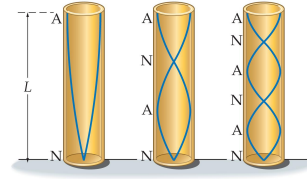


# 11<sup>th</sup> Physics 8 : Sound

## 2014-15

音



- |                             |         |
|-----------------------------|---------|
| 1. Sound                    | 音       |
| Sound Waves                 | 音波      |
| Sound Body                  | 発音体     |
| Sound Source                | 音源      |
| Speed of Sound              | 音速      |
| Three Components of Sound   | 音の3要素   |
| Sound Intensity             | 音の強さ    |
| Pitch                       | 音の高さ    |
| Tone                        | 音色      |
| 2. Interference             | 干渉      |
| Beats                       | うなり     |
| Reflection                  | 反射      |
| Refraction                  | 屈折      |
| Diffraction                 | 回折      |
| 3. Waves on a String        | 弦の波     |
| Standing Waves              | 定常波     |
| Nodes, Antinodes            | 節、腹     |
| Natural Vibration           | 固有振動    |
| Frequencies of Harmonics    | 固有振動数   |
| Fundamental Mode            | 基本振動    |
| Overtone Mode               | 倍振動     |
| The Second Harmonic         | 倍振動数    |
| 4. Vibrating Columns of Air | 気柱の振動   |
| Closed Pipe                 | 閉管      |
| Open Pipe                   | 開管      |
| 5. Pendulum                 | 振り子     |
| Sympathetic Vibration       | 共振      |
| Resonance                   | 共鳴      |
| Tune Forks                  | おんさ     |
| 7. Doppler Effect           | ドップラー効果 |

Speed of Sound

$$V = 331.5 + 0.6t$$

$$V = f \lambda$$

Beat

$$f = |f_1 - f_2|$$

String:

$$\frac{\lambda_m}{2} = \frac{L}{m} \quad (m: \text{Number of Antinodes}), \quad f_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

$$\text{Fundamental} \quad \lambda_1 = 2L, \quad f_1 = \frac{v}{\lambda_1} = \frac{v}{2L}$$

$$m\text{th harmonics} \quad \lambda_m = \frac{2L}{m} \quad (m = 1, 2, 3 \dots)$$

$$f_m = m \cdot \frac{v}{2L} \quad (m = 1, 2, 3 \dots)$$

Closed Pipe:

$$\frac{\lambda_m}{4} = \frac{L}{2m-1} \quad (m: \text{Number of Nodes}), \quad f_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

$$f_m = (2m-1) \times \frac{v}{4L} \quad (m = 1, 2, 3 \dots)$$

Open Pipe:

$$\frac{\lambda_m}{4} = \frac{L}{2m} \quad (m: \text{Number of Nodes}), \quad f_m = \frac{v}{\lambda_m}$$

$$f_m = m \cdot \frac{v}{2L} \quad (m = 1, 2, 3 \dots)$$

Resonance in Pipe

$$f = \frac{v}{2(L_2 - L_1)}$$

Doppler Effect – Moving Source

$$f' = \frac{v}{v - u_s} f$$

Doppler Effect – Moving Observer

$$f' = \frac{v + u_o}{v} f$$

Doppler Effect – General

$$f' = \frac{v + u_o}{v - u_s} f$$

(Source and observer are approaching.)

## 1. Sound Wave 音波

[Q1] The first thing we do when we come into this world is making a sound. Explain the physics on how a sound propagates through the air.

私たちがこの世に生まれて最初にすることは音を立てることである。音が発生して空気中をどのように伝わるかについての物理を説明せよ。

私たちは(A) \_\_\_\_\_ を振動させて音を生じさせ、生じた音は(B) \_\_\_\_\_ を媒質として伝わる波である。(A)が振動すると、(A)に接した空気も振動し、空気の(C) \_\_\_\_\_ が疎な(圧力が低い)部分と密な(圧力が高い)部分が生じる。音が生じている間は、この疎と密が交互に繰り返され伝わっていく(D) \_\_\_\_\_ ができる。これが(E) \_\_\_\_\_ である。空気を伝わる音は、空気の(F) \_\_\_\_\_ 方向と(G) \_\_\_\_\_ 方向が一致している(H) \_\_\_\_\_ である。媒質の空気は(I) \_\_\_\_\_ しているだけで音と一緒に移動はしない。(E)は、耳に達すると、(J) \_\_\_\_\_ を振動させる。(J)の振動は、耳小骨を通して(K) \_\_\_\_\_ 内のリンパ液を振動させる。これを聴覚神経が感知し脳に伝え、脳が音と認識する。

[Q2] 5.0 seconds after a brilliant flash of lightning, thunder shakes the house. How far was the lightning? The temperature was 20°C. 稲妻が走って 5.0 秒後に雷鳴が家を揺るがした。稲妻までの距離はいくらか。気温は 20°C であった。

[Q3] You drop a stone from rest into a well that is 7.35 m deep. How long does it take before you hear the splash? It is 20.0°C. 君が井戸の中に静止状態の石を落とした。水面までの深さが 7.35 m、気温が 20.0°C として水しぶきの音が聞こえるまでの時間を求めよ。

[Q4] Humans can hear sounds between 20 Hz on the low-frequency end and 20,000 Hz on the high-frequency end. (a) Find the wavelength range of sounds humans can hear. (b) What do you call the sounds more than 20,000 Hz and less than 20 Hz?

人間の聴くことができる音の周波数は 20 Hz ~ 20,000 Hz の範囲である。(a) 人間が聴くことができる音の波長の範囲を求めよ。(b) 20,000 Hz を超える音および 20 Hz より低い音を何と呼ぶか。

[Q4c] Bats use ultrasound of 100 ~ 200 kHz to detect their prey. Explain why do they use such high frequencies. こうもりは獲物をとらえるのに超音波を使う。なぜそのような高い周波数を使うか説明せよ。

[Q5] Explain about "Three components of sound."

