كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثانية**

المادة : اهتزازات وامواج

المحاضرة : السادسة/نظري/دكتورة

{{ مكتبة A to Z }}

Facebook Group : مكتبة A to Z

كلية العلوم ، كلية الصيدلة ، الهندسة التقنية

4

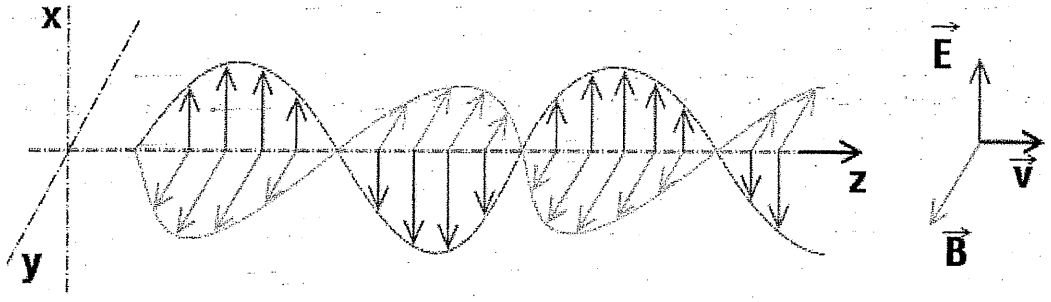
يمكنكم طلب المحاضرات برسالة نصية (SMS) أو عبر(What's app-Telegram)على الرقم 0931497960

Syrian Arab Republic
Ministry of Higher Education and Scientific Research
Tartous University
Faculty of Science
Department of chemistry

الجمهورية العربية السورية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
جامعة طرطوس
كلية العلوم
قسم الكيمياء

## المحاضرة السادسة لمقرر الاهتزازات والأمواج لطلاب السنة الثانية كيمياء - د. سمر عمران

**الضوء** هو عبارة عن شكل من أشكال الطاقة مصدره الأساسي الشمس، يتكون من مجموعة من الموجات الكهرومغناطيسية العرضية (الشكل (1))، التي تتميز بالطول الموجي، السعة والتردد، كل موجة مؤلفة من حقلين كهربائي ومغناطيسي متعامدين ومعامدين لاتجاه الانتشار كما هو موضح في الشكل (1)، وهما تابعان دوريان للزمن لهما نفس التواتر. سرعة الضوء في الفراغ $(c = 3 \times 10^8)\mathrm{m/s}$، وهي ثابت عالمي وهذا الرقم بالضبط هو $(c = 299792458)\mathrm{m/s}$، وتصبح هذه السرعة في الأوساط الأخرى أبطأ (في الهواء أبطأ بنسبة 0.03% ، وفي الزجاج أبطأ بنسبة 30%).



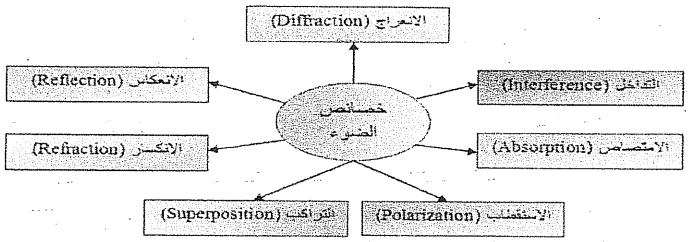

الشكل (1): موجة كهرومغناطيسية يبدو فيها الحقلان الكهربائي $\vec{E}$ والمغناطيسي $\vec{B}$ متعامدان ومعامدان لاتجاه الانتشار.

لا يحتاج الضوء إلى وسط للانتشار فيه، ويرافق انتشاره دائماً انتقال للطاقة وترتبط الطاقة المنقولة بسعة الحقلين الكهربائي والمغناطيسي، فالفوتونات ليس لها كتلة ولا شحنة وكل منها يحمل طاقة محددة تعتمد على طول موجة الضوء، ويمكن حساب طاقة الفوتون من العلاقة التالية:

$$E = h\nu = \frac{h\,c}{\lambda} \qquad (1)$$

$E$: طاقة الفوتون وتقاس بالجول، $h$: ثابت بلانك ويساوي $(6.625 \times 10^{-34} J.s)$، $\lambda$ : طول موجة الضوء.

