

قانون هوك

الهدف من التحرية:

تحقيق قانون هوك وإيجاد ثابت الزنبرك.

نظرية التحرية:

تعريف المرونة: هي ميل الأجسام للعودة إلى حالتها الأصلية بعد زوال القوى

المؤثرة عليها. تصنف الأجسام من حيث مرونتها إلى مرنة وهي التي تعود إلى شكلها الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة ولا تحتفظ بالتشوه مثل الزنبرك وكرة التنس، وأجسام غير مرنة وهي التي تحتفظ بالتشوه بعد زوال القوة المؤثرة مثل الصلصال وعجينة الخبز.

نص قانون هوك: تحت حد المرونة، تتناسب الاستطالة الحاصلة للزنبرك طرديا مع قوة الشد المؤثرة.

من خلال العلاقة بين القوة المبذولة على زنبرك والاستطالة الناتجة فإن التناسب يبقى طردي. بشرط أن لا تتجاوز القوة المطبقة حد المرونة. (هي القوة التي عندها لا يعود الزنبرك إلى طوله الأصلي بعد زوال القوة المؤثرة عليه).
 $F \propto \Delta l$ أضاف هوك ثابت التناسب k . لتحويل التناسب إلى قانون كالتالي:

$$(1) \quad F = - k \Delta l$$

يسمى الثابت k بثابت الزنبرك أو ثابت هوك ووحدته ه يمكن استنتاجها من القانون مباشرة (N/m). وتفسر إشارة السلب بأنها قوة إرجاع النابض باتجاه الأعلى المعاكسة لقوة الشد الناتجة عن تعليق كتلة في الزنبرك المعلق عموديا إلى أسفل، وفي هذه الحالة يكون الزنبرك في توازن تحت تأثير قوتين متساويتين بالمقدار ومتعاكستين في الاتجاه وزن الجسم للأسفل F_1 و قوة إرجاع الزنبرك للأعلى F_2 محصلتهما تساوي الصفر :

$$mg - k \Delta l = 0 \quad \leftarrow \quad F_1 + F_2 = 0$$

من المعادلة الأخيرة نستنتج أن:

$$mg = k \Delta l$$

$$(2) \quad k = \frac{m}{\Delta l} g$$

وبرسم العلاقة بين Δl على محور y و m على محور x وحساب الميل الذي يساوي $\Delta l/m$ وبالتالي النسبة $\frac{m}{\Delta l}$ تساوي مقلوب الميل والميل وبتطبيق العلاقة التالية:

$$(3) \quad k = g/\text{slope}$$

نحسب قيمة ثابت الزنبرك.

قانون بويل

الهدف:

- تحقيق قانون بويل للغازات.
- قياس الضغط الجوي في المختبر.

نظرية التجربة:

الضغط الجوي هو وزن عمود من الهواء مقطعه العرضي هو وحدة المساحات، وارتفاعه من الأرض حتى نهاية الغلاف الجوي. أو هو وزن عمود رفيع من الزئبق مساحة مقطعه وحدة المساحات وارتفاعه 76 cm زئبق عند سطح البحر. وكلما ارتفعنا عن سطح البحر كلما قلَّ الضغط الجوي. والعكس صحيح.

تخضع حركة جزيئات الغازات لما يسمى بقانون الغازات العام الذي يعبر عن العلاقة بين الكميات الفيزيائية الثلاث الحجم، الضغط ودرجة الحرارة. ويختص قانون بويل بدراسة العلاقة بين حجم الغاز وضغطه عند ثبوت درجة الحرارة وينص على ما يلي:

قانون بويل: عند ثبوت درجة الحرارة، يتناسب حجم الغاز المحصور عكسياً مع ضغطه.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{بحيث أنه مهما تغير الضغط والحجم فإن حاصل ضربيهما ثابت:}$$

ولإثبات صحة قانون بويل وكون العلاقة عكسية بين الحجم والضغط ندرس العلاقة بين الضغط ومقلوب الحجم وهي طردية (خطية تعطي خط مستقيم). وكون الحجم V يساوي حاصل ضرب مساحة القاعدة في الارتفاع: $V =$