音の三要素について説明せよ。

- 1) \_\_\_\_\_ --- 音波の伝わる方向と垂直な面 1m<sup>2</sup> を 1 秒間に通るエネルギーの大きさ。  
(A) \_\_\_\_\_ や(B) \_\_\_\_\_ が大きいほど大。
- 2) \_\_\_\_\_ --- 振動数で決まる。
- 3) \_\_\_\_\_ --- 振動の形の違い



Fig.1

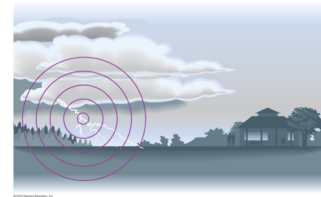
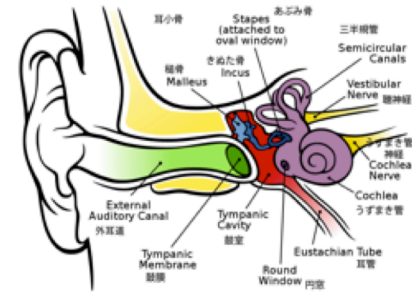


Fig.2

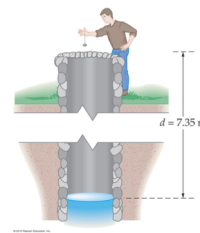
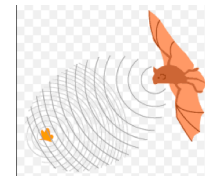


Fig. 3



## 2 Interference of Sound 音の干渉

[Q6] In Fig. 6, two speakers separated by a distance of 3.00 m emit sound of 343 Hz, in phase with one another, at 20.0°C. You stand at the location 6.00 m far from the middle point between the speakers and hear a constructive sound. As you walk in front of the speakers, you hear constructive and destructive sounds repeatedly. Find the approximate distance between the first and second places giving constructive sounds.

図で、2個のスピーカーは3.00 m 離れていて 20.0°Cで 343 Hz の音を同位相で出している。あなたは、2個のスピーカーの中央の点から 6.00 m 離れたところに立ち強めあう音を聞く。スピーカーの前を歩くと強弱の音が繰り返して聞こえる。強め合う音を出す最初の場所と2番目の場所の間隔のおおよその値を図から求めよ。

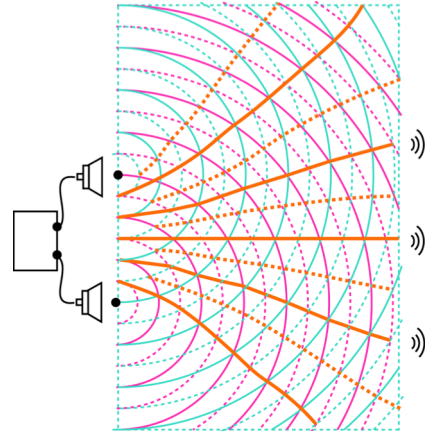


Fig.6

[Q7] Two speakers, A and B, connected to one oscillator are separated by a distance of 3.0 m and emit sound of frequency 1000 Hz. Is the sound at the location 6.7 m from A and 5.0 m from B constructive or destructive? How about another sound of 1500 Hz? Assume the speed of sound as 340 m/s.

同じ発振器に接続された2つのスピーカーがある。互いに3.0 m 離して、振動数 1000 Hz の音を出すとき、A から 6.7 m、B から 5.0 m 離れた点では音が強めあうか打ち消しあうか。1500 Hz の音ではどうか。音速は 340 m/s とせよ。(I-86)

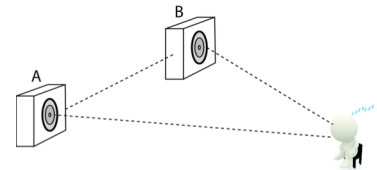


Fig.7

[Q8] Using the Quincke tube shown in Fig. 9, a sound continuously emits at the opening P as the part B is slowly sliding and pulling out of the part A. At another opening Q, destructive sounds are heard every 8.5 cm sliding. (a) Find the wavelength of the sound. (b) Find the speed of sound assuming the frequency of the sound is 2000 Hz.

図に示したクインケ管で、管口 P から音を送り続けながら、B の部分を A から静かに引き出して行くと、8.5 cm 引き出すごとに管口 Q から出る音が弱くなった。(a) 音の波長はいくらか。(b) 音の周波数が 2000 Hz として、空気中を伝わる音速を求めよ。(I-86)

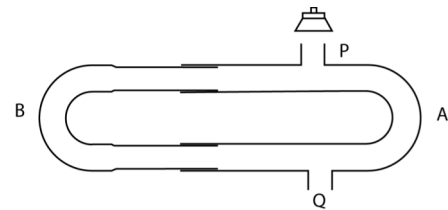


Fig. 9

[Q9] Two speakers separated by a distance of 3.0 m emit sound of frequency 340 Hz. The two sounds are in phase with one another. Interference is investigated using a microphone. Assume the speed of sound as 340 m/s. (a) Find the conditions to give the constructive sound at a location on the line between A and B. (b) How many points are there between A and B except A and B?

3.0 m 離れた2つのスピーカーA、Bから、同じ音量で同じ振動数 340 Hz の音を同時に出す。A から出る音は、B の音と同位相になっている。A、B を結ぶ線上でマイクを動かし音の干渉のようすを調べる。音速は 340 m/s とする。(a) マイクの位置で音が強めあう条件を求めよ。(b) AB 間で強めあう点の A からの距離を求めよ。ただし、点 A、B は除く。

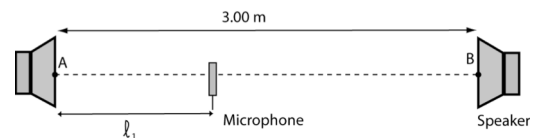


Fig.9

### 3 Beats うなり

[Q10] In Fig. 10, A and B are sounds of frequencies 100 Hz and 110 Hz, respectively. Illustrate the wave that is obtained by superposing the two sounds, A + B.