يملك الضوء العديد من الخصائص الهامة التي يمكن تمثيلها بالشكل التالي:




الشكل (2): خصائص الضوء.

**الاستقطاب (Polarization):** يمكن تعريف ظاهرة استقطاب موجة، بأنّها السمة التي تشير إلى أنَّ اهتزازات الموجة لها اتجاه محدد بالنسبة إلى اتجاه انتشار الموجة، أو التعبير عن اتجاه خطوط التدفق الكهربائي في مجال كهرومغناطيسي. يُعد الاستقطاب من أهم خصائص الموجات الكهرومغناطيسية لأنها موجات مستعرضة، أمّا الموجات الطولية فلا يحدث لها استقطاب كما هو الحال في الموجات الصوتية. يُشير مصطلح استقطاب الضوء (Polarization of light) إلى أنَّ للاهتزازة الضوئية حول اتجاه انتشارها شكل أو منحى معيناً ثابتاً. يُعدّ الضوء الطبيعي كضوء الشمس، والضوء الصادر عن النار، وضوء المصباح ومعظم مصادر الضوء في الطبيعة غير مستقطبة لأنَّ اهتزازاتها الضوئية متغيّرة في مدة قصيرة جداً (0.1s) وهي مدّة دوام التأثير على شبكية العين (أيّ اتجاه الحقل الكهربائي يتغير بسرعة وبشكل عشوائي)، وتعدّ هذه الاهتزازات مؤلفة من اهتزازين متعامدين متساويين في السعة وغير مترابطين، أمّا اهتزازات الضوء المستقطب فهي ذات منحني ثابت محدد .

يُصنّف الضوء المستقطب إلى ثلاث مجموعات حسب اتجاه شعاع الحقل الكهربائي خلال الانتشار وحسب قيم مركبات شعاع الحقل الكهربائي $(E_x \ ، \ E_y)$ وفرق الطور $\delta$

i. استقطاب خطي (Linear polarization).
ii. استقطاب دائري (Circular polarization).
iii. استقطاب اهليلجي (Elliptical polarization).

يُقال عن الضوء إنّهُ:

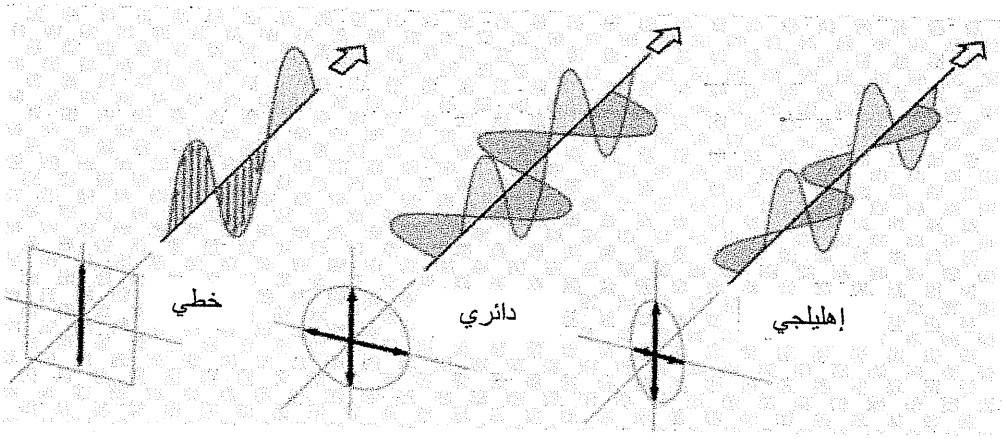
**مستقطب خطياً** إذا اقتصر اتجاه شعاع الحقل الكهربائي خلال الانتشار على اتجاه واحد فقط (أيّ بمعنى أنَّ الحقل الكهربائي يهتز وفق خط مستقيم)، وبالتالي لا يوجد فرق طور بين مركبات الحقل الكهربائي (أيّ $\delta = 0, \pi$).

**مستقطب دائرياً** عندما ترسم نهاية متجه الحقل الكهربائي دائرة، وبالتالي فرق الطور ثابت $(\delta = 90^0)$، وسعتي مركبات الحقل الكهربائي هي نفسها $(E_x = E_y)$.