$A \cdot l$

وحيث أن مساحة القاعدة ثابتة فالمتغير مع الضغط هو الارتفاع فقط L

نستخدم لهذه الدراسة أنبوب على شكل حرف U مفتوح من طرف ومغلق من الطرف الآخر.

h فرق ارتفاع الزئبق بين الأنبوبين (ويمثل فرق الضغط) L (cm hg) ارتفاع الهواء المحصور في الأنبوب المغلق (cm)

$$= D (h + P_0) \frac{1}{l}$$

وبرسم $\frac{1}{l}$ على محور y و h على محور x نحصل على خط مستقيم يقطع المحور y الموج في نقطة. وبحساب الميل نوجد قيمة الضغط الجوي في المختبر يكون بوحدة (cm Hg) من العلاقة:

$$P_0 = \frac{y \text{ intercept}}{\text{slope}}$$

السقوط الحر

الهدف من التجربة:

إيجاد تسارع الجاذبية الأرضية بطريقة السقوط الحر.

نظرية التجربة: بدأت قصة السقوط الحر عندما سقطت التفاحة على رأس نيوتن فهي لم تسقط جانباً ولا إلى الأعلى إنما نحو مركز الأرض واستنتج نيوتن أن سقوطها نحو الأرض سببه جذب الأرض لها ومن هنا أدخل نيوتن مفهوم الجاذبية الأرضية، فكل الأجسام مهما اختلفت كتلتها أو حجمها أو نوعها تصل إلى الأرض في نفس اللحظة عندما تسقط من الارتفاع نفسه في حال عدم وجود الهواء (في الفراغ) ولكن تأثير مقاومة الهواء وقوة دفع الهواء إلى أعلى (قوة دافعة أرخميدس) بسبب أن الهواء (الغازات بشكل عام تضغط في جميع الاتجاهات) يضغط إلى أعلى.

عندما يسقط الجسم سقوط حر، فإنه سوف يسقط بحركة متسارعة بانتظام (تسارع ثابت) نتيجة قوة الجاذبية الأرضية ويسمى هذا التسارع بتسارع الجاذبية الأرضية. ويساوي تقريباً 9.8 m/s^2 . هذا يعني أن سرعة الجسم تزداد كل ثانية بمقدار 9.8 m/s . توصف حركة سقوط الأجسام تحت تأثير قوة الجاذبية الأرضية بالمعادلة التالية:

$$S = v_0 t + \frac{1}{2} g t^2$$

وعندما يكون السقوط سقوط حر فإن الجسم ينطلق من السكون بسرعة ابتدائية تساوي الصفر $v_0 = 0$ تصبح

المعادلة:

$$S = \frac{1}{2} g t^2$$

وبالتالي فإن تسارع الجاذبية:

$$t^2 = 2S / g$$

وهذه معادلة خط مستقيم يمر بأصل المحورين ، عندما $S = 0$ فإن $t = 0$.

عند رسم S على محور x و t^2 على محور y وحساب الميل الذي قيمته تساوي النسبة S / t^2 .

بحسب المعادلة التالية:

$$g = 2S / t^2$$

فإنه يمكننا حساب تسارع الجاذبية من المعادلة:

$$g = 2 / \text{slope}$$

معامل اللزوجة

الهدف من التجربة:

إيجاد قيمة معامل اللزوجة (η) لسائل شفاف لزج بطريقة ستوكس.

نظرية التجربة:

تخضع الكرة التي تسقط داخل السائل الى ثلاث قوى:

1- وزن الجسم (ثقله) أو قوة جذب الأرض باتجاهه الأسفل :

$$(1)F_1 = m_s g = \rho_s V g$$

2- قوة دفع السائل (وزن السائل المزاح) حسب قاعدة أرخميدس باتجاه الأعلى:

$$(2)F_2 = m_l g = \rho_l V g$$

3- قوة الاحتكاك الناتجة عن لزوجة السائل وهي دائما بعكس الحركة وهي هنا الى أعلى.

$$(3)F_3 = 6 \eta \pi r v$$

وبحسب ستوكس تصل الكرة إلى سرعة منتظمة بعد قطعها في السائل مسافة معينة بحدود 10 cm وتصبح في