Fig. 10 で、A は 100 Hz の音、B は 110 Hz の音である。二つの音を合成した波の形を描け。

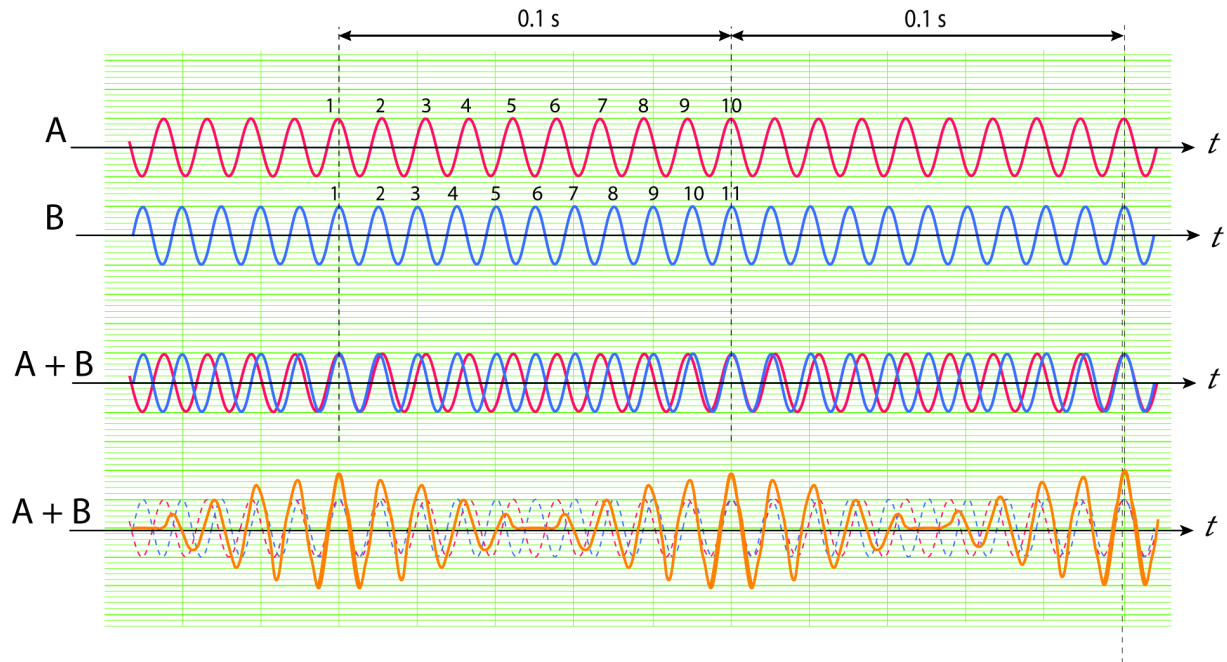


Fig. 10

$$y_1 = A \cos(2\pi f_1 t), \quad y_2 = A \cos(2\pi f_2 t)$$

$$y = A \cos(2\pi f_1 t) + A \cos(2\pi f_2 t)$$

$$= 2A \cos\{\pi(f_1 + f_2)t\} \cos\{\pi(f_1 - f_2)t\}$$

Beats

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos \alpha \cos \beta - \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha - \beta) = \cos \alpha \cos \beta + \sin \alpha \sin \beta$$

$$\cos(\alpha + \beta) + \cos(\alpha - \beta) = 2\cos \alpha \cos \beta$$

$$\theta = \alpha + \beta, \quad \varphi = \alpha - \beta$$

$$\cos \theta + \cos \varphi = 2 \cos\left(\frac{\theta + \varphi}{2}\right) \cos\left(\frac{\theta - \varphi}{2}\right)$$

[Q11] Two musicians are comparing their clarinets. The first clarinet produces a tone that is known to be 441 Hz. When the two clarinets play together they produce eight beats every 2.00 seconds. If the second clarinet produces a higher pitched tone than the first clarinet, what is the second clarinet's frequency?

奏者がふたりクラリネットの音合わせをしている。#1クラリネットの振動数は441 Hzである。2つのクラリネットを同時に吹くと2.00秒間に8個のうなりを生じる。#2クラリネットは#1クラリネットより高目の音である。#2クラリネットの音の振動数を求めよ。



Fig.11



## 4 Reflection, Refraction and Diffraction

## 音の反射、屈折、回折

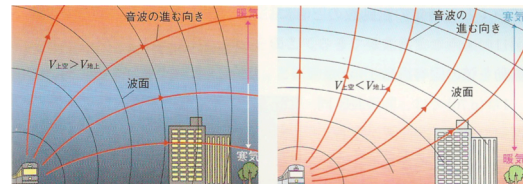
[Q13] As you beat a drum at a place 70m from the wall of the school building, you are listening to the direct sound from the drum and the reflected sound from the wall at the same time. You beat the drum slowly in the beginning and gradually decrease the period. Now you hear the reflected and the direct ones at the same time when you beat 17 times per 7 seconds. Find the speed of sound.



校舎の壁から 70m 離れた地点で太鼓をたたき、太鼓のそばで直接音と壁からの反射音を聞く。たたき間隔を次第に短くしていき、7.0 秒間に 17 回でたたいたら 2 つの音が重なって聞こえた。このときの音速を求めよ。(I88)

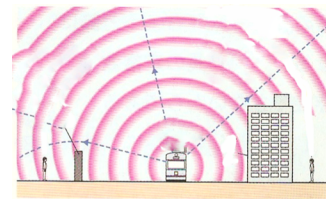
[Q14] It is said that we can hear the sound from remote places at clear night. Explain why.

晴れた日の夜は遠くからの音が聞こえると言われる。理由を説明せよ。



[Q14'] You can hear sounds at the backside of a wall but it is hard to hear sounds at the backside of a tall building.

