

物理チャレンジ2008実験問題解答例

<課題1>超音波の波長と音速の測定

問1-1, 問1-2

間隔 $d$ [mm]	波長 $\lambda$ [mm]
$37 \pm 1$	$8 \pm 1$
$45 \pm 1$	$10 \pm 1$
$55 \pm 1$	$9 \pm 1$
$64 \pm 1$	$8 \pm 1$
$72 \pm 1$	$9 \pm 1$
$81 \pm 1$	
	平均値 $\bar{\lambda} = 8.8 \text{ mm}$ 誤差 $\Delta\lambda = 0.8 \text{ mm}$

問1-3

$$v = f\lambda$$

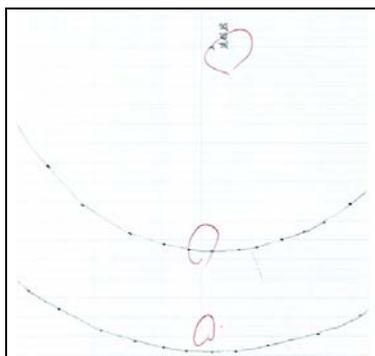
$$\Delta v = \sqrt{\left(\frac{\partial v}{\partial f}\right)^2 (\Delta f)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial \lambda}\right)^2 (\Delta \lambda)^2} = \left|\frac{\partial v}{\partial \lambda} \cdot \Delta \lambda\right| = |f \Delta \lambda| = f \Delta \lambda$$

$$f = 4.0 \times 10^4 \text{ Hz}, \quad \lambda = (8.8 \pm 0.8) \times 10^{-3} \text{ m}$$

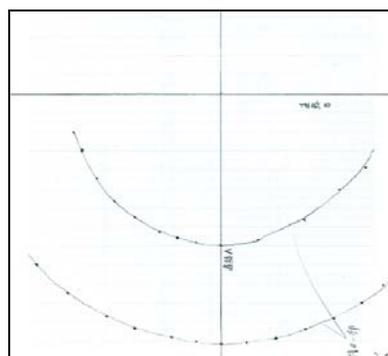
$$\therefore v = (3.5 \times 0.3) \times 10^2 \text{ m/s}$$

<課題2>ヤングの二重スリット干渉実験

問2-1



問2-2



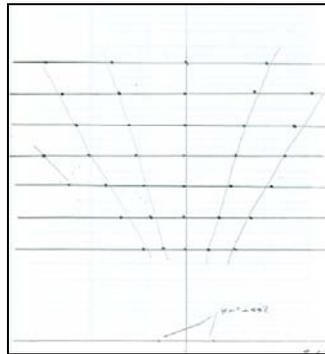
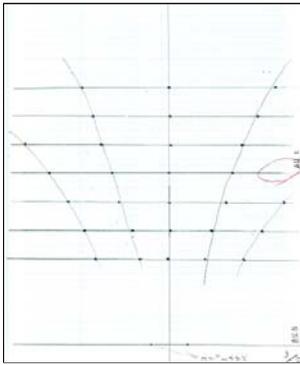
問2-2

スリットの後方で観測されるのは、スリットの部分で発生した素元波のみであるから、素元波の形状である球状に波が伝播する。

問2-3

$$a \text{ [mm]} \quad 43 \pm 1, \quad 40 \pm 1, \quad 43 \pm 1, \quad 41 \pm 1$$

$$\text{よって} \quad a = 42 \pm 2 \text{ mm}$$

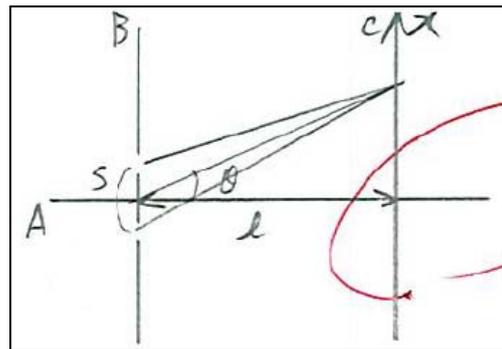


問2-4

図のように、直線Cにそってx軸をとる。また、図のように $\theta$ を定める。

$$\tan \theta = \frac{x}{l} \quad \text{よって、} |\theta \ll 1| \text{ のとき } \theta \doteq \frac{x}{l} \quad x \text{ において極大となるには}$$

$$\sin \theta = n\lambda \quad (n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots) \text{ となればよい。}$$



$$x = \frac{n\lambda l}{s}$$

よって、極大の間隔である $a$ は、 $a = \frac{\lambda l}{s}$ となる。よって $sa = \lambda l$

問2-5

$$\lambda = \frac{sa}{l}, \quad \Delta\lambda = \lambda \sqrt{\left(\frac{\Delta a}{a}\right)^2 + \left(\frac{\Delta s}{s}\right)^2 + \left(\frac{\Delta l}{l}\right)^2}$$

$$s = 25 \pm 1 \text{ mm}, \quad a = 42 \pm 2 \text{ mm}, \quad l = 120 \pm 1 \text{ mm} \quad \therefore \lambda = 8.8 \pm 0.5 \text{ mm}$$