حالة توازن حركي وبالتالي تكون محصلة القوى تساوي صفر:

$$F_1 + F_2 + F_3 = 0$$

وبالتعويض عن القوى الثلاث كل منها بقيمتها، وتعويض قيمة حجم الكرة $V = \frac{4}{3} \pi r^3$ ثم حل المعادلة بالنسبة

لمعامل اللزوجة يصبح لدينا:

$$\eta = \frac{2}{9} \frac{r^2}{v} g (\rho_s - \rho_l)$$

η معامل اللزوجة (Pa.s) ، ρ_s : كثافة مادة الكرة (kg/ m^3) ، ρ_l : كثافة مادة السائل (kg/ m^3)

v : سرعة الكرة في السائل (m/ s) ، r نصف قطر الكرة (m) ، g : تسارع الجاذبية (m/ s^2) .

V : حجم الكرة وهو يساوي أيضا حجم السائل المزاح (m^3) .

وبالتمثيل البياني بين r^2 على محور x و v على محور y يصبح لدينا معادلة خط مستقيم ميله يساوي

النسبة $\frac{v}{r^2}$ ومنه يمكن حساب معامل اللزوجة من المعادلة:

$$\eta = \frac{2}{9} \left(\frac{1}{\text{slope}} \right) g (\rho_s - \rho_l)$$

ملاحظة مهمة: وجد أن لزوجة السوائل تقل بزيادة درجة الحرارة وبعكسها الغازات التي تزداد لزوجتها بزيادة درجة

الحرارة.

طاولة القوى

الهدف من التجربة :

تعيين محصلة قوتين مقداراً واتجاهاً بثلاث طرق عملية وبيانية وتحليلية.

نظرية التجربة:

أ - الطريقة العملية: وذلك عن طريق استعمال طاولة القوى وهي عبارة عن قرص مدرج 360 درجة له مركز تعلق عليه قوتان كل منهما قيمتها واتجاهها (زاويتها مع صفر القرص) معروفة. وعن طريق إيجاد قوة ثالثة موازنة بحيث يصبح مركز الحلقة منطبقاً على مركز القرص، وبالتالي تكون المحصلة مساوية للقوة الثالثة بالمقدار ومتعاكسة معها بالاتجاه.

$$R = F_3 \quad , \quad \theta_R = \theta_3 - 180 - \theta_1$$

ب - الطريقة البيانية: وذلك عن طريق تعيين مقياس رسم مناسب (بحيث لا يكون الرسم صغير بالنسبة للورقة التي نرسم عليها ولا كبير أكبر من ورقة الرسم) بحيث يعبر كل سنتيمتر في الرسم عن مقدار قوة معينة يتناسب مع القوى المعطاة (مثلاً $1 \text{ cm} = 25 \text{ gw}$) ثم نقسم قيمة كل قوة على مقياس الرسم لنحصل على طول كل منهما بالسنتيمتر وبعد ذلك نقوم برسم القوة الأولى بزاويتها عن الأفقي (باستخدام المنقلة) ككمية متجهه ونرسم سهماً يعبر طوله عن مقدار القوة وزاويته عن اتجاهها، وبعد ها نرسم القوة الثانية من نهاية السهم الذي يمثل القوة الأولى بنفس الطريقة بحيث نحدد زاويتها على الأفقي ونرسم سهماً يعبر طوله عن مقدار القوة الثانية وزاويته عن اتجاهها، وبعد ذلك نقوم بالتوصيل بين بداية القوة الأولى ونهاية القوة الثانية بسهم ثالث، طول هذا السهم يساوي مقدار القوة المحصلة بوحدة السنتيمتر ثم بضرب النتيجة بمقياس الرسم للحصول على قيمة المحصلة بالوحدة الأصلية للمعطيات. أما زاوية المحصلة فنقيسها بالمنقلة مع اتجاه القوة الأولى ونسجل النتائج في جدول يلخص نتائج الطرق الثلاث لمقارنتها (والسؤال اي طريقة أكثر دقة؟).

