高専の物理問題集 音波分野の分野別分類

(修)

No.

3.3 音波

Date 2016 9 3

分野別に問題を解いた方が理解しやすい。
(難)は応用問題

ドップラー効果：
354, 355, 366, 367, 356(難), 374(難), 376(難)

音の強度・エネルギーとdB
337, 344, 357, 358

屈折・反射
333 ~ 338(難) と 345

音速
341, 342, 345, 372

弦の振動
347, 349, 350, 364, 375(難), 377

うなり
346, 360, 368, 375(難)

おんさと弦
362, 363(難), 365, 375

気柱共鳴
351, 352, 353, 359, 369, 371

音の干渉 373(難)

No.

Date

3.3 音波 ①

No.

Date

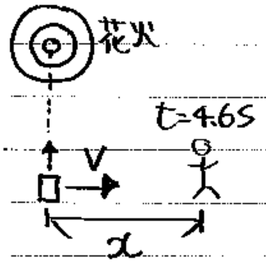
340. (1) 共鳴 又は 共振　　共鳴 → 音で使用（音の共鳴）
　　共振 → 電気回路（LCR回路の共振）

(2) 差

うなりの回数 $n = |f_1 - f_2|$

341. 音速 $V = 331.5 + 0.61t$ より　設問より気温 $t = 27^\circ C$ を代入

$V = 331.5 + 0.61 \times 27 = 347.97$　　$348 \, [m/s]$



$x = Vt$ より　$x = 348 \times 4.6 = 1600.662$ m

→ 音は等速で伝播する

花火が上がった地点までの距離 $1.60 \, [km]$ 答

342. (1) $V = 331.5 + 0.61t$　$t = 20^\circ C$ を代入

$V = 331.5 + 0.61 \times 20 = 343.7$　　$344 \, [m/s]$

(2) 屋内 $V_1 = \lambda_1 f$　$f = 300 \, [Hz]$　$\lambda_1 = V_1 / f = 344/300 = 1.146 \, [m]$

屋外 $V_2 = 331.5 \, [m/s]$（$t = 0^\circ C$ のため）　$V_2 = \lambda_2 f$

$\lambda_2 = V_2 / f = 331.5 / 300 = 1.105 \, [m]$

$\lambda_1 - \lambda_2 = 1.146 - 1.105 = 0.041 \, [m]$　　$0.04 \, [m]$ 答

343.

	音の高さ	振動数 f	
音の3要素	音の強さ	振幅 A	音の強さ $I = [W/m^2]$
	音の音色	波形	

344. $dB = 10 \log_{10}\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$　I：聞こえている音の強さ　$[W/m^2]$

I_0：最少可聴の音の強さ　$1 \times 10^{-12} \, [W/m^2]$

$50 = 10 \log_{10}\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$　$5 = \log_{10}\left(\dfrac{I}{I_0}\right)$　対数の性質　$2 = \log_{10} 100$ が

$10^2 = 100$ と同じく

$10^5 = \dfrac{I}{I_0}$　　$I = I_0 \times 10^5 = 1 \times 10^{-12} \times 10^5 = 1 \times 10^{-7} \, [W/m^2]$

$\left.\begin{array}{l} I = 1 \times 10^{-7} \, [W/m^2] \\ I_0 = 1 \times 10^{-12} \, [W/m^2] \end{array}\right\}$ 10^5 倍 エネルギーが違う　答

注）標準の音の強さ ＝ 最少可聴の音の強さと考える。

3.3 音波②

No.
Date

345. 音の空気に対する水の屈折率の公式 $n_{12} = \frac{v_1(空気)}{v_2(水)} = 0.25$

$v_1 = \lambda f = 0.68 \times 500 = 340\,[m/s]$ （設問より $\lambda = 0.68\,m$ $f = 500\,Hz$）

$v_2 = \frac{v_1}{0.25} = \frac{340}{0.25} = 1360\,[m/s]$ 空気中と水中では $f=500\,Hz$ で一定なので

$v_2 = \lambda f$ $\lambda = \frac{v_2}{f} = \frac{1360}{500} = 2.72\,[m]$

水中での音の速度と波長は $1360\,[m/s]$、$2.72\,[m]$ 答

346. $n = |f_1 - f_2|$ 設問より $f_2 = 300\,Hz$、$n = 2$

$2 = |f_1 - 300|$ $f_1 = 302\,[Hz]$ 又は $298\,[Hz]$ 答

※絶対値| |が付いているため±2が可能になる。

347. 糸に伝わる波の速さ $v = \sqrt{\frac{復元力}{慣性}} = \sqrt{\frac{張力}{線密度}} = \sqrt{\frac{S}{\sigma}}$

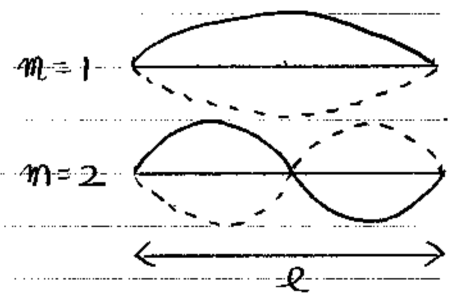
σ；線密度 $m/l = 0.1\,kg / 2\,m = 0.05\,[kg/m]$ → 1m当たりの糸の密度

S；張力 $[N]$ 糸を引っ張る力 $= 4.9\,[N]$

$v = \sqrt{\frac{4.9}{0.05}} = 9.899$ $v = 9.90\,[m/s]$ 答

348. $\sqrt{\frac{S}{\sigma}} = \sqrt{\frac{N}{\frac{kg}{m}}} = \sqrt{\frac{kg\frac{m}{s^2}}{\frac{kg}{m}}} = \sqrt{\frac{kg\,m^2}{kg\,s^2}} = \sqrt{\frac{m^2}{s^2}} = \frac{m}{s}$ 答

349. 右図の様に両端が固定端の弦の場合



定常波の波長λ_mは $\lambda_m = \frac{2l}{m}$ $(m=1, 2)$に限定され

$\lambda_1 = 2l$、$\lambda_2 = l$ の波しか生じない

$v = \lambda_m f_m$ より $f_m = \frac{v}{\lambda_m} = \frac{v}{2l/m} = \frac{vm}{2l}$ ①

$v = \sqrt{\frac{S}{\sigma}}$ $S = 49\,N$ $\sigma = 0.0025\,kg / 0.5\,m = 0.005\,kg/m$ $v = \sqrt{\frac{49}{0.005}} = 98.99$

$l = 0.5\,[m]$, $m = 1, 2$、$v = 99.0\,[m/s]$ を①に代入

$f_1 = \frac{99.0 \times 1}{2 \times 0.5} = 99.0\,[Hz]$ $f_2 = \frac{99.0 \times 2}{2 \times 0.5} = 198\,[Hz]$ 答

（f_1：基本振動数） （f_2：2倍振動数）

3.3 音波③

350. $f_m = \dfrac{vm}{2\ell}$　$v = \sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$　T：弦の張力[N]　σ：弦の線密度[kg/m]　$\sigma = \dfrac{M}{\ell}$　M：弦の質量　ℓ：弦の長さ

$f_m\ \dfrac{m}{2\ell}\cdot v = \dfrac{m}{2\ell}\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$　基本振動動では $m=1$

