

新年1月6日(土)、「大阪大学、昨年の入試で採点ミス 追加合格30人」というニュースが飛び込んできました。物理の入試問題の話らしいので、さっそく調べてみました。

A-Ⅲ. 2つ目の実験として、音叉を固定壁の近くに置き、壁からの反射音を利用してみよう。図3のように、壁面に垂直にとった y 軸に沿って音叉を移動させる。また、壁から遠く離れた y 軸上の位置にマイクロフォンを固定する。マイクロフォンは、音叉から直接達する音と壁からの反射音を観測する。この実験では、音叉は十分小さく、点音源と見なせる。

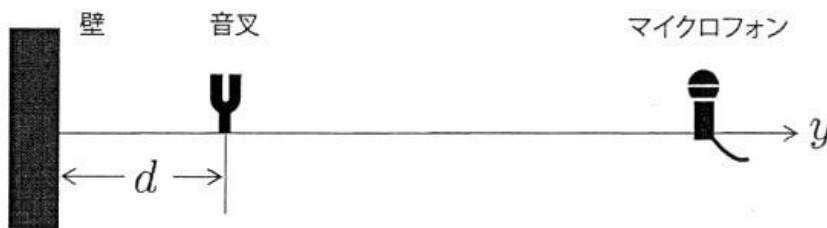


図3

問4 y 軸の正の方向に音叉の位置を少しずつ変えながらマイクロフォンで観測すると、音の強さが周期的に変動した。マイクロフォンで観測された音が強くなる時の、音叉と壁の間の距離 d と音の波長 λ との関係を表せ。必要であれば、自然数として n ($n=1,2,3,\dots$)を用いてよい。

当初、大阪大学は $2d = \left(n - \frac{1}{2}\right)\lambda$, つまり $d = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$ を正解としていたのですが、河

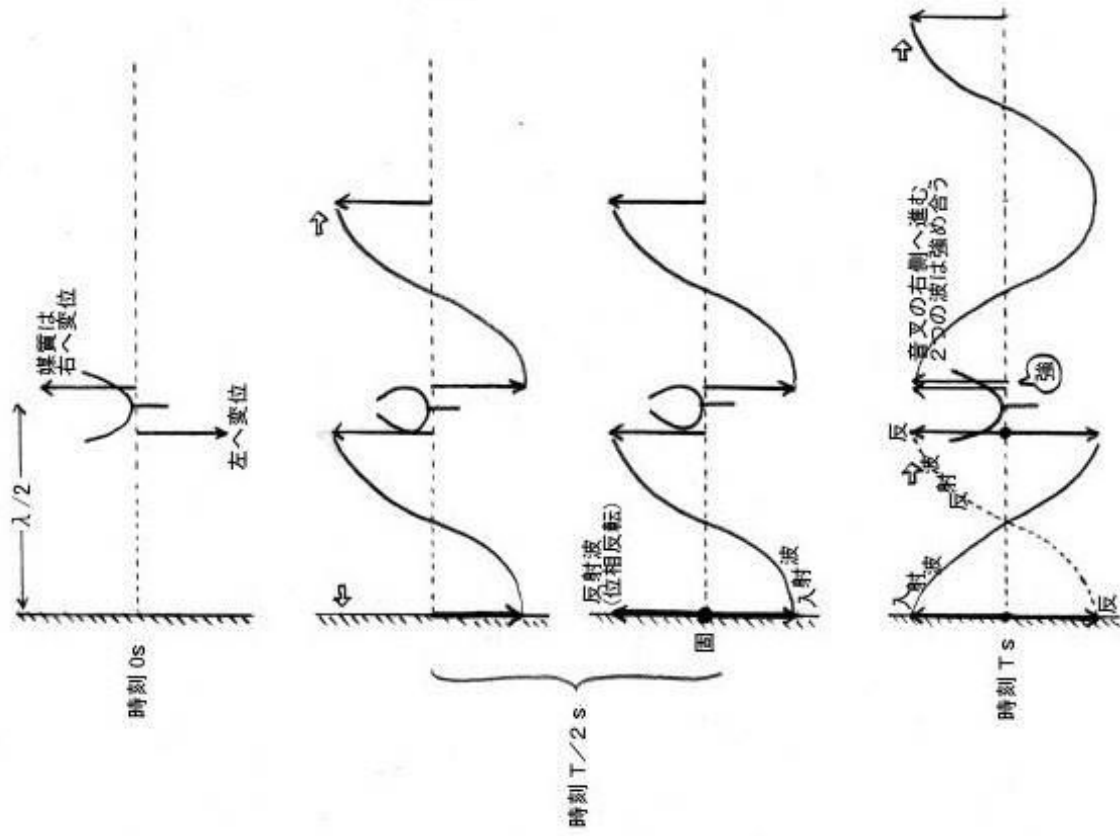
合塾の先生をはじめ、各方面からの指摘を検討した結果、 $2d = n\lambda$, つまり $d = \frac{1}{2}\lambda, \frac{2}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$