ج - الطريقة التحليلية: وهي الطريقة الحسابية باستخدام القوانين الخاصة بالمتجهات وبمعرفة مقدار القوة الأولى F_1 ومقدار القوة الثانية F_2 وزاوية كل منهما θ_1 و θ_2 ومعرفة الزاوية بين القوتين (θ) ،

$$\theta = \theta_2 - \theta_1$$

نحسب مقدار المحصلة R بالعلاقة:

$$R = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \theta}$$

ولمعرفة اتجاه المحصلة نحسب زاوية المحصلة θ_R مع اتجاه القوة الأولى من العلاقة :

$$\theta_R = \tan^{-1} \left[\frac{F_2 \sin \theta}{F_1 + F_2 \cos \theta} \right]$$

معامل يونج

الغرض من التجربة:

1. تعيين معامل يونج لسلك معدني بطريقة سيرل.

ملخص النظرية:

ندرس في هذه التجربة خاصية مرونة المادة وتحديدًا استطالة الأسلاك تحت تأثير قوة الشد مع الانتباه إلى أن الاستطالة هنا صغيرة جدًا لا يمكن قياسها بالمسطرة لذلك يستخدم الميكرومتر لقياسها.

اكتشف العالم يونج أن النسبة بين الإجهاد إلى الانفعال للمادة المرنة تساوي دائمًا مقدار ثابتًا للمادة يتعلق بنوع المادة، ويسمى ثابت التناسب بمعامل يونج Y .

$$Y = \frac{\text{الإجهاد}}{\text{الإنفعال}}$$

تعريف الإجهاد: هو القوة المؤثرة عمودياً على وحدة المساحات وحدته (N/m).

تعريف الانفعال: هو مقدار الاستطالة الحاصلة لوحدة الطول من السلك، ليس له وحدة.

تعريف معامل يونج: هو الإجهاد الحاصل لوحدة الانفعال وحدته هي وحدة الإجهاد (لماذا؟). ويسمى ثابت التناسب بمعامل يونج الذي وحدته تساوي وحدة الإجهاد لأن الانفعال ليس له وحدة.

$$Y = \frac{F/A}{\Delta L/L_0} = \frac{F L_0}{\Delta L A} = \frac{mg L_0}{\Delta L \pi r^2}$$

Y : معامل يونج (N/m²).

F : القوة المطبقة على السلك المرن (N).

A : مساحة مقطع السلك وهي (A=πr²) (m²).

ΔL : التغير في طول السلك (m).

L_0 : طول السلك الأصلي (m).

m : الكتلة المعلقة (kg).

r: نصف قطر مقطع السلك (m).

برسم العلاقة بين ΔL على المحور y و m على المحور x نحصل على خط مستقيم يمر بأصل المحورين

لأنه منطقياً عندما لا يوجد كتلة معلقة لا يوجد استطالة وبحساب الميل الذي يمثل نسبة $\frac{\Delta L}{m}$

يمكننا حساب معامل يونغ من المعادلة:

$$Y = \frac{gL_0}{\pi r^2 \cdot Slope}$$

حيث g عجلة الجاذبية الأرضية = 9.8 ms^{-2}

العربة الهوائية

الهدف من التجربة:

- 1 إيجاد مردود الطاقة من خلال تحويل الشغل المبذول بفعل الجاذبية الى طاقة حركية.
- 2 إيجاد النسبة المئوية للطاقة المفقودة،

نظرية التجربة:

يتم ربط عربة يمكنها التحرك على سكة منقبة بخيط يربط طرفه الاخر بكتلة معلقة على بكرة، عند ترك العربة حرة الحركة تقوم الكتلة المعلقة بشغل بفعل قوة الجاذبية الأرضية فتنتقل العربة من السكون وتتسارع مكتسبة بذلك طاقة حركية. ويمكن تخفيف قوة الاحتكاك من خلال ضخ الهواء في ثقب السكة التي تسير عليها العربة ومن هنا أتى اسم العربة الهوائية.

