

気柱共鳴装置を用いた実験問題

【物理基礎】

-----高等学校学習指導要領（平成30年告示）解説 理科編 理数編 より-----

物理基礎

（2）様々な物理現象とエネルギーの利用

（ア）波

① 音と振動

「気柱の共鳴に関する実験などを行い、気柱の共鳴と音源の振動数を関連付けて理解すること。また、弦の振動、音波の性質を理解すること」

（P.54 より抜粋）

気柱の共鳴に関する実験としては、例えば、気柱共鳴管の管口付近に振動数が既知の音源を近づけたときに共鳴が起こる気柱の長さを、音波の波長と反射する波を基に予想させて実験を行い、その結果を分析し、規則性を考察して表現させることが考えられる。～（以下省略）

出題について

■ 想定したテストの種類

- ・ 中間テストや期末テストなどの定期テストでの使用を想定。

■ 授業からテストまでの想定した流れ

- ・ 生徒実験（グループごと）を1時間

↓

- ・ 実験レポート提出（1週間後提出め切など）

↓

- ・ レポート添削後、生徒返却。返却時に教師による解説&優秀レポート紹介

↓

- ・ 定期テスト

1 図1のように、水面の高さを調節して気柱の長さ l を変えることができるガラス管とがある。ガラス管には管口から 80 [cm] まで長さの目盛りが刻んである。管の水位を徐々に下げながら、おんさによる音と、気柱が共鳴するときの水位をはかり、おんさの振動数を測定する実験を行った。水位を徐々に下げていくと $l=l_1$ のときに最初に共鳴している所が見つかり、さらに水位を下げていくと、 $l=l_2$ のときに2回目に共鳴する所が見つかった。

実験は4人1班で、おんさⅠとおんさⅡの2種類のおんさを用いて行い、その結果を表1と表2にまとめた。表3は、空気中の温度と音速の関係をまとめたものである。以下の問いに答えよ。

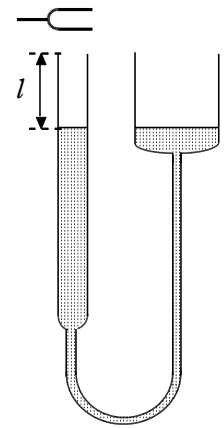


図1

問1 実験の際に、下記のような**仮説1**を立てて実験を行った。下記の空欄を示す図として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

【仮説1】 閉管で生じる定常波は、空気が動けない管底は固定端になり、自由に振動できる管口は自由端になる。このことから、おんさを鳴らしながらガラス管内の水面を下げていくと、 の状態で共鳴音が聞こえると考えられる。このとき、おんさによる音と気柱は共鳴しているので、気柱の振動数がおんさの振動数と考えられる。

