

## الفصل الخامس

### تشتت (تبعد) الموجات

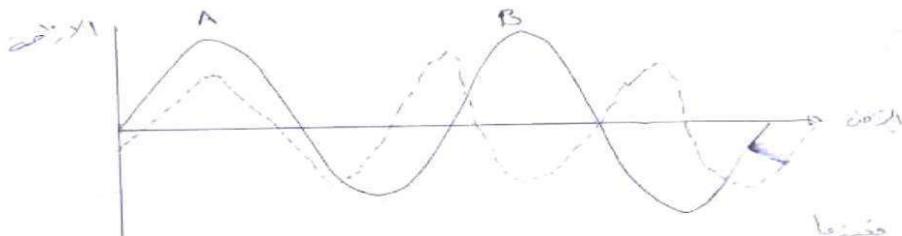
يمكن وصف ظاهرة التشتت بأنها التغير في سرعة تقدم الموجة الجيبية في الوسط المادي مع الطول الموجي أو التردد. عموماً فإن أي إشارة أو اضطراب يتتألف من خليط من الترددات المختلفة. وفي الواقع فإن معظم الأصوات التي نتعامل معها هي أصوات معقّدة تتراكب من مزيج من الترددات ونادرًا ما نتعامل مع صوت أحادي التردد وهذه الظاهرة لها أهمية في النظرية العامة للحركة الموجية.

إذا ما تحركت مجموعة من الموجات ذات الأطوال الموجية المختلفة في وسط مادي مشتت فإن كل موجة تتحرك بسرعة تختلف عن سرع الموجات الأخرى وبذلك فإن هذه الظاهرة تعني أنه بعد ما كانت جميع الموجات في نفس الموقع في لحظة ما فإنها تصبح منفصلة عن بعضها في موقع آخر في لحظة أخرى نتيجة اختلاف سرعها. وخير مثال على هذه الظاهرة هو تحلل الضوء الأبيض إلى مركباته بواسطة المنشور، وذلك بسبب تباين سرع المركبات (أي الموجات المختلفة التي يتتألف منها الضوء الأبيض) خلال مرورها بمادة المنشور، ونتيجة ذلك تكسر هذه المركبات بزوايا مختلفة. ومثال آخر هو تحلل الصوت المركب من عدة ترددات إلى مركباته عند مروره خلال ثاني أوكسيد الكاربون. ويقال للوسط المادي الذي تعتمد فيه سرعة انتقال الموجة على الطول الموجي (أو التردد) بأنه وسط مشتت مثل أي وسط شفاف كالزجاج أو الماء أو الهواء بالنسبة للموجات الضوئية. وفي مثل هذه الأوساط تكمن العلاقة بين سرعة الضوء  $c$  والطول الموجي  $\lambda$  هي .

$$\frac{1}{c} = A + \frac{B}{\lambda^2}$$

### تراكم الموجات في الأوساط غير المشتتة (الضربيات ، تضمين السعة)

**الضربيات:** هو نمط خاص من الحركة الدورية وتحدث عندما يتآثر جسيم آنياً بحركتين توافقتين بسيطتين الفرق بين تردديهما قليل فان سعة الحركة الاهتزازية الناتجة للجسيم تتناوب بين نهايتيں عظمى وصغرى مع مرور الزمن.. وتعرف الضربيات أيضاً بأنها (التناوب في جهارة الصوت نتيجة تداخل الموجات الصوتية وتعتبر طريقة بسيطة لتنعيم الآلات الموسيقية .