القوانين المستخدمة:

$$W=mgs \quad (2) \quad , \quad W=F.s \quad (1)$$

حيث W الشغل المبذول بوحدة الجول (J) و F هي القوة المبذولة على الكتلة المعلقة بوحدة نيوتن (N) و s هي الازاحة التي تقطعها العربة بوحدة (m) و m هي الكتلة المعلقة على البكرة والتي تنتج الشغل و g تسارع الجاذبية الأرضية (9.8 m/s^2) .

هل يتحول الشغل المبذول الناتج عن سقوط الكتلة بالكامل الى طاقة حركية للعربة؟

تحسب الطاقة الحركية التي تكتسبها العربة بالعلاقة:

$$(3) \quad KE = \frac{1}{2} MV^2$$

حيث KE الطاقة الحركية بوحدة الجول (J) و M كتلة العربة بوحدة (kg) و v هي السرعة النهائية للعربة بوحدة (m/s).

لإيجاد السرعة النهائية للعربة نستخدم قانون الازاحة وهو:

$$(S = V_{aver} \cdot t)$$

وتعطي السرعة المتوسطة بالعلاقة:

$$v_{avg} = \frac{v_0 + v}{2}$$

وبما أن السرعة الابتدائية تساوي الصفر فإن السرعة النهائية

$$v = \frac{2s}{t}$$

لحساب مردود الطاقة والنسبة المئوية للطاقة المفقودة نرسم العلاقة بين الشغل المبذول W على المحور x والطاقة الحركية KE على المحور Y فنحصل على خط مستقيم يمر بأصل المحورين (لماذا؟) قيمة ميله (مستحيل أن تكون أكبر من 1 ولا حتى 1 بل دائما أقل من 1 (لماذا؟) هذه القيمة تساوي مردود الطاقة:

$$\text{Slope} = \frac{KE}{W}$$

يمكن إيجاد النسبة المئوية للطاقة المفقودة من العلاقة:

$$\text{lost energy percentage \%} = (1 - \text{slope}) \times 100\%$$

الحرارة النوعية

الغرض من التجربة:

إيجاد الحرارة النوعية لكرة صلبة باستخدام المسعر.

ملخص النظرية:

تعريف الحرارة النوعية: هي كمية الحرارة اللازمة لزيادة درجة حرارة وحدة الكتلة من المادة بمقدار درجة مئوية واحدة، ووحدة قياسها $^{\circ}\text{C} \cdot \text{J/Kg}$. يمكن حساب كمية الحرارة ΔQ التي يكتسبها أو يفقدها جسم كتلته (m) وحرارته النوعية (C) عند تغير درجة حرارته بمقدار (ΔT) بالعلاقة التالية:

$$Q = mC\Delta T \quad (1)$$

إن إيجاد الحرارة النوعية لكرة صلبة يعتمد على مبدأ التوازن الحراري لجملة أجسام معزولة عن الوسط المحيط والذي ينص على مايلي: كمية الحرارة المفقودة من الجسم الحار تساوي كمية الحرارة المكتسبة للجسم البارد. في حالة التجربة هذه الجسم الحار هو الكرة التي سنسخنها الى الدرجة T_2 (هي التي ستفقد طاقة حرارية) ثم نغمرها في مسعر يحتوي كمية من الماء درجة حرارتهما T_1 (بما أن المسعر معزول فإن الماء والمسعر معا هما فقط اللذان سيكتسبا الطاقة التي فقدتها الكرة) حيث تنخفض درجة حرارة الكرة تدريجيا وترتفع درجة حرارة المسعر والماء تدريجيا حتى نصل الى درجة حرارة التوازن الحراري T_f . وعندها نستطيع تطبيق مبدأ التوازن كمايلي:

$$\Delta Q_b = \Delta Q_w + \Delta Q_c \quad (2)$$

ومن المعادلة (1) يمكن إعادة كتابة المعادلة (2) على الشكل التالي:

$$m_b C_b (T_f - T_2) = m_w C_w (T_f - T_1) + m_c C_c (T_f - T_1) \quad (3)$$

حيث:

m_w : كتلة الماء (Kg).

C_w : الحرارة النوعية للماء ($\text{J/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

m_c : كتلة المسعر (Kg).

