جامعة الانبار
كلية التربية للعلوم الصرفة
قسم الفيزياء

محاضرات
فيزياء الصوت والحركة الموجية
للمرحلة الثانية قسم الفيزياء

إعداد
د. رائد خضر سلمان الفهداوي
قسم الفيزياء/ كلية التربية للعلوم الصرفة

العام الدراسي
2016-2015

مفردات المنهج

تمهيد

- ، منشأ الصوت وانتقاله.
- المعنى السيكولوجي والمعنى الفيزيائي للصوت.
- العوامل الأساسية المتطلبة لتوليد الصوت وانتشاره.

الحركة الموجية

- الموجات والحركة الموجية ،الموجات الطولية، الموجات المستعرضة، الموجات الواقفة, اهتزاز الاوتار, اهتزاز الاغشية, موجات الصوت المستوية.

نظرية الأهتزاز الحر

- الحركة التوافقية البسيطة(تعريفها,مفاهيمها, معادلاتها, تطبيقاتها), تعيين محصلة حركتين توافقيتين بسيطتين متعامدتين(بالطريقة الرياضية, بطريقة الرسم), الرنين, الحركة التوافقية الحرة المضمحلة,التردد والتذبذب القسري.

بعض الظواهر المتعلقة بانتشار الصوت في الهواء

محاضرة 1 – مفهوم الصوت ومنشأه وطرق انتقاله

تعريف الصوت:

يعتبر الصوت من الوسائل المهمة في التواصل بين الكائنات المختلفة. ففي الوقت الذي تقتصر مهمة الابصار على تحديد ماهو مرئي فقط باتجاه مقابل لحاسة البصر فإن الصوت يمكن ان ينبه الى اشياء خارج نطاق البصر ومن جميع الاتجاهات. بالإضافة إلى ذلك، فإن للصوت مهمة كبيرة في ايصال الأفكار والصور حيث ان حاسة السمع عند الانسان لها القدرة على خلق صورة ذهنية لمصدر الصوت وبطريقة تمكنه من تحديد المصدر وتفاصيل كافية عنه.

فما هو هذا الصوت؟ وما هو التعريف الفيزيائي الملائم له؟ كيف ينتقل وينتشر؟ ماهي العوامل التي يتطلبها توليد الصوت وانتشاره؟

الصوت: هو عبارة عن سلسلة من التضاغطات او التخلخلات التي تنتقل في الهواء والأوساط المادية المختلفة. وينتج الصوت عن طريق تغير فجائي في الضغط الجوي بسبب مصدر مهتز ينتقل من مصدر هذه الاهتزازات إلى محل استقبال هذه الاهتزازات (جهاز السمع) مما يؤدي الى سماع الصوت الناتج واستيعاب ماهيته. ولطبيعته الموجية يتألف الصوت من ترددات وسعات مختلفة مختلفة، وهذا التنويع في خواص الموجة الصوتية هو المسؤول عن اختلاف طبيعة الصوت من حيث حدته او ارتفاعه وانخفاضه وشدته حسب المصدر الصادر منه.

أما بالنسبة لقدرة الأذن البشرية على استيعاب الصوت فهي محددة بمجال محدود من الترددات لا تقل عن 15 ذبذبة/ الثانية (تحت المسموعة) ولا تزيد عن 2000 ذبذبة / الثانية (فوق الصوتية)، مما يجعلها غير قادرة على تمييز وسماع العديد من الأصوات التي تستطيع بقية الكائنات الحية سماعها.

سرعة الصوت: وبما ان الصوت عبارة عن موجات تنتقل في الأوساط المادية، فانتقاله يكون بسرع مختلفة تعتمد على عوامل مختلفة مثل طبيعة الوسط والمصدر. وهناك علاقة تربط بين سرعة الموجة الصوتية و الطول الموجي وعدد الاهتزازات (التردد) ، وهي:

سرعة الصوت= طول الموجة x عدد الذبذبات

اي انه:

$$v = \lambda \times f$$

حيث f عدد الذبذبات /الثانية، λ الطول الموجي.

وتقدر سرعة الصوت في الهواء تقريباً بـ 340 *m/sec*.

مثال: احسب مقدار (نسبة) التغير في سرعة الصوت في وسط يقل فيه تردد الموجة الصوتية بمقدار نصف قيمته في الهواء. علماً ان الطول الموجي ثابت خلال ذلك الوسط.

الحل:

سرعة الصوت في الهواء = الطول الموجي للصوت × تردده في الهواء
سرعة الصوت في الوسط = الطول الموجي للصوت × تردده في الوسط

ولكن

تردد الصوت في الهواء = 2 × تردده في الوسط

اذن

$$\frac{\text{سرعة الصوت في الهواء}}{\text{سرعة الصوت في الوسط}} = \frac{2 \times \text{تردده في الوسط}}{\text{تردده في الوسط}} = \frac{2}{1}$$

اي ان سرعة الصوت في الوسط تساوي نصف سرعته في الهواء.

وهذا يعني ان سرعة الصوت تعتمد اعتماداً كبيراً على تردد موجته

شدة الصوت: هي الطاقة التي تحملها موجة الصوت في الثانية عبر وحدة المساحات العمودية على اتجاه انتشار الموجة. و تعتبر الخاصية التي بموجبها تتحدد قوة الصوت او ضعفه. وتتوقف شدة الصوت على سعة اهتزاز الموجة الصوتية (amplitude)، فكلما زادت سعة الموجة الصوتية زادت شدة الصوت. مثال على السعة العالية لموجة الصوت اصوات الطائرات والقنابل والتي تكون شدة الصوت فيها عالية.

وتقاس شدة الصوت بوحدة الديسيبل Decibel (dB) (W/m^2)، واحياناً تسمى بالديسيبل وات. وهذه الوحدة الاخيرة تمثل وحدة لوغارتمية تعطي النسبة بين كميتين فيزيائيتين مثل القدرة او الشدة، بالنسبة إلى قيمة معيارية.

1 ديسيبل =0.1 بيل

وشدة الصوت العادية تبدأ من 60dB وابتداءاً من 90dB فما فوق تصبح شدة الصوت مضرة بالأذن عند التعرض له لفترة طويلة. لذلك تعتبر اصوات الطائرات من العوامل المؤثرة بصورة سيئة على الأذن البشرية كونها تقع في مدى 100- 120dB. لذلك تنشأ المطارات والقواعد الجوية في مناطق نائية بعيداً عن المناطق المأهولة بالسكان.

العوامل الأساسية لتوليد الصوت وانتشاره

يتطلب توليد وانتقال الصوت في الأوساط (انتشاره) توفر عوامل رئيسية والتي منها:

مصدر توليد الصوت: ويمثل مصدر الاهتزاز المولد للموجة الصوتية مثل الاهتزاز الناتج عن شوكة رنانة او محرك. وطبيعة هذه الاهتزازات هي التي تحدد طبيعة الصوت الواصل إلى الاذن لتتحسسه.

الوسط المادي: موجات الصوت تعتبر موجات ميكانيكية تحتاج إلى وسط مادي لانتقالها، وهذا الوسط يمكن ان يكون الهواء او الماء او اي مائع، لكنها لا يمكن ان تنتقل في الفراغ. ويختلف انتقال الصوت في الأوساط المادية باختلاف طبيعة تلك الأوساط وخواصها الفيزيائية مثل كثافة او لزوجة الوسط.

مرونة الوسط: يجب ان يكون للوسط الناقل مرونة وقصور ذاتي لنقل الموجة الصوتية، كونها موجة ميكانيكية كما اسلفنا. فانتقال الموجة الصوتية وانتشارها في الوسط يتم بواسطة اهتزاز جزيئات الوسط نفسه من المصدر إلى المستلمات السمعية.

