

الفصل الخامس/ الصوت والسمعيات Sound , Acoustics

الصوت والسمعيات (Sound, Acoustics)

بأستثناء الموجات الناتجة من سطح السائل فإن جميع الموجات التي تقع ضمن مجموعة موجات المرونة (Elastic Waves) والتي ينتشر فيها الاضطراب (سواء كان انفعالاً ذو ضغطاً أو إزاحة حجمية) بسرعة تعتمد على خواص المرونة للواسطة. أن موجات المرونة هذه تسمى أيضاً بالصوت . وفي لغتنا اليومية يرتبط الصوت بحاسة السمع. من الممكن سماع الصوت بالنسبة للإنسان الطبيعي عندما يكون التردد بين (16) هرتز و (20,000) هرتز وخارج نطاق هذا المدى لا يكون الصوت مسموعاً. أن العلم يتعامل مع طرق توليد وتسليم وانتقال الصوت ويسمى بالسمعيات. ومن بين مجالات السمعيات هو تصميم الأجهزة الصوتية من حاكيات ومكبرات الصوت وأجهزة التسجيل. أما في مجال العمارة مثلاً فأنها تتعامل مع تصميم وبناء الغرف والقاعات والبنائيات. أما السمعيات الموسيقية فأنها تتعامل مع علاقة الصوت بالموسيقى وهكذا.

فوق الصوتيات (Ultra-Sonic)

- 1- أن عبارة فوق الصوتيات تستعمل في الوقت الحاضر للإشارة إلى الاهتزازات وانتقال الموجات في الوسط المادي بذبذبات أكثر من الحد الأعلى للتردد الذي تستطيع الأذن البشرية إدراكه وتميزه أي بذبذبات أكثر من (20,000) ذبذبة في الثانية.
- 2- أن عبارة (Super Sonic) تستعمل الآن لكي تدل على السرعة التي تفوق سرعة الصوت (السرعة الفائقة) أي أكثر من (1120 km/hr).
- 3- الأجهزة المستخدمة لتوليد الذبذبات فوق الصوتية تطورت لتشتمل على تطبيق بعد الظواهر الفيزيائية الحديثة (كالتحضير المغناطيسي) أو (ظواهر الكهروإجهادية) ذات الترددات العالية.
- 4- أن أهم تطبيقات الموجات فوق الصوتية.
 - a- تحليل الإشارة.
 - b- الكشف داخل الأعماق السحيقة في البحر.
 - c- دراسة تركيب المادة.
 - d- تطبيقات صناعية مختلفة.

طرق توليد الذبذبات فوق الصوتية:-

a- ظاهر التحضر المغناطيسي (Magneto striation Effect)

- 1- وفق هذه الظاهرة، عندما يوضع قضيب من المادة عالية النفاذية المغناطيسية مثل الحديد والنيكل في مجال مغناطيسي متناوب سريع التغير (مجال مغناطيسي لتيار كهربائي)، فإن تردد القضيب المعدني سيكون ضعف تردد المجال المغناطيسي المسلط.
- 2- أن تمدد القضيب طولياً ونقله سيولد الموجات فوق الصوتية في الوسط الذي يحيطه ويعتمد مقدار الانفعال الطولي ($\Delta l/l$) على شدة المجال المغناطيسي.
- 3- تعتمد مدى الذبذبات الناتجة على إبعاد مادة التحضير المغناطيسي ويتراوح عددها بين بضعة آلاف إلى (3×10^5) ذبذبة في الثانية أو (هرتز).

* ومن الممكن ربط هذه العلاقة بمقدار التردد الطبيعي للقضيب المعدني باعتباره حراً غير مثبت الطرفين حيث يكون تردده الطبيعي كالاتي:

$$\gamma = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

γ : تردد الموجات المرنة لقضيب صلد أو بعبارة أوضح تردد القضيب والذي يقاس بوحدة الهرتز (Hz) أو ذبذبة/ ثانية،
 Y : معامل يونك لمادة القضيب ويقاس بوحدات $(\frac{N}{m^2})$ أو الباسكال (Pa).

ρ : كثافة مادة القضيب $(\frac{kg}{m^3})$.