Explain this in terms of diffraction. 塀の後では聞こえる音も高い建物の後側では聞こえない。これを回折で説明せよ。



## 5. Standing Waves on a String

## 弦の固有振動

	Shape of Standing Wave 定常波の形	Number of Nodes  節の数	Wavelength 波長 $\lambda$ [m]	Frequency 振動数 $f$ [Hz]
Fundamental 基本振動				
2 <sup>nd</sup> Harmonic 2 倍振動				
3 <sup>rd</sup> Harmonic 3 倍振動				
4 <sup>th</sup> Harmonic 4 倍振動				
5 <sup>th</sup> Harmonic 5 倍振動				
m <sup>th</sup> Harmonic m 倍振動				

[Q15] There is a string 0.800 m long. (a) What is the wavelength for the fundamental harmonic? (b) What is the wavelength for the second harmonic? (c) What is the wavelength for the third harmonic?

長さ 0.800 m の弦がある。(a) 基本振動の波長はいくらか。(b) 2 倍振動の波長はいくらか。(c) 3 倍振動の波長はいくらか。(I-92)

[Q16] There is a string 0.800 m long where the speed of waves on the string is 704 m/s. (a) What is the fundamental frequency? (b) What is the frequency of the second harmonic? (c) What is the frequency of the third harmonic?

長さ 0.800 m の弦がある。弦を伝わる波の速さは 704 m/s である。(a) 基本振動数はいくらか。(b) 2 倍振動の固有振動数はいくらか。(c) 3 倍振動の固有振動数はいくらか。(I-92)

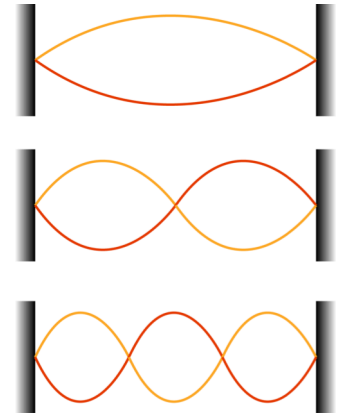
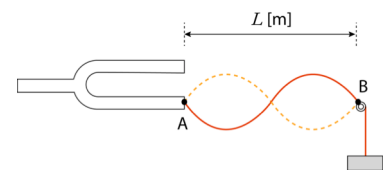


Fig.15

[Q17] One of the harmonics on a string 1.30 m long has a frequency of 15.60 Hz. The next higher harmonic has a frequency of 23.40 Hz. Find (a) the fundamental frequency, and (b) the speed of waves on this string.

1.30 m の弦で固有振動数の一つが 15.60 Hz である。それより一段高い固有振動数は 23.40 Hz である。(a) 基本振動数はいくらか。(2) 弦を伝わる波の速さはいくらか。(W480)

[Q19] A string,  $L$  [m] long, is placed between a frequency-variable tune fork and a pulley. A weight is placed on the one end of the string. Vibrating the tune fork produces a standing wave with two antinodes as shown in the figure. The point A can be assumed to be a node although it shows small vibration. Assume the speed of the wave on the string,  $v$  [m/s], does not change when the frequency is changed.



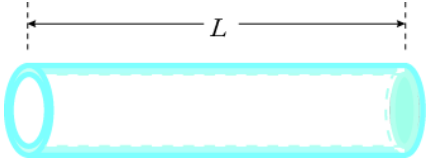
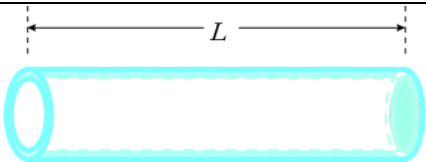
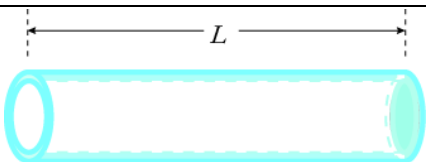
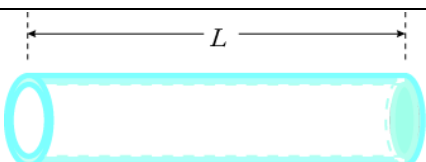
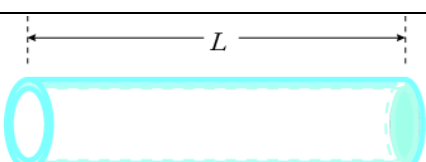
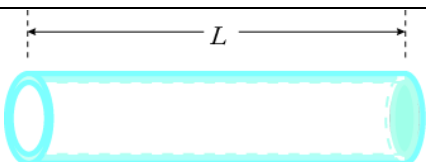
- (a) Express the frequency of the tune fork,  $f$  [Hz], using  $L$  and  $v$ .  
 (b) When the frequency of the tune fork is changed to  $f_2$ , the standing wave shows only one antinode. By what factor does  $f_2$  change with respect to  $f$ .

振動数の変えられるおんさに、図のように糸の一端 A を取り付け、糸の另一端に滑車を通しておもりをつるした。おんさを振動させたところ、腹が 2 個の定常波ができた。このとき、A は小さく振動するが、節とみなしてよい。おんさから滑車までの距離は  $L$  [m] で、おんさの振動数を変えても弦を伝わる波の速度  $v$  [m/s] は変わらない。

- (a) おんさの振動数  $f$  [Hz] を  $L$  と  $v$  を使って表せ。  
 (b) おんさの振動数を  $f'$  [Hz] にしたら、腹が 1 個だけ生じた。 $f'$  は  $f$  の何倍か。  
 (I-103)

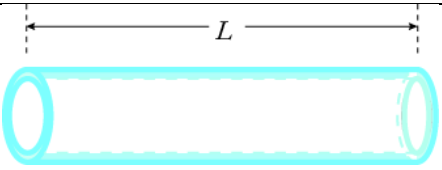
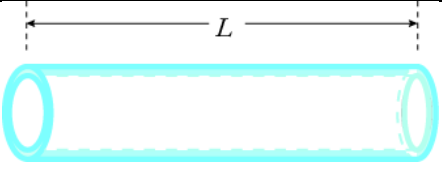
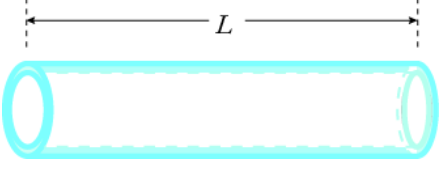
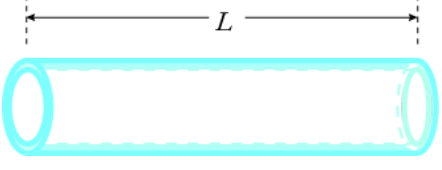
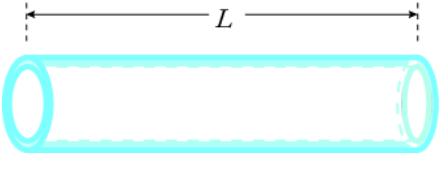
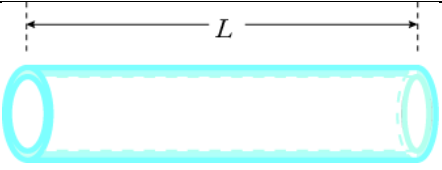
## 6. Standing Waves in a Column that is open at One-End