نوعية الصوت: وتسمى ايضاً الجرس، وهي احدى خصائص الأصوات الموسيقية. وتميز النوعية بين الاصوات التي تنتجها النبرات ذات التردد الواحد والشدة الواحدة، التي تحدثها آلات موسيقية مختلفة.

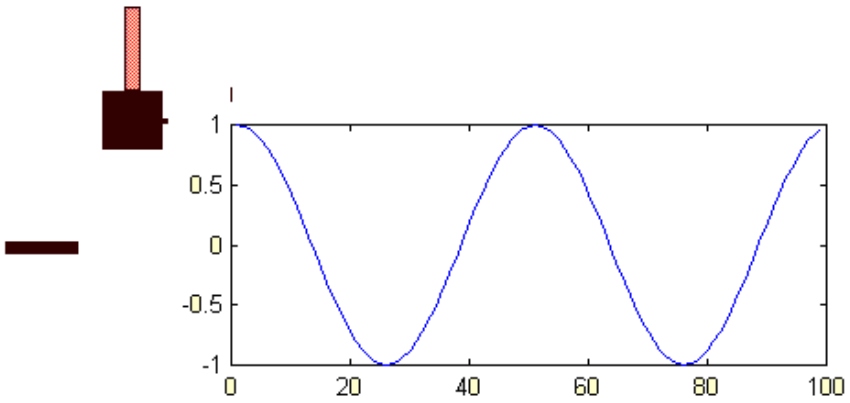
نهاية المحاضرة

محاضرة 2 – مفهوم الحركة الموجية

الحركة الموجية: هي الحركة التي يصنعها الجسم المهتز على جانبي موضع سكونه او اتزانه الأصلي، مثل حركة البندول البسيط.

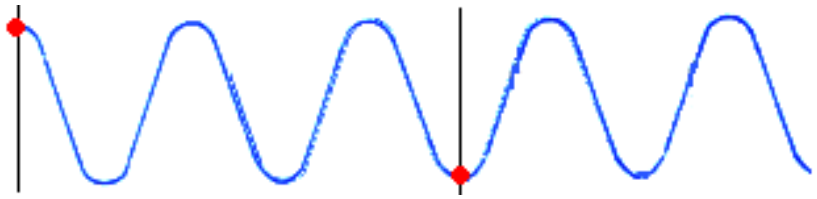
أو هي الاضطراب أو الحركة التي تحدث في الوسط عندما يتحرك كل جزء من أجزائه حركة اهتزازية تسري بالتتابع من نقطة إلى أخرى . وتسمى الحركة الاهتزازية في أنقى صورها بالحركة التوافقية البسيطة.

اما الموجة: فهي الاضطراب الذي ينتقل في اتجاه معين وبسرعة معينة بدون انتقال جزيئات الوسط الذي تسري فيه ويقوم بنقل الطاقة باتجاه مساره. فبدلاً من انتقال جزيئات الوسط تتحرك الجزيئات حركة اهتزازية دورية حول مواضع اتزانها (مواضع استقرارها) ، أي تتحرك حركة توافقية بسيطة يمكن تمثيلها بيانيا بالمنحنى الجيبي، كما في الشكل ادناه.



س/ هل الموجة مادة؟

ج/ لا تعتبر الموجة مادة، ولكنها تسري خلال المادة دون أن يصحب ذلك انتقال المادة ، وتحمل الموجة الطاقة من مكان إلى آخر،تنتقل الطاقة من مكان لآخر بواسطة تحريك نقاط الوسط المتموج رغم أن جزيئات الوسط نفسه لا تنتقل من مكان إلى آخر في اتجاه انتشار الحركة الموجية.



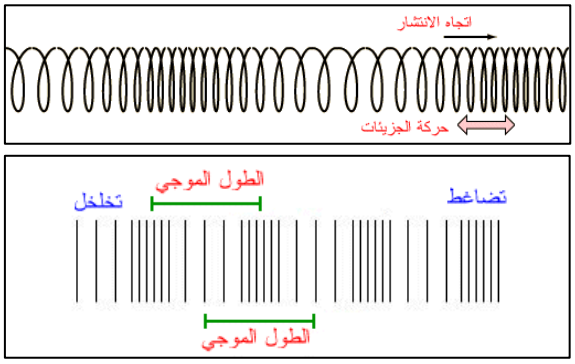
كيف تنتج الموجات؟

تنتج الموجات عن مصدر مهتز يحدث اضطراباً في الوسط المادي فتنتج عنه حركة موجية.

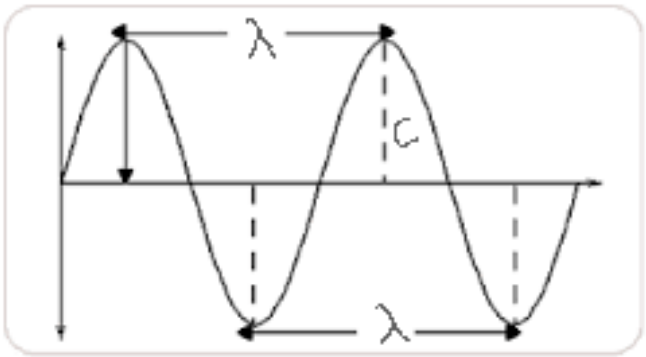
انواع الموجات

هناك طريقتان لتصنيف الموجات، احداها تعتمد على كيفية انتشارها في الأوساط المختلفة، أما الأخرى فهي تعتمد على طبيعة الموجة نفسها. بالنسبة لطبيعة انتشار الموجة هناك ثلاث انواع رئيسية من الموجات وهي:

الموجات الطولية Longitudinal waves: وهي الموجات التي تهتز فيها جزيئات الوسط حول مواضع اتزانها في اتجاه موازٍ لاتجاه انتشار الموجة، وتتكون من سلسلة من التضاغطات والتخلخلات. ومن امثلة هذه الموجات الموجات الصوتية والموجات الناتجة من سحب زنبرك وتركه يهتز بحرية. الشكل ادناه يوضح نموذج للتضاغطات والتخلخلات المرافقة للموجات الطولية.

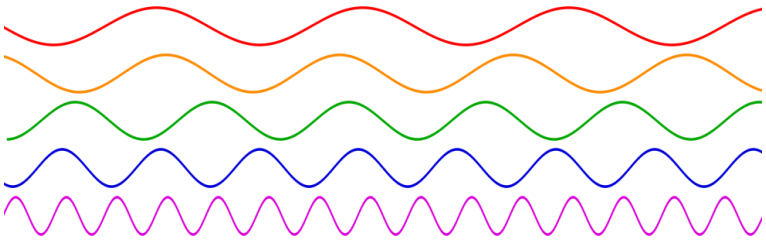


الموجات المستعرضة Transverse waves: وهي الموجات التي تهتز جزيئات الوسط فيها حول مواضع اتزانها باتجاه عمودي على اتجاه انتشار الموجة. وتتكون هذه الموجات من قمم وقعور (جمع قعر)، كما في الشكل ادناه.



في الشكل اعلاه تمثل λ (تقرأ لامدا) الطول الموجي، وهو المسافة بين قمتين او قعرين او موضعي اتزانين للموجة. اما C فيمثل سعة الموجة وهو اعلى ازاحة للموجة عن موضع اتزانها. اما الزمن اللازم لعمل ذبذبة كاملة (دورة جيبية كاملة) فيسمى الزمن الدوري للاهتزاز ويرمز له بالرمز τ عادةً.