C_c : الحرارة النوعية للمسعر ($\text{J/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

m_b : كتلة الكرة (Kg).

C_b : الحرارة النوعية للكرة ($\text{J/Kg} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

T_f : درجة الحرارة النهائية للنظام بعد الخلط. ($^{\circ}\text{C}$)

T_1 : درجة الحرارة الابتدائية للماء والمسعر ($^{\circ}\text{C}$).

T₂: درجة حرارة الكرة بعد التسخين (°C).

ولإيجاد الحرارة النوعية للكرة، نعيد ترتيب المعادلة (3) لنحصل على الصيغة النهائية التالية:

$$C_b = \frac{(m_w C_w + m_c C_c)(T_f - T_1)}{m_b(T_f - T_2)} \quad (4)$$

مكافئ جول

الغرض من التجربة:

تعيين قيمة (مكافئ جول) باستخدام مبدأ حفظ الطاقة

ملخص النظرية:

تقاس الطاقة بجميع أنواعها (ميكانيكية، كهربائية، كيميائية، حرارية، ...) بوحدة الجول بأجزائها ومضاعفاتها أما الطاقة الحرارية فالإضافة إلى قياسها بوحدة الجول تقاس بوحدة السعر الحراري الكالوري (cal) وهي ليست من مضاعفات ولا من أجزاء الجول، ولمعرفة العلاقة بين الجول والكالوري (السعر) قام جول بتجربته الشهيرة بأن يحول الطاقة الكهربائية المقاسة بوحدة الجول إلى طاقة حرارية يقيسها بوحدة السعر.

يستخدم المسعر في التجربة لجعل الجملة معزولة لكي يضمن أن كل الطاقة الكهربائية تحولت إلى طاقة حرارية وليس هناك تسرب للطاقة) وبالتالي مكافئ جول يمثل نسبة الطاقة الكهربائية المطبقة المستخدمة في التسخين بوحدة الجول إلى الطاقة الحرارية الناتجة عنها بوحدة السعر.

$$J = \frac{W}{Q}$$

بتوليد طاقة كهربائية من خلال تطبيق فرق الجهد V على طرفي مقاومة (ملف التسخين) وذلك بمرور تيار كهربائي شدته I خلال فترة زمنية t فإن الطاقة الكهربائية المبذولة على السلك تعطى بالعلاقة التالية تساوي:

$$W = IVt$$

وهذه الطاقة ستعمل على تسخين كل من الملف نفسه والمحرك والماء والمسعر ولكون الجملة معزولة يمكن اعتبار أن الطاقة الكهربائية تحولت بالكامل إلى طاقة حرارية.

$$Q = Q_w + Q_c + (Q_{\text{ملف}} + Q_{\text{محرك}})$$

$$Q = m_w C_w \Delta T + M_c \Delta T + M_s \Delta T$$

حيث :

m_w : كتلة الماء (g), C_w : الحرارة النوعية للماء (Cal/g.c)

M_c : المكافئ المائي للمسعر (Cal/c)

M_s : المكافئ المائي للمحرك والملف (Cal/c)

□ T: التغير في درجة الحرارة (c).

ومن المعادلات السابقة نجد أن مكافئ جول (J) يساوي:

$$J = \frac{IVt}{(m_w C_w + m_c C_c)(T_f - T_i)} \quad (3)$$

حيث: T_f درجة الحرارة النهائية للنظام و T_i درجة الحرارة الابتدائية للنظام.

ملاحظة: قيمة مكافئ جول تقريباً (4.18 (j/cal) وهذا يعني أن: 1 سعر = 4.18 (j/cal).

سرعة الصوت

الغرض من التجربة:

1. دراسة ظاهرة الرنين في الأعمدة الهوائية المغلقة.
2. إيجاد سرعة الصوت في الهواء عند درجة حرارة المعمل.
3. معرفة العلاقة بين سرعة الصوت ودرجة حرارة المعمل.

ملخص النظرية:

ظاهرة الرنين: هي ظاهرة اهتزاز جسم قابل للاهتزاز متأثراً بجسم آخر مهتز وبنفس التردد.