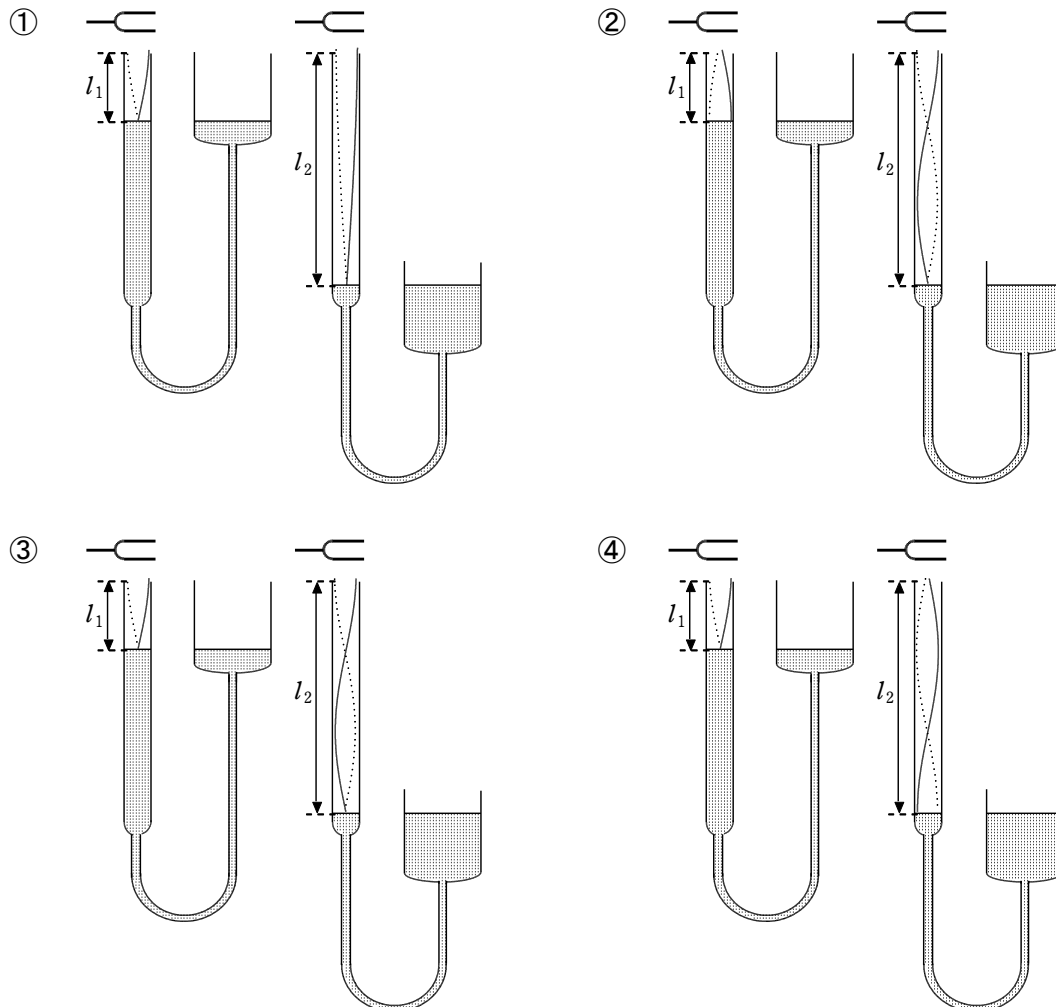


表1 おんさ I を用いた実験の測定値・・・ガラス管内の温度 28 [°C]

	測定者 A	測定者 B	測定者 C	測定者 D	4名の平均
l_1 [cm]	18.5	18.7	18.4	18.8	18.6
l_2 [cm]	58.4	58.2	58.6	58.2	58.35
$l_2 - l_1$ [cm]	ア	39.5	40.2	39.4	39.75
$2(l_2 - l_1)$ [cm]	79.8	イ	80.4	78.8	79.5

表2 おんさ II を用いた実験の測定値・・・ガラス管内の温度 28 [°C]

	測定者 A	測定者 B	測定者 C	測定者 D	4名の平均
l_1 [cm]	15.4	15.5	15.6	15.6	15.53
l_2 [cm]	47.8	48.0	48.7	48.8	48.33
$l_2 - l_1$ [cm]	32.4	32.5	33.1	33.2	32.8
$2(l_2 - l_1)$ [cm]	64.8	65.0	66.2	66.4	65.6

表3 空気中の温度 [°C] と音速 [m/s] の関係

温度 [°C]	0	2	4	6	8	10	12	14	16
音速 [m/s]	331.5	332.7	333.9	335.1	336.3	337.5	338.7	339.9	341.1
温度 [°C]	18	20	22	24	26	28	30	32	34
音速 [m/s]	342.3	343.5	344.7	345.9	347.1	348.3	349.5	350.7	351.9

問2 表1の「ア」, 「イ」に入る適当な数値を求めよ。

問3 ガラス管内の温度は 28 [°C] であった。 $l_2 - l_1$ [cm] がおんさによる音波の波長の半分に相当すると考えられるので、波長 λ は $2(l_2 - l_1)$ [cm] から求められる。表1～表3に示している単位に気をつけ、測定者4名の測定値の平均を用いて、おんさ I の振動数 f_1 [Hz] とおんさ II の振動数 f_2 [Hz] をそれぞれ有効数字3桁で求めよ。

実験の考察について、4人で意見交換をしたところ、以下のような**疑問点**が出た。

【疑問点】

- (1) 波長 λ が $4l_1$ と一致せず、 $4l_1$ より長くなっているのはなぜだろう。
- (2) おんさ I を使った実験では、水位を目盛りの限界である 80 [cm] まで下げも3回目の共鳴は起きなかった。もしガラス管が長く水位をもっと下げることができたなら、3回目の共鳴も起きたのだろうか。
- (3) 吹奏楽部が管楽器を演奏するとき、季節によって楽器の接合部を動かして管の長さを変えて音の高さを調整するらしい。今は夏だけど、同じおんさを使って真冬の寒い日に実験したら、測定値は変わるのだろうか。
- (4) 共鳴が聞こえ始めてから聞こえなくなるまでに幅があって、共鳴した位置の特定が難しかったように思う。測定値に自信が持てないのだが、どうだろうか。