اما الاهتزاز الحاصل في دورة كاملة فيسمى بالتردد ويرمز له بالرمز f. ويعتبر التردد مقياس لتكرار الحدث الدوري. الشكل ادناه يوضح حركات موجية بترددات مختلفة:



والعلاقة بين التردد وسرعة الموجة والطول الموجي يمكن اشتقاقها من معادلة الحركة الخطية:

$$x = v.t$$

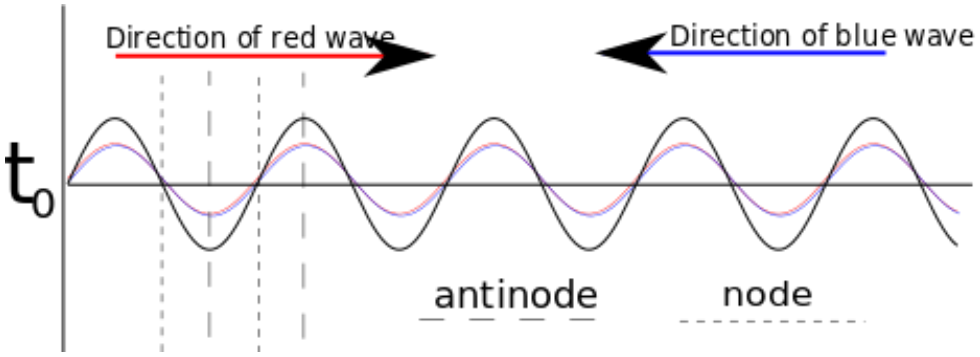
حيث x هي الازاحة والتي تتمثل بالطول الموجي بالنسبة للموجة (لماذا؟)، اما v فهي السرعة و t الزمن الذي يقطعه الجسم بحركته الموجية (اي زمن ذبذبة كاملة) لذلك t= τ بالنسبة للموجة.

اذاً المعادلة اعلاه يمكن ان تكتب بـ $\lambda = v.\tau$ ومن تعريف التردد نحصل على $\tau = \frac{1}{f}$

اذاً

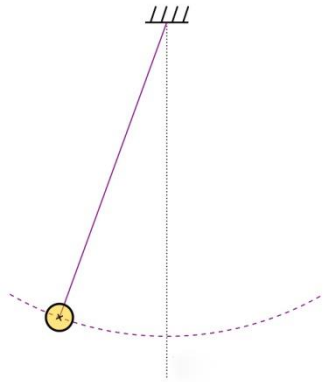
$$.\lambda = \frac{v}{f}$$

الموجات الواقفة Standing (stationary) waves: النوع الثالث من انواع الموجات حسب انتشارها هو الموجات الواقفة. وهي الموجات التي تظل في مكان ثابت. ويمكن لهذه الظاهرة أن تحدث أما لأن الوسط يتحرك في الاتجاه المعاكس للموجة، أو تحدث في وسط ساكن نتيجة تداخل بين موجتين تتحركان في اتجاهين متضادين. كما في الشكل ادناه



نهاية المحاضرة

محاضرة3- الحركة التوافقية البسيطة



الحركة الدورية: هي حركة الجسيم باستمرار ذهاباً وايابا حول نقطة ثابتة تدعى بموضع التوازن او الاستقرار.

موضع التوازن او الاستقرار: هي نقطة تنعدم فيها محصلة القوى المؤثرة في الجسيم وتمثل نقطة سكونه عندما يتوقف عن الاهتزاز.

الحركة الخطية التوافقية البسيطة: هي حركة جسيم على خط مستقيم بتعجيل يتناسب مقداره طردياً مع ازاحته عن نقطة ثابتة تمثل موضع اتزانه واتجاهه يكون دائما نحو نحو تلك النقطة المرجعية. من الأمثلة على الحركة التوافقية البسيطة حركة البندول البسيط.

معادلة الحركة الخطية التوافقية البسيطة

نفرض وجود جسيم مثبت إلى نابض حلزوني ثابته K (ثابت المرونة). فإذا ازيح ذلك الجسيم ازاحة طفيفة مقدارها x عن موضع اتزانه فإن قوة الاستعادة الآنية F هي

$$F=-kx$$

حيث الاشارة السالبة تشير إلى ان اتجاه القوة يعاكس اتجاه الإزاحة. وبتطبيق قانون نيوتن الثاني للجسيم المتحرك (محصلة القوى المؤثرة في جسيم متحرك تساوي حاصل ضرب كتلته m في التعجيل المكتسبa).

$$\sum F = ma$$

وفي حالة الحركة الاهتزازية فإن محصلة القوى المؤثرة في الجسيم المهتز kx-، وكتلة الجسيم المهتز m. ولكن التعجيل يعرف رياضياً بـ d^2X/dt^2 فتكون معادلة الحركة:

$$\sum F = m\ d^2x/dt^2$$

وبقسمة طرفي المعادلة اعلاه على m نحصل على

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{kx}{m}$$

ولكن من قانون هوك نعرف ان $\omega^2_o=k/m$، حيث ω_o يمثل التردد الزاوي للمهتز التوافقي فتصبح المعادلة اعلاه:

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_o^2 x$$

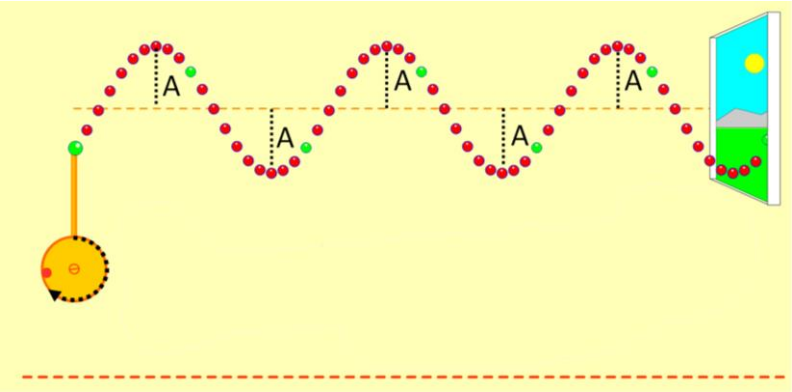
وهي معادلة تفاضلية من الدرجة الثانية تدعى بمعادلة الحركة التوافقية البسيطة.
حيث $w=2\pi f$. f يمثل التردد الخطي للمهتز التوافقي البسيط.

نهاية المحاضرة

محاضرة4- حل معادلة الحركة التوافقية البسيطة

بعد المعالجة البسيطة السابقة، نحتاج الى توسيع بسيط لفهم معادلة الحركة التوافقية البسيطة بحيث تتضمن جميع معاملات الحركة كالازاحة والسرعة الزاوية (التردد الزاوي)، وسعة الحركة.

نفرض تولد موجة في وتر نتيجة دوران محرك اهتزازي كما في الشكل ادناه



نلاحظ ان الشكل اعلاه يمثل موجة جيبية يمكن تمثيلها بالمعادلة

$$x = A.\sin(at) \dots\dots (1)$$

والتي باخذ المشتقة الأولى والثانية كما في ادناه

$$\frac{dx}{dt} = A.a.\cos(at) \quad \dots\dots (2)$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} = -A.a^2.\sin(at) \quad \dots\dots (3)$$

وبمساواة معادلة (3) مع معادلة الحركة التوافقية البسيطة للنابض الحلزوني $\frac{d^2x}{dt^2} = -\omega_o^2 x$ ، نحصل على:

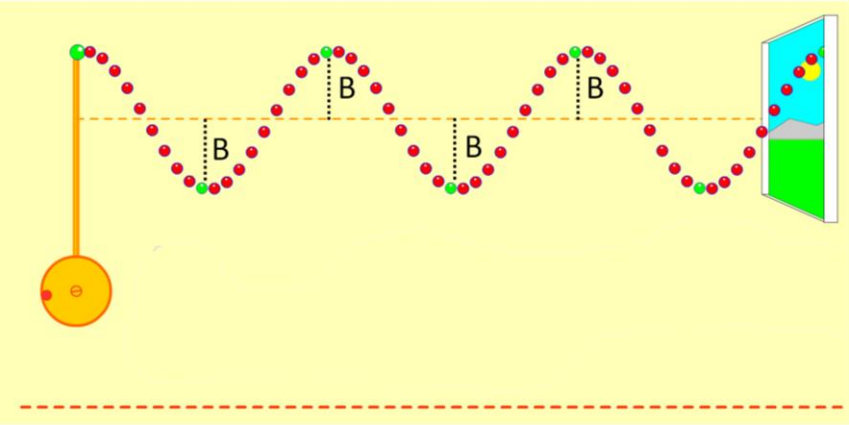
$$a = \omega$$

لذلك يمكن اعادة كتابة معادلة (1) كالآتي:

$$x = A.\sin(\omega t) \dots\dots (4)$$

المعادلة اعلاه تمثل حل واحد لمعادلة التفاضلية من الدرجة الثانية بسبب وجود ثابت اختياري واحد. بالإضافة الى ذلك فإن المعادلة اعلاه لا تعطي ايضاً تفاصيل عن تغير طور الموجة. لذلك يعتبر هذا الحل خاص (غير كامل) ويحتاج الى حل اخر مكمل لحل معادلة المهتز التوافقي البسيط.

نفترض تغير طور الموجة اعلاه بفرق 90 درجة كما في الشكل ادناه



اذن فالإزاحة الناتجة لجسيم على هذه الموجة هي:

$$x = B.cos(bt)$$

وبنفس الطريقة يمكننا اثبات ان $b=\omega^2$ ، وبالتالي فإن:

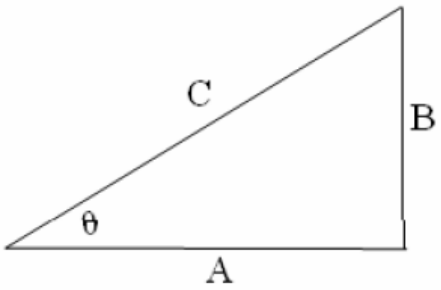
$$x = B.\cos(\omega t) \dots\dots (5)$$

وهذه المعادلة ايضاً تعتبر حلاً خاصاً غير كامل للمعادلة التفاضلية من الرتبة الثانية.

من ذلك يظهر ان الحل الكامل يمكن ايجاده بدمج الحلين (4) و (5) ليعطي:

$$X = A.\sin(\omega t) + B.\cos(\omega t) \quad \dots\dots (6)$$

حيث يتضمن هذا الحل وجود ثابتان اختياريان هما (A) و (B). ولإيجاد هذا الثابتان يمكن استخدام المثلث القائم الزاوية (ABC). حيث A و B هما ضلعي المثلث و C هو وتر المثلث.



في المثلث اعلاه نلاحظ ان:

$$sin\theta = \frac{B}{C}$$
$$cos\theta = \frac{A}{C}$$

وبتعويض القيم اعلاه في المعادلة (6) نحصل على:

$$X = C[cos\theta.\sin(\omega t) + sin\theta.\cos(\omega t)]$$

ومنها نحصل على (كيف؟):

$$X = C\sin(\omega t + \theta) \quad \ldots\ldots(7)$$

والتي تمثل حلاً كاملاً للمعادلة التفاضلية المذكوره، حيث تتضمن ثابتين اختياريين هما C سعة الاهتزاز، و θ زاوية فرق الطور.

نهاية المحاضرة

محاضرة5- تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة

حساب الطاقة الكلية لمهتز توافقي بسيط

تمثل الطاقة الحركية بصورة عامة بالمعادلة التالية:

$$E_K = \frac{1}{2}m\upsilon^2$$

حيث υ السرعة، و m كتلة الجسم المتحرك. ومن معادلة 7 في المحاضرة السابقة نحصل على

$$E_K = \frac{1}{2}m\omega^2 C^2 \cos^2(\omega t + \theta)$$

اما الطاقة الكامنة للمهتز فهي تعرف كالآتي:

$$E_P = \frac{1}{2}kX^2$$

حيث k يمثل ثابت هوك.

وبتعويض قيمة X من معادلة 7 نحصل على :

$$E_P = \frac{1}{2}kC^2 \cos^2(\omega t + \theta)$$

اذا فالطاقة الكلية E هي:

$$E = E_K + E_P = \frac{1}{2}C^2[\, m\omega^2 \sin^2(\omega t + \theta) + k\cos^2(\omega t + \theta)]$$

والتي ينتج عنها (كيف؟):

$$E = \frac{1}{2}kC^2 \ldots\ldots (8)$$

معادلة 8 تظهر ان الطاقة الكلية للمهتز التوافقي تساوي القيمة العظمة للطاقة الكامنة المختزنة في النابض.

عندما $X=\pm C$ (اي ان النابض مسحوب لا على ازاحة (سعة)، ستكون $\upsilon=0$ وبالتالي فإن قيمة الطاقة الكلية ستكون $E=E_P$.

أما عندما تكون $X=0$ (المهتز في موضع اتزانه) فإن الطاقة الكامنة سوف تكون صفراً ($E_P=0$)وبالتالي $E=E_K$.

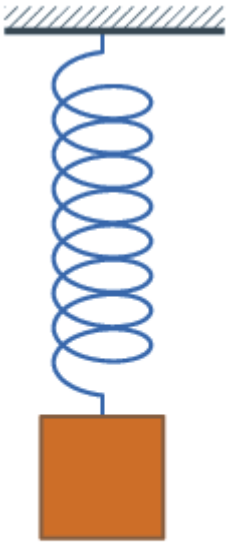
ومن خلال اعادة ترتيب معادلة 8 وتعويض قيمة الطاقة الكلية ($1/2kC^2$) ومجموع الطاقات الحركية والكامنة يمكن الحصول على سرعة الاهتزاز بدلالة الازاحة والسعة كالاتي:

$$v = \pm\sqrt{\frac{k}{m}(C^2 - X^2)} = \pm\sqrt{\omega(C^2 - X^2)}$$

نهاية المحاضرة

محاضرة6- ملخص موضوع الحركة التوافقية البسيطة

معادلة الحركة الاهتزازية لكتلة معلقة بنابض حلزوني (زنبرك):



الكتلة (m) المثبتة في نابض ثابته (k) تتحرك حركة توافقية بسطية بسرعة زاوية ω هي:

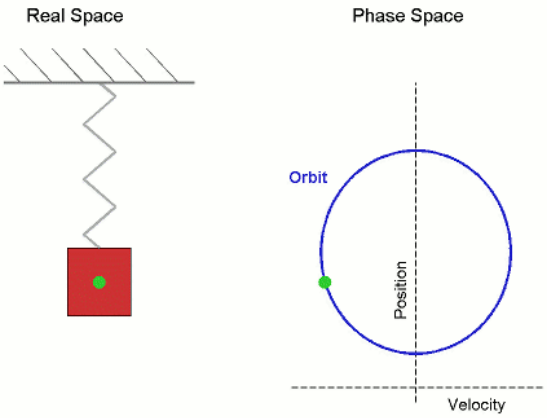
$$\omega = 2\pi f = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

والزمن الدوري (T) للاهتزاز هو

$$T = \frac{1}{f} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

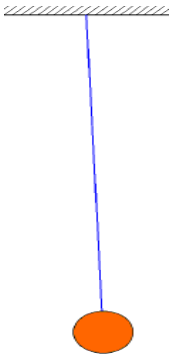
والزمن الدوري يعتمد على كل من سعة الاهتزاز والتعجيل الأرضي.