も正解とする、としたのです。しかし、この両方が正解だなんてあり得ないので、この公式発表後、一種の炎上案件となってしまいました。さて、何がどうなっているのでしょうか。

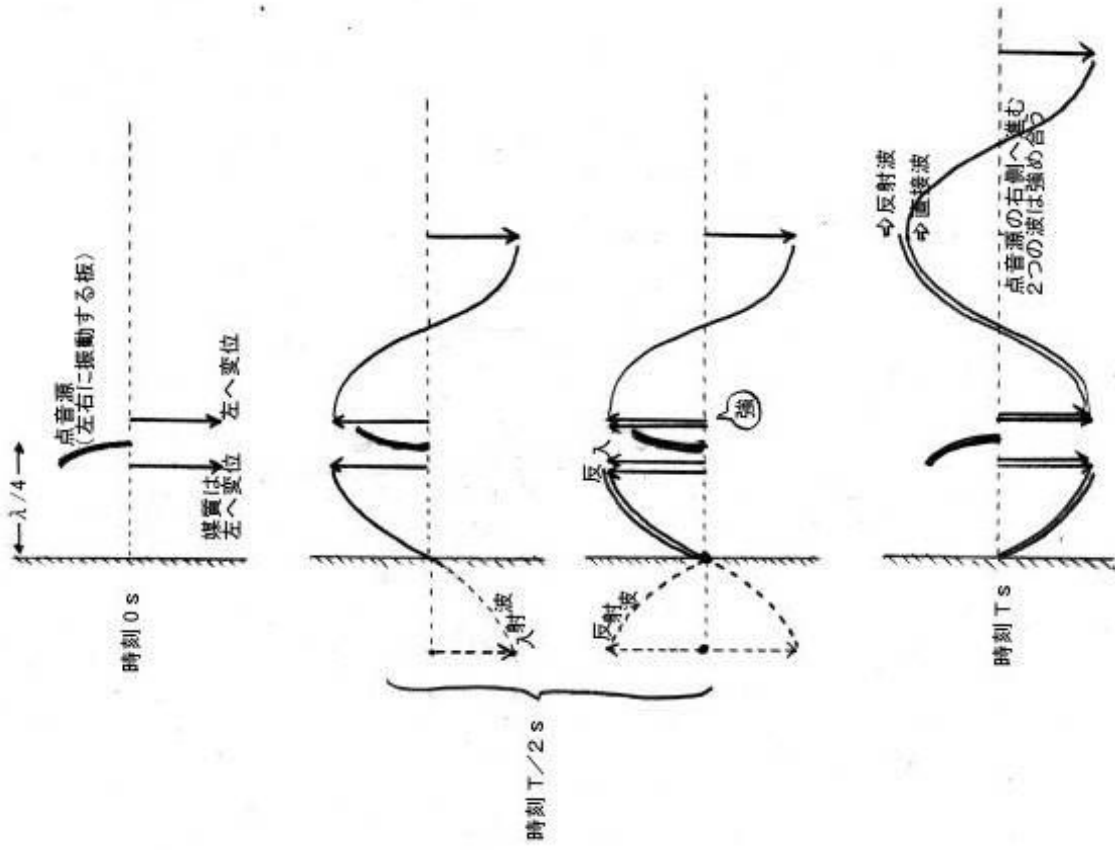
■ 作図をして考えてみましょう

問題の図にあるように壁の前で音叉を鳴らした場合、どんなことが起こるのかを作図しながら考えてみました(次頁の左図参照)。音叉は左右に同時に密、次の瞬間左右に同時に疎を作り出します。簡単な例で、 $d = \lambda/2$ として、時刻0sのときに、音叉は左右同時に「密」を作り出したとしましょう。媒質の変位を物理の教科書的に横波表示すると、音叉の左側は負の変位(谷)、右側は正の変位(山)となります。半周期 $T/2$ 経つと音叉の左側にできた谷は固定端である壁に到達し、位相が反転して山の反射波が生まれます。もう半周期経って時刻 T になると壁で反射して右に進んできた山は音叉のところに到達しますが、この瞬間音叉が右側につくる変位も山になっていますから、マイクのある右方に進む直接波と壁からの反射波は、同位相で重なって強めあい、大きな振幅の進行波となって大きな音が観測されるはずですが、 d が $2\lambda/2, 3\lambda/2, 4\lambda/2, \dots$ でも同じことです。

音叉だと、 $d = \lambda/2, 2\lambda/2, 3\lambda/2, \dots$ が正解



点音源だと、 $d = \lambda/4, 3\lambda/4, 5\lambda/4, \dots$ が正解



確かに、後から追加された解答は正解のようです。

では、当初 正解とされた $d = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$ は、どんな音源ならよいのでしょうか。

それは、「音源の左右に同時に山、次の瞬間 左右に同時に谷をつくる音源」でしょう。そのような音源なら、 d が $\lambda/4$ の奇数倍のとき音叉の右方へ進む直接波と壁での反射波は干渉して強め合います。前頁の右図で確認してみてください。

