كلية العلوم

القسم : **الكيمياء**

السنة : **الثانية**

المادة : اهتزازات وامواج

المحاضرة : الخامسة/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 الخامسة لمقرر الاهتزازات والأمواج لطلاب السنة الثانية كيمياء - د. سمر عمران

الأمواج الصوتية

الصوت: هو اضطراب تضاغطي (سلسلة من الضغوط والتخلخلات المتناوبة) ينتقل في المادة بحيث يؤدي إلى اهتزاز طبلة الأذن وبالتالي الإحساس بالسمع، بمعنى أخر الصوت هو عبارة عن حركة اهتزازية موجية تنتشر في الهواء (أو وسط أخر) الذي تلامسه الأذن مباشرة، تتميز بدورها T (الذي يُقاس بالثانية) وبترددها f (الذي يُقاس بـ Hz) وبتردها الزاوي w (الذي يُقاس بـ $\frac{rad}{sec}$) وبطولها الموجي λ (الذي يُقاس بواحدات الطول) وبشعاع انتشارها K (الذي يُقاس بواحدة مقلوب الطول m^{-1} والذي يسمى بواحدة كايزر في الكيمياء) وبسرعة انتشارها v، وتعتبر الأمواج الصوتية أمواجاً طولانية، ولا يمكن للصوت الانتقال في الفراغ. وقد بينت الظواهر الصوتية أنّهُ لا يمكن للأمواج الميكانيكية أن تمنح الإنسان الإحساس بالسمع إلا إذا تحققت الشروط التالية:

1- وجود وسط مرن بين الأذن ومصدر الصوت.
2- أن يكون للأمواج الصوتية قدرة (طاقة) كافية كي يشعر الإنسان بالصوت.
3- أن يكون تردد الصوت ضمن المجال السمعي للإذن البشرية.

$$f = \frac{1}{T} = \frac{w}{2\pi} = \frac{v}{\lambda} \Rightarrow w = vK \qquad K = \frac{2\pi}{\lambda}$$

مجالات الصوت المختلفة وبعض تطبيقاته:

يمكن تقسيم الصوت إلى أربعة مجالات وفقاً للتردد والطول الموجي بالإضافة إلى سرعة الصوت:

1- **المجال دون الصوتي:** الذي تردده $20Hz >$، وتحدث أثناء الزلازل كما تنتج عن حركة المواد المنصهرة، تسمعها بعض الحيوانات كالأبقار والأرانب وتحسها الأفاعي بجلدها أثناء حركتها بالحركة الاهتزازية لهذه الأمواج.
2- **المجال الصوتي:** يتراوح تردده بين $(20 - 20000)Hz$، يُسمى التردد المسموع والذي له طول موجي يتراوح بين $(0.017 - 17)m$. تجدر الإشارة إلى أنَّ الأذن البشرية تتألم إذا كانت الترددات أدنى من $100Hz$ وأعلى من $15000Hz$. وللحصول على أمواج صوتية ذات ترددات موافقة لسمع الإنسان،

يُفضل استخدام أبواق أنصاف أقطارها كبيرة، لأنها تولّد أمواجاً كروية تنتشر بشكل متساوي في جميع الاتجاهات.

3- **المجال فوق الصوتي:** حيث تردده $> 20KHz$، وبالتالي فهو غير مسموع، يتم الحصول عليها حديثاً من البلورات الصلبة ومحولات الطاقة وأحد أهم هذه المحولات مكبر الصوت والتيلفون ومسجل الصوت المجهري (الميكروفون)، وهناك المفعول الكهرضغطي (الذي يرمز له PZT) الذي يحوّل جهداً ميكانيكياً مطبقاً إلى فرق كمون (كما في القداحة التي تحوّل الضغط إلى شرارة لهب). ويستخدم العديد من الحيوانات الترددات فوق الصوتية لتحديد موضع الصدى (التكشف المزدوج)، فالخفاش يستخدم التردد $200KHz$ بينما تستخدم الدلافين والحيتان التردد $100KHz$ وتستخدم الكلاب التردد $50KHz$.