$f_1 = \dfrac{1}{2\ell}\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$

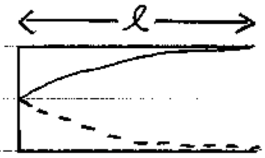
(1) ①で長さℓを2倍の2ℓにすると f_1 は $1/2$ 倍

(2) 張力Tを2倍にすると、f_1 は $\sqrt{2}$ 倍

(3) 長さℓ，張力Tを共に2倍にすると f_1 は $1/\sqrt{2}$ 倍

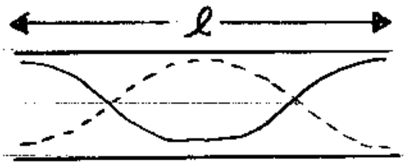
(4) ℓ同じでσを2倍にすると f_1 は $1/\sqrt{2}$ 倍

351. 一端を閉じた管→右図の様な閉管を考える。
図より $\lambda_1 = 4\ell$　$\ell = 0.16\,m$　$\lambda_1 = 4\times0.16 = 0.64$[m]
$v = \lambda f$ より $f = v/\lambda = 340/0.64 = 531.25$[Hz]
531[Hz] 答



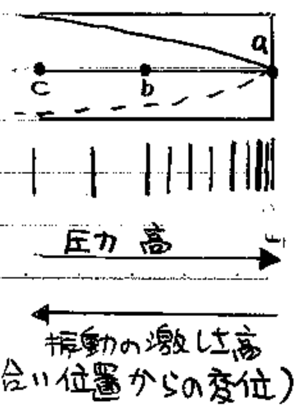
$\lambda_1 = 4\ell$
閉管の基本波 λ_1

352. 開管→両端は自由端→両端は腹
開管の定常波の $\lambda_m = \dfrac{2\ell}{m}$ $(m=1,2,3)$
$v = \lambda_m f_m$ より $f_m = \dfrac{v}{\lambda_m} = \dfrac{vm}{2\ell}$　①
①に $v = 340$[m/s]　$\ell = 0.40$[m]　$m=2$ を代入
$f_2 = \dfrac{340\times2}{2\times0.40} = 850$　850[Hz] 答



開管の2倍波振動
$\lambda_2 = \ell$ (cosの一周期)

353. (1) 振動の激しさ＝釣り合いの位置からの変位
波面の間隔が広い場所　(c) 答
(2) 圧力変化の激しい場所＝波面が密（圧力が高い）
(a) 答



3.3 音波④

No.
Date

354. ドップラー効果の公式 $f=\dfrac{V\pm V_o}{V\mp v_s}f_0$　V:音速、V_o:観測者の速度
v_s:音源の速度 f_0:元の周波数
(v_sは接近で−)(V_oはこの場合0)

設問より $V=340[m/s]$, $f_0=100[Hz]$, $v_s=20[m/s]$　$V_o=0[m/s]$

$$f=\frac{V}{V-V_s}f_0=\frac{340}{340-20}\times100=106.25[Hz]\rightarrow f=106[Hz]$$

$v=\lambda f$ より $\lambda=\dfrac{v}{f}=\dfrac{340}{106}=3.207[m]$ 接近時のλ $3.21[m]$ 答

音源が $v_s=20[m/s]$ で遠ざかる時 符号は+　$f=\dfrac{V}{V+V_s}f_0=\dfrac{340}{340+20}\times100=94.4[Hz]$

$v=\lambda f$ より $\lambda=\dfrac{v}{f}=\dfrac{340}{94.4}=3.60[m]$ 遠ざかる時のλ $3.60[m]$ 答

355. 接近時の周波数 $f_1=\dfrac{V}{V-v_s}f_0$ ①

遠ざかる時の周波数 $f_2=\dfrac{V}{V+v_s}f_0$ ②

$f_1:f_2=19:15$

$19f_2=15f_1$

$$\frac{V}{V+v_s}f_0\cdot19=15\cdot\frac{V}{V-V_s}f_0\qquad\frac{19Vf_0}{V+v_s}=\frac{15Vf_0}{V-v_s}$$

$$\frac{V-v_s}{V+v_s}=\frac{15Vf_0}{19Vf_0}=\frac{15}{19}\qquad V-v_s=\frac{15}{19}(V+v_s)$$

$$V-\frac{15}{19}V=v_s+\frac{15}{19}v_s\qquad\frac{4}{19}V=\frac{34}{19}v_s\qquad V_s=\frac{19}{34}\cdot\frac{4}{19}V$$

$$V_s=\frac{4}{37}V=\frac{2}{17}V=\frac{2\times340}{17}=40[m/s]$$

パトカーの速度 $V_s=40[m/s]$ 答

3.3 音波⑤

No.

Date

356. 空気中の音速は媒質(空気)によって決定されVは基本的には一定だが、観測者が動いたり空気が動いたり(風)するとVが観測者から見て見かけ上変化する。→これを音の相対速度V'と呼ぶ

音の相対速度V'が変化するケース

① 観測者がv_0で移動 $V' = V - v_0$ 静止音源 ◁)))→ V → v_0
(音源からv_0で離れる)

② 観測者がv_0で移動 $V' = V + v_0$ 静止音源 ◁)))→ V ← v_0
(音源にv_0で接近)

③ 観測者に向かい風 v_w $V' = V + v_w$ 静止音源 ◁)))→ V 向かい風 v_w ⇨

④ 観測者に追い風 v_w $V' = V - v_w$ 静止音源 ◁)))→ V ⇦ v_w 追い風

設問では $v_w = 20\,m/s$ の向かい風で $f_0 = 480\,Hz$、$V = 340\,m/s$
なので、③で考えると $V' = (V + v_w)$ と $V' = \lambda' f_0$ より $\lambda' = \frac{V'}{f_0} = \frac{V + v_w}{f_0}$

$\lambda' = \frac{340+20}{480} = 0.75$ [m]

ポイント：風が吹いても吹かなくてもサイレン音(振動数f_0)は日常生活でも変化しない。
よってf_0は一定で480[Hz]　(1) 波長0.75[m]、振動数480[Hz] 答

(2) ドップラー効果の公式 $f = \frac{V \pm V_o}{V \mp V_s} f_0$　この場合 $V_o = 0$、音源は接近するので符号はマイナス

$f = \frac{V}{V - V_s} f_0$ → 音速Vが向かい風が吹くことで $V' = (V + V_w)$ に変化する → VをV'に置き換え

$$f = \frac{V}{V' - V_s} f_0 = \frac{V + V_w}{(V + V_w) - V_s} f_0 = \frac{340 + 20}{340 + 20 - 10} \times 480 = \frac{360}{350} \times 480$$

$= 493.7$　$f = 494$ [Hz]

$V = \lambda f_0$　音源も観測者も静止する場合

$V = \lambda' f$　音源が動く場合 → Vは一定だがλ、fが変化

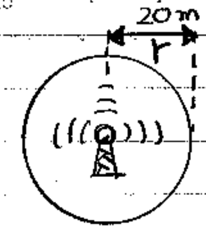
$V' = \lambda' f$　風が吹いて音源が動く場合 → V、λ、fすべて変化

$\lambda' = \frac{V'}{f} = \frac{340+20}{494} = 0.729$ [m]　波長0.73[m] 振動数494[Hz] 答

3.3 音波⑥

No.