فعندما تحدث الحركتان التوافقيتان على امتداد محور معين نتيجة الاختلاف الضئيل بين تردديهما يحدث تغير تدريجي في فرق الطور بين الحركتين مع مرور الزمن ، ففي النقطة A تكون الحركتين بنفس الطور وبنفس الاتجاه وتكون سعة الإزاحة في ذروتها وبنفس الاتجاه وهذا يمثل التداخل البناء ومحصلة الإزاحة لهذا النوع من التداخل هو المجموع الجبري للإزاحتين، وبمرور الزمن فان الحركتين تخرجان عن الطور ويزداد فرق الطور بينهما حيث يصبح(180) كما في النقطة B وتكون الإزاحتان متعاكستان وتلغى احدهما الأخرى وسعة الحركة الاهتزازية تكون في أدنى قيمة لها وهذا يمثل التداخل الالتفافي أو الهدم ومحصلة الإزاحة تكون مساوية لفرق بين الإزاحتين ، وهكذا تتكرر العملية وتتناوب محصلة الإزاحة بين أقصى قيمة وأدنى قيمة لها مع مرور الزمن وبتردد ثابت يدعى بتردد الضربات ويساوي (الفرق بين ترددى الحركتين التوافقيتين). والشرط الأساسي لحدوث ظاهرة الضربات هو أن يكون الفرق بين التردددين قليلا .

نفرض لدينا جسيم في وسط يتذبذب تحت تأثير حركتين توافقيتين بسيطتين مختلفتين قليلا في التردد .  
الإزاحة الآنية للجسيم في الزمن  $t$  بسبب تأثير الحركة التوافقية الأولى التي سعتها  $A_1$  وترددتها  $f_1$  هي  $x_1$ .

$$X_1 = A_1 \sin w_1 t = A_1 \sin 2 \pi f_1 t$$

الإزاحة الآنية لنفس الجسم في نفس اللحظة الزمنية  $t$  نتيجة تأثير الحركة التوافقية الثانية التي سعتها  $A_2$   
وترددتها  $f_2$  هي  $x_2$

$$X_2 = A_2 \sin w_2 t = A_2 \sin 2 \pi f_2 t$$

محصلة الإزاحة  $X$  في الزمن  $t$  تنتج من تركيب الحركتين

$$X = x_1 + x_2$$

$$= A_1 \sin w_1 t + A_2 \sin w_2 t$$

$$A = A_1 + A_2$$

يمكن تحليل الضربات إذا افترضنا بأن الساعات متساوية

$$X = A \sin w_1 t + A \sin w_2 t$$

$$x = 2A \cos\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) t \sin\left(\frac{w_2 + w_1}{2}\right) t$$

شرط ظاهرة الضربات الفرق بين  $w_2, w_1$  يكون قليلا (اقل من 10Hz ) ويتوقف على الفاصل الزمني بين أي تردددين أو ضربتين وعلى الأذن البشرية.

$$f_2 - f_1 = \Delta f \leq 10 \text{Hz}$$

#### • ظاهرة تضمين السعة

هي ظاهرة ذات أهمية علمية في عملية الاتصالات الكهرومغناطيسية والالكترونية فضلا عن

الصوتيات وتكون السعة متغيرة جيبياً ويتنبذب فيها التردد بين التردد العالي والتردد المنخفض ويمكن تمثيل المعادلة الأخيرة بشكل آخر

$$\therefore x = B \sin\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) t$$

$$B = 2A \cos\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) t$$

وهذه المعادلة تمثل معادلة حركة دورية سعتها  $B$  تتنبذب بتردد عالي قيمته تساوي المتوسط الحسابي للترددتين ويمثل التردد الفعلي للحركة ، أما  $\sin\left(\frac{w_2 + w_1}{2}\right)$  يعتبر عامل متذبذب تقع قيمته دائماً بين  $0 \leq B \leq 2A$  . الحدين  $(\pm 1)$

$$\cos\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) t = \pm 1 \quad \text{أكبر قيمة لسعنة (2A)}$$

N أعداد صحيحة  $(0, 1, 2, \dots)$

$$\tau = \frac{1}{f_2 - f_1} = \frac{1}{\Delta f} \quad \text{الفترة الزمنية T بين اكبر سعتين متتاليتين هي :}$$

$\Delta f$  وهذا يعني أن عدد الساعات الكبيرة في الثانية الواحدة هو

$$\cos\left(\frac{w_2 - w_1}{2}\right) t = 0 \quad \text{اصغر قيمة B عندما تكون السعة = صفر اي}$$

نستنتج من هذا إن محصلة تركيب حركتين توافقيتين بسيطتين يكون حركة توافقية بسيطة أيضاً ترددتها يساوي متوسط تردد الحركتين الأصليتين وسعتها تتغير دوريًا مع الزمن بين مجموع السعتين والفرق بينهما وبتردد مقداره الفرق بين الترددتين الأصليتين.