4- **مجال فرط الصوت:** (أو أمواج وراء صوتية) التي لها ترددات أكبر من $10^{10}Hz$، وتنتج عن الأمواج الحرارية التي تنتشر في السوائل أو الأجسام الصلبة.

بعض من تطبيقات مجالات الصوت:

1- الاستفادة من سلوك بعض الحيوانات في ترقب حدوث الزلازل.

2- شدّة وطاقة المجال فوق الصوتي عالية لذلك فإنَّ له استخدامات في مجالي الكشف والمعالجة، فتستخدم أمواجاً ترددها بين $(0.2 - 2MHz)$ في الكشف الطبي فوق الصوتي عن الحصى في الكلى ومن ثم تفتيتها، ومراقبة وضع الجنين وشفط الدهون بالاستفادة من الحرارة المتولدة عنها.

3- تُستخدم الأمواج فوق الصوتية في المخابر لتنظيف العناصر الضوئية من الأوساخ والغبار وفي اللحام فوق الصوتي.

4- تُستخدم تلك الأمواج لكشف العيوب في الأجسام الصلبة، كالثقوب والفجوات، وقياس سماكة جدران الأنابيب، كما تُستخدم في مجال الهندسة لأغراض التحكم والقياس.

5- تُستخدم في البحار للكشف عن الغواصات في الأعماق بالمسبار الصوتي.

سرعة الأمواج الصوتية في الوسط:

إنَّ الصوت ينتشر في الوسط، وبالتالي فسرعة انتشاره تختلف بحسب كثافة الوسط وبنية المادة وخواصها الترابطية المرنة، وتقوم الذرات والجزيئات بنقل الصوت، وسنرى أنَّ سرعة الصوت أقل من سرعة الذرة أو الجزيئة الحاملة له. لكن الصوت لا ينتشر في جميع الأوساط، لذلك هناك مواد ناقلة للصوت مثل الهواء والغازات والسوائل وبعض المواد الصلبة المعدنية، ومواد عازلة له لأنها تحوي تشوهات أو فيها فراغات مثل

مركز صور كلية العلوم

المطاط والفلين والإسفنج والخشب وغيرها. وكما هو معروف هناك علاقة بين الناقلية الحرارية والكهربائية في الجسم الصلب لأنَّ الالكترونات تقوم بعملية النقل. يمكن إيجاد علاقة بين الموصلية الحرارية والكهربائية وموصلية المادة للصوت، علماً أنَّ الفونونات (واحدة كم الصوت، كما الفوتونات واحدة كم الضوء) هي التي تقوم بعملية نقل الصوت.

سرعة الأمواج الصوتية في الهواء والغازات:

تعتبر عملية تغير الضغط في الغاز الذي تنتشر فيه الأمواج الصوتية عملية تحول كظوم (أي لا يوجد تبادل للطاقة والأنتروبية تبقى ثابتة). عامل المرونة الحجمية K في الغاز المثالي، في هذه العملية $K = \gamma P$، حيث P ضغط الغاز المثالي غير المثار، γ عامل التحول الكظوم. تُعطى سرعة الأمواج الصوتية في الغاز المثالي بالعلاقة التالية:

$$v = \sqrt{K/\rho} = \sqrt{\gamma P/\rho} = \sqrt{\gamma RT/M} \qquad (1)$$

حيث T درجة حرارة الغاز المطلقة، ρ الكتلة النوعية للغاز المثالي، $\gamma = C_P/C_v$ والتي تُعرف في الترموديناميك بأنها النسبة بين الحرارة المولية (النوعية) عند ضغط ثابت ومثيلتها تحت حجم ثابت، وقيمتها للهواء تساوي 1.4 وR ثابتة الغاز المثالي (الكامل). وتُعتبر سرعة الصوت في الهواء مقداراً ثابتاً له أهمية علمية خاصة، وتبلغ قيمته في الشرطين النظاميين من الضغط ودرجة الحرارة STP حوالي $330\,m/s$. أمّا سرعة الصوت في الغازات فتتغير بتغير عدة عوامل منها:

1- الضغط، فإذا فرضنا أنَّ درجة الحرارة ثابتة، فإنَّ تغير الضغط يؤدي إلى تغير الكثافة، مما يؤدي إلى ثبات المقدار P/ρ .
2- تزداد سرعة الصوت بزيادة درجة الحرارة، حيث إنَّ تغيراً في درجة الحرارة بمقدار 10 درجات مئوية يؤدي إلى تغير سرعة الصوت بحوالي $6\,m/s$، ويؤدي ذلك إلى تغير الكثافة، لذلك فإنَّ سرعة الصوت تتغير في طبقات الجو العليا.
3- تتغير سرعة الصوت مع اتجاه الرياح، فيجب أن تزداد أو تتناقص وفق كون الرياح موافقة أو معاكسة لاتجاه الصوت.
4- تتغير سرعة الصوت مع الكتلة المولية للغاز (الوزن الجزيئي للغاز-M)، ذلك لأن الذرات والجزيئات تقوم بنقل الصوت، ولما كانت سرعة الجزيئة وفقاً لدروس الحرارة هي: $v_m = \left(\frac{3P}{\rho}\right)^{\frac{1}{2}}$، فيمكن أن نجد

مركز تصوير كلية العلوم

أنَّ النسبة بين سرعة الصوت وسرعة الجزيئة تُعطى بالعلاقة: $\frac{V}{V_m} = \frac{\gamma}{3}$، مما يُظهر أنَّ سرعة الصوت لا يمكن أن تكون أكبر من سرعة الجزيئة الناقلة لهُ. سرعة الصوت في الغازات أكبر من سرعته في الهواء.

الجدول (1): سرعة الصوت لبعض الغازات عند درجة الحرارة $20^0 C$:

الغاز	M(g)	$v(m/s)$
الهواء	28.8	345
ثاني أكسيد الكربون	44	280
الأوكسجين	32	328
النتروجين	28	355
الهيليوم	4	926
الهيدروجين	2	1310

سرعة الأمواج الصوتية في السوائل:

بما أنَّ الأمواج الصوتية انضغاطية، فإنَّ سرعتها في الموائع تُعطى بالعلاقة التالية:

$$v = \sqrt{\frac{B}{\rho}} \qquad (2)$$

حيث ρ كثافة الموائع، B: معامل المرونة الحجمي، $B = \frac{\Delta P}{\Delta V/V}$، حيث ΔV: التغير في الحجم V الذي يسببه تغير في الضغط قدره ΔP، وبما أنَّ الموائع صعبة الانضغاط (قيمة B كبيرة) فإنَّ سرعة الصوت v فيها كبيرة.

سرعة الأمواج الصوتية في الأجسام الصلبة:

تُعطى سرعة الأمواج الصوتية في وسط متجانس بالعلاقة التالية:

$$v = \sqrt{(Y/\rho).F(\mu)} \qquad (3)$$

$F(\mu)$: مقدار ما يتغير بحسب قيمة عامل بواسون μ (الذي يحدد العلاقة بين الانفعال الطولي والانفعال القطري، حيث $\mu < 0.5$ في معظم الأجسام الصلبة بينما قيمته تقترب من الواحد في الأجسام الصلبة المرنة).

مركز تصوير كلية العلوم

أمّا في الأجسام غير المتجانسة فتختلف الصفات المرنة باختلاف الاتجاهات، ولذلك تختلف سرعات الأمواج الصوتية باختلاف اتجاه انتشارها.