Date



357. 音の強さ(強度) $I=\frac{W}{m^2}=\frac{W}{面積}$

スピーカー(音源)での音のエネルギー 5.0W が
r=20m 離れた球面上に拡散
球面の面積 $S=4\pi r^2$

$$I=\frac{W}{S}=\frac{5}{4\pi r^2}=\frac{5}{4\pi 20^2}=\frac{5}{1600\pi}=9.947\times10^{-4}[W/m^2]$$

$9.95\times10^{-4}[W/m^2]$ 答

358. $dB=10\log_{10}\left(\frac{I}{I_0}\right)$ $I: 1\times10^{-7}[W/m^2]$
$I_0: 1\times10^{-12}[W/m^2]$

(1) $dB=10\log_{10}\left(\frac{10^{-7}}{10^{-12}}\right)=10\log_{10}(10^5)=50$ [dB] 答

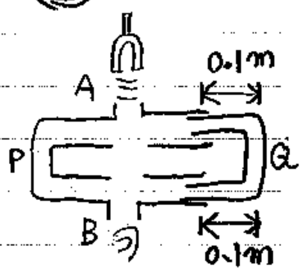
音のエネルギーEの公式

(2) $E=2\pi^2 f^2 A^2 m$ [J]　音の強さ $I=\frac{E}{Sm^2}=\frac{J}{Sm^2}=W/m^2$

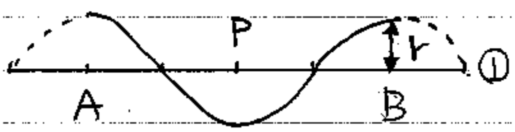
f一定で振幅Aを2倍にするとEは4倍となり Iも4倍となる。
よって音の強さIは 1×10^{-7} から $4\times10^{-7}[W/m^2]$ となる

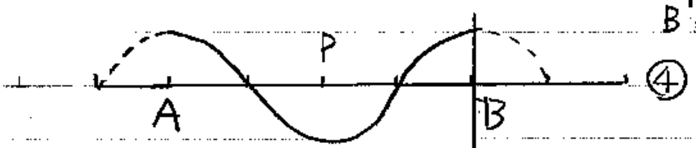
$$dB=10\log_{10}\left(\frac{4\times10^{-7}}{10^{-12}}\right)=10\log_{10}(4\times10^5)=56.0[dB]$$ 答

359.

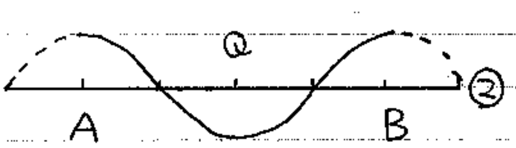


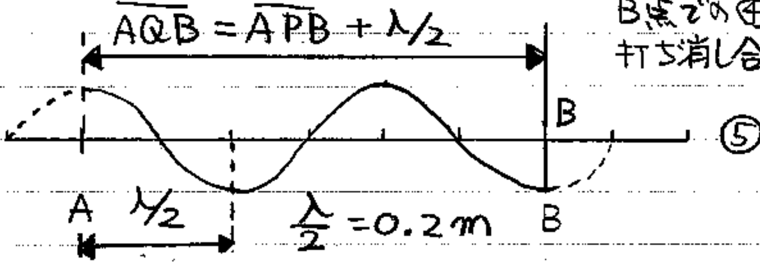
$\overline{APB}=\overline{AQB}$ の場合　$\overline{APB}=\overline{AQB}=\overline{APB}+\frac{\lambda}{2}$ の場合





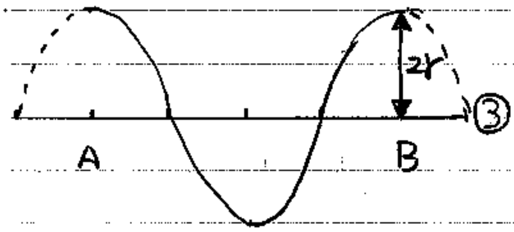
B点での④+⑤=0
打ち消し合う=音が無し





$\frac{\lambda}{2}=0.2m$

B点での①+②=2r



管を0.1m引き伸ばすと $\overline{APB}$ と $\overline{AQB}$ の行路差は2倍の0.2mとなり音が聞こえなくなった。
APBを進んだ音④とAQBを進んだ音⑤は弱め合い
B点で音が聞こえなくなった。

B点で音が干渉して強め合う
①+②で③になっているのが
管を伸ばす前の状態の模式図

⑤より $\frac{\lambda}{2}=0.2$ となり $\lambda=0.4[m]$
$V=\lambda f$　$f=\frac{V}{\lambda}=\frac{340}{0.4}=850[Hz]$ 答

3.3 音波⑦

(修) 361 修正 18 1/10

360. $n=|f_A-f_B|$ $\quad n=3$ $\quad f_A=350\,\mathrm{Hz}$

$f_B=353\,\mathrm{Hz}$ 又は $347\,\mathrm{Hz}$

針金を巻き付けたおんさBの固有振動数は f_B から f_B' に変化
共鳴条件より $f_A=f_B'=350\,[\mathrm{Hz}]$

一般的に、おんさに針金を巻くと固有振動数は低くなるため
f_B は f'_B より大きい → よって $f_B=353\,[\mathrm{Hz}]$ 答

361. 基本振動数 f_1 は長さ ℓ が半波長($\frac{\lambda}{2}$)と等しい

$\ell=\frac{\lambda_1}{2}$ $\quad \lambda_1=2\ell$ 弦の横波の速度 V は

$$V=\sqrt{\frac{復元力}{慣性}}=\sqrt{\frac{張力}{線密度}}=\sqrt{\frac{T}{\sigma}}=\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}} \quad ①$$

$$\sigma=\frac{m}{\ell}=\frac{0.0035\,\mathrm{kg}}{0.6\,\mathrm{m}}=5.83\times10^{-4}\,[\mathrm{kg/m}]$$

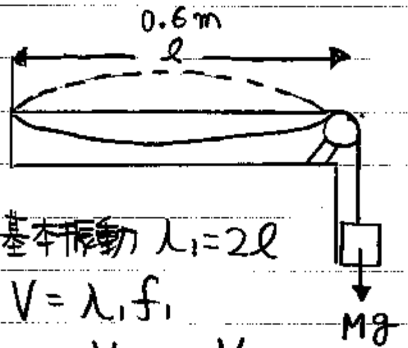
$T=Mg$

$V=\lambda_1 f_1$ より $\quad f_1=\dfrac{V}{\lambda_1}=\dfrac{\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}}}{2\ell}$ ② $f_1=320\,\mathrm{Hz}$ が成立するMを求める

②両辺二乗してM=○の形に $\quad f_1^2=\dfrac{Mg/\sigma}{4\ell^2}=\dfrac{Mg}{4\ell^2\sigma}$

$$M=\frac{4\ell^2\sigma f_1^2}{g}=\frac{4\times0.6^2\times5.83\times10^{-4}\times320^2}{9.80}=8.772$$

8.77[kg] 答

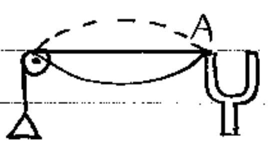


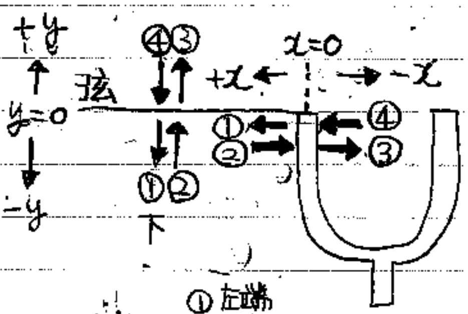
基本振動 $\lambda_1=2\ell$

$V=\lambda_1 f_1$

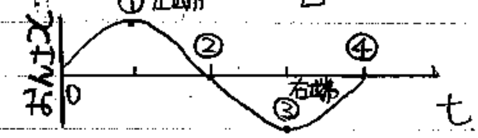
$f_1=\dfrac{V}{\lambda_1}=\dfrac{V}{2\ell}$