ℓ : طول القضيب ويقاس بوحدات (m أو cm).

b- ظاهرة الكهربية الاجهادية (بيزو) (Piezo Electric Effect)

- 1- تتلخص هذه الظاهر بأنه إذا وضع لوح كان قد قطع قطعاً مناسباً من بلورة معينة، بين قطبين معدنيين يتذبذبان ويسلطان إجهاداً ميكانيكياً على وجهي اللوح فسيتولد عندئذ داخل اللوح مجالاً كهربائياً مع ظهور شحنات كهربائية موجبة وأخرى سالبة عند سطحي المقطع. بمعنى آخر سيتولد فرق جهد كهربائي بين سطحي المادة.... والعكس صحيح أي عند تسليط فرق جهد كهربائي متناوب على وجهي اللوح البلوري فأن إبعاد ألوح سوف تتغير بالزيادة والنقصان تبعاً لاتجاه فرق الجهد.
- 2- لقد لوحظ أن التغير بالإبعاد للمادة البلورية يتناسب مع فرق الجهد المسلط والعكس صحيح.
- 3- أن أفضل أنواع البلورات التي تستجيب لهذه الظاهرة هي الكوارتز والنورمالين (سليكات البورون والألمنيوم) وملح روشيل (ترترات الصوديوم والبوتاسيوم).

الاهتزازات الرئيسية للشرائح البلورية (Resonant Vibrations of Crystal Slices)

- 1- عندما يكون المجال الكهربائي المسلط على الشريحة البلورية متطابقاً في تردده مع أحد أنماط الطبيعية لاهتزازات البلورة فأن الرنين سوف يحدث مولداً ذبذبات ذات سعة كبيرة لموجات طولية صادرة عن طول اللوح البلوري أو سمكه.
- 2- أن أبعاد اللوح يجب أن تكون صغيرة جداً لكي تكون الموجات الطبيعية لها عالية جداً.
- 3- يمكن كتابة الترددات الممكنة كمايلي:-

$$\gamma_{\ell} = \frac{P}{2\ell} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$\gamma_t = \frac{P}{2t} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

حيث أن $P = 1, 2, 3, \dots$ للنغمات التوافقية الأساسية والثانية أو الثالثة على الترتيب و (ℓ) طول اللوح البلوري و (t) سمكه و (y) معامل يونك الذي يتم اختياره و (ρ) كثافة مادة البلورة.

ملاحظة أن المقدار $\sqrt{\frac{Y}{\rho}}$ هو يمثل سرعة موجات الانضغاط.

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = m \cdot sec^{-1}$$

حيث (y) بوحدات (N/m^2) .

(ρ) بوحدات (kg/m^3) .

مثال: / أحسب سرعة موجات الانضغاط وترددها في الاتجاهين المتولد في لوح من الكوارتز يهتز بنغمة الأساسية، إذا علمت أن معامل يونك لهذه البلورة يقدر بـ $(8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2)$ وأن كثافتها هي (2.654 kg/m^3) وأن طول البلورة (0.05 m) وسمكها (0.005 m) .

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2}{2.654 \text{ kg/m}^3}} = 5.5 \times 10^3 \text{ m.sec}^{-1}$$

لنغمات الأساسية $P = 1$

$$\therefore \gamma_\ell = \frac{P}{2\ell} \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \Rightarrow \gamma_\ell = \frac{1}{2\ell} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$\gamma_\ell = \frac{1}{2 \times 0.005 \text{ m}} \times 5.5 \times 10^3 \text{ m.sec} = 5.5 \times 10^4 \frac{1}{\text{sec}} \text{ or Hz}$$

$$\gamma_t = \frac{1}{2t} \sqrt{\frac{Y}{\rho}} \Rightarrow \frac{1}{2 \times 0.005 \text{ m}} \times 5.5 \times 10^3$$

$$\gamma_t = 5.5 \times 10^5 \text{ Hz}$$

ملاحظة

- 1- بمعنى أنه كلما قل γ_ℓ يزداد γ_t بمعنى كلما قللنا السمك لابد أن نزيد (ℓ) .
- 2- لقد استخدمنا معامل يونك نفسه بالاتجاهين علماً بأنه هناك فرق بسيط من الناحية العملية.

