九州大学　　医学部 歯学部

令和２年度入学試験問題

理　　科

（注　意　事　項）

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。
3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。

	問題冊子	解答紙	
科目	ページ	解答紙番号	枚数
物理基礎・物理	1 ～ 18	32 ～ 34	3
化学基礎・化学	19 ～ 36	35 ～ 39	5
生物基礎・生物	37 ～ 52	40 ～ 44	5
地学基礎・地学	53 ～ 64	45 ～ 48	4

4. 各解答紙の２箇所に受験番号を記入すること。
5. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。
6. 計算その他を試みる場合は，解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。
7. この教科は，２科目 250 点満点（１科目 125 点満点）です。なお，医学部保健学科（看護学専攻）については，２科目 100 点満点に換算します。

◇M9（363―100）

問　題　訂　正

理科（物理基礎・物理）		
訂正１	２ページ〔１〕問題文の７行目に以下の文を追加する。	
	正	また，重力加速度の大きさは g とする。
	誤	
訂正２	12 ページ〔３〕「表１：浩介さんの計算方法」の６行目，s の平均の値を訂正する。	
	正	4.00 mm
	誤	4.0 mm
訂正３	12 ページ〔３〕問 2. (3)の問題文を訂正する。	
	正	２人が求めた s の平均は同じ値でその有効数字は３桁となったが，千春さんの計算方法の方が精度は高い。その理由を述べよ。
	誤	これらの結果をもとにして，千春さんの計算の方が精度が高くなる理由を述べよ。

物 理 基 礎・物 理

〔1〕 (45点)

図1に示すように，質量 M の台がばね定数 k のばねで壁につながれ，なめらかな水平面の上に置かれている。台の上には質量 m の物体が置かれ，台と物体の間には静止摩擦係数 μ，動摩擦係数 μ' の摩擦力がはたらく。台と物体の運動およびばねの伸び縮みは，図中の水平面に沿って左右方向にしかおこらないとする。ばねの自然長からの伸びを x ($x < 0$ の場合は縮み) とし，速度，加速度，力は全て右向きを正として，以下の問いに答えよ。ただし，空気抵抗は無視できるとする。

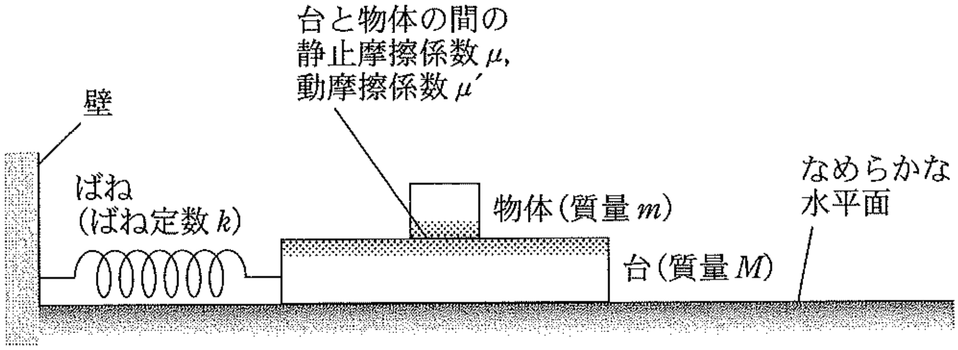


図1

問 1. 台と物体が互いにすべらずに運動する場合を考える。

(1) 台と物体を一体として考え，加速度を a として運動方程式を書け。

以後，解答に a を使わないこと。

(2) この運動は単振動となる。この単振動の周期 T_0 はいくらか。

(3) 力の向きと符号に注意して，下記の文章の空欄 $\boxed{\text{ア}}$ ，$\boxed{\text{イ}}$ に適切な数式を書け。

問 1 (1)の運動方程式より加速度 a が求められる。物体が台から受ける摩擦力は，ma に等しいので $\boxed{\text{ア}}$ と求められる。一方，台が物体から受ける摩擦力は，作用・反作用の法則から $\boxed{\text{イ}}$ と求められる。

(4) 台と物体が常に互いにすべらずに一体となって運動するための最大の振幅はいくらか。

問 2. いま，**問 1** (4)で求めた振幅より少し大きな値 $x = A\,(A > 0)$ にばねを伸ばして，台と物体を手で静止させた。その後，時刻 $t = 0$ で静かに手を離すと台と物体は別々に動き始めた。この運動について考える。ただし，物体が台の上からすべり落ちることはないものとする。