مثال // احسب سرعة الصوت في غاز تولد فيه موجتان أطوالها (100cm) و(101cm) ، 18 ضربة في 6 ثواني ؟

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad \text{تردد الموجة الأولى}$$

$$f = \frac{v}{\lambda} = \frac{v}{101} \quad \text{تردد الموجة الثانية}$$

$$3 = \frac{18}{6}$$

عدد الضربات في الثانية الواحدة :

$$f_2 - f_1 = \frac{v}{100} - \frac{v}{101} = 3$$

$$V = 303 \text{ m/sec}$$

## تشتت الموجات (سرعة المجموعة والطور )

### السرع في الحركة الموجية

مصادر الصوت تكون عادة كبيرة جداً بالمقارنة مع الأبعاد الفاصلة بين الجزيئات تحت الشروط الجوية الاعتيادية وان هذه الجزيئات المنفردة التي يتالف منها الوسط لا تتنقل مع الموجة بل تهتز موضعياً حول نقاط توازنها وعلى هذا الأساس يمكن اعتبار الجزيئات عبارة عن مهتزات تهتز بحركات توافقية بسيطة اهتزازاً طولياً حول موضع توازنها. وطبعي إن جميع هذه المهتزات لا تهتز بنفس الطور بل بأطوار مختلفة تتغير دورياً . واختلاف طور حركة هذه المهتزات هو الذي نلاحظه كموجات . وهناك ثلاث سرع في الحركة الموجية وترتبط بعضها بعلاقات رياضية ، وهي :

#### 1- سرعة الجسم

وهي السرعة التوافقية البسيطة للجسم حول موضع توازنه وهي مقدار متغير ، فهي تكون في غايتها العظمى في لحظة مرور الجسم في موضع توازنه وتكون صفراء عندما يكون في أقصى إزاحة عن موضع التوازن .

$$\zeta = a \sin(wt - kx) \quad , \quad w = kC \quad , \quad k = \frac{2\pi}{\lambda}$$

$$\zeta = a \sin \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x)$$

C هي سرعة الموجة

$$u = \frac{d\zeta}{dt} = \frac{2\pi ac}{\lambda} \cos \frac{2\pi}{\lambda} (ct - x)$$

هذه المعادلة توضح العلاقة بين سرعة الجسم المهتز u وسرعة الموجة c .

أي إن سرعة الجسم u هي السرعة التي يزودها المصدر الصوتي المهتز لجسيمات الوسط وتتوقف على سعة الاهتزاز واتجاهه وتحتفى متى ما توقف السطح المهتز عن الاهتزاز وهذه السرعة تختلف عن السرع الجزيئية العشوائية المرتبطة بالحركة المستمرة لجسيمات الوسط .

#### 2- سرعة الطور

هي سرعة تقدم طور معين للموجة المنفردة وهي مقدار ثابت في الوسط الواحد وتساوي حاصل ضرب التردد في

$$V_{ph} = \frac{w}{k} = \lambda f \quad \text{الطول الموجي .}$$

وهذا المقدار الثابت يسمى سرعة الموجة ويعتمد على الثوابت الفيزيائية للوسط . وهي نفسها سرعة تقدم الطاقة التي تحملها الموجة. يمكن كتابة دالة من أي شكل من موجة منتقلة في اتجاه x بتعويض  $x=ut$  بدلاً عن x ، فلو