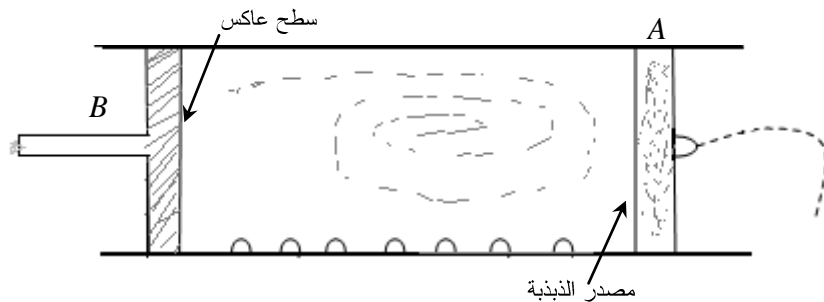
الكشف عن الموجات فوق الصوتية (Detection of Ultrasonic)

لما كانت الموجات فوق الصوتية تقع خارج الحدود التي تدركها الأذان البشرية أو تتحسسها فإنه سيتطلب طرقاً خاصة للكشف عنها هي:-

a- طريقة (لان كفين) في استخدام بلور الكوارتز. وتتخلص هذه الطريقة بإسقاط الموجات فوق الصوتية على أحد وجهي بلورة الكوارتز الموضوعة بين صفيحتين معدنيتين. وبموجب ظاهرة الكهربائية الاجهادية تتولد على الوجهين الآخرين شحنات كهربائية متضادة (موجبة وسالبة) والتي من الممكن تقويتها وتضخيمها بواسطة الصمام الثلاثي وتكتشف بواسطة دوائر كهربائية مناسبة.

b- طريقة أنبوبة (كندت) (Kundt's Tubs Method)

وهي نفس الطريقة التي تعتمد لحساب سرعة الموجات الصوتية المسموعة منها وغير المسموعة أو الغازات المختلفة. وتتخلص التجربة بوضع أنبوب طويل ذو قطر واسع بمستوى أفقي ويرش على طول الأنبوب من الداخل مسحوق يشبه البارود (الليكويدوم Lycopodium) بشكل منتظم ويربط مصدر الذبذبة من جهة داخل الأنبوب وسطح عاكس من جهة ثانية بحيث يمكن تنظم مكانها بشكل مناسب.



عند توليد الموجات فوق الصوتية من الطرف (A) وانعكاسها على سطح العاكس في الطرف (B) ستتكون موجات مستقرة ((Standing Waves)) داخل الأنبوب التي تعمل على تجميع المسحوق على أكوام (أكداًس) في مناطق القمم في الموجة المستقرة ويتبعثر في المناطق العقد، كما يحصل في الموجات الصوتية الاعتيادية.

وبقياس المسافة بين قمة وأخرى محاوره والتي تساوي نصف طول الموجة حيث أن:-

$$d = \frac{\lambda}{2} \dots (1)$$

d = المسافة بين قمة وأخرى.

λ = طول الموجه.

وبمعرفة التردد (γ) سوف نتمكن من قياس سرعة الموجات في الغاز من العلاقة التالية:-

$$v = \lambda \cdot \gamma \dots (2)$$

وبتعويض المعادلة (1) في (2) نحصل على

$$v = 2\gamma d$$

c- الكواشف الحرارية (Thermal detector)

ولهذه الحالة نعرض طريقتين:-

الأولى/ طريقة سلك البلاتين: وتتخلص بأن تأخذ سلكاً دقيقاً من البلاتين المسخن كهربائياً إلى درجة الاحمرار في قنطرة كهربائية متوازنة ومن ثم تحريك السلك في الوسط التي تتكون فيه الموجات، فعند مرور السلك في مناطق العقد تحصل تغيرات ناشئة عن التخلخلات المتناوبة وهذا يؤدي إلى تغير في درجة حرارة السلك ومن ثم تغير في مقاومة السلك فيختل التوازن في القنطرة ويحصل انحراف في مؤشر الكاشف. أما في مناطق القمم (البطن) فلا يحصل أي تغير في درجة الحرارة وتبقى مقاومة السلك ثابتة لذلك موازنة القنطرة دون تغير ومؤشر الكاشف في مكانه.