(1) 台と物体の加速度をそれぞれ a_1，a_2 として，台と物体の運動方程式をそれぞれ書け。

以後，解答に a_1，a_2 を使わないこと。

(2) 時刻 t における物体の速度を求めよ。

(3) **問 2** (1)の運動方程式にしたがって，台は単振動をする。この単振動の振幅と周期 T_1 を求めよ。

以後，解答に T_1 を使わないこと。

(4) 台が**問 2** (3)の単振動を続けているとすると，時刻 $t = \dfrac{T_1}{4}$ における台の速度はいくらか。

別々に動いていた台と物体は，時刻 $t=\dfrac{T_1}{4}$ で同じ速度になり，それ以降は常に一体となって運動した。ばねが自然長から B だけ縮んだところで，台と物体は一体のままいったん静止し，その後反対方向へ動き始めた。

(5) 時刻 $t=0$ から $\dfrac{T_1}{4}$ において，台の速度を実線で，物体の速度を破線で解答用紙のグラフにそれぞれ描け。ただし，グラフに目盛の値は記入しなくてよい。

(6) 時刻 $t=\dfrac{T_1}{4}$ で台と物体が同じ速度になることに着目して，A を求めよ。

(7) 時刻 $t=\dfrac{T_1}{4}$ 以降は力学的エネルギーが保存されることを用いて，B を求めよ。ただし，解答に A を使わないこと。

〔2〕 (40点)

図1のように，長方形の極板Aおよび極板Bからなる平行平板コンデンサーが，閉じたスイッチSと起電力V_0の電池に接続されている。極板Bは接地されており，電位は0とする。このコンデンサーの極板の間隔はd，電気容量はCであり，その内部は比誘電率1の空気で満たされている。コンデンサーの端での電場の歪み，および電池の内部抵抗の影響は無視して，以下の問いに答えよ。

(1) 極板Aに蓄えられている電気量を求めよ。

(2) コンデンサーに蓄えられている静電エネルギーを求めよ。

次に，図1の状態から，外力をかけて誘電体をコンデンサー内にゆっくりと挿入し，図2のように極板Bに完全に重なるようにした。誘電体は極板と同形の底面をもつ厚さ$\dfrac{d}{2}$の直方体で，その比誘電率は2とする。

(3) 図2の状態で極板Aに蓄えられている電気量を求めよ。

(4) 2つの極板の間の電場と電位を，極板Bからの距離の関数としてグラフに描け。また，距離$\dfrac{d}{2}$および距離dにおけるそれぞれの値を縦軸の横に記入せよ。ただし，電場は上向きを正とする。

(5) 図1の状態から図2の状態へ移行するときの，静電エネルギーの増加量，電池のした仕事，および外力のした仕事を求めよ。

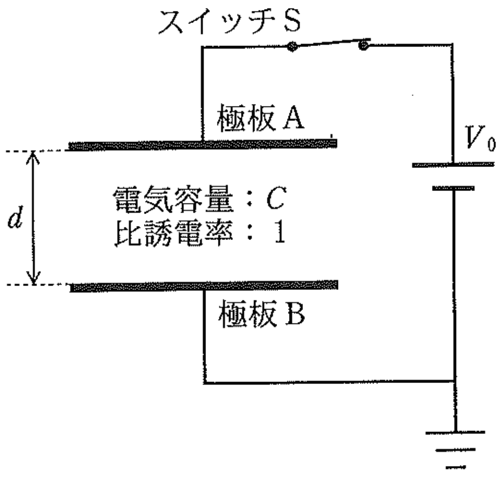

スイッチ S
極板 A
V_0
d
電気容量：C
比誘電率： 1
極板 B

図 1

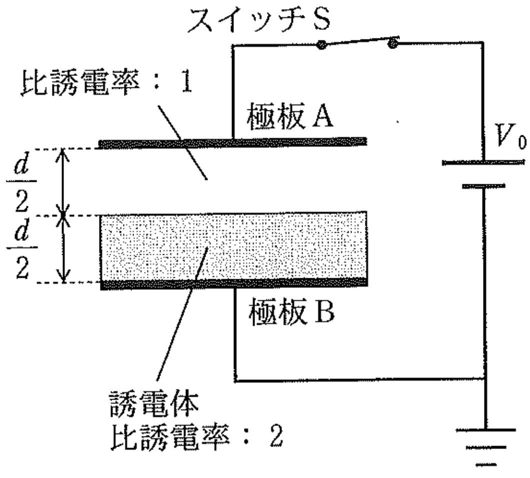

スイッチ S
比誘電率： 1
極板 A
V_0
$\frac{d}{2}$
$\frac{d}{2}$
極板 B
誘電体
比誘電率： 2

図 2

さらに，図2の状態から極板Aを下に動かして誘電体と接触する位置で固定し，その後，スイッチSを開放した(図3)。

(6) 図3の状態で極板Aに蓄えられている電気量，およびコンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U_3 を求めよ。