課題1でのほうが誤差が小さい。問2-3では極大の測定の微妙さが誤差を大きくしていることや問2-5では誤差を持つ測定値が多いことが原因だろう。

問2-6

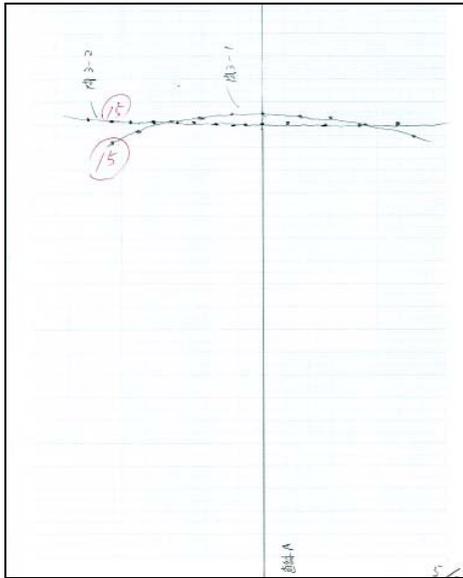
各スリットからの距離の差が波長の整数倍の点の軌跡、すなわち両スリットを焦点とする双曲線となる。

問 2-7

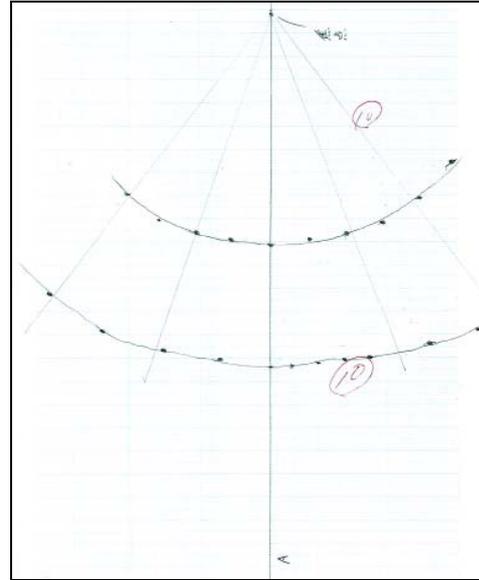
問 2-6 で得られた図形よりも曲線の間隔がせまい。これは式(2-1)と整合している。

<課題 3>ゾーンプレート

問 3-1, 問 3-2



問 3-4



各弦の垂直二等分線の集約される点を求めると、ほぼ受信機の位置に集まることが分かる。

問 3-3

球面波をほぼ平面波に変えている。焦点 15cm 程のレンズとしてはたらいたことが分かる。

問 3-4

平行波を 1 点に集める凸レンズのようなはたらきをしている。

問 3-5

発信器プレート間 :  $300 \pm 1$  mm

発信器焦点間 :  $349 \pm 5$  mm

焦点距離を  $f$  とすると、レンズの公式より、

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{300} + \frac{1}{349} \quad \therefore f = 161 \pm 2 \text{ mm}, \quad \Delta f = f \sqrt{\left(\frac{1}{300}\right)^2 + \left(\frac{5}{349}\right)^2}$$

問 3-6

$O A_{n+1} - O A_n = n\lambda$  ( $n = 0, \pm 1, \pm 2, \pm 3, \dots$ ) とならなければ、焦点で同じ位相にならない。

$$\text{よって, } \sqrt{f^2 + \left(\frac{d_{n+1}}{2}\right)^2} - \sqrt{f^2 + \left(\frac{d_n}{2}\right)^2} = n\lambda, \quad f\sqrt{1 + \left(\frac{d_{n+1}}{2f}\right)^2} - f\sqrt{1 + \left(\frac{d_n}{2f}\right)^2} = n\lambda$$

$$f\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{d_{n+1}}{2f}\right)^2\right\} - f\left\{1 + \frac{1}{2}\left(\frac{d_n}{2f}\right)^2\right\} \doteq n\lambda$$