الثانية/ طريقة اللهب الحساس: وتتخلص بأن نأخذ لهباً طويلاً رفيعاً حساساً ونحركه في الوسط الذي تتكون به الموجات فوق الصوتية المستقرة وعلى طول اتجاهها بالكيفية التي سبق وأن تبعتها في تحريك سلك البلاتين في التجربة أعلاه. فنلاحظ أن اللهب يرتعش في مناطق العقد بسبب التغير الذي يحصل في الضغط. وهنا إذا عرفنا المسافة بين عقدتين متتاليتين في الطريقة الأولى والثانية فأنا نكون قد عرفنا طول الموجة فوق الصوتية في ذلك الوسط الذي هو الهواء أو الغاز ومنها نستطيع أن نحسب سرعتها.

خواص الموجات فوق الصوتية (Properties of ultrasonic)

تشبه الموجات فوق السمعية أو فوق الصوتية الموجات الصوتية المسموعة في خواص فيزيائية عديدة. فهي تنعكس وتتكسر وتتداخل ولها نفس سرعة الموجات الصوتية المسموعة في مختلف الأوساط ولكن بسبب ترددها العالي أو قصر طول موجتها تعطى بعض الخصوصية والتمييز الواضح ومن هذه الخواص:-

1- قابليتها على تسليط ضغطاً يمكن الكشف عنه على السطوح الموضوعة في مسارها.

2- لها قابلية على نقل طاقة عالية هائلة أثناء انتشارها.

3- نظراً لقصر طول الموجات فوق الصوتية فأنها تسير بحزم دقيقة وقوية مثل الشعاع الضوئي. وأن الاتساع الزاوي (width Angular) يكون جيوداً محدداً في جميع أنواع الموجات.

4- قابلية الموجات فوق الصوتية على تجميع فقاعات البخار أو الهواء الموجود في السوائل عندما تمر منه خلاله وذلك لسرعة حركته الاهتزازية مما يفيد في الاستخدامات الصناعية. أضافه إلى ذلك قابليتها لإزالة الشحوم والمواد العالقة في السطوح المعدنية وغيرها.

5- تعمل الموجات فوق الصوتية المستقرة المتكونة في سائل عمل محزوز يستخدم في تحليل الضوء وتجاريه المختبرية.

تطبيقات الموجات فوق الصوتية:

للموجات فوق الصوتية تطبيقات مهمة في حياتنا اليومية فهناك التطبيقات العلمية والصناعية والطبية وغيرها.

- 1- التطبيقات العلمية:- بسبب ترددها العالي فإنه بالإمكان أن ترسل إلى مسافات كبيرة مع إمكانية نقل طاقة عالية بواسطتها.
- 2- الكشف عن الفواصل والأجسام المختلفة داخل البحار ويعتمد هذا التطبيق على مبدأ الصدى مع استخدام جهاز إرسال يعتمد على الخاصية الكهربائية.
- 3- استقصاء البعض من تركيب المادة حيث يمكن حساب سرعة الموجات فوق الصوتية في السوائل والغازات واختلافها وتغيرها يمكن معرفة عدد من الخواص الفيزيائية للوسط مثل القدرة على الامتصاص وقابلية الانضغاط والتركيز والتركيب الكيميائي والحرارة النوعية. ومن التأثيرات الفيزيائية الكيميائية على الجزيئات المادة يمكن درج مايلي:-
- a- التسخين. b- التجميع والتخثر لبعض المواد. c- التأثير على المواد المكونة لطبقة أفلام التصوير الفوتوغرافي. d- التسبيل في المعادن. e- تسهيل عملية مزج المعادن. f- تحويل بعض المواد غير المتبلورة مثل البرافين إلى مواد بلورية.

التطبيقات الصناعية:

- 1- قياس سمك الصفائح المعدنية (استخدام مبدأ الصدى للموجات المنعكسة).
- 2- الكشف عن الشقوق في المعادن.
- 3- اللحم أو التلحيم.
- 4- التنظيف والتنقيب.
- 5- تحسين النوعية في خلط المعادن عند استخدام العمليات الميكلوجية لضمان تحسين .