x 軸を図3に示すように定義する。いま，極板および誘電体は $0 \leqq x \leqq L$ の領域にある。この状態から，誘電体に外力をかけ，x 軸と平行に $\Delta x(0 < \Delta x < L)$ だけゆっくりと動かし，図4の状態にした。誘電体に働く摩擦は無視できるとする。

(7) 図4の状態でコンデンサーに蓄えられている静電エネルギー U_4 を求めよ。

(8) 図3の状態から図4の状態へ移行するときの静電エネルギーの増加量 $\Delta U = U_4 - U_3$ は，

$$\Delta U = \left(\frac{U_4}{U_3} - 1\right)U_3 = \left(\frac{1}{1-\alpha} - 1\right)U_3$$

のように表される。α を求めよ。

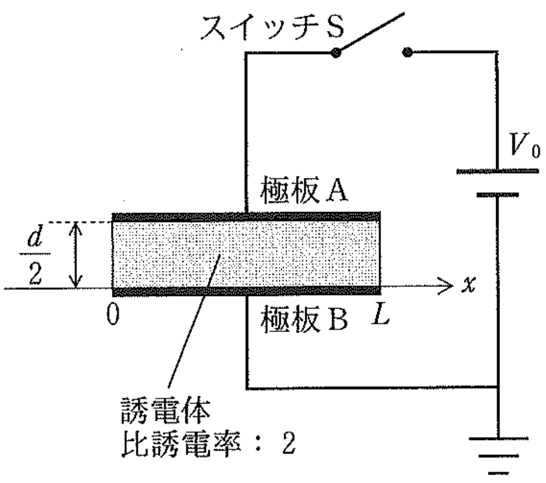


図3

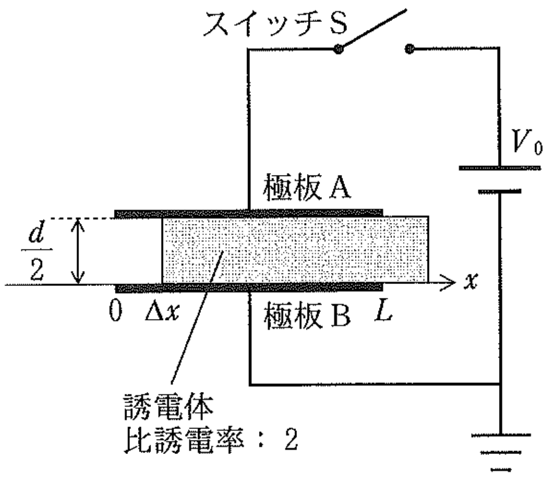


図4

以下では，誘電体の変位ΔxがLより十分小さい場合を考える。するとΔUは，αが1より十分小さいときに成り立つ近似式$\dfrac{1}{1-\alpha} \fallingdotseq 1+\alpha$を用いて，$\Delta U \fallingdotseq \alpha U_3$と表される。

(9) 誘電体にはたらく静電気力に抗して外力がした仕事は，静電エネルギーの増加量に等しい。このことより，図4で誘電体にはたらく静電気力の大きさと向きを求めよ。向きは，x軸の正の向きか，負の向きか，解答欄の正・負のいずれかに丸をつけよ。

図4の状態から外力を0にすると，誘電体は運動を始めた。外力を0にした時刻を$t=0$とし，この瞬間の誘電体の速度は0とする。

(10) 誘電体の左端の位置の時間変化$x(t)$を示したグラフとして最も適切なものを次ページの図5の①～⑧の中から選べ。ただし，重力，空気抵抗，および誘電体中での熱の発生は無視できるとする。