閉管内の気柱の固有振動

	Shape of Standing Wave 定常波の形	Wavelength 波長 $\lambda$ [m]	Frequency 振動数 $f$ [Hz]
Fundamental 基本振動			
3 <sup>rd</sup> Harmonic 3 倍振動			
5 <sup>th</sup> Harmonic 5 倍振動			
7 <sup>th</sup> Harmonic 7 倍振動			
9 <sup>th</sup> Harmonic 9 倍振動			
2m-1 <sup>th</sup> Harmonic 2m-1 倍振動			

# 7. Standing Waves in a Column that is open at Both Ends

開管内の気柱の固有振動

	Shape of Standing Wave 定常波の形	Wavelength 波長 $\lambda$ [m]	Frequency 振動数 $f$ [Hz]
Fundamental 基本振動			
2 <sup>nd</sup> Harmonic 2 倍振動			
3 <sup>rd</sup> Harmonic 3 倍振動			
4 <sup>th</sup> Harmonic 4 倍振動			
5 <sup>th</sup> Harmonic 5 倍振動			
m <sup>th</sup> Harmonic m 倍振動			

[Q20] An empty soda pop bottle is to be used as a musical instrument in a band. In order to be tuned up properly, the fundamental frequency of the bottle must be 440.0 Hz. (a) If the bottle is 26.0 cm tall, how high should it be filled with water to produce the desired frequency? Treat the bottle as a pipe that is closed at one end (the surface of the water) and open at the other end. (b) What is the frequency of the next higher harmonic for this bottle?

空の炭酸飲料用ボトルはバンドの楽器に使うことができる。調律を正しくするためにはボトルの基本振動数が 440.0 Hz でなければならない。  
(a) ボトルの高さが 26.0 cm だとすると、目的の振動数を出すためにはどれだけの水を入れる必要があるか。ボトルを、水面と飲み口からなる閉管として扱え。(b) このボトルの一段高い固有振動数はいくらか。

(W483)

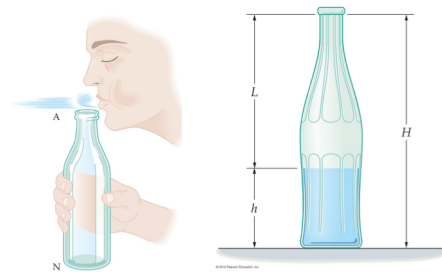


Fig.20

[Q20] (a) Find the wavelength and frequency of the fundamental harmonic for a column of air that are open at both ends, assuming the speed of sound as 340 m/s. (b) Next find the fundamental frequency when this pipe is used as a pipe closed at one end.

(a) 長さ 0.340 m の開管について、基本振動の波長と振動数を求めよ。ただし、音速を 340 m/s とする。(b) 次に、一端を手でふさいで閉管として鳴らす。この音の基本振動数はいくらか。(I-94)

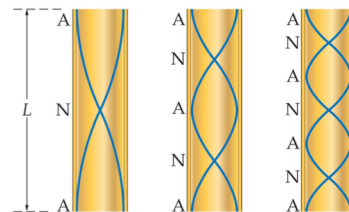


Fig. 20-a

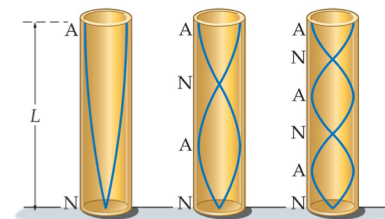


Fig. 20-b



## 8. Density Changes in the Standing Waves in a Column 気柱の定常波の疎密変化

[Q21] Fig. 21 shows a change of a standing wave inside a pipe that is open at one end. The vibration of air is indicated by its density as well as by the corresponding transverse expression. As shown in the transverse expression, the point a is a node whereas the point b is an antinode. Explain how density changes at nodes and antinodes.

Fig. 21 は閉管内の定常波の変化である。空気の変化を密度の変化と対応する横波表示の両方で示してある。横波表示では、点 a が節で点 b が腹である。節と腹で密度がどのように変化するか説明せよ。

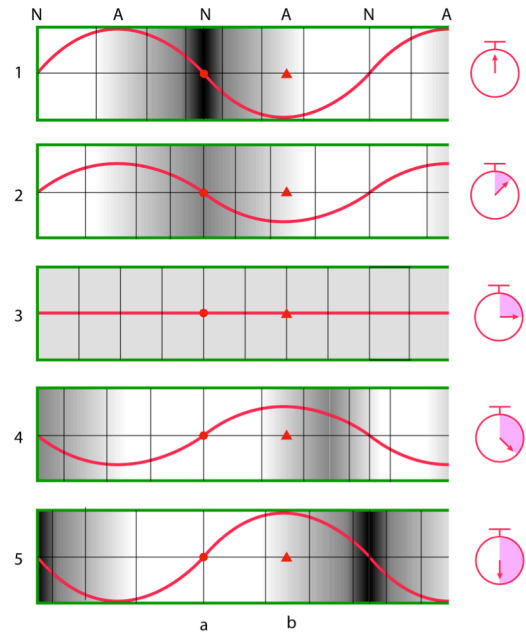


Fig. 21

[Q22] A standing wave is formed in a pipe that is open at one end.