مسقط الحركة التوافقية على قطر دائرة:



يمكن تمثيل الحركة التوافقية البسيطة على انها اسقاط احادي البعد لحركة دائرية كما في الشكل المقابل. فعند دوران الجسم بسرعة زاوية ω على دائرة قطرها R حول نقطة الأصل في محوري x-y ، فإن اسقاط موضع الجسم على محور x ومحور y يمثلان حركة توافقية بسيطة بسعة اهتزاز R وسرعة زاوية ω.

البندول البسيط:

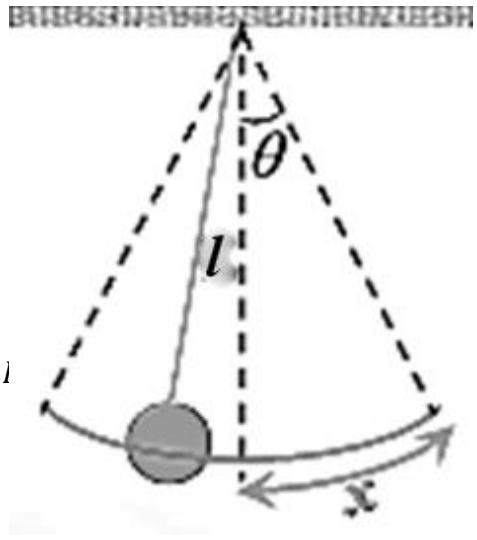


يعتبر البندول البسيط احد تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة، ويتكون البندول البسيط من كتلة مربوطة بخيط مثبت في حامل أفقي كما في الشكل المقابل. عند إزاحة الكتلة بزاوية صغيرة (θ) عن الوضع الرأسي و تركها فإنها تتحرك متذبذبة على الجانبين. وتمثل حركة البندول البسيط حركة توافقية بسيطة

ولايجاد معادلات الحركة والقوة للبندول البسيط نحلل حركته كما في الشكل ادناه:

في الشكل ادناه نلاحظ ان البندول المربوط بخيط طوله l يتحرك بإزاحة مقدارها x ليصنع زاوية θ. فبدراسة المثلث الناتج نلاحظ ان :

$$sin\theta = \frac{x}{l}$$



واذا كانت θ صغيرة جداً فإن $Sin\ \theta \approx \theta$. ومنه ان x=$l$ θ.

وفي الشكل ادناه القوى المؤثرة على البندول. فلإيجاد القوة المعيدة نحلل تلك القوى فنجد ان مركبة القوة المعيدة للبندول هي:

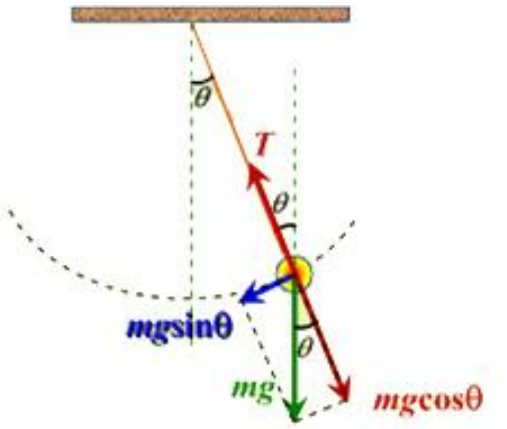
$$F = -mg.\sin\theta$$

ومن قانون هوك

$$-kx = -mg.\frac{x}{l} ===> k = \frac{mg}{l}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{k}{m}} = \sqrt{\frac{mg}{ml}}$$

$$\therefore \omega = \sqrt{\frac{g}{l}}$$



اما الزمن الدوري فهو

$$\therefore T = \sqrt{\frac{l}{g}}$$

نهاية المحاضرة

محاضرة7- تكملة تطبيقات الحركة التوافقية البسيطة

2 - النابض الحلزوني

إذا ثبت جسم كتلته m بنابض فانه يتدلى متوازنا مع النابض الذي يكون قد تمدد بمقدار Δl بحيث

تكون القوة متجهة نحو الاعلى والتي لا تؤثر على النابض مساوية لثقل الجسم mg حيث k ثابت النابض

$k\,\Delta L = mg$

لنفرض أن الجسم سحب نحو ألسفل مسافة y من وضع التوازن الذي كان عليه ثم ترك ليتذبذب

فان محصلة القوة F المؤثرة على الجسم حسب قانون نيوتن الثاني هي :

$$F = ma = m\ddot{y} = mg - k\Delta L - ky$$

$$F = -ky \qquad ,m\ddot{y} + ky = 0$$

بتطبيق نيوتن الثاني

$$\ddot{y} + \frac{k}{m}y = 0 \qquad \rightarrow \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}y = 0$$

$$\frac{d^2x}{dt^2} + w_\circ^{\,2}y = 0$$

وهذه هي معادلة الحركة التوافقية البسيطة

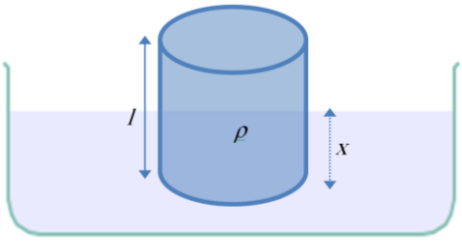
$$Y = y_\circ \sin(wt + \theta)$$

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

3- الجسم الطافي

ان اي جسم طافي على سطح مائع اذا دفع قليلاً الى الاسفل ثم ترك حراً فإنه يهتز بحركة صعود ونزول عمودية على سطح المائع.

نفرض ان لدينا جسم اسطواني منتظم يطفو في سائل بحيث تكون الاسطوانة عمودية الى سطح ذلك السائل. لاحظ الشكل المقابل.



وزن الجسم الطافي = كتلة الجسم الطافي x التعجيل الارضي = $m_{object}\ g$

وبما ان

$m_{object}=A_{object}*l_{object}*\rho_{object}$

اذن وزن الجسم الطافي هو:

$g*A*l_{object}*\rho_{object}$

حيث A ، و l_{object}، و ρ_{object} هي مساحة مقطع الجسم (الاسطوانة=مساحة السائل المزاح) وارتفاعها وكثافتها على التوالي.

وبالمثل فإن وزن السائل المزاح فهو

$g*A_{Fliud}*l_{fluid}*\rho_{fluid}$

وفي حالة التوازن حسب قاعدة ارخميدس للجسم الطافي يكون:

وزن الجسم الطافي = وزن السائل المزاح

اذاً

$g*A*l_{object}*\rho_{object}= g*A*l_{fluid}*\rho_{fluid}$

ومنه

$$\frac{l_{object}}{l_{fluid}}=\frac{\rho_{fluid}}{\rho_{object}}$$

اما عند دفع الاسطوانة للاسفل

فإن وزن السائل المزاح الإضافي = قوة دفع السائل للاسطوانة نحو الأعلى ($Ax\rho_{fluid}g$)، وهذه هي القوة الوحيدة المؤثرة في الاسطوانة.