問4 疑問点(1)について、なぜそのようになるか以下のようにまとめた。空欄に入れるべき適切な語句を、空欄内の選択肢から選び答えよ。

定常波の腹の位置が、管口より少し ① (内側, 外側) にあるため、4分の1波長の方が l_1 より少し ② (短い, 長い) ので、波長 λ と $4l_1$ が一致しない。

問5 疑問点(2)について、3回目の共鳴が起きるとしたとき、気柱の長さ l_3 [cm]として見積もられるおおよその値として、最も適当な数値を、次の①~④のうちから一つ選べ。

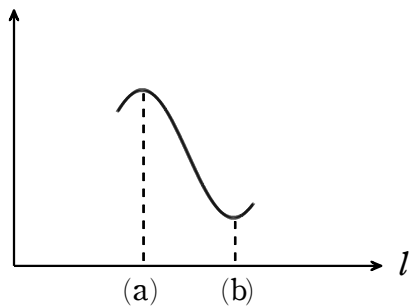
- ① 98 [cm] ② 117 [cm] ③ 119 [cm] ④ 138 [cm]

問6 疑問点(3)について、表3から分かることを踏まえて、どのようになると予想されるか説明せよ。

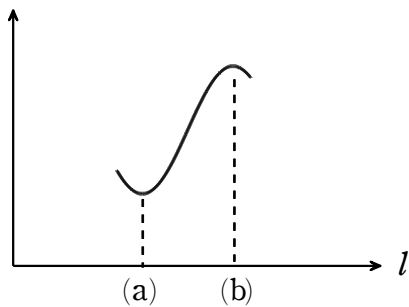
問7 疑問点(4)について、4人で検討したところ、以下のような**仮説2**を立てた。この仮説2を説明する図として最も適当なものを、次の①~④のうちから一つ選べ。

【仮説2】最初に共鳴が聞こえ始めてから聞こえなくなるまで幅があるのなら、聞こえ始めた位置と聞こえ終わる位置の midpoint に大きな音が聞こえる共鳴点があるのではないだろうか。測定の方法としては、水面を下げていくときに最初に共鳴を感じた位置(a)を記録し、次に水面を上げていきながら最初に共鳴を感じた位置(b)を記録し、その midpoint を共鳴点とする。

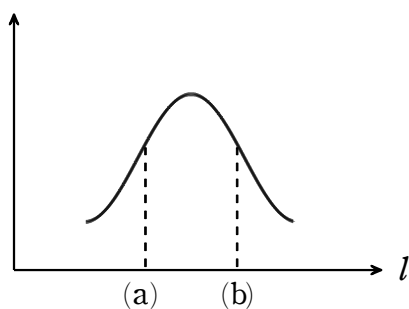
① 音の大きさ



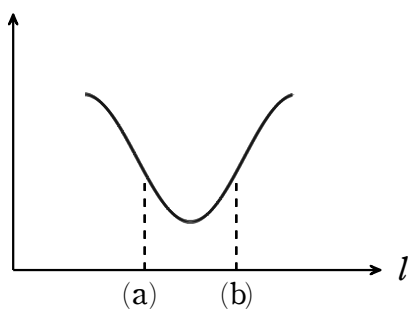
② 音の大きさ



③ 音の大きさ



④ 音の大きさ



物理基礎 解答用紙

1

問 1		問 2	ア	イ
問 3	f_1	[Hz]	f_2	[Hz]
問 4	①	②	問 5	
問 6				
問 7				

1 解答

問1 ③

問2 ア： $l_2 - l_1 = 58.4 - 18.5 = \underline{39.9}$ イ： $2(l_2 - l_1) = 2(58.2 - 18.7) = 2 \times 39.5 = \underline{79.0}$

問3 波の速さ v [m/s] は、振動数 f [Hz] と波長 λ [m] を用いて $v = f\lambda$ と表すことができるので振動数 f は $f = \frac{v}{\lambda}$ で求めることができる。