Fig. 22 shows the transverse-wave like expression of the wave at times,  $t_1, t_2, t_3, t_4$  ( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ ), where the displacement to the right is drawn to the upper side. (a) Find the place where the displacement of air shows the maximum. (b) find the place and time where the displacement to the right is largest. (c) Find the place that shows the largest change in density during one period.

一端を開いた長さ  $L$  のガラス管に音波を送り、管内に音の定常波を作った。図は時刻  $t_1, t_2, t_3, t_4$  ( $t_1 < t_2 < t_3 < t_4$ ) での媒質の右向きの変位を上方にとって、横波のように示したものである。(a) 空気の変位がつかねに 0 の場所はどこか。(b) 右向きの変位が最大になる場所と時刻を示せ。(c) 1 周期の間の密度変化の最大の場所はどこか。

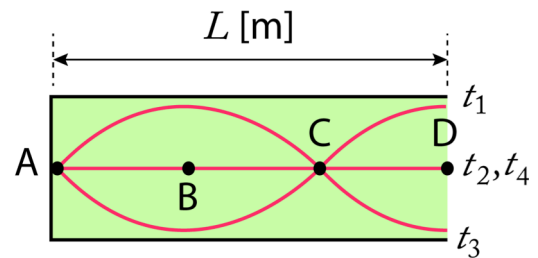


Fig. 22

## 9. Sympathetic Vibration and Resonance 共振・共鳴

[Q23] You are doing the experiment of resonance tube using a tuning fork with an unknown frequency. As you lower the water level, the first resonance was observed at the place of 22.8 cm from the top of the tube. The second resonance was observed at the place of 70.7 cm from the top of the tube. The temperature inside the tube was 19.2°C.

(1) Find the frequency of the tuning fork. The temperature dependence of sound speed is calculated by the equation:  $V=331.5 + 0.6t$  ( $t$  is temperature [°C])

(2) Find the place of the third resonance.

気柱共鳴管の実験をしている。振動数のわからないおんさをならしながら、共鳴管の水位を下げて行くと、管の口から 22.8 cm のところで第 1 番目の共鳴を示し、次に 70.7 cm で第 2 番目の共鳴を示した。管内の空気の温度は 19.2°C であった。

(1) おんさの振動数を求めよ。ただし、音速の温度依存性は次の式で与えられる。 $V=331.5 + 0.6t$  ( $t$  は、温度 [°C])

(2) 第 3 番目の共鳴点は管の口から何 cm 下と推定できるか。

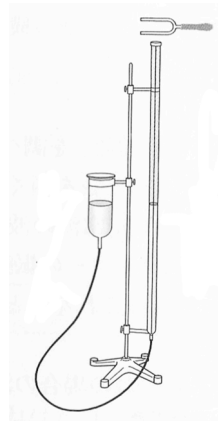


Fig. 23-a

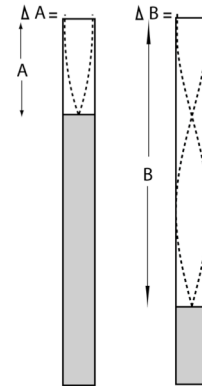
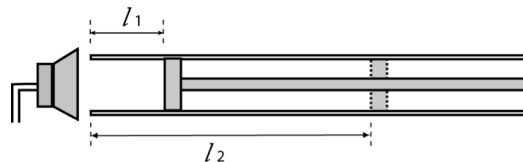


Fig. 23-b

[Q24] A sound of 500 Hz is emitted as a piston is being pulled to the right. The first and second resonances are observed at  $l_1 = 15.8$  cm and  $l_2 = 50.2$  cm, respectively. (a) Find the wavelength.

(b) Find the speed of sound inside the pipe. (c) Find the place that the density change is the biggest when the piston is placed at  $l_1$ . (d) When the piston is placed at  $l_1$ , the frequency is increased. Find the next resonance frequency.

ピストンのついたガラス製のパイプの管口で 500 Hz の音を出し、ピストンを管口から右に引いていくと、 $l_1 = 15.8$  cm で初めの共鳴が生じ、 $l_2 = 50.2$  cm で 2 番目の共鳴が生じた。(a) 波長を求めよ。(b) 管内の空気の音速を求めよ。(c) ピストンが  $l_1$  にあるとき、管内で疎密変化が最大になるのは管口から何 cm のところか。(d) ピストンが  $l_1$  の位置にあるとき、スピーカーの振動数を次第に上げていった。次の共鳴が起こるのは何 Hz のときか。ただし、管口付近の腹の位置は、音の振動数によって変わらないものとする。

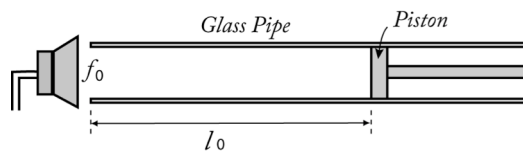


[Q25] In the figure, the sound source emits a sound wave of the frequency  $f_0$  as the piston is moving. The resonance is observed at  $l_0$  and  $9/7 l_0$ . (a) Find the wavelength of the sound using  $l_0$ .

(b) If the location of the piston is kept at  $l_0$  and the frequency of the sound is increased, and then another resonance is observed at  $f$ .

By what factor is  $f$  with respect to  $f_0$ .