وحسب قانون نيوتن الثاني

$\sum F=ma$ ……..(1)

$$m\frac{d^2x}{dt^2}=-(Ax\rho_{fluid})g \quad \ldots..(2)$$

الإشارة السالبة تشير إلى ان اتجاه دفع السائل يعاكس اتجاه زيادة الإزاحة

$mg=Al_{object}\ \rho_{object}\ g$ ➔ $m=Al_{object}\ \rho_{object}$ …. (3)

وبتعويض (3) في (2) نحصل على

$$Al_{object}\ \rho_{object}\frac{d^2x}{dt^2}=-Ax\rho_{fluid}\ g \Longrightarrow \frac{d^2x}{dt^2}=-\frac{\rho_{fluid}\ g}{\rho_{object}\ l_{object}}x \ldots\ldots(4)$$

وبالمقارنة مع المعادلة العالمة للحركة التوافقية البسيطة

$$\frac{d^2x}{dt^2}=-\omega^2\ x$$

نستنتج إن حركة الجسم الطافي إذا رفع او خفض قليلاً عن موضع اتزانه وترك حراً سيتحرك حركة توافقية بسيطة ترددها الزاوي:

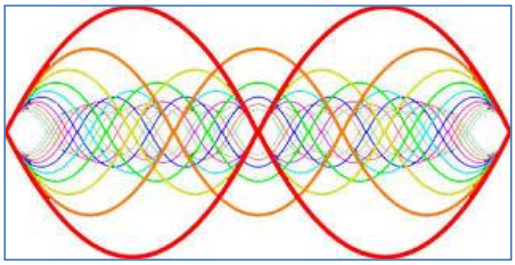
$$\omega = \sqrt{\frac{\rho_{fluid}\, g}{\rho_{object}\, l_{object}}}$$

نهاية المحاضرة

محاضرة8- التردد القسري و الرنين

الرنين

الرنين : هو ظاهرة تحصل عندما يتساوى التردد الطبيعي لنظام مع تردد قوة الموجة المؤثرة عليه مما يسبب اهتزازات ذات سعة هائلة .



شرط حدوث الرنين :

ان يكون تردد القوة الخارجية يساوي التردد الطبيعي للجسم المهتز .

نتيجة الرنين : تزيد سعة الاهتزاز إلى أقصى حد ممكن .

[محاكاة الرنين]

اخطار ظاهرة الرنين

1. تحطم المباني والجسور نتيجة توافق تردد قوة الرياح او الزلازل مع التردد الذاتي للجسور.
   تأثير الرنين عى الجسور المعلقة
2. تحطم الآنية الزجاجية او الخزفية نتيجة توافق تردد القوة الخارجية مع تردد مادة الإناء.
   Wine glass resonance in slow motion.mp4

س1) علل : ينصح الجنود عند السير على جسر أن يسروا بشكل عشوائي غير منتظم .

حتى لا يتساوى تردد الخطوات مع التردد الطبيعي للجسر فيحدث رنين وتزيد سعة الاهتزاز وينهار الجسر

س2) لماذا تكون الدفعات على أرجوحة أكثر فاعلية إذا أعطيت على فترات زمنية معينة ومنتظمة مما لو أعطيت عشوائياً خلال دورة الأرجوحة .

لأنه إذا تساوى تردد الدفعات مع تردد الأرجوحة يحدث رنين وتزداد سعة الاهتزاز إلى حدها الأقصى .

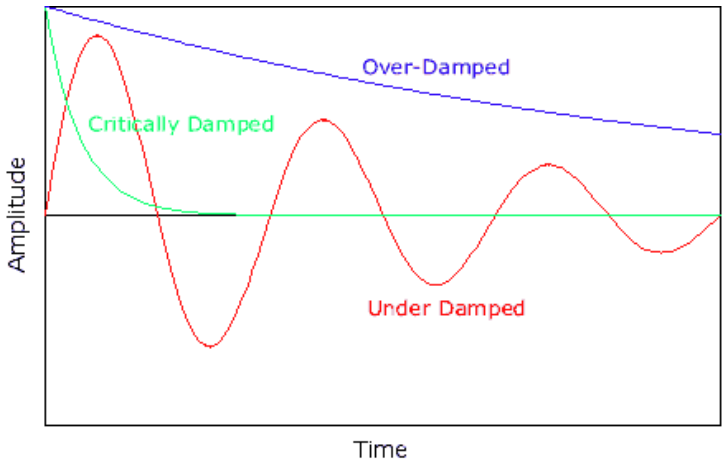
س3) ماذا يحصل إذا وضعت شوكة رنانة مهتزة قرب شوكة رنانة أخرى لها نفس التردد .

بما أن الترددين متساويين يحدث رنين وتبدأ الشوكة الثانية بالاهتزاز .

س4) شوكة رنانة تهتز بتردد معين وضعت على طاولة دون أن تلامس شيئاً فبدأ كأس وشوكة رنانة أخرى على الطاولة بالاهتزاز ؟ علل ذلك .

لأن لها نفس التردد الطبيعي فحدث رنين وبدأت بالاهتزاز .

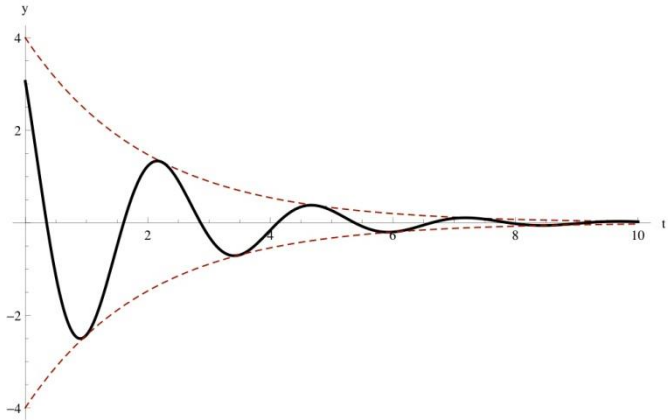
الاضمحلال (الخمود) Damping:



هو الظاهرة التي تقل فيها سعة الموجة مع تقدم الموجة خلال الزمن، مما يؤدي الى اضمحلالها بعد زمن t.

[محاكاة الاضمحلال]

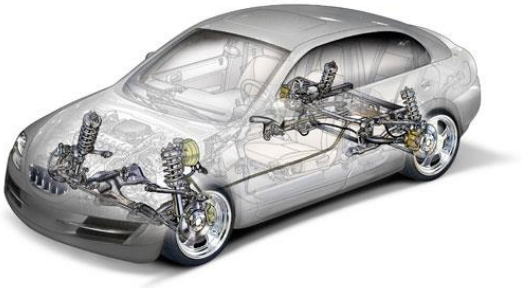
وتعد ظاهرة الاضمحلال حقيقة من حقائق الموجات في الطبيعة، فالموجة ذات السعة الثابتة لا يمكن ان تتواجد في الواقع نتيجة تبدد طاقة الموجة بسبب العوائق الطبيعية كمقاومة الهواء او الاحتكال وغيره من خصائص الاوساط المختلفة.

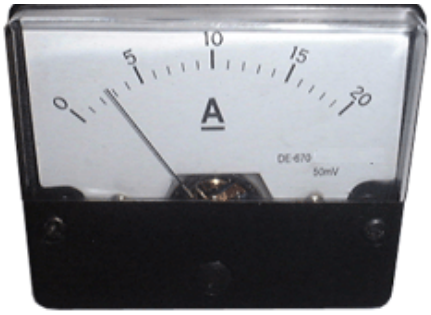


انواع الاضمحلال:

1. الاضمحلال الخفيف Light Damping (Under damping): وفيه تتلاشى الذبذبات تدريجياً وبالتالي فإن السعة تتناقص ببطيء كما في المنحني الثاني في الشكل السابق. من امثلة هذا النوع حركة البندول.

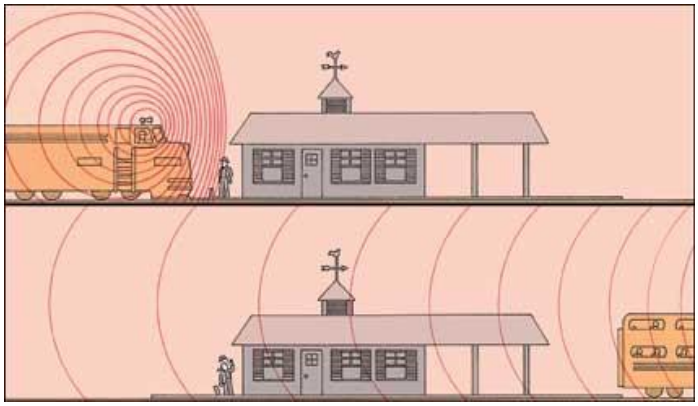
2. الاضمحلال الثقيل Heavy Damping (Over damping): وفيه ينعدم وجود الذبذبات فالنظام فيه يتراجع ببطيء شديد الى موضع التوازن، لاحظ المنحني الثالث في الشكل. من امثلته الابواب المربوطة بنابض حلزوني (سبرنك) ونظام كبح dashpot .