363.(a)の説明

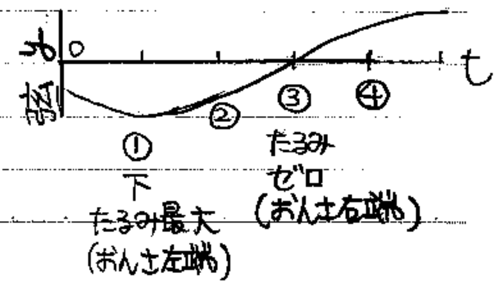




弦の振動方向とおんさの振動方向は直角になっている。
おんさが①→②→③→④と振動する時のおんさの位置xと時間の関係のグラフが右図。



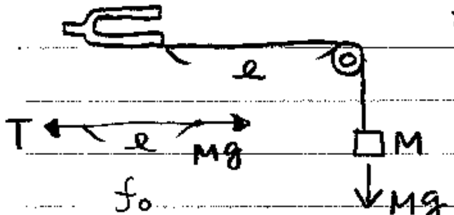
おんさと連動して糸が①→④に振動する時の弦の位置yと時間の関係のグラフが右下。



よって同じ時間内で、弦の振動数(波の数)はおんさの振動数(波の数)の半分になっている。

362. ポイント① 糸はおんさにより強制的に振動させられているため、
糸の張力を変えても、糸の振動数はおんさのf_0と同じで一定。
ポイント② 区数が1つ減るというのは、波の波長λ(＼／)が1つ分減る。

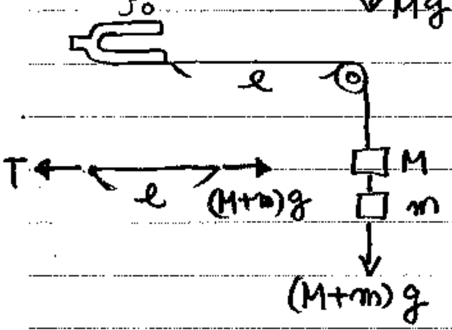
おんさの固有振動数f_0



おもりMをつるした場合　$V_n=\lambda_n f_0$

$$V_n=\sqrt{\frac{T}{\sigma}}=\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}}\qquad \lambda_n=\frac{2l}{n}\qquad f_0=\frac{V_n}{\lambda_n}=\frac{n}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}} \quad ①$$

└→両辺が固定端の定常波の条件式



おもりMとmをつるした場合

$$V_{n-1}=\sqrt{\frac{(M+m)g}{\sigma}}\qquad V_{n-1}=\lambda_{n-1}f_0$$

$$f_0=\frac{V_{n-1}}{\lambda_{n-1}}=\frac{n-1}{2l}\sqrt{\frac{(M+m)g}{\sigma}} \quad ②$$

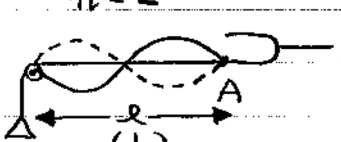
$$\lambda_{n-1}=\frac{2l}{n-1}$$

$$①=② \qquad \frac{n}{2l}\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}}=\frac{n-1}{2l}\sqrt{\frac{(M+m)g}{\sigma}} \rightarrow n\sqrt{M}=n-1\sqrt{(M+m)}$$

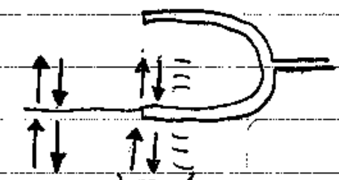
両辺を二乗　$n^2M=(n-1)^2\cdot(M+m)$　　$n^2M-(n-1)^2M=(n-1)^2m$

$$m=\frac{n^2M-(n^2-2n+1)M}{(n-1)^2}=\frac{(2n-1)M}{(n-1)^2}\qquad m=\frac{(2n-1)M}{(n-1)^2} \quad 答$$

363. (b)の説明



(b)



糸の振動方向　おんさの振動方向

糸の振動方向＝おんさの振動方向

電磁おんさ →強制的に振動
(b)では糸の振動方向とおんさの振動方向が同じなのでおんさの固有振動数f_0に合わせて糸も同じ振動数で振動する。
おんさの固有振動数f_0＝糸の振動数(f_0)

(b)で$n=2$の2倍振動を考える

$$\lambda_n=\frac{2l}{n}\qquad V_n=\sqrt{\frac{T}{\sigma}}\qquad V_n=\lambda_n f_0$$

$$f_0=\frac{V_n}{\lambda_n}=\frac{n}{2l}\sqrt{\frac{T}{\sigma}}\qquad n=2\quad \lambda=l$$

$$f_0=\frac{1}{l}\sqrt{\frac{T}{\sigma}}$$

(b)ではσとTが変わっても合計ではf_0は
おんさの固有振動数f_0と必ず同じになる。

364. $V_n = \sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$ $\lambda_n = \dfrac{2\ell}{n}$ $f_n = \dfrac{V_n}{\lambda_n} = \dfrac{n}{2\ell}\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$

設問より $T = 147$ [N] $\ell = 1$ [m] $n = 1$ $f_1 = 250$ [Hz]

$$f_1 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad f_1^2 4\ell^2 = \frac{T}{\sigma} \quad \sigma = \frac{T}{4\ell^2 f_1^2} = \frac{147}{4\times1\times250^2} = 5.88\times10^{-4}$$

設問の数値より弦の線密度 σ は 5.88×10^{-4} [kg/m]

(1) f_1 を 250 Hz から 280 Hz へ変更するため、張力 T はそのままで ℓ を変える

$$f_1 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad \ell = \frac{1}{2f_1}\sqrt{\frac{T}{\sigma}} = \frac{1}{2\times280}\sqrt{\frac{147}{5.88\times10^{-4}}} = 0.892$$

0.89 [m] 答

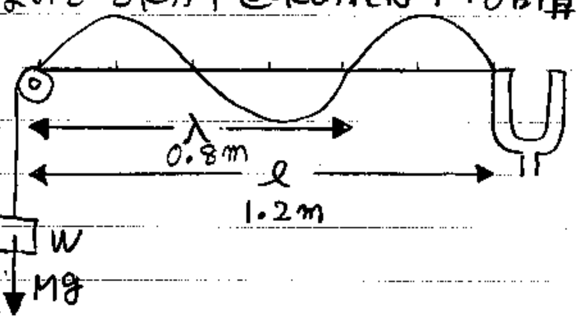
(2) f_1 を 280 Hz へ、ℓ はそのままで張力 T を変えると

$$f_1 = \frac{1}{2\ell}\sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad 2\ell f_1 = \sqrt{\frac{T}{\sigma}} \quad 4\ell^2 f_1^2 = \frac{T}{\sigma} \quad T = 4\ell^2 f_1^2 \sigma$$

$$T = 4\times1^2\times280^2\times5.88\times10^{-4} = 184.39$$

184 [N] 答

365. おもり W の質量 M は $Mg = T$ なので張力 T を求めれば M も計算可



設問より $\ell = 1.2$ m を3分割 → $\lambda = 0.8$ m
糸の振動数 $f_3 = 50$ Hz
線密度 $\sigma = 6.00\times10^{-5}$ kg/m

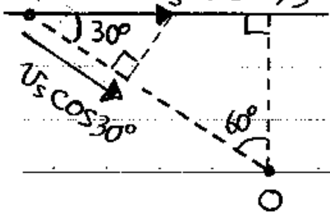
$f_n = \dfrac{n}{2\ell}\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$ $n = 3$, $T = Mg$ なので

$$f_3 = \frac{3}{2\ell}\sqrt{\frac{Mg}{\sigma}} \quad \frac{2\ell f_3}{3} = \sqrt{\frac{Mg}{\sigma}} \quad \frac{4\ell^2 f_3^2}{9} = \frac{Mg}{\sigma}$$

9.80×10^{-3} [kg] 答

$$M = \frac{\sigma}{g}\cdot\frac{4\ell^2 f_3^2}{9} = \frac{6.00\times10^{-5}\times4\times1.2^2\times50^2}{9.80\times9} = 9.7959\times10^{-3}$$

366. 音源が動く場合のドップラー効果



$$f = \frac{V \pm v_o}{V \mp v_s} f_o$$

$v_o = 0$ 音源は接近するので符号は −
O−A 間で考えると音源の速度は $v_s\cos30°$

$$f = \frac{V}{V - v_s\cos30°} f_o = \frac{340\times1500}{340 - 20\cos30°} = 1580.5$$

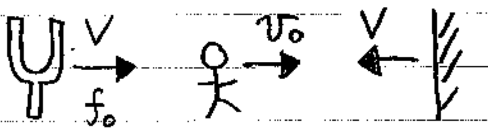
1.58×10^3 [Hz] 答

3.3 音波 ⑩

No.
Date

367.