ひょっとすると問題文中の「点音源」というのは、そういうものを想定しているのでしょうか。

でも、音叉はそのような音源ではありません。くどいようですが、音叉は「音源の左右に同時に密、次の瞬間 左右に同時に疎をつくる音源」です。

高校現場で教えてる感覚から言うと、おそらく多くの受験生は音叉を「音源の左右に同時に山、次の瞬間 左右に同時に谷をつくる」音源だと考えたでしょう。そういう間違った認識で答えを出した受験生がこの入学試験で合格点をもらっているとしたら、それは困ったことです。

大阪大学の先生が、高校生並みの勘違いをするとは考えにくいのですが、音源が音叉である限り

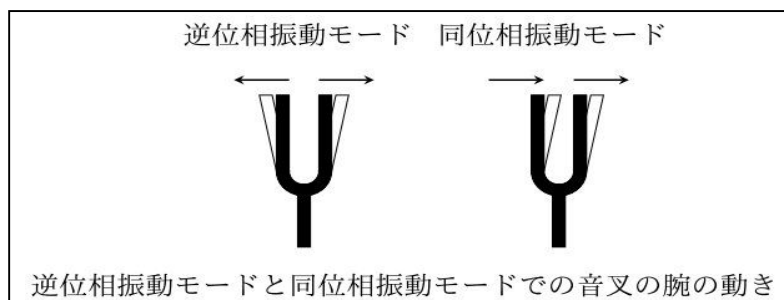
$d = \frac{1}{2}\lambda, \frac{2}{2}\lambda, \frac{3}{2}\lambda, \dots$ の方こそ正解で、当初 正解とされた $d = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$ は誤答です。

では、「音源の左右に同時に山、次の瞬間 左右に同時に谷をつくる音源」とはどんなものなのでしょうか。具体例を挙げれば、左右に振動する1枚の板(裸のスピーカーとか)でしょうか。しかし、石川先生が書かれているように、1枚の板がつくる波も音源から数波長離れば、音叉が作るのと同じ疎密波になるようです。つまり、そもそも受験生が考えるような「音源の左右に同時に山、次の瞬間 左右に同時に谷をつくる音源」は実在しないようです。

■ 音叉の「同位相振動モード」が存在する???

以上のようなことを石川先生とメールのやり取りをしながら考えてたら、1月12日(金)大阪大学が「問題の解説」をWeb上で発表しました。

それによると音叉の振動モードには、僕が上で書いた「逆位相振動モード」の他に「同位相振動モード」があるんだそうです。え? そんな振動モードがあるの? 初めて聞きました!



1月12日に大阪大学が発表した資料より

確かに、右の「同位相振動モード」の音叉は、前ページで僕が描いた点音源(振動する1枚の板)と

同じですから、 $d = \frac{1}{4}\lambda, \frac{3}{4}\lambda, \frac{5}{4}\lambda, \dots$ は正解となります。

大阪大学は「『同位相振動モード』ってのがあるんだよ。ジャーナルに発表されてるし、Web上にも資料があるもんね」と、この発表資料の中で主張していますが、普通の高校物理教師が知らないようなことを受験生が知っているはずがありません。そんな誰も知らないような特殊な振動モードを前提に入試問題を作ったのでしょうか？

正直に「音叉が左右に作る変位波は同位相だと勘違いしてました」あるいは「気柱共鳴と同じだと勘違いしてました」と告白して謝ったほうがよいと思います。

■ 実験で確かめようじゃないか！

サークル例会では、「とりあえず実験してみよう！」ということで、実際に阪大の問題と同じ道具を用意してやってみました。(たぶん阪大の先生は実験で確かめてないだろうなあ)



壁とマイクの距離は約 130cm, 音叉の振動数は 440Hz で、波長 λ は約 77cm です。結果は予想どおりで、壁と音叉の距離 d が、 $\lambda/2$ の整数倍の約 38cm, 約 77cm のとき、音叉の右方へ進む直接波と壁からの反射波が強めあって、大きな音で聞えることが確認できました。当然、 d が $\lambda/4$ の奇数倍のところでは大きな音にはなりませんでした。

試しに箱に入っていないむき出しのスピーカー(1枚板の振動板)で周波数 680Hz(波長 50cm)の音を使うと、 $d=13\text{cm}$, 38cm , 67cm , 94cm のところで大きな音に聞こえました。これは $\lambda/4=12.5\text{cm}$ のほぼ奇数倍とみてよいでしょう。

念のために箱に入れたスピーカー(音叉と同じタイプの音源になるはず)を使うと、 28cm , 59cm , 85cm で大きな音に聞こえました。ちょっと誤差が大きいですが、 $\lambda/2=25\text{cm}$ の整数倍に近い値です。

いずれの実験も d が大きいと、強め合う位置の理論値と実測値のズレが大きくなる傾向があります。これはやはり、石川先生が指摘するように、「音源が周りにつくる空気の動きと、周囲に伝わっていく音波の疎密波は別物であって、音源から離れるとそれは顕著になる」ということに関係しているように思われます。

murata@straycats.net

<http://physics.atnifty.com/>