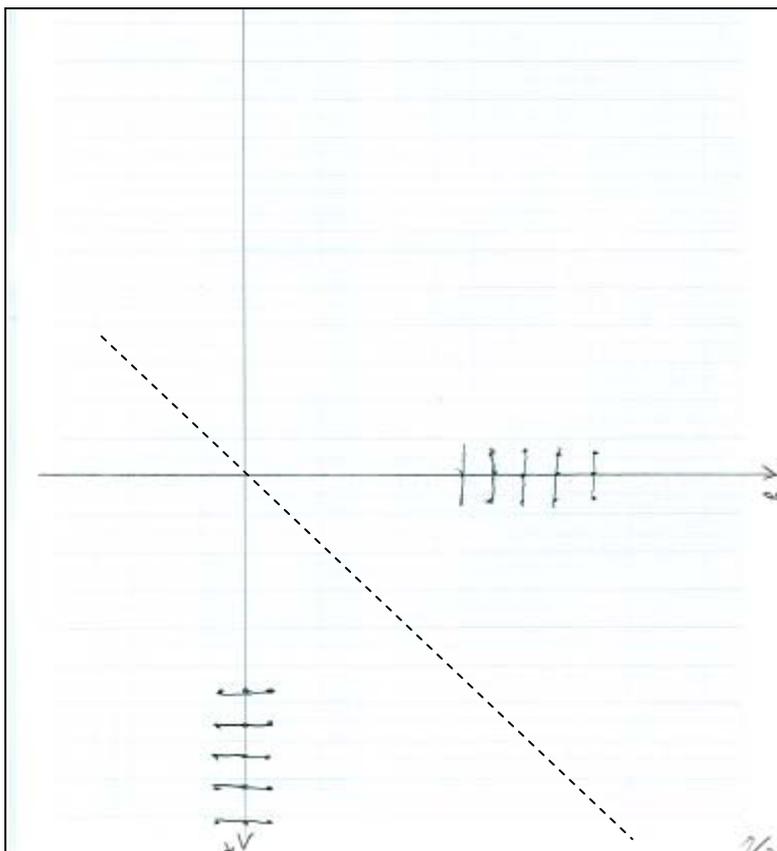
$$\therefore \frac{d_{n+1}^2 - d_n^2}{8f} = n\lambda \quad d_{n+1}^2 - d_n^2 = 8n\lambda f$$

特に, 与えられたものは  $n=1$  であり,

$$d_{n+1}^2 - d_n^2 = 8\lambda f$$

#### <課題4> 波の反射

問4-1, 問4-2, 問4-3



問4-3

グラフ用紙を折り,  $x$  軸と  $y$  軸を重ねると分かるように, 原点から位相  $0(2\pi)$  の波面ま

での距離は、誤差 1mm の範囲ではほぼ完全に一致することが分かる。

問 4-4

問 4-3 の結果より、入射波と反射波の位相は等しいということがわかる。

問 4-5

反射板の表面では空気分子は板に垂直方向に変位してはならない。

(平行な方向は可能)

<課題 5>ブラッグ反射

問 5-1

角度 $\theta$	20	22.5	25	27.5	30.0	32.5	35	37.5	40	42.5	45
振幅信号	0.7	0.5	2.5	1.2	0.1	0.5	0.3	0.8	0.4	0.6	0.6

角度 $\theta$	47.5	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70
振幅信号	0.2	0.2	0.3	1.8	1.5	0.7	0.3	0.5	1.2	1.4

問 5-2

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$\theta = 25^\circ \text{ のとき, } d_n = 1.04n$$

$$\theta = 55^\circ \text{ のとき, } d_{n+1} = 0.54n$$

よって、 $\theta = 25^\circ$  のとき  $n = 1$ 、 $\theta = 55^\circ$  のとき  $n = 2$  と考えられるので、

$$\bar{d} = \frac{d_n + d_{n+1}}{2} = \frac{1.04 + 1.07}{2} = 1.06, \quad \text{よって } d = 1.1 \text{ m}$$

問 5-3

角度 $\theta$	20	22.5	25	27.5	30.0	32.5	35	37.5	40	42.5	45
振幅信号	1.1	0.2	0.1	0.2	0.5	0.3	1.5	0.5	0.2	0.6	0.1

角度 $\theta$	47.5	50	52.5	55	57.5	60	62.5	65	67.5	70
振幅信号	0.1	0.3	0.3	0.5	0.8	0.0	0.7	0.3	0.5	0.8

問 5-4

$$2d \sin \theta = n\lambda \quad d = \frac{n\lambda}{2 \sin \theta}$$

$$n = 1, \quad \theta = 35^\circ \text{ とすると, } d = 0.767 \text{ cm} = \frac{1.08}{\sqrt{2}} \text{ cm}$$

よって、面間隔は格子間隔の  $\frac{1}{\sqrt{2}}$  倍程度である。すなわち、図のような面によるもので

ある。

反射強度