(1) 壁による反射音と観測者の関係

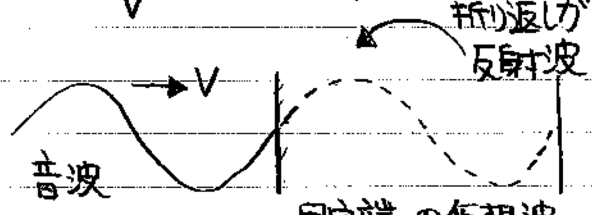


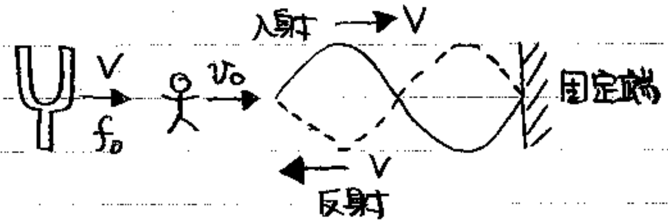
$f=\frac{V\pm v_o}{V\mp v_s}f_o$ …ドップラ効果の公式 ①

壁を音源として考えると、$v_s=0$, 観測者が音源に接近 v_oの符号は −

$f=\frac{V+v_o}{V}f_o$ 答

(2)





入射波では観測者は音源(おんさ)から離れているので ①のv_oの符号は −

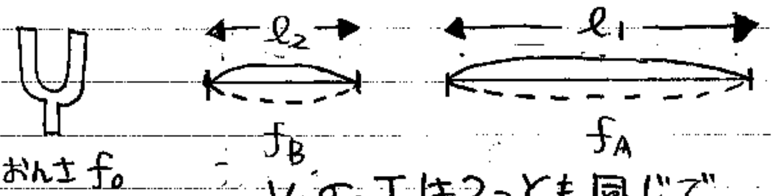
よっておんさから観測者に入射される音(観測者が聞く)の振動数f_1は $f_1=\frac{V-v_o}{V}f_o$ ②

(1)で解いた固定端から反射された音の観測者が聞く振動数をf_2とすると $f_2=\frac{V+v_o}{V}f_o$

うなり $n=|f_1-f_2|=\left|\frac{V-v_o}{V}f_o-\frac{V+v_o}{V}f_o\right|=\left|\frac{f_o}{V}\left((V-v_o)-(V+v_o)\right)\right|$

$=\left|\frac{f_o}{V}\cdot -2v_o\right|=\frac{2v_of_o}{V}$ 　 $\frac{2v_of_o}{V}$[回] 答

368. 修

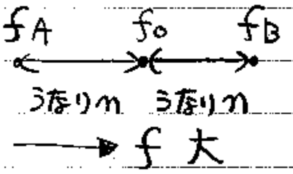


$V=\sqrt{\frac{T}{\sigma}}$ 　 $\lambda=2l$

$V=\lambda f$

$f=\frac{V}{\lambda}$

∴ V, σ, T は2つとも同じで、基本振動している。



$f_B \frac{V}{2l_2}$ ① 　 $f_A=\frac{V}{2l_1}$ ②

$l_1>l_2$ なので弦が長いAの方がBより低い音(低振動)の音が出る。∴ $f_B>f_A$

$f_A<f_o<f_B$ が成立 　 $n=f_B-f_o$ ③ 　 $n=f_o-f_A$ ④

弦B 　 弦A

3.3 音波 ⑪

No.
Date

$$\frac{②}{①} = \frac{f_A}{f_B} = \frac{\frac{V}{2\ell_1}}{\frac{V}{2\ell_2}} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \quad ⑤$$

③より $f_B = n + f_0$ ③′

④より $f_A = f_0 - n$ ④′

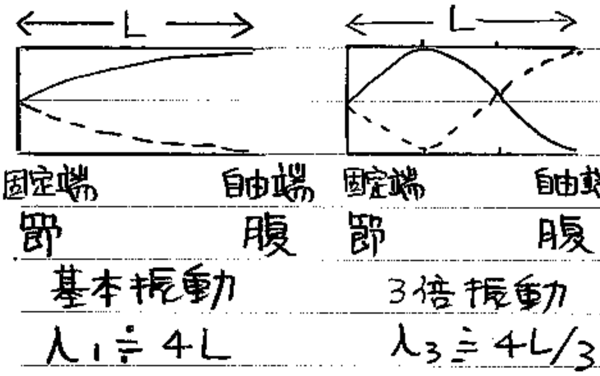
$$\frac{f_A}{f_B} = \frac{④'}{③'} = \frac{f_0 - n}{n + f_0} \quad ⑥$$

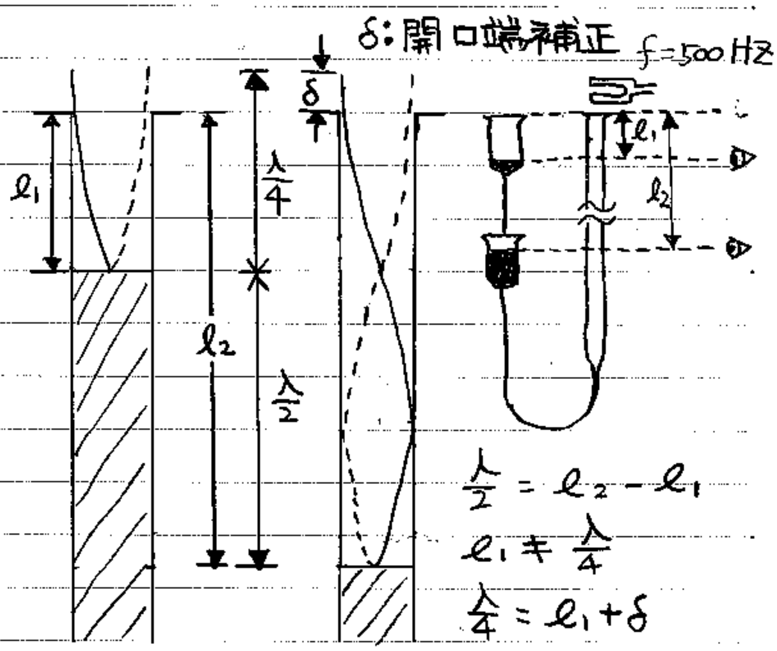
⑤=⑥ $\frac{\ell_2}{\ell_1} = \frac{f_0 - n}{n + f_0} \rightarrow \ell_2(n+f_0) = \ell_1(f_0 - n)$

$n\ell_2 + \ell_2 f_0 = \ell_1 f_0 - \ell_1 n \quad f_0(\ell_1 - \ell_2) = n(\ell_1 + \ell_2)$

$f_0 = n\frac{(\ell_1+\ell_2)}{(\ell_1-\ell_2)}$ 答

369. 設問より気柱は閉管(上部開、下部閉)