※図中の黒丸は，異なる関数がつながる点を示す。

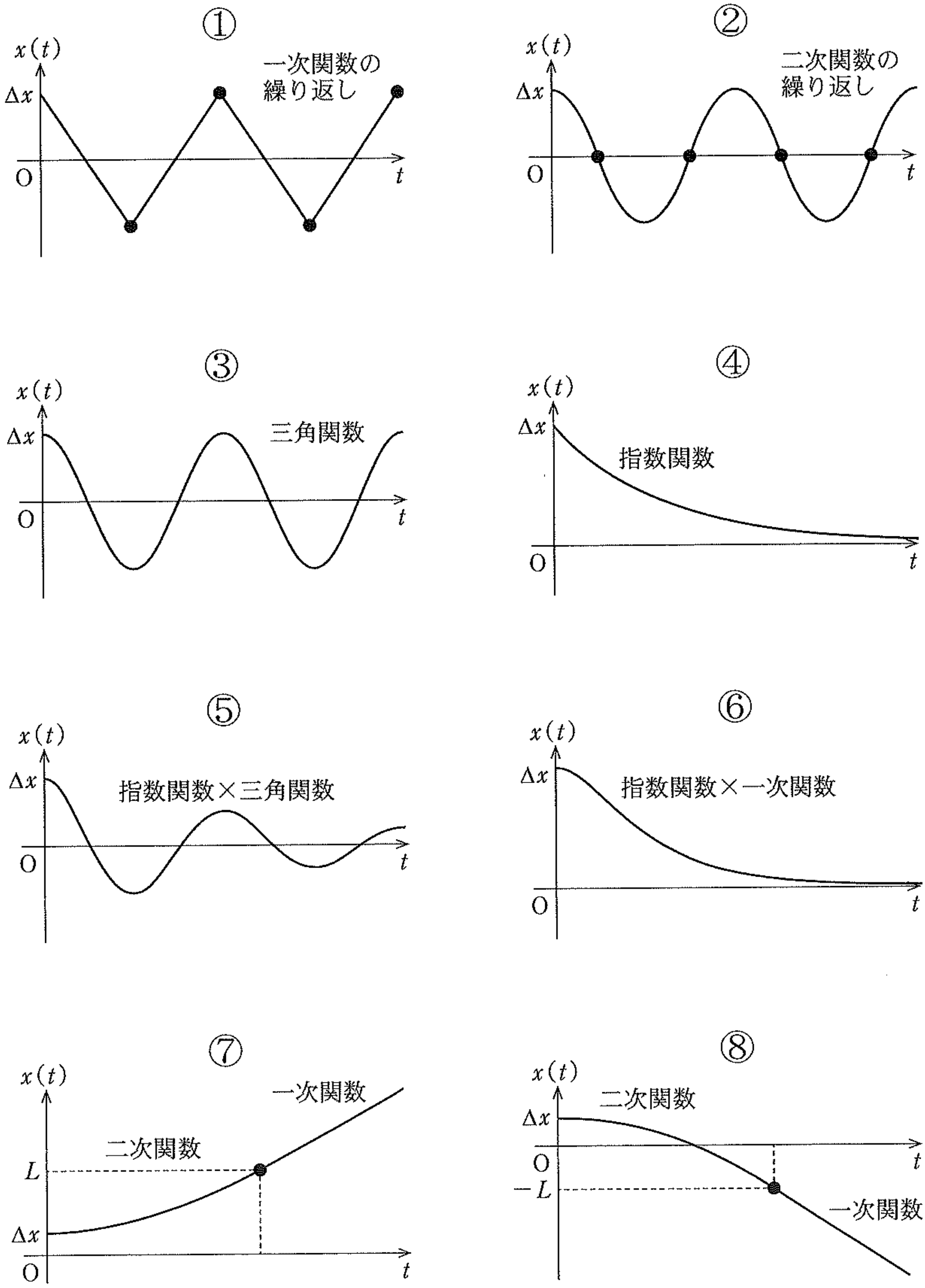


図5

〔3〕 (40点)

千春さんは，実験中に記録した実験ノート(資料1)をもとに，レポート(資料2)を作成している。これらの資料に関して，以下の問いに答えよ。

問 1. 資料1の空欄 $\boxed{\text{(ア)}}$ に入る人名を答えよ。

問 2. 資料1の波線部(イ)は，干渉縞の暗線の間隔 s の平均を計算する方法について述べている。千春さんが s を求める際にその3倍である $3s$ を利用した理由を，表1に示すクラスメートの浩介さんの計算方法と比較しながら考えよう。