التطبيقات الطبية:

- 1- معالجة الآلام و المفاصل. 2- تحديد موقع النمو غير الطبيعي (استخدام جهاز السونار). 3- معالجة الأسنان. 4- معالجة الأمراض
- الذهنية والأمراض العصبية. 5- الفحص والتشخيص الطبي (كتشخيص الحمل ومتابعة الأورام وخاصة في منطقة المخ أو العين. 6-
- دراسة الأجسام المهجرية والكشف عنها في وسط معتم باستخدام المجهر فوق سمعي.

مثال:/ لوح من الكوارتز سمكه (0,004m) يهتز برنين مع الدائرة المتذبذبة المربوطة معه. أحسب تردد الأساسي مع العلم أن (Y) معامل يونك لبلورة الكوارتز = $8 \times 10^{10} \text{ N/m}^2$ ، $\rho = 26224 \text{ kg/m}^3$.

الحل سرعة الموجات التضاغطية في الكوارتز (v).

$$v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = \sqrt{\frac{8 \times 10^{10} \text{ N.m}^{-2}}{26224 \text{ kg.m}^{-3}}}$$

$$v = 5.5 \times 10^3 \text{ m.sec}^{-1}$$

سرعة الموجات التضاغطية

ولغرض إيجاد قيمة التردد نجد أولاً طول الموجة في الكوارتز.

طول الموجة = ضعف سمك الكوارتز $\Leftarrow \lambda = 2t$

$$\lambda = 2 \times 0.004 = 0.008 \text{ m}$$

$$\lambda = 0.08 \text{ m}$$

لذلك فإن قيمة التردد الأساسية (γ) تساوي

$$\gamma = \frac{P}{2t} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

$$\therefore P = 1$$

$$\gamma_t = \frac{1}{\lambda} \times 5.5 \times 10^3 m \cdot sec^{-1}$$

$$= \frac{5.5 \times 10^3 m \cdot sec^{-1}}{0.008 m}$$

$$\gamma_t = 6.88 \times 10^{+5} 1/sec$$

$$\gamma_t = 6.88 \times 10^{+5} Hz$$

ملاحظة والنغمات التوافقية الثانية و الثالثة والرابعة تساوي النغمة الأساسية.

عندما $P = 1$ النغمة الأساسية. γ_t

عندما $P = 2$ النغمة الثانية. $\gamma_2 = 2\gamma_t$

عندما $P = 3$ النغمة الثالثة. $\gamma_3 = 3\gamma_t$

عندما $P = 4$ النغمة الرابعة. $\gamma_4 = 4\gamma_t$

..... وهكذا

مثال/ استعملت الموجات فوق الصوتية في مصنع دلفنة الفولاذ لقياس سمك الألواح الفولاذية. قد وجد أن الفرق بين الترددات المتوافقين

المتتاليين كان (85) كيلوهرتزاً فإذا كانت سرعة الصوت في الفولاذ $\left(5100 \frac{m}{sec} \right)$ فما سمك اللوح الفولاذي؟

الحل: لما كانت الترددات الرنينية هي الأعداد الصحيحة للتوافقيات الأساسية فإن الفرق بين رنينين متتاليين يجب أن يساوي التردد (γ) و تساوي $(85KHz)$.

$$85KHz = \text{الفرق بين ترددتين متوافقين}$$

$$= 2\gamma_1 - \gamma_1$$

$$\gamma_1 = 85 \times 10^3 Hz$$

$$\gamma_t = \frac{P}{2t} \sqrt{\frac{Y}{\rho}}$$

نفرض $1=P$

$$\therefore v = \sqrt{\frac{Y}{\rho}} = 5100 \frac{m}{sec}$$

$$\gamma_t = \frac{v}{2t} \Rightarrow 85 \times \frac{10^3}{sec} = \frac{5100 m \cdot sec^{-1}}{2t}$$

$$t = \frac{5100 m \cdot sec^{-1}}{2 \times 85 \times 10^3 sec^{-1}}$$

$$t = 3m \text{ السمك}$$

واجب/ في مصنع لعمل الألواح المعدنية استعملت الأمواج. فوق الصوتية لقياس سمك الألواح فوق الصوتية لقياس سمك الألواح المصنعة. فإذا كانت كثافة الألواح المصنعة هي $(8 \times 10^{+3} kg/m^3)$ وأن الفرق بين الترددات التوافقية الرابعة والخامسة كانت $(9.000Hz)$.

a- جد سرعة الصوت في المعدن.

b- سمك اللوح المعدني.

