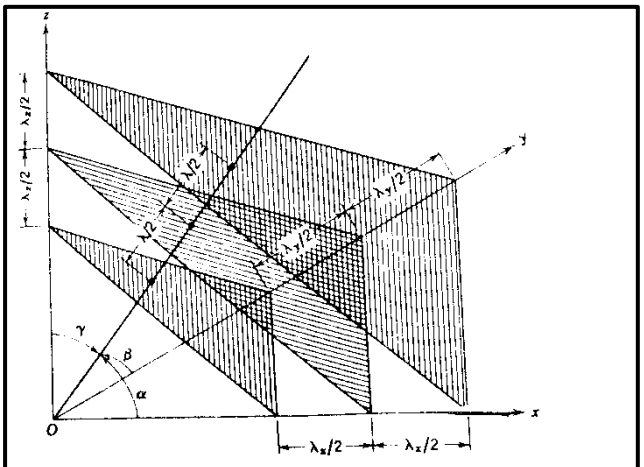
وتتكون الموجة الواحدة من: 1- تضاغط: هو تقارب جزيئات الوسط معا 2- تخلخل: هو تباعد جزيئات الوسط عن بعضها

ومن الأمثلة على هذه الحركة: حركة زنبرك عند دفعه دفعة خفيفة من أحد طرفيه.

ويمكن تحليل هذا التذبذب الى مركبات ثلاثة باتجاه الاحداثيات المتعامدة والتي تقع على امتدادها الاضلاع الثلاثة للتجويف فلو اخذنا مثلا المركبة التي هي باتجاه محور ـ x، فالموجة الواقفة بهذا

الاتجاه تشكل عقدة عند كل جدار مقابل، أي عند الموضع (x=zero) وعند الموضع (x=a) وبالمثل تكون المركبتين الأخريين وبهذا يكون التذبذب داخل التجويف بصيغ تحددها طول الموجة او التردد.

لنفترض الان وجود اشعاع بطول موجة (λ) [بتردد ν ($\nu = \frac{c}{\lambda}$) ، (c) هي سرعة الضوء في الوسط] يسير بالاتجاه الذي تحدده على العموم ثلاث زوايا هي γ, β, α يصنعها مساره مع الاحداثيات الثلاثة على التوالي ،الشكل (2-1).



شكل (١ ـ ٢) : المستويات العقدية للموجة الواقفة والمنتقلة باتجاه معين داخل تجويف مكعب

هذا الاشعاع يمثل موجة واقفة مادامت مركباته الثلاثة هي موجات واقفة، ولما كانت المسافة بين عقدتين متتاليتين له تساوي $\lambda/2$ بهذا تكون **مواضع العقد للمركبات الثلاثة** كالاتي:

$$\begin{bmatrix} \frac{\lambda_x}{2} = \frac{\lambda}{2\cos\alpha} \\ \frac{\lambda_y}{2} = \frac{\lambda}{2\cos\beta} \\ \frac{\lambda_z}{2} = \frac{\lambda}{2\cos\gamma} \end{bmatrix} \dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots\dots (1-3)$$

- ولو أردنا حساب **شدة المجال الكهربائي لهذه المركبات الثلاثة** فتكون على التوالي:

$$\begin{bmatrix} \boldsymbol{E(x,t) = A \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda_x}\right) \sin(2\pi \nu t)} \\ \boldsymbol{E(y,t) = B \sin\left(\frac{2\pi y}{\lambda_y}\right) \sin(2\pi \nu t)} \\ \boldsymbol{E(z,t) = C \sin\left(\frac{2\pi z}{\lambda_z}\right) \sin(2\pi \nu t)} \end{bmatrix} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (\mathbf{1-4})$$

حيث ان (A) تمثل سعة الموجة باتجاه المحور ــ x، كذلك يتلاشى المقدار $\sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$ لقيم $\left(\frac{2x}{\lambda} = 0,1,2,3, \ldots\ldots\right)$ ، لذا تكون المسافة بين بين عقدة وأخرى $\left(\Delta x = \frac{\lambda_x}{2}\right)$ ، وبالمثل تكون الحالة للمركبتين الاخريين بالاتجاهين y و z. كما نرى أيضا ان المركبات الثلاثة تحقق شرط حدوث العقدة عند الموضع (x, y and z = 0) على التوالي، ولجعل هذه المعادلات تحقق أيضا شرط حدوث العقدة عند الموضع x=a ، y=a ، z=a على التوالي نجعل:

$$\begin{bmatrix} \frac{2x}{\lambda_x} = n_x\,, & n_x = 0,1,2,\ldots\ldots \\ \frac{2y}{\lambda_x} = n_y\,, & n_y = 0,1,2,\ldots\ldots \\ \frac{2z}{\lambda_{xz}} = n_z\,, & n_z = 0,1,2,\ldots\ldots \end{bmatrix} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (1-5)$$

وباستخدام العلاقة (1-3) تصبح هذه الشروط الحدودية على الشكل التالي:

$$\frac{2a}{\lambda}\cos\alpha = n_x$$

$$\frac{2a}{\lambda}\cos\beta = n_y$$

$$\frac{2a}{\lambda}\cos\gamma = n_z$$

بتربيع الطرفين للمعادلات أعلاه والجمع نحصل بعد تطبيق الخاصية التالية:

$$cos^2\alpha + cos^2\beta + cos^2\gamma = 1$$

نحصل على المعادلة التالية:

$$\boldsymbol{\frac{2a}{\lambda} = \left(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2\right)^{1/2}}$$

حيث ان n_x ، n_y ، n_z تمثل الأنماط المسموحة للموجات الواقفة ويمكن ان تأخذ جميع القيم العددية الممكنة.

- **ان المعادلة السابقة تصف الحدود الممكنة (المسموحة) للتذبذب داخل التجويف، أي تحديد الطول الموجي للموجات الكهرومغناطيسية التي يحتويها التجويف.**

بدلالة التردد يمكن كتابة الاتي للقيم المسموحة للتردد والمناظرة للقيم المسموحة لطول الموجة:

$$\boldsymbol{\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{c}{2a}\left(n_x^2 + n_y^2 + n_z^2\right)^{1/2}} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \boldsymbol{(1-6)}$$

المصادر

1- فيزياء الليزر – سهام عفيف قندلا

2- Introduction to Laser Physics 1st Edition- K. Shimoda

3- Basics of Laser Physics: For Students of Science and Engineering. (Graduate Texts in Physics) 2nd Edition.