図で、管口に置いた音源から、振動数  $f_0$  の音波を出しながら、ピストンの位置を調整すると、管口から  $l_0$  の位置で共鳴が起こり、つづいて  $9/7 l_0$  の位置で再び共鳴が起こった。(a) 音波の波長を  $l_0$  を用いて表せ。(b) ピストンの位置を  $l_0$  に保ち、音源の振動数を大きくしていくと、振動数が  $f$  になったとき再び共鳴が起こった。 $f$  は  $f_0$  の何倍か。



## 10. Doppler Effect ドップラー効果

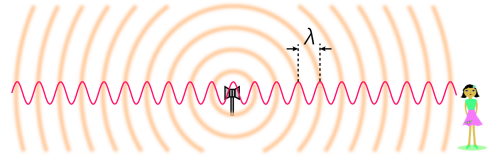
$V$ : Speed of sound 音速,

$f, \lambda$ : Frequency and wavelength of source 音源の振動数と波長

$f', \lambda'$ : Frequency and wavelength of observed sound 観測された振動数と波長

1)  観測者も静止

1) Stationary Source and Observer  $f' = f$

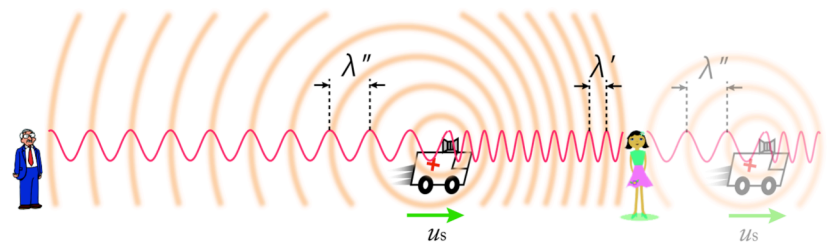


2) Moving Source and Stationary Observer

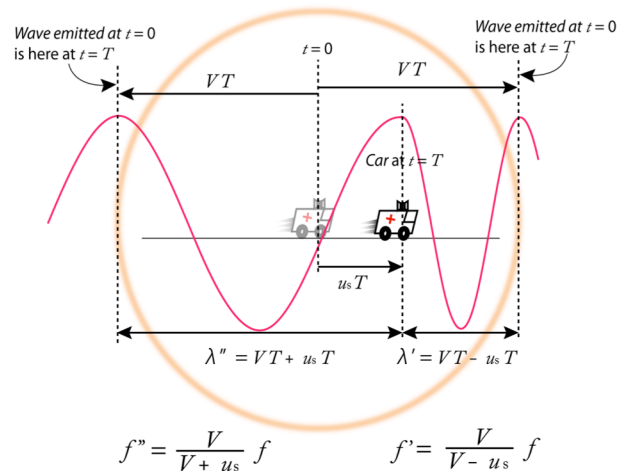
音源が移動中、観測者が静止

2) Moving Source

You hear the high pitch of the approaching ambulance, and notice that its pitch drops suddenly as the ambulance passes you and recedes from you. This is called the Doppler effect. 救急車が近づくときは高い音で、それが通り過ぎて遠ざかる途端に低い音に変わる。これがドップラー効果である。



The speed of sound is determined by the medium in which it is traveling, and is the same for a moving source. 音速は、媒質だけで決まり波源の速さとは無関係であり、これは移動する音源に対しても同様である。



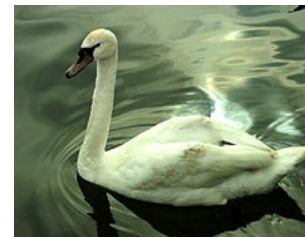
Therefore, the approaching sound is compressed resulting in the sound of shorter wavelength, higher frequency, higher pitch.

近づいてくる音は圧縮されて、波長が短く、周波数は大きく、高い音になる。

$$f' = \frac{V}{\lambda'} = \frac{V}{VT - u_s T} = \frac{V}{(V - u_s)T} = \frac{V}{V - u_s} f$$

The receding sound, conversely, is stretched resulting in the sound of longer wavelength, lower frequency, lower pitch. 遠ざかる音は、逆に引き伸ばされて波長が長く、周波数は小さく、低い音になる。

$$f'' = \frac{V}{\lambda''} = \frac{V}{VT + u_s T} = \frac{V}{(V + u_s)T} = \frac{V}{V + u_s} f$$



Doppler effect of water flow around a swan  
白鳥のまわりの水面に現れたドップラー効果

8/10/2015

By Tohei Moritani

3) Moving Observer and Stationary Source

音源が静止、観測者が移動中

A similar frequency change is observed for a moving observer and a stationary source.

同様な周波数変化は音源が静止して観測者が移動している場合にも起こる。

For an observer moving at a speed of  $u_o$  toward a source, the speed of sound the observer hears appears higher as  $V + u_o$ , though the speed of sound relative to the air is always the same. The wavelength does not change. Then,

$$f' = (V + u_o) / \lambda, \quad f = V / \lambda$$

which yields,

$$f' = \frac{V + u_o}{V} f$$

To the observer, then, the sound has a higher frequency,  $f'$ , that is higher than the frequency of the source,  $f$ .

Oppositely, if the observer is moving away from the source the sound has a lower frequency,  $f''$ , than the source frequency,  $f$ .

4) Moving Observer and Moving Source

音源と観測者の両方が移動中

The results derived above can be combined to give the Doppler effect for the situations in which both observer and source move. Letting  $u_s$  be the speed of the source, and  $u_o$  be the speed of the observer, we have the equation shown at the right. In the equation,

$u_o, u_s > 0$  : the observer (source) moves in the direction of source (observer).

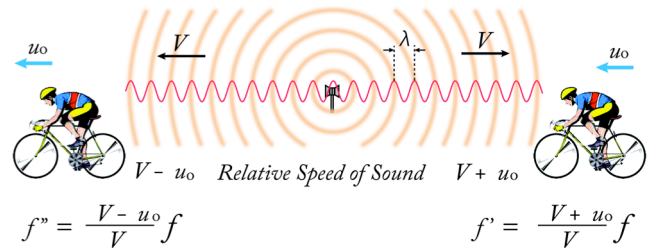
$u_o, u_s < 0$  : the observer (source) moves in the opposite direction of source (observer).