إذا نظرنا إلى هذه الدائرة مستقبلين الضوء الذي ينتشر نحونا، وكانت نهاية متجه الحقل الكهربائي ترسم الدائرة باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة فإننا نقول إنَّ **الاستقطاب الدائري يميني**، أمّا إذا كانت نهاية متجه الحقل الكهربائي ترسم الدائرة باتجاه دوران عقارب الساعة فإننا نقول إنَّ **الاستقطاب الدائري يساري**.

**مستقطب إهليلجياً** عندما ترسم نهاية متجه الحقل الكهربائي إهليلج (قطع ناقص) وذلك من أجل جميع القيم الآخرى لـ $E_y$ ، $E_x$ ، $\delta$ .

بالطريقة السابقة نفسها إذا نظرنا إلى الاهليلج مستقبلين الضوء الذي ينتشر نحونا، كانت نهاية متجه الحقل الكهربائي ترسم الاهليلج باتجاه معاكس لدوران عقارب الساعة فإننا نقول إنَّ **الاستقطاب الإهليلجي يميني**، أمّا إذا كانت نهاية متجه الحقل الكهربائي ترسم الاهليلج باتجاه دوران عقارب الساعة فإننا نقول إنَّ **الاستقطاب الإهليلجي يساري**.




الشكل (3): أنواع استقطاب الموجة الكهرومغناطيسية (خطي ، دائري ، إهليلجي).

إنَّ الضوء المستقطب خطياً، والمستقطب دائرياً، والمستقطب إهليليجياً يشمل جميع أنواع الضوء عدا الضوء غير المستقطب (الضوء الطبيعي). حيث يكون الضوء غير مستقطب (أو طبيعي) إذا لم يكن وحيد اللون تماماً، أو إذا لم يبق التوافق في طور الاهتزاز قائماً في اتجاهي الاهتزاز، فإنَّ ذلك يجعل متجه الحقل الكهربائي يهتز في بادئ الأمر في اتجاه ما، ثمّ في اتجاه آخر بحيث يكون الاستقطاب متغيراً بشكل دائم بسرعة تفوق قدرتنا على اكتشافه.

**التراكب (Superposition)**: هو أحد المفاهيم الأساسية في موضوع الأمواج والبصريات، يسمح بدراسة وشرح أنماط التداخل في البصريات، كما يسمح بتفسير العديد من الظواهر الصوتية المثيرة للاهتمام، مثل ظاهرة الضربات (beat phenomenon)، وهي تغيّر بطيء في شدّة الصوت عندما نجمع موجتين مختلفتين قليلاً بالتردد

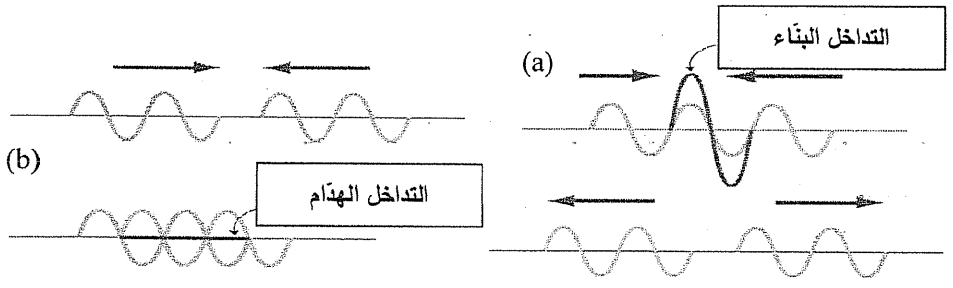
(أي ناتجة عن تأثير تعديل في الطور والسعة معاً، والناجم عن تراكب أمواج ذات ترددات مختلفة قليلاً)، ويستخدم الموسيقيون هذه الظاهرة في ضبط آلاتهم الموسيقية.