閉管の定常波は波長λ_{2m-1}が以下の条件を満たす時のみ発生

$$\lambda_{2m-1} = \frac{4L}{2m-1} \quad (m=1,2,3)$$

気柱の音速をVとすると、その固有振動数f_{2m-1}は

$V = \lambda_{2m-1} \cdot f_{2m-1}$ より

$$f_{2m-1} = \frac{V}{\lambda_{2m-1}} = \frac{V}{4L}\cdot(2m-1)$$

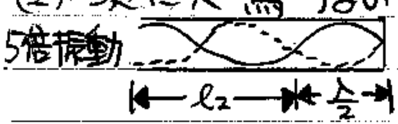
$\ell_1 = 0.164$ m は基本振動

$\ell_2 = 0.502$ m は3倍振動

図より $\frac{\lambda}{2} = \ell_2 - \ell_1 \quad \lambda = 2(\ell_2 - \ell_1)$

(1) $\lambda = 2(0.502 - 0.164) = 0.676$ [m] 答

(2) 次に共鳴するのは m=3 の5倍振動なので



$\ell_2 + \lambda/2 = 0.502 + 0.676/2$
$= 0.84$

(2) 0.84 [m] 答

(3) $V = \lambda f$ より $V = 0.676 \times 500 = 338$ (3) 338 [m/s] 答

(4) 開口端補正

閉管の自由端(上部)では音が管の出口からδ出た範囲で反射されるため、その値δを考え基本振動のλを考える

図より $\lambda/4 = \ell_1 + \delta$

$\delta = \frac{\lambda}{4} - \ell_1 = \frac{0.676}{4} - 0.164 = 5\times10^{-3}$ [m]

(4) $\delta = 5\times10^{-3}$ [m] 答

(0.5cm)

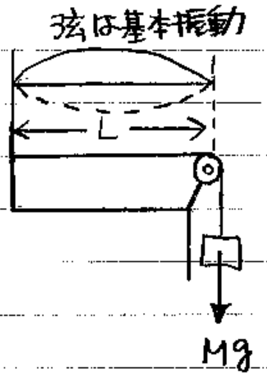
3.3 音波 ⑫

No.

Date

370. 設問に不備があり解答不能

371. ポイント：弦の速度と波長は気柱の音波の速度と波長と異なるが、
振動数f_0は、弦と音波で等しい。



まず弦の基本振動から振動数f_0を求める。
設問より
弦の長さ$L=0.6$[m]、線密度$\sigma=1.2\times10^{-4}$[kg/m]
張力$T=Mg=5\times9.8=49$ [N]
基本振動をしている弦の波長$\lambda=2L=1.2$[m]

$V=\sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}=\sqrt{\dfrac{49}{1.2\times10^{-4}}}=639$ [m/s]　$V=\lambda f_0$より

$f_0=\dfrac{V}{\lambda}=\dfrac{639}{1.2}=532.5$　　$f_0=532$[Hz]

気柱共鳴の条件より、$l_1=0.15$mで基本振動、$l_2=0.445$mで3倍振動

音の波長λは369の図より　$\dfrac{\lambda}{2}=l_2-l_1$　$\lambda=2(l_2-l_1)$

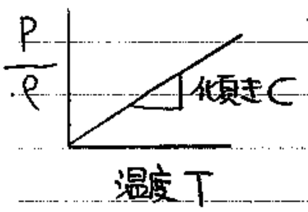
$\lambda=2(0.445-0.15)=0.59$ [m]

$V=\lambda f_0$より　$V=0.59\times532=314$　3.14×10^2[m/s] 答

372. (1) $v=\sqrt{\dfrac{\gamma P}{\rho}}=\sqrt{\dfrac{1.4\times1.01\times10^5}{1.29}}=331$　　3.31×10^2[m/s] 答

(2) γ：空気(気体)の比熱比　$\gamma=\dfrac{\text{定圧モル比熱}C_P}{\text{定積モル比熱}C_V}=\dfrac{\frac{7}{2}R}{\frac{5}{2}R}=1.4$ で常に一定

$\dfrac{P}{\rho}=\dfrac{\text{空気の圧力}}{\text{空気の密度}}$ は P大きくなるとρも比例して大きくなるが $\dfrac{P}{\rho}$ の比は温度Tに比例



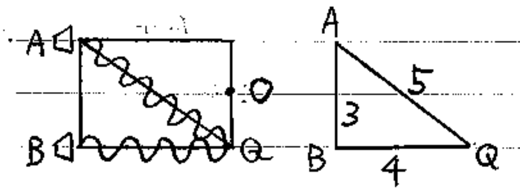
よって $\dfrac{P}{\rho}=CT$ に置き換えることができるため

$v=\sqrt{\dfrac{\gamma P}{\rho}}=\sqrt{\gamma CT}$　となり音速は温度(絶対温度)に比例

$v=\sqrt{\gamma CT}$ 答

(3) 音速の温度の補正式　$v=331.5+0.61t$　(tは温度℃)より
気温が1℃変化すると音速は0.61 m/s変化する 答

373. (1) 音を強め合う O又はQ点の条件から音の波長λを求める。
O点はPQの中点(1.5m)なので音の行路AOとBOは共に等しくなるため、スピーカAとBの音が強め合う → この条件ではλは出せない。
よってQ点の条件からλを出す。

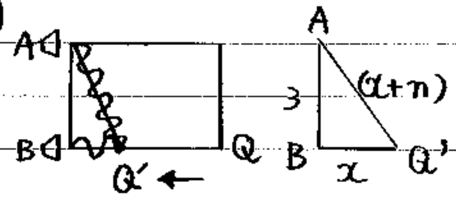


Q点で音が強め合う条件
AQ−BQの行路差が音の波長λの整数倍
$AQ - BQ = n\lambda \quad (n=1,2,3,\cdots)$ ①

三角形ABQを考えると、三平方の定理より $AQ^2 = AB^2 + BQ^2$ $AQ^2 = 3^2 + 4^2$ $AQ = 5$[m]

O点からQ点に移動する間にQ点で初めて音が大きくなるので①式のnは1
よって $AQ - BQ = \lambda$ $AQ = 5$m, $BQ = 4$m なので、$\lambda = 5 - 4 = 1$ $\lambda = 1.00$[m] 答

(2)



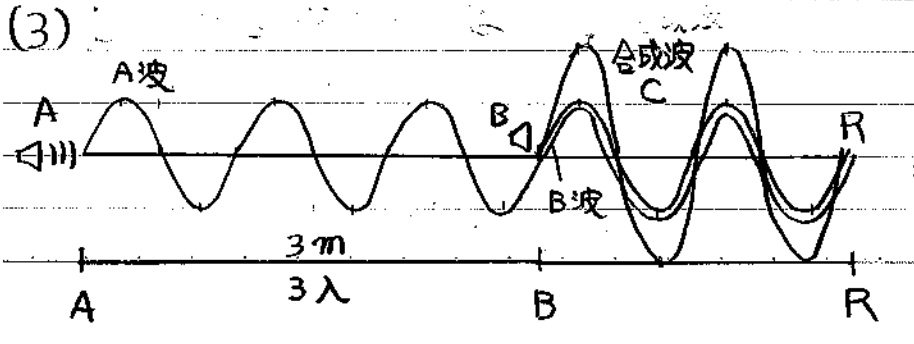
音が強くなる点をQ'として音の強め合う条件を考える
$AQ' - BQ' = n\lambda \quad (n=1,2,3\cdots)$ ②
$AQ' = BQ' + n\lambda$ BQ'を未知数xと置くと
$AQ' = x + n\lambda$ が成り立ち、λ=1m なので
$AQ' = x + n$ ③ が成り立つ

n=1の条件を考えると $AQ' = x+1$ となり三平方の定理より $(x+1)^2 = 3^2 + x^2$
$x^2 + 2x + 1 = 9 + x^2$ $2x = 8$ $x = 4$
$BQ' = 4$m はQ'がQ点にある時の条件

n=2の条件を考えると $AQ' = x+2$ となり $(x+2)^2 = 3^2 + x^2$
$x^2 + 4x + 4 = 9 + x^2$ $4x = 5$ $x = 1.25$[m]