音源と観測者の両方が移動している一般的な場合は、上の式を組み合わせて右に示した式で表される。

一般式で、

$u_o, u_s > 0$  : 音源が観測者の方向に移動しているとき、観測者が音源の方向に移動しているとき、

$u_o, u_s < 0$  : 音源が観測者の方向に移動しているとき、観測者が音源の方向に移動しているとき、

3) *Moving Observer*

観測者が音源に速さ  $u_o$  で近づくと、観測者が聞くみかけの音速が速くなり  $V + u_o$  となる。波長は変わらない。したがって、

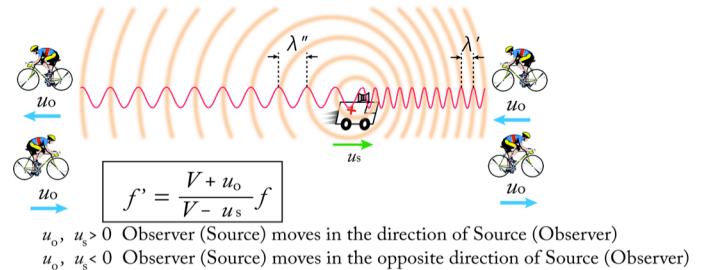
$$f' = (V + u_o) / \lambda, \quad f = V / \lambda$$

これから、

$$f' = \frac{V + u_o}{V} f$$

振動数  $f'$  は元の振動数より大きくなる（高い音になる）。

遠ざかる場合はこの反対で音源の音より低い音になる。

4) *Moving Source and Observer*

$u_o, u_s > 0$  Observer (Source) moves in the direction of Source (Observer)  
 $u_o, u_s < 0$  Observer (Source) moves in the opposite direction of Source (Observer)

[Q30] One of the most common physical phenomena involving sound is the change in pitch of a train whistle or an ambulance siren as the vehicles moves past us. Explain your experience.

列車や救急車がそばを通り過ぎるとき、汽笛やサイレンの音の高さが変化する現象は、音波の物理現象としてなじみ深い。あなたの体験を説明せよ。

[Q31] A train moves past an observer at a speed of 20 m/s emitting a whistle of 640 Hz. The speed of sound is 340 m/s.

- Find the frequency and wavelength of the whistle that the observer hear as the train is approaching.
- Find the frequency of the whistle that the observer hear as the train is receding.
- Which is the correct graph in Fig. 2 expressing the change of frequency the observer hears.
- Find the frequency of the whistle that the observer hear as the train is approaching when wind is blowing in the moving direction of the train.

列車が 640 Hz の警笛を鳴らしながら、20 m/s の速さで人の前を通過した。音速を 340 m/s とする。

- 列車が近づく場合の人の聞く振動数と波長を求めよ。
- 遠ざかるときの人の聞く振動数を求めよ。
- このときのひとの聞く振動数の変化を表したグラフは Fig. 29 のうちどれか。
- 列車の進行方向に 10 m/s の風が吹いていた。このとき列車が近づく場合の人の聞く振動数はいくらか。

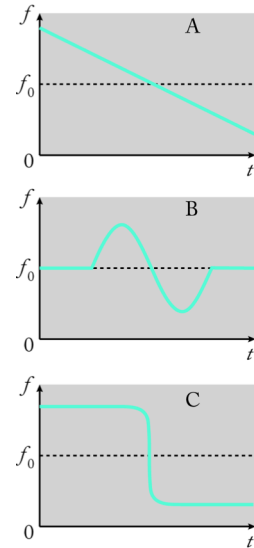


Fig. 2

[Q32] A street musician sounds the A string of his violin, producing a tone of 440 Hz. What frequency does a bicyclist hear as he (a) approaches and (b) recedes from the musician with a speed of 11.0 m/s?

大道芸人がバイオリンを弾いて 440 Hz の音を出している。そばを自転車です 11.0 m/s で通り過ぎる人が、(a) 近づくとき、(b) 遠ざかるとき、に聞く周波数はいくらか。

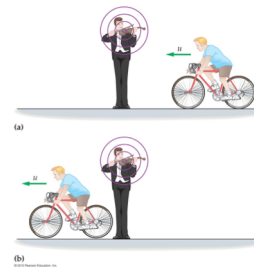


Fig. 3

[Q33] A train sounds its whistle as it approaches a tunnel in a cliff. The whistle produces a tone of 650.0 Hz, and the train travels with a speed of 21.2 m/s. (a) Find the frequency heard by an observer standing near the tunnel entrance. (b) The sound from the whistle reflects from the cliff back to the engineer in the train. What frequency does the engineer hear?

列車が山肌にあるトンネルに近づいて汽笛を鳴らした。汽笛は 650.0 Hz で、列車の速さは 21.2 m/s である。(a) トンネルの入り口近くに立っている人の聞く周波数はいくらか。(b) 汽笛が山に反射して運転手がそれを聞くと周波数はいくらになるか。

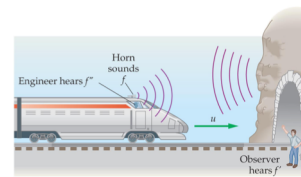
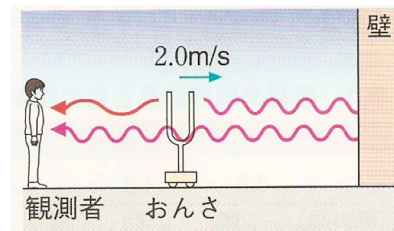


Fig. 4

[Q34] A tune fork on a cart is approaching a wall at a speed of 2.0 m/s. The frequency is 850 Hz. The observer hears beats that is produced by the direct sound from the tune fork and reflected sound from the wall. Find how many beats the observer hears assuming the speed of sound is 340 m/s.

観測者と壁の間に振動数 850 Hz の音を鳴らしながら、2.0 m/s の速さで壁に近づいているおんさがある。観測者には、おんさからの直接音と壁からの反射音によるうなりが聞こえた。音速を 340 m/s とすると、うなりは 1 秒間あたり何回聞こえるか。



[Q36] Draw a curve showing the relation between the speed of a source, and the ratio of the perceived frequency and the source frequency,  $f'/f$ . Also draw a curve showing the relation between the speed of an observer, and the ratio of the perceived frequency and the source frequency,  $f''/f$ . Let the speed of sound be 350 m/s.

グラフに、音源の速さ、 $u_s$ 、に対して観測者が聞く周波数の音源の周波数の比、 $f'/f$ 、の関係を示す曲線を描け。また、観測者速さ、 $u_o$ 、に対して観測者が聞く周波数の音源の周波数の比、 $f''/f$ 、の関係を示す曲線を描け。音速は 350 m/s とせよ。