بالنسبة إلى العديد من أنواع الموجات، بما في ذلك الكهرومغناطيسية (EM - Electromagnetic)، يمكن أن تجتاز موجتان أو أكثر نفس المساحة في نفس الوقت بشكل مستقل عن بعضها ، وهذا يعني أنَّ المجال الكهربائي في أيّة نقطة في الفراغ هو ببساطة المجموع المتجه للحقول الكهربائية، هذا هو مبدأ التراكب الذي يحققه كلا المجالين الكهربائي والمغناطيسي، وينص هذا المبدأ على أنّهُ عند تراكب موجتين أو أكثر فإنَّ الانزياح الناتج في أيّة نقطة وفي أيّة لحظة زمنية يساوي مجموع الانزياحات اللحظية التي يمكن أن تُحدثها الموجات في تلك النقطة كلٌّ على حدى، والذي يقود بدوره إلى ما يعرف بظاهرة التداخل، والذي يمثّل بدوره طريقة يتمّ من خلالها الجمع الجبري للإزاحات (السعات) لموجتين أو أكثر للحصول على الموجة الناتجة، ويُطبق هذا المبدأ على جميع أنواع الموجات الميكانيكية والكهرومغناطيسية، ولا يُطبق من أجل المعادلة اللاخطية، وأبسط تطبيق عليه حركة بندول بسيط.

**التداخل (Interference):**

هو تفاعل موجتين أو أكثر (تفاعل عدد قليل من الموجات) لتشكيل موجة مركبة استناداً إلى مبدأ التراكب، ولحدوث التداخل يجب أن تحقق الموجتان (ترابطاً زمانياً ومكانياً)، أيّ يجب توفر الشروط التالية:

- الموجة الضوئية الصادرة من أحد المنبعين هي نفسها الصادرة من المنبع الآخر.
- الموجة الضوئية وحيدة اللون.
- أن تصدر الأمواج الضوئية عن المنبعين في آن واحد.
- منابع الضوء نقطية.
- أن تحافظ الموجتان الصادرتان من المنبعين على فرق طور ثابت بينهما.




الشكل (4): تراكب الأمواج: (a): التداخل البنّاء، (b): التداخل الهدّام.

تُعتبر الأمواج الجيبية في البصريات صفة مميزة للضوء وحيد اللون (ضوء بلون واحد فقط)، على الرغم من أنّهُ يمكن توليد أمواج مائية أو صوتية بتردد وحيد إلا أنَّ المصادر المألوفة للضوء لا يمكن أن تُصدر ضوء وحيد اللون (وحيد التردد)، فعلى سبيل المثال تُصدر مصابيح التوهج الضوئي وفتائل المصابيح العادية توزعاً مستمراً من الأطوال الموجية. يُعدّ الليزر في الوقت الراهن مصدراً للضوء وحيد اللون كليزر الهيليوم– نيون (He-Ne): ليزر غازي (خليط من غازي الهيليوم والنيون)، قليل التكلفة مقارنة بالليزرات الأخرى، كثير الاستخدام، يعمل بنمط التشغيل المستمر، ذي طول موجي وحيد اللون 632.8nm في المنطقة الحمراء من الطيف. سنفترض أننا نتعامل مع الضوء الوحيد اللون عند تحليل ظاهرتي التداخل والانعراج في هذا الفصل.

**التداخل البنّاء (constructive interference)**: عندما تتلاقى الأمواج على توافق في الطور فإنَّها تدعم بعضها بعضاً، وتساوي سعة الموجة المحصلة مجموع سعات الأمواج كلٌّ على حدى وهذا ما يسمى بالتداخل البنّاء (أيّ فرق المسير فيما بينها يساوي عدد صحيح من الأطوال الموجية $[r_2 - r_1 = m\lambda]$).

**التداخل الهدّام (destructive interference)**: عندما تتلاقى الأمواج على تعاكس في الطور فإنَّها تُلغي بعضها بعضاً، وتكون سعة الموجة المحصلة مساوية للصفر، وهذا ما يسمى بالتداخل الهدّام (أي فرق المسير فيما بينها يساوي عدد فردي من الأطوال الموجية $\left[r_2 - r_1 = \left(m + \frac{1}{2}\right)\lambda\right]$).