3. الاضمحلال الحرج Critical Damping: وفي هذا النوع من الاضمحلال يعود النظام الى موضع التوازن بأقل زمن ممكن (تقريباً ¼ من الزمن الدوري). من امثلته ممتص الصدمات في السيارة (الدبل)، اجهزة الاميتر والكلفانوميتر القذفي، الموازين الكهربائية.

تأثيـــــر دوبلـر Doubler Effect



هو تغير التردد المراقب عن تردد المصدر نتيجة الحركة النسبية بين المصدر والمراقب .

** الحركة النسبية تعني حدوث اقتراب أو ابتعاد بين المصدر والمراقب .

مبدأ حل الأسئلة :

*** في حالة الاقتراب يزداد تردد الصوت وتزيد درجته .** $f \succ f$

*** في حالة الابتعاد يقـل تردد الصوت وتقل درجته .** $f_{\text{مصدر}} \prec f_{\text{سامع}}$

*** يتساوى تردد المصدر مع التردد الذي يصل المراقب في حالتين :** $f_{\text{مصدر}} \; f_{\text{سامع}}$

1) المصدر والسامع ساكنان .

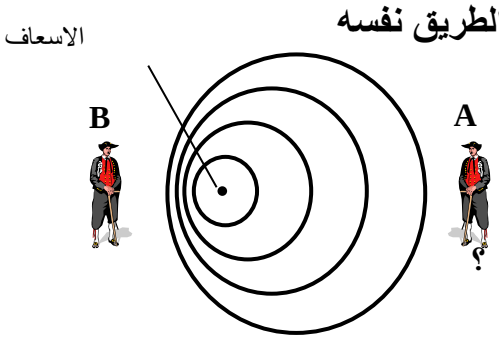
2) المصدر والسامع يتحركان بنفس السرعة ونفس الاتجاه .

ملاحظات :

* كلما زادت السرعة النسبية بين المصدر والسامع زاد فرق التردد .

* ظاهرة دبلر ظاهرة موجية عامة تحدث لكل أنواع الموجات (الصوتية , الضوئية ,.....)

س1) يبين الشكل المجاور الموجات الصادرة عن سيارة اسعاف تطلق صوت صافرتها وتتحرك على طريق بسرعة ثابتة , المراقبان (A) و(B) يقفان على الطريق نفسه



أثناء حركة السيارة أجب عما يلي :

1) حدد اتجاه حركة السيارة الأسعاف بالنسبة للمراقبين .

2) أي المراقبين سيسمع صوت الصافرة بدرجة أعلى . ولماذا ؟

3) قارن بين طول موجة الصوت الواصلة لكل من المراقبين .

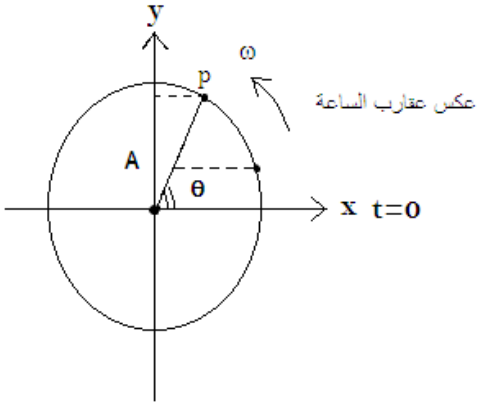
الحل:

1) باتجاه B . (لأن التردد عند B أكبر كما يبدو من الشكل)

2) B , لأن مصدر الصوت يقترب منه فيزيد التردد وتزيد الدرجة .

3) $\lambda_B \prec \lambda_A$ لأن $f_B \succ f_A$.

تعيين محصلة حركتين توافقيتين بسيطتين متعامدتين



مبدأ التراكب:

المقصود بمبدأ تراكب حركتين توافقيتين على بعضهما هو إيجاد التأثير الناتج عن جمعهما جمعاً جبرياً (المحصلة).

ويمكن فهم مبدأ التراكب وذلك بربطه بالحركة الدورانية لجسم وهو مايعرف (بالتمثيل الدائري).

نفرض وجود جسم كتلته m يتحرك بسرعة زاوية مقدارها ω على محيط دائره نصف قطرها A باتجاه عقارب الساعة.

فالجسيم اذاً يتحرك في مستوي ذو بعدين x وy . فعندما تكون بداية الحركة من المحور x (t=0) حتى الموقع p بزاوية قدرها θ ، تكون معادلة الموجة كالتالي:

$$y = A\ sin\ \omega t \quad \ldots..(1)$$

وهذه المعادلة تمثل موقع الجسم على الموجة (الازاحة، الموضع). وهي تمثل علاقة جيبية بين الازاحة y والزمن t، في حين لو اخذنا الحركة من النقطة على المحور x (t=0) حتى الموقع Q فإن الزاوية تصبح (ωt+φ) ، حيث (φ) هي الزاوية التي تعرف موقع الجسم عند بدء الحركة.

وبالتالي تصبح معادلة الحركة للموجة:

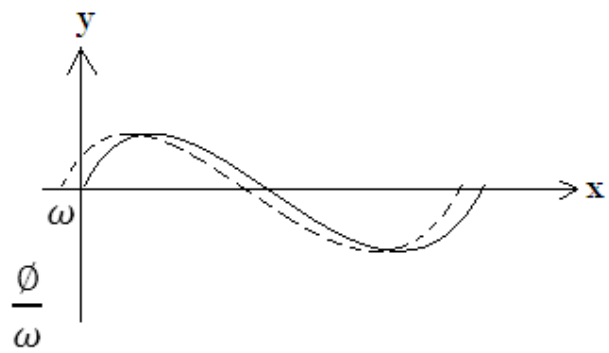
$$y = A\ sin\ (\omega t + \varphi) \quad \ldots..(2)$$

ومن المعادلتين (1) و (2) يتضح ان الحركتين لهما نفس السعة ولكن تختلف بالطور حيث تسبق احداهما الأخرى بزاوية طور φ خلال فترة زمنية t.

ولمعرفة هذه الفترة الزمنية بين الحركتين نضع y=0، فيكون :

$$0 = A\sin(\omega t + \varphi)$$
$$\sin(\omega t + \varphi) = 0 \quad --\rightarrow \quad \omega t + \varphi = 0$$
$$\omega t = \varphi$$
$$\therefore t = \frac{\varphi}{\omega}$$

وهذا يعني ان احدى الحركتين تسبق الأخرى بفترة زمنية مقدارها $\frac{\varphi}{\omega}$ كما في الشكل المقابل:



ولايجاد محصلة هاتين الحركتين:

1. في حالة تساويهما في الطور واختلاف السعة فقط:

$$y_1 = A \sin \omega t$$
$$y_2 = B \sin \omega t$$

فالمحصلة هي مجموع السعتين اي ان:

$$y = (A + B) \sin \omega t$$

حيث (A+B)هي محصلة السعة

2. في حالة اختلاف الحركتين في الطور والسعة فيكون:

$$y_1 = A \sin \omega t$$
$$y_2 = B \sin(\omega t + \varphi)$$

فالمحصلة اذاً هي:

$$y = y_1 + y_2 = A \sin \omega t + B \sin(\omega t + \varphi)$$

وهكذا تكون محصلة الموجتين هي:

$$y = C \sin(\omega t + \beta)$$

حيث (C) تمثل سعة المحصلة و (β) ثابت الطور للمحصلة.