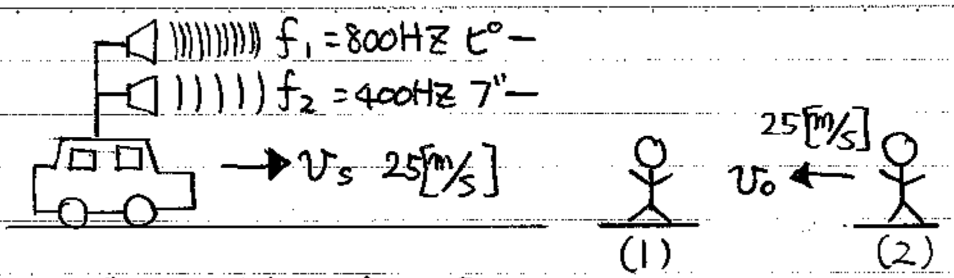
n=3の条件を考えると $AQ' = x+3$ $(x+3)^2 = 3^2 + x^2$ $x^2 + 6x + 9 = 9 + x^2$
$6x = 0$ $x = 0$ B点では音は強め合う
よってQ点、Q'点($x = 1.25$m)、B点で音は強め合うが(2)の正解は
$x = 1.25$[m] 答

(3)



B〜RではA波とB波は位相がそろい、全領域で音を強め合い、合成波Cが発生する。

374.



ポイント①：観測者は3種類の音を聞く　静止　観測者がv_0で動く

$f_1=800Hz$　$f_2=400Hz$　$f_3=1Hz$

高周波(ピー)　低周波(ブー)　ピー・ブーが1秒ごとに繰り返えされる一種の音

ポイント②：$T=1/f$ より ピー・ブーの周波数fが分かれば音の間隔(周期T)が分かる。

ポイント③：ドップラー効果の公式を使う $f=\dfrac{V\pm v_0}{V\mp v_s}f_0$ ①

V：音速
v_0：観測者速度
v_s：音源の速度
f_0：元の周波数

(1) ①式の$v_0=0$、v_sの向きは観測者に接近しているので －

$$f=\frac{V}{V-v_s}f_0$$

$f_0=f_1=800Hz$　$f=\dfrac{340}{340-25}\times 800=863$　863[Hz]

$f_0=f_2=400Hz$　$f=\dfrac{340}{340-25}\times 400=431.7$　432[Hz]

$f_0=f_3=1Hz$　$f=\dfrac{340}{340-25}=1.079$　1.08[Hz]

$T=1/f=1/1.08=0.93[s]$　答 863[Hz]と432[Hz]の音を0.93秒間隔で聞く

(2) ①式の$v_0=25m/s$、v_0の向きは音源に接近しているので ＋

$$f=\frac{V+v_0}{V-v_s}f_0$$

$f_0=f_1=800Hz$　$f=\dfrac{340+25}{340-25}\times 800=927$　927[Hz]

$f_0=f_2=400Hz$　$f=\dfrac{340+25}{340-25}\times 400=463.6$　464[Hz]

$f_0=f_3=1Hz$　$f=\dfrac{340+25}{340-25}\times 1=1.159$　1.16[Hz]

$T=1/f=1/1.16=0.86[s]$

答 927[Hz]と464[Hz]の音を0.86秒間隔で聞く

3.3 音波 ⑮

375 → 17ページ目上記述

376. 壁の移動する速度 v を v_r　r: reflection 反射の意味

	(A)	(B)	(C)
入射	$\xrightarrow[f_0]{V}$ 静止壁	$\xrightarrow[f_0]{V}$ 移動壁 $\leftarrow v_r$	$\xrightarrow[f_0]{V}$ 移動壁 $\rightarrow v_r$
反射	$\xleftarrow[f_0]{V}$ 静止壁	$\xleftarrow[f_1]{V}$ 移動壁 $\leftarrow v_r$	$\xleftarrow[f_2]{V}$ 移動壁 $\rightarrow v_r$

(A) 反射で V の向きが逆

(B) 反射で V の向きと $f_0 \to f_1$ へ変化

$$f_1 = \frac{V+v_r}{V-v_r} f_0$$

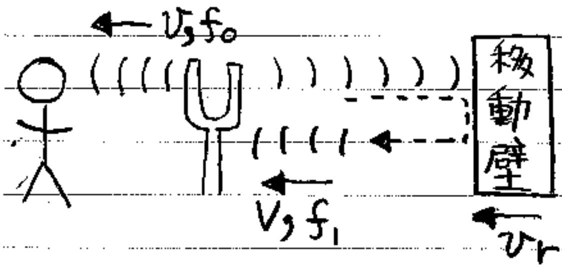
$$f_1 > f_0$$

(C) 反射で V の向きと $f_0 \to f_2$ へ変化

$$f_2 = \frac{V-v_r}{V+v_r} f_0$$

$$f_2 < f_0$$

設問は (B) のパターン（壁が観測者に接近してくる）



(1) (B) の振動数 f_1

$$f_1 = \frac{V+v_r}{V-v_r} f_0 \quad \text{答}$$

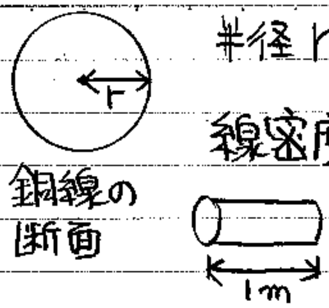
(2) うなり $n = |f_1 - f_0|$ より

$$n = \frac{V+v_r}{V-v_r} f_0 - f_0 = \left(\frac{V+v_r}{V-v_r} - 1 \right) f_0$$

$$= \frac{V+v_r-(V-v_r)}{V-v_r} f_0 = \frac{2v_r}{V-v_r} f_0$$

$$n = \frac{2v_r}{V-v_r} f_0 \quad \text{答}$$

377.
(1)



半径 r: 0.085 mm = 0.085×10^{-3} m = 8.50×10^{-5} [m]

線密度: 1m あたりの密度　密度 ρ: 8.90 [kg/m3]

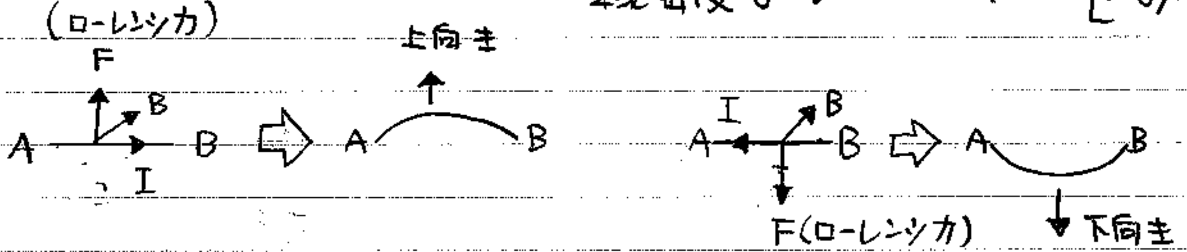
~~銅線 1m あたりの質量を求める~~

m = 断面積×長さ×密度より

$m = \pi r^2 \times 1\,m \times \rho = \pi \times (8.50 \times 10^{-5})^2 \times 1 \times 8.90 = 2.02 \times 10^{-4}$