温度 $T = 28$ [°C] での音速は、表3より $v = 348.3$ [m/s] と分かる。

【おんさⅠ】

$$f_1 = \frac{348.3}{0.795} = 438.1 \dots \div \underline{438 \text{ [Hz]}}$$

【おんさⅡ】

$$f_2 = \frac{348.3}{0.656} = 530.9 \dots \div \underline{531 \text{ [Hz]}}$$

問4 ①：外側

②：長い

問5 l_2 よりさらに2分の1波長分だけ下の位置が3回目の共鳴点である。

$$l_3 = 58.35 + 39.75 = 98.1 \text{ [cm]} \quad \therefore \underline{\text{①}}$$

問6 同じおんさを使って実験するので振動数 f は変わらず、 $v = f\lambda$ より音速 v と波長 λ は比例する。表3より、気温が下がると音速は小さくなるので、波長も小さくなる。したがって、 l_1 や l_2 の値は小さくなる。

問7 ③

問題のねらい、主に問いたい資質・能力及び小問の概要等

第1問 問題のねらい

閉管での気柱共鳴に関する実験を通して、実験結果から引き出した情報や表を活用して、おんさの振動数を導き出すなど、課題を解決する力を問う。

	主に問いたい資質・能力					小問の概要
	知識	技能	思考力	判断力	表現力	
問1	○			○		閉管で生じる定常波の様子（実験前の仮説）を適切に判断する。
問2		○				実験測定値を用いて数値を適切に処理し、気柱の波長を求める。
問3	○	○	○			グループ4名の平均値を表から引き出し、おんさの振動数を求める。
問4				○	○	開口端補正について、与えられた語句を用いて説明する。
問5			○	○		定常波について、規則性を考慮し実験の結果を予測して数値を見積もる。
問6			○		○	実験後に出てきた意見を元に、表を活用して考察し、結果を予測して説明する。
問7		○	○	○		新たな仮説を、測定技能に結びつけて考察し、仮説のねらいを理解し判断する。



探究活動 3

おんさの振動数の測定

(▶ p.124 ~ 126 気柱の振動)

読者の理解に
注意

仮説

おんさ（または低周波発振器）を鳴らしながら、ガラス管内の水面を下げていくと、図の①、②の状態で共鳴音が聞こえると考えられる。このとき、おんさによる音と気柱は共鳴しているので、気柱の振動数がおんさの振動数と考えられる。

▶ 実験の計画

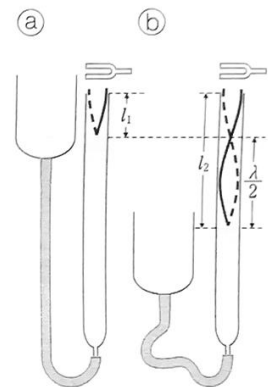
管の水位を徐々に下げながら、おんさによる音と、気柱が共鳴するときの水位をはかる。共鳴している所が見つかったら、さらに水位を徐々に下げ、おんさによる音と気柱が2回目に共鳴する水位をはかる。

▶ 準備

気柱共鳴装置（長さの目盛りを刻んだガラス管、ゴム管、水だめ、支柱）、おんさ（または低周波発振器）、おんさをたたくゴムつきのつち、温度計

▶ 手順

- (1) 水だめを管口のあたりに支持して、ガラス管に水を入れる。水面の位置は、ガラス管のほうは管口近くに、水だめのほうは底の近くにする。
- (2) おんさをたたき、おんさを管口に近づける。
- (3) 水だめをゆっくり下げていき、気柱が最も強く共鳴したときの、ガラス管の管口から水面までの距離 l_1 [m] をはかる。
- (4) さらに水だめをゆっくり下げていき、2回目の共鳴点をさがして、管口から水面までの距離 l_2 [m] をはかる。
- (5) (3)、(4)の測定をくり返して l_1 、 l_2 を数回はかり、 $l_2 - l_1$ の平均値を求める。これから、おんさによる音波の波長 $\lambda (= 2(l_2 - l_1))$ [m] を求める^①。
- (6) ガラス管内の気柱の温度 t [°C] をはかり音の速さ V [m/s] を求める^②。
- (7) おんさの振動数 f [Hz] を求める。



❗ 注意

振動しているおんさがガラス管に触れると、ガラス管が割れることがあるので気をつける。

① $V = 331.5 + 0.6t$ の式を用いる (→ p.119)。

② $f = \frac{V}{\lambda}$ の式を用いる (→ p.107)。