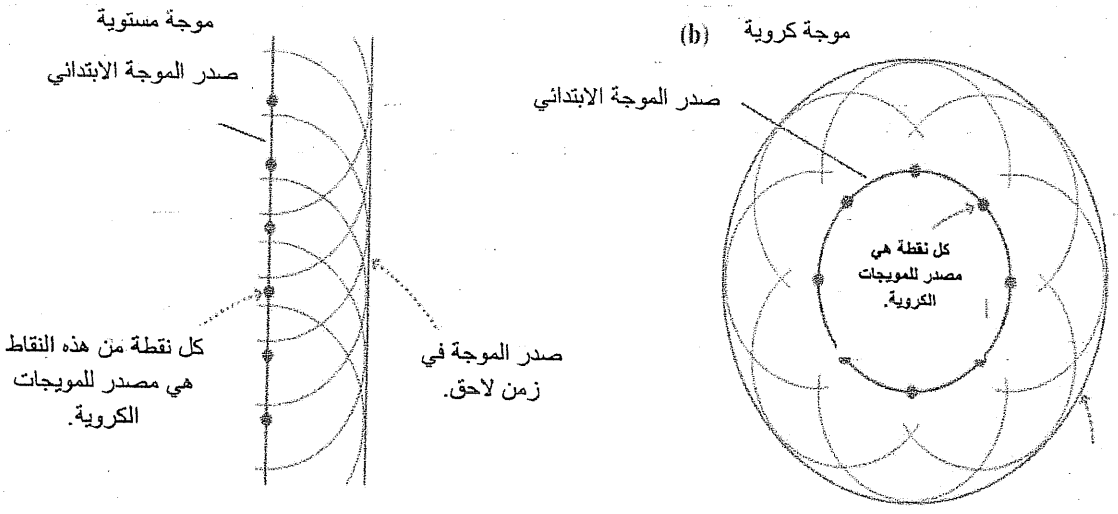
**الانعراج (Diffraction)**: ظاهرة فيزيائية أساسية، يمكن فهمها من خلال دراسة طبيعة موجة الضوء، وتُعرّف بأنّها حيود الضوء أو انحرافه عن مبدأ الانتشار المستقيم ودخوله في منطقة الظل الهندسي، فعند وضع حاجز عاتم صغير أمام منبع ضوئي نلاحظ أنَّ الضوء يتوغل قليلاً في منطقة الظل الهندسي، وإذا استبدلنا الحاجز العاتم بثقب صغير صُنع في لوح عاتم فيجب أن يتكوّن على شاشة المراقبة حسب مبدأ الانتشار المستقيم حلقة مضيئة أبعادها تساوي أبعاد الثقب ولكنّنا في الواقع نشاهد حلقات أكبر من ذلك بكثير، وإذا كان الضوء وحيد اللون فإننا نشاهد حلقات مضيئة ومظلمة متعاقبة تدعى أهداب الانعراج (Diffraction Fringes) ويكون الهدب المركزي مضيئاً. أيضاً يمكن فهم ظاهرة الانعراج بأنَّها تأثير التداخل بين الموجات المنتشرة من كل نقاط الفتحة، كما كانت هذه الظاهرة موضوع جدل عندما تمّ تأسيس النظرية الموجية للضوء. أشار بواسون في عام (1818) إلى ظهور بقعة مضيئة في مركز ظلّ الكرة لأنَّ الموجات الناتجة من جميع الحواف ستصل في نفس الطور بغض النظر عن موقع الشاشة. بالنسبة له بدا ذلك غريباً واعتقد بأنَّهُ دحض النظرية الموجية. لوحظت بقعة بواسون بالفعل بعد ذلك بوقت قصير، وأصبحت إحدى الركائز الداعمة للنظرية الموجية للضوء، بالإضافة إلى ذلك، يكون للانعراج دور في تشكيل الصورة في العين، حيث يوجد حدّ لكيفية تركيز الضوء للنقطة المحرقية

الصغيرة، وذلك حتى بالنسبة للقرنية والعدسة ذات الشكل المثالي، يتشكل دائما قرص صغير يدعى قرص آيري (Airy disk). يبلغ قطر قرص آيري في الشبكية حوالي $12\mu m$ بالنسبة للحدقة ذات القطر $2mm$، أمّا بالنسبة للحدقة ذات القطر $1mm$، تكون صورة الانعراج في شبكية العين أكبر مرتين وتنخفض حدة البصر $(1 \rightarrow 0.25)$ أي بمقدار $(6/6 \rightarrow 6/24)$ [5].

يشير الانعراج إلى تفاعل عدد كبير من الموجات [4]، ويمكن عدّهُ تعميماً للتداخل لا يختلف إلا في عدد مصادر الضوء [6] .