علماً بأن معامل يونك للمعدن هو $(16 \times 10^{10} \text{ N/m}^2)$.

ملاحظات عامة عن الوحدات

*mass:

$$1 \text{ kg} = 10^3 \text{ g} = 2,2205 \text{ lb} \text{ بوند .}$$

$$1 \text{ lb} = 453.6 \text{ g} = 0.4536 \text{ kg}$$

$$1 \text{ a.m.u} = 1.6604 \times 10^{-27} \text{ kg} \text{ وحدة الكتلة الذرية}$$

Force: القوة

$$1 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn} = 0.2248 \text{ lbf} = 0.102 \text{ kgf}$$

$$1 \text{ dyn} = 10^{-5} \text{ N} = 2.248 \times 10^{-6} \text{ lbf}$$

$$1 \text{ lbf} = 4.448 \text{ N} = 10^5 \text{ dyn}$$

$$1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

*Length:-

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} = 39.37 \text{ in (انج)} = 6.214 \times 10^{-4} \text{ mi (ملي انج)}$$

$$1 \text{ mi} = 5280 \text{ ft (قدم)} = 1.609 \text{ km}$$

$$1 \text{ in.} = 2.540 \text{ cm}$$

$$1 \text{ }^\circ\text{A} = (\text{angstrom}) = 10^{-8} \text{ cm} = 10^{-10} \text{ m} = 10^{-4} \mu \text{ (micron) ميكرو}$$

$$1 \mu \text{ (micron) صغير} = 10^{-6} \text{ m}$$

$$1 \text{ M} = 10^6 \text{ m} \text{ ميكا}$$

$$1 \text{ G} = 10^9 \text{ m} \text{ جيجا}$$

*Temperature

$$k = 273 + ^\circ\text{C} \text{ ,}$$

$$^\circ\text{F} = \frac{9}{5} (^\circ\text{C} + 32)$$

$$^\circ\text{C} = \frac{9}{5} (^\circ\text{F} - 32)$$

$$^\circ\text{A} \text{ حيث وحدة الانكستروم } 1 \text{ }^\circ\text{A} = 10^{-10} \text{ m} \text{ (ملي متر) mm, (سانتي متر) cm, (متر) m}$$

$$\text{(fm) وحدة فيرمي } 1 \text{ fermi} = 10^{-15} \text{ m} \text{ (غرام) gm, (كليو غرام) kg}$$

$$\text{Volume الم الحجم } \text{m}^3$$

$$\text{Time الزمن sec, hr (ساعة)}$$

$$\text{السرعة m. se}^{-1}$$

$$\text{التعجيل m.sec}^{-2}$$

$$\text{السرعة الزاوية angular velocity (w) sec}^{-1}$$

$$\text{التردد الزاوي angular frequency sec}^{-1}$$

التردد	frequency hertz (Hz) أو sec^{-1}
العزم	moment m kg sec^{-1}
القوة force	Newton (N) أو m kg sec^{-2}
القدرة power	Watt (W) أو $\text{m}^2\text{kg sec}^{-3}$
الطاقة energy	Joule (J) أو $\text{m}^2\text{kg sec}^{-2}$
معامل يونك	N/m^2 أو $\text{m}^{-1}\text{kg sec}^{-2}$

* الرجوع إلى كتاب الفيزياء التطبيقية الحديثة (ص 624، ص 625).

ملاحظة على الثوابت

سرعة الضوء	$C = 2.9979 \times 10^8 \text{ m.sec}^{-1}$ $\cong 3 \times 10^8 \text{ m.sec}^{-1}$
شحنة الإلكترون	$= 1.6021 \times 10^{-19} \frac{J}{eV} \text{ C (كولوم)}$
ثابت بلانك h	$= 6.6256 \times 10^{-34} \text{ J.sec}$ $\hbar = \frac{h}{2\pi} = 1.0545 \times 10^{-34} \text{ J.sec}$ $\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \text{ N}^{-1} \text{ m}^{-2}$
التعجيل الأرضي	$g = 9.7805 \text{ m.sec}^{-2}$