3. محصلة موجتين مختلفتين في السعة احدهما جيبية والاخرى جيب تمام

$$y_1 = A \sin \omega t$$
$$y_2 = B \cos \omega t$$
$$y = y_1 + y_2$$
$$y = A \sin \omega t + B \cos \omega t \quad \dots\dots (1)$$
$$y = C \sin(\omega t + \varphi)$$
$$y = C \sin \omega t \cos \varphi + C \cos \omega t \sin \varphi \quad \dots\dots (2)$$

بمقارنة (1) بـ (2) $A\sin\omega t = C\sin\omega t\cos\varphi$

$$A = C\cos\varphi \rightarrow (3)$$
$$B = C\sin\varphi \rightarrow (4)$$

بتربيع وجمع (3) و (4):

$$A^2 = C^2cos^2\varphi$$
$$B^2 = C^2sin^2\varphi$$
$$A^2 + B^2 = C^2(cos^2\varphi + sin^2\varphi)$$
$$C = \sqrt{A^2 + B^2} \text{(سعة المحصلة)}$$

لإيجاد الزاوية:

بقسمة (4) على (3) نحصل على:

$$\frac{B}{A} = \frac{C\sin\varphi}{C\cos\varphi}$$
$$\tan\varphi = \frac{B}{A}$$

حيث φ زاوية الطور للمحصلة

4. موجتين جيبيتين متحدتين في التردد ومختلفتين في السعة والطور:

$$y_1 = A\sin\omega t$$
$$y_2 = B\sin(\omega t + \varphi)$$

المحصلة هي:

$$y = y_1 + y_2$$
$$y = A\sin\omega t + B\sin(\omega t + \varphi)$$
$$y = A\sin\omega t + B\sin\omega t\cos\varphi + B\cos\omega t\sin\varphi \rightarrow (1)$$

المحصلة المفترضة هي:

$$y = C\sin(\omega t + \beta)$$
$$y = C\sin\omega t\cos\beta + C\ cos\ \omega t\sin\beta \rightarrow (2)$$

بمساواة (1) و (2):

$$A\sin\omega t + B\sin\omega t\cos\varphi = C\sin\omega t\cos\beta$$

$$A + B\cos\varphi = C\cos\beta \quad \rightarrow (3)$$

$$B\cos\omega t\sin\varphi = C\cos\omega t\sin\beta$$

ولإيجاد السعة:

$$\beta\sin\varphi = C\sin\beta \quad \rightarrow (4)$$

بتربيع وجمع)3(و)4(:

$$(A + B\cos\varphi)^2 = C^2cos^2\beta$$

$$A^2 + B^2cos^2\varphi + 2AB\cos\varphi = C^2\,cos^2\beta \quad \rightarrow (3)^-$$

$$B^2sin^2\varphi = C^2sin^2\beta \quad \rightarrow (4)^-$$

$$A^2 + B^2cos^2\varphi + 2AB\cos\varphi + B^2sin^2\varphi = C^2(cos^2\beta + sin^2\beta)$$

$$A^2 + B^2(cos^2\varphi + sin^2\varphi) + 2AB\cos\varphi = C^2$$

$$A^2 + B^2 + 2AB\cos\varphi = C^2$$

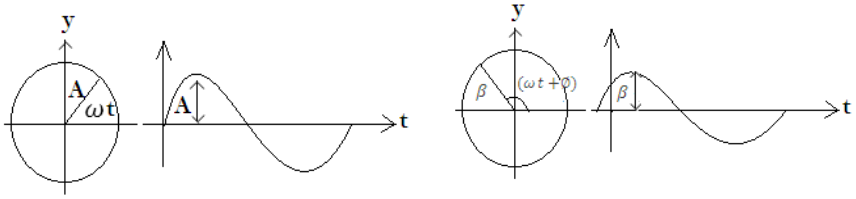
$$\therefore C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos\varphi}$$

ولإيجاد الزاوية بقسمة (4) على (3):

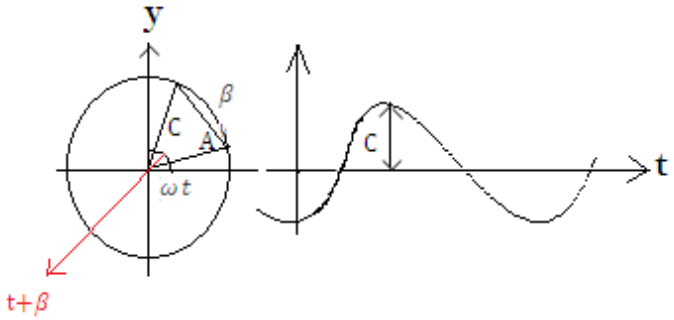
$$\frac{B\sin\varphi}{A + Bcos\,\varphi} = \frac{C\sin\beta}{C\cos\beta}$$

$$\therefore \tan\beta = \frac{B\sin\varphi}{A + B\cos\varphi}$$

ولايجاد محصلة تراكب الموجات بيانياً بيانياً (بطريقة الرسم)، نرسم مثلث يبين مقدار واتجاه كل من A و B كما في الشكلين التاليين.



فيكون شكل محصلة حركة الموجتين (C) هو:



مثال/

تعرض جسيم لحركتين توافقيتين بسيطتين في آن واحد لهما نفس التردد والاتجاه ومعادلتهما:

$$x_1 = (10cm)\sin(2t + \frac{\pi}{4})$$

$$x_2 = (6cm)\sin(2t + \frac{2\pi}{3})$$

اوجد محصلة الحركة.

الحل/ نستخدم القاعدة (أن كلا الحركتين لهما فرق في الطور).

$$\therefore C = \sqrt{A^2 + B^2 + 2AB\cos(\emptyset - \varphi)}$$

$$\emptyset - \varphi = \frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{4} = \frac{5\pi}{12}$$

$$C = \sqrt{100 + 36 + 120\cos\frac{5\pi}{12}}$$

= 12.9 m

نهاية المحاضرات

اسئلة تغطي مادة الكورس

س1) أجب عما يلي:

1. ما أثر زيادة درجة الحرارة الهواء على كل من:

أ) سرعة الصوت ب) الطول الموجي ج) تردد الصوت

2. ما شرط اعتبار مقدمات الموجة الكروية مقدمة مستوية ؟

3. كيف تتأثر درجة الصوت بنقصان الطول الموجي لموجات الصوت في نفس الوسط.

4. (نتيجة لانفجار بعيد يتحسس مراقب ارتجاجاً أرضياً ثم يسمع دوي الأنفجار كيف تفسر هذا التباطؤ الزمني ؟

5. لماذا تكون صور الأشياء التي تنتجها الموجات فوق السمعية داخل الجسم أكثر فاعلية من تلك التي تنتجها موجات الصوت المسموعة ؟

6. وضح كيف يتم حساب بعد الصاعقة من خلال قياس الزمن بين الوميض وصوت الرعد.

7. هل تختلف سرعة انتقال الأمواج الصوتية في الهواء عند منتصف النهار عنها عند منتصف الليل؟ ولماذا؟

الحـل

1. أ) تزيد ب) تزيد ج) يبقى ثابت

2. أن تكون بعيداً جداً عن المصدر.

3. بنقصان الطول الموجي يزيد التردد فتزيد درجة الصوت .

4. لأن سرعة الصوت في الأرض الصلبة أكبر من سرعته في الهواء.

5. لأن طولها الموجي صغير جداً فتستطيع استشعار الأجسام الصغيرة جداً.

6. البعد = الزمن × سرعة الصوت.

7. نعم , سرعة الصوت في النهار أكبر لأن درجة حرارة الهواء تكون أكبر .

تمت بعون الله