لتفسير ذلك نعتمد على مبدأ هايغنز – فرينل (Huygens-Fresnel principle) الذي يفترض: بأنَّ كل نقطة من صدر الموجة تُعد منبعاً ثانوياً جديداً يُصدر مويجات كروية، تتداخل المويجات الصادرة من هذه المنابع الثانوية والمتناظرة بالنسبة لمركز الثقب النقطي لتشكل أهداب الانعراج التي نشاهدها على شاشة المراقبة، علماً أنَّ هذه المويجات لها نفس تردد وسرعة الموجة الابتدائية [7].

إذا استُبدل الثقب بشق ضيق تبقى الظاهرة نفسها، وكلما كان الشق أضيق كانت الأهداب على الشاشة أكثر امتداداً وتباعداً عن بعضها وبالعكس (أي يوجد تناسب عكسي بين عرض الشق وعرض الأهداب المتشكلة على شاشة المراقبة).

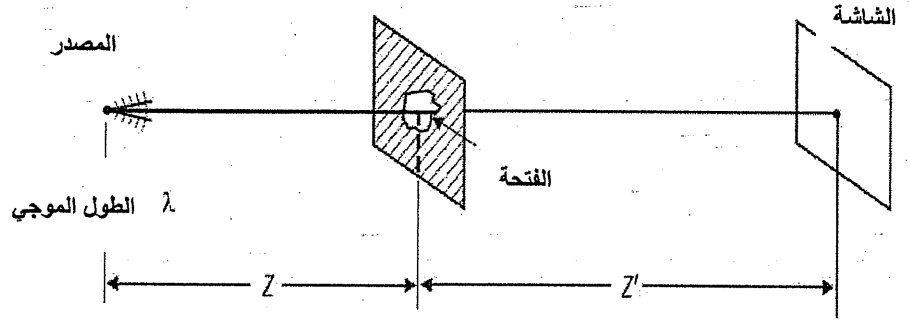



الشكل (5): يشرح مبدأ هايغنز – فرينل في حالة موجتين: (a): موجة مستوية، (b): موجة كروية.

يمكن رؤية مثال بسيط عن الانعراج في حياتنا اليومية في أثر الظل الناتج عن عائق ما، حيث إنَّ أيّ عائق يعترض الضوء يمكن أن يعمل كصدر موجة (wavefront)، ويصبح مصدراً للانعراج، ولكن ليس من السهل رؤية أنماط الانعراج على حواف ظل يدك في ضوء النهار لأن الألوان المختلفة التي تشكل الضوء الأبيض تنعرج بزوايا مختلفة مما يجعل من الصعب تمييز نمط واضح.

تشمل ظواهر الانعراج كلّ أنواع الموجات من صوتية، مائية، ضوئية، لاسلكية، قصيرة وسينية.....الخ، وعلى سبيل المثال لا الحصر يمكن ملاحظة الانعراج في مباريات كرة القدم، عندما يصرخ المشجع بالقرب من ساحة الملعب مقابل عدّة آلاف من المشجعين الصاخبين، يصعب سماع صوت الصراخ، لأنَّ الموجات الصوتية تنعرج عندما تمر عبر الفتحة الضيقة لفم المشجع. أمّا عندما يهتف المشجع من خلال مكبر صوت، تصدر الموجات الصوتية من خلال الفتحة الأوسع في نهاية مكبر الصوت وبالتالي يتمّ تقليل الضياع الحاصل ويصل الصوت إلى أكبر عدد من المشجعين [8].

تُشارك في ظاهرة الانعراج ثلاثة عناصر مكونة من: المصدر (source)، عنصر الانعراج ( diffraction element)، والشاشة (screen) كما يظهر في الشكل (6). يمكن لعنصر الانعراج أن يكون إمّا فتحة أو عائقاً أو عدسة أو أي عنصر انعراج آخر يوضع بين المصدر والشاشة، بحيث يمكن رؤية نمط الشدّة (نمط الانعراج) المُتشكّل على شاشة المراقبة.




الشكل (6): هندسة الانعراج العام متضمنة مصدر الضوء والفتحة والشاشة .

حيث :

$Z$ : المسافة بين المصدر والفتحة ، $\acute{Z}$ : المسافة بين الفتحة والشاشة.