線密度 σ: 2.02×10^{-4} [kg/m] 答

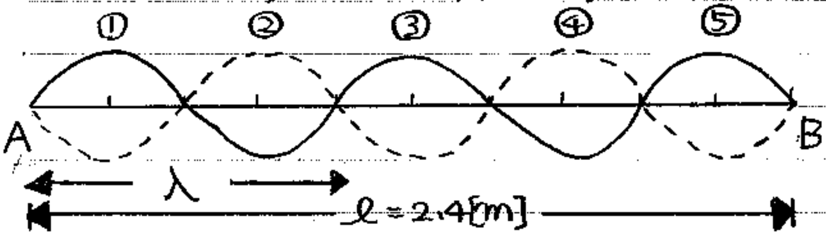
(2)



① I が弦を右向きに流れる場合
弦ABは上向きに振動

② I が弦を左向きに流れる場合
弦ABは下向きに振動

弦ABには f = 60 Hz の交流電流を流すので、この電流 I と
磁石による磁界 (N→S) B により、弦を上下に振動させる
ローレンツ力が発生する。



設問より、弦ABに腹の数が
5個の定常波を発生させる条件
を考える。

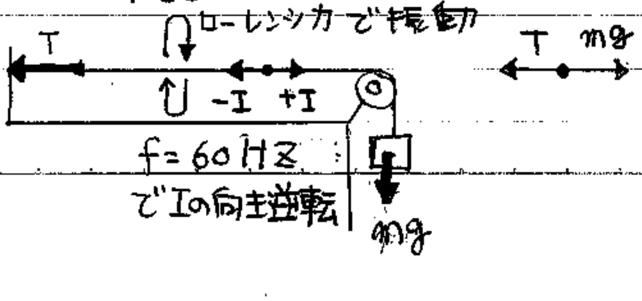
上図が腹の数が5個ある定常波　l = 2.4m 中に 2.5λ がある。

$2.5\lambda = l \quad \lambda = \dfrac{l}{2.5} = \dfrac{2.4}{2.5} = 0.96$ [m]　~~f = 60 [Hz] なので~~

$V = \lambda f$ より　$V = 0.96 \times 60 = 57.6$ [m/s]

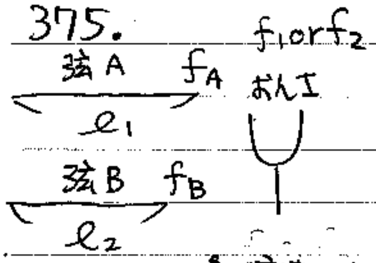
$V = \sqrt{\dfrac{T}{\sigma}}$　~~T = mg なので~~　$V = \sqrt{\dfrac{mg}{\sigma}}$　$V^2 = \dfrac{mg}{\sigma}$　$m = \dfrac{\sigma v^2}{g}$

$m = \dfrac{2.02 \times 10^{-4} \times 57.6^2}{9.80} = 0.068$ [kg]　　0.068 [kg] 答



No.
Date

375.



弦の波の速度V' 音速V

$\boxed{ポイント}$
- おんさの振動数は不明だが、設問のうなりが発生する、2種類の振動数f_1、f_2が存在する。
- $n=|f_1-f_2|$ と $f=V/2l$ の公式を使う
- $f_A/f_B=$ ◯ の式の形を連立して式を解く
- 設問より、$l_1>l_2$, $f_A<f_B$
- $f_A=V'/2l_1$, $f_B=V'/2l_2$, うなりの式4つ 計6つを使う

弦の基本振動の式：$f_A=\dfrac{V'}{2l_1}$ ①　$f_B=\dfrac{V'}{2l_2}$ ②　$\dfrac{f_A}{f_B}=\dfrac{V'/2l_1}{V'/2l_2}=\dfrac{l_2}{l_1}$ ③

1)おんさの条件

おんさの振動数 $<f_A$ (弦Aの振動数)　f_1と定義 ($f_1<f_A$ の場合)

$f_A-f_1=2$ ④　$f_A=2+f_1$　$\dfrac{f_A}{f_B}=\dfrac{2+f_1}{4+f_1}$ ⑥

$f_B-f_1=4$ ⑤　$f_B=4+f_1$

③=⑥　$\dfrac{l_2}{l_1}=\dfrac{2+f_1}{4+f_1}$　$4l_2+f_1l_2=2l_1+f_1l_1$　$f_1(l_1-l_2)=4l_2-2l_1$

$f_1=\dfrac{4l_2-2l_1}{l_1-l_2}$ ⑦　$l_2=0.295m$, $l_1=0.30m$ を代入すると

$f_1=(4\times0.295-2\times0.3)/(0.3-0.295)=\underline{116[Hz]}$

おんさの振動数 $>f_A$ の場合　おんさの振動数をf_2と定義 ($f_2>f_A$の場合)

$f_A-f_2=-2$ ⑧　$f_A=f_2-2$　$\dfrac{f_A}{f_B}=\dfrac{f_2-2}{4+f_2}$ ⑩

$f_B-f_2=4$ ⑨　$f_B=4+f_2$

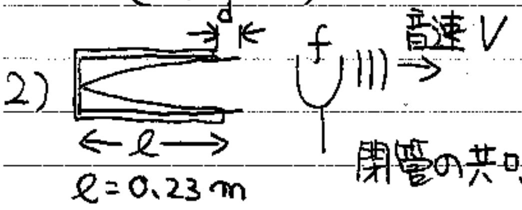
③=⑩　$\dfrac{l_2}{l_1}=\dfrac{f_2-2}{4+f_2}$　$4l_2+f_2l_2=f_2l_1-2l_1$

$f_2(l_1-l_2)=4l_2+2l_1$

$f_2=\dfrac{2l_1+4l_2}{(l_1-l_2)}$ ⑪　$f_2=\dfrac{2\times0.3+4\times0.295}{(0.3-0.295)}=\underline{356[Hz]}$

(1) 答 116Hzと356[Hz]

2)



d:開口端補正
l:閉管の長さ

閉管の共鳴条件　$l+d=\dfrac{\lambda}{4}$ に $V=\lambda f$　$\lambda=\dfrac{V}{f}$を代入

$l+d=\dfrac{V/f}{4}=\dfrac{V}{4f}$　$d=\dfrac{V}{4f}-l$ ⑫

fに$f_1=116[Hz]$, $f_2=356[Hz]$、$V=342[m/s]$, $l=0.23[m]$を代入し、開口端補正の長さdを求める。(一般的に $l\gg d$ が成り立つ)

$d_1=342/(4\times116)-0.23=0.507[m]$　∴ $l\gg d$が成り立つfは $f_2=356[Hz]$

$d_2=342/(4\times356)-0.23=0.010[m]$

(2) 答 356[Hz]

3.3 音波 ⑱

No.

Date

375.

(3) (1) ~ (2) より おんさの振動数 $f_2 = 356$ [Hz] $f_2 > f_A$

⑧式 $f_A - f_2 = -2$

⑨式 $f_B - f_2 = 4$ を使用

⑧より $f_A = f_2 - 2 = 356 - 2 = 354$ [Hz]

$f_B = f_2 + 4 = 356 + 4 = 360$ [Hz]

弦の振動条件 $f = \dfrac{V'}{2l}$

$V' = 2lf$ ⑬

$l_1 = 0.30$ m, $f_A = 354$ [Hz] $V' = 2 \times 0.3 \times 354 = 212.2$ [m/s]

$l_2 = 0.295$ m, $f_B = 360$ [Hz] $V' = 2 \times 0.295 \times 360 = 212.2$ [m/s]

2つの弦の波の速度は同じとなる。 (3) 答 212 [m/s]