يمكن حساب سرعة انتشار الموجات v التي طولها الموجي λ وترددها f من المعادلة التالية:

$$(1) \quad fv = \lambda$$

ف عند اقتراب شوكة رنانة مهتزة ترددها f من طرف أنبوبة هوائية مغلقة من طرفها السفلي بالماء وتحريك الأنبوبة بحيث يتغير طول عمود الهواء فوق سطح الماء فإننا نحصل على أوضح صوت عندما يحدث الرنين (أي عندما يهتز عمود الهواء بنفس تردد اهتزاز الشوكة الرنانة).

عند حدوث الرنين تتشكل في الأعمدة الهوائية المغلقة موجات تعرف بالموجات الموقوفة الساكنة نتيجة تداخل الموجات اللاحقة الصادرة مع الموجات السابقة المنعكسة فيتشكل نتيجة هذا التداخل ما يسمى بالموجات الموقوفة الساكنة التي تحتوي على عقد (هي الأماكن التي تكون عندها سعة الاهتزاز أقل ما يمكن) وبطنون (هي الأماكن التي تكون عندها سعة الاهتزاز أكبر ما يمكن) بحيث يتشكل عند الطرف المغلق عقدة وعند الطرف المفتوح بطن مفتوح وبالتالي يحصل الرنين الأساسي أول رنين عندما يكون طول عمود الهواء L مساوياً لربع طول الموجة:

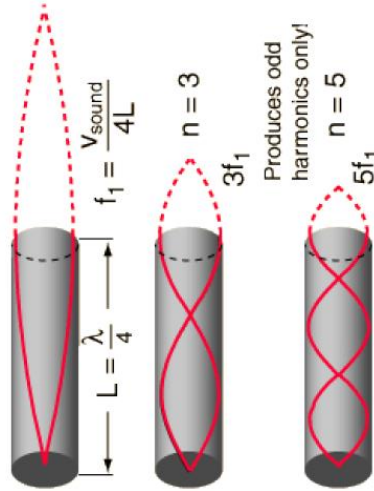
$$(2) \quad L = \frac{\lambda}{4}$$

بينما تحدث النغمات التوافقية الأخرى عندما يكون طول عمود الهواء مساوياً لعدد فردي من ربع الطول

$$\text{الموجي} \quad L = n \frac{\lambda}{4} \quad \text{حيث: } n = 1, 3, 5, \dots$$

وبالتعويض عن قيمة $(\lambda = 4 \cdot L)$ للرنين الأساسي في المعادلة (1)

$$(3) \quad v = 4 L f$$



في الحقيقة أن الطول الفعلي لعمود الهواء أطول بقليل من هذه المسافة L حيث تكون أكبر سعة لبطن الموجة عند الرنين خارج فوهة الأنبوبة بمقدار تصحيح Δl أي أن طول عمود الهواء (L):

$$L = l + \Delta l \quad (4)$$

ووجد أن مقدار التصحيح هذا Δl يعتمد على نصف قطر الأنبوبة r ويساوي:

$$\Delta l = 0.6 \cdot r$$

ولكن في هذه التجربة سنهمل مقدار التصحيح، ولكن يجب أن ننوه إلى أن عدم مرور الخط المستقيم بنقطة الأصل عند رسم العلاقة بين مقلوب التردد $1/f$ على المحور x وأطوال الأعمدة الهوائية في حالة الرنين على المحور y سببه هو مقدار التصحيح المهمل.

ميل الخط المستقيم يساوي ($f \cdot L$) وبالتالي نحصل على سرعة الصوت في الهواء عمليا:

$$v = 4 \times \text{slope}$$

ويمكن حساب سرعة الصوت نظريا من العلاقة التي تربط بين سرعة الصوت عند درجة حرارة معينة v_T (T) ودرجة الحرارة المختبر من العلاقة:

$$v_T = v_0 + 0.6T$$

حيث v_0 سرعة الصوت في الهواء عند درجة الصفر المئوي وتساوي 331 m/s.

ملاحظة مهمة: من العلاقة السابقة نجد أن سرعة الصوت تزداد بمقدار 0.6 كلما زادت درجة الحرارة درجة مئوية واحدة.