ملاحظات هامة:

- سرعة الصوت في الماء أكبر من سرعته في الهواء بعدة مرات.
- سرعة الصوت في الجسم الصلب أكبر من سرعته في الهواء بحوالي 15 مرة.
- سرعة الصوت في الأوساط الثلاثة لها التابعية نفسها للكثافة والمرونة، لكن يجب التنويه إلى أنَّ سرعة الصوت في المائع تزداد قليلاً مع زيادة درجة الحرارة لكنها تتناقص مع زيادة حرارة المعدن (النحاس مثلاً) نظراً لتناقص المرونة بالحرارة، لذلك يُفضل مقارنة سرعة الصوت في الأوساط المختلفة ولتكن u مع سرعته في الهواء v. وبالتالي نُعرّف عدد ماك (ماخ) بأنّهُ النسبة بين هاتين السرعتين: $M = \frac{u}{v}$، ونقارن مختلف السرع بالنسبة لهذا العدد:

1- إذا كان $M < 1$ فالسرعة دون صوتية كما في سرعة المركبات.

2- إذا كان $M = 1$ فالسرعة صوتية أي تعادل سرعة الصوت في الهواء.

3- إذا كان $M > 1$ فالسرعة فوق صوتية كما في سرعة بعض الطائرات الحربية التي تصل إلى 3.3M مع العلم أننا نحصل على سرعة صوتية مفرطة عندما تتجاوز سرعة المتحرك خمسة أضعاف سرعة الصوت.

الشدة الصوتية:

نعلم أنَّ الجسم المهتز الذي يرسل الموجة على وتر يبعث الطاقة مع هذه الموجة، وكذلك جميع الأمواج تحمل الطاقة معها خلال انتشارها بما فيها الأمواج الصوتية، وقد سبق أن بينا اختلاف حساسية الأذن البشرية باختلاف تواتر المنبع الصوتي حيث لا يُسمع الصوت ذو التواتر المنخفض الشدة (الجهارة) ولا الصوت ذو التواتر المرتفع جداً الذي يسبب الألم، لكن حساسية الأذن تتوقف أيضاً على شدة المنبع الصوتي. يُرمز للشدة الصوتية بالرمز I وتُعطى بالعلاقة التالية سواءً كانت الموجة توافقية أو كروية:

$$I = \frac{P}{A} = \frac{P}{4\pi r^2} = v\left(\frac{\rho w^2 s_0^2}{2}\right) = \frac{P_0^2}{2\rho.v} \qquad (4)$$

حيث: P القدرة مقاسة بواحدة w، r: نصف قطر الكرة، $P_0 = v\rho w s_0$: الضغط الذي تولده الموجة على الأذن، s_0: الإزاحة. نلاحظ من العلاقة (4) أنَّ الشدة تتناسب عكساً مع مربع البعد r أي أنها تحقق التربيع

مركز تصوير كلية العلوم

العكسي، فيكون: $\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}$، ويتبين لنا مما سبق أنَّ هناك عتبة للسمع (شدة صغرى) وعتبة ألم (شدة عظمى)، وفيما بينهما يمكن سماع الصوت.

نُعبّر رياضياً عن تأثر الأذن بالأصوات وفقاً للمقياس التالي:

$$\beta = 10 \log \left(\frac{I}{I_0}\right) \qquad (5)$$

حيث: $I_0 = 10^{-12}\ w/m^2$ شدة صوت معيارية أو مرجعية، أي أنه كلما زادت شدة الصوت بمقدار 10 واحدات، ارتفع مستوى شدته بمقدار 10dB. مع العلم أنَّ dB هي الديسيبل.

تمرين: لدينا منبعان صوتيان شدتهما I_1 و I_2 قارن بين مستويي شدتهما، علماً أنَّ مستوى الشدة للموسيقى الصاخبة 110dB، ومستوى الشدة للضرب بالمطرقة 90dB؟

الحل: لنفرض أنَّ $\beta_1 = 10 \log \left(\frac{I_1}{I_0}\right)$ و $\beta_2 = 10 \log \left(\frac{I_2}{I_0}\right)$، فيكون الفرق بين مستوى الشدتين هو:

$$\beta_2 - \beta_1 = 10(dB)[logI_2 - logI_1] = 10(dB)log\left(\frac{I_2}{I_1}\right)$$

$$\beta_2 - \beta_1 = 110 - 90 = 20dB$$

فالنسبة بين شدتي المنبعان هي: 10^2.

مركز تصوير كلية العلوم

مكتبة A to Z