(1) 資料1の表Cにおいて，千春さんが求めた s の平均を表す式を，暗線の位置を示す記号 x_0, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 を用いて書き表せ。

表1：浩介さんの計算方法

$x_1 - x_0$	3.9 mm
$x_2 - x_1$	4.1 mm
$x_3 - x_2$	3.9 mm
$x_4 - x_3$	4.1 mm
$x_5 - x_4$	4.0 mm
s の平均	4.0 mm

(2) 一方，浩介さんは右の表1のように，隣り合う暗線の間隔の計算値を利用して，s の平均を求めた。浩介さんが求めた s の平均を表す式を，(1)と同様に，暗線の位置を示す記号を用いて書き表せ。

(3) これらの結果をもとにして，千春さんの計算の方が精度が高くなる理由を述べよ。

問 3. 資料2の空欄 $\boxed{\text{(エ)}}$ は，スクリーン上の点Qで暗線が観察される条件を記す部分である。文章と数式を用いて適切な説明を書き加え，この部分を完成させよ。

問 4. 資料 1 の表Aと表Cに示す数値を用いて，この実験で使用した単色光源から出ている光の波長 λ を計算せよ。有効数字と単位に注意して記すこと。

問 5. 資料 1 の波線部(ウ)を考察するため，図 1 に示す状況を考えよう。千春さんは実験の途中で，点Pに置かれていた単スリットを，光軸 PO と垂直である黒い矢印の向きに距離 X_0 だけはなれた点 P′ へ動かした。X_0 は単スリットと複スリットの間の距離 L_0 に比べて十分小さいとする。

(1) 資料 2 と同様の計算を用いて，経路 P′AQ と経路 P′BQ の長さの差(経路差 $\Delta L' = \mathrm{P'BQ} - \mathrm{P'AQ}$)を求め，点 Q が干渉縞の明線の位置となる条件，および点 Q が干渉縞の暗線の位置となる条件を示せ。

(2) 上の結果を考慮して，単スリットを点Pから点 P′ に動かしたときに干渉縞の明線が移動する方向(図 1 の向き a，向き b のいずれであるか)，および明線の移動距離を答えよ。

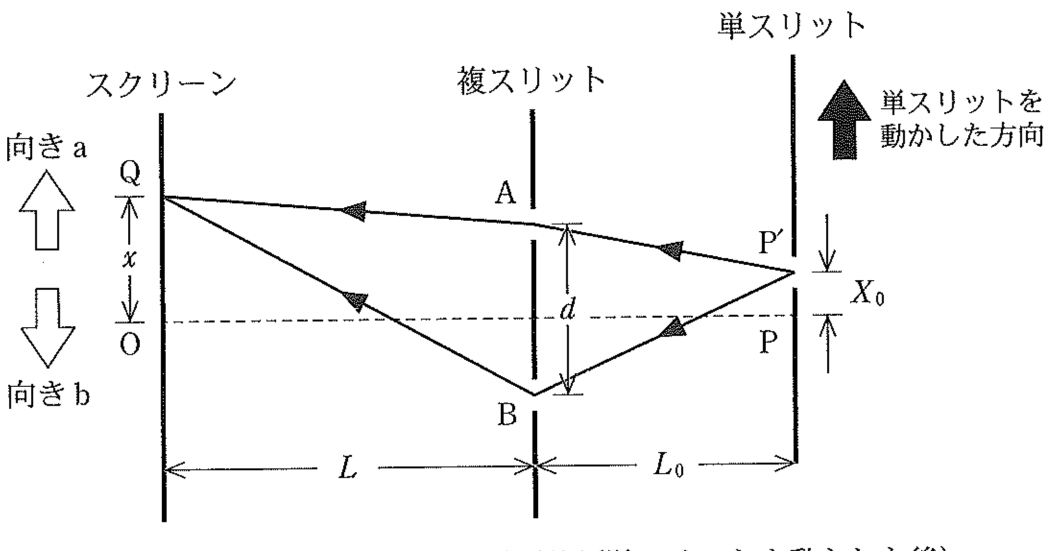


図 1 ：実験装置を真上からみた配置(単スリットを動かした後)

資料1　千春さんの実験ノート

複スリットを用いた光の干渉

実験の目的：

複スリットの間隔，干渉縞の間隔，複スリットとスクリーンの距離を測定し，それらと光の波長の関係を考察する。

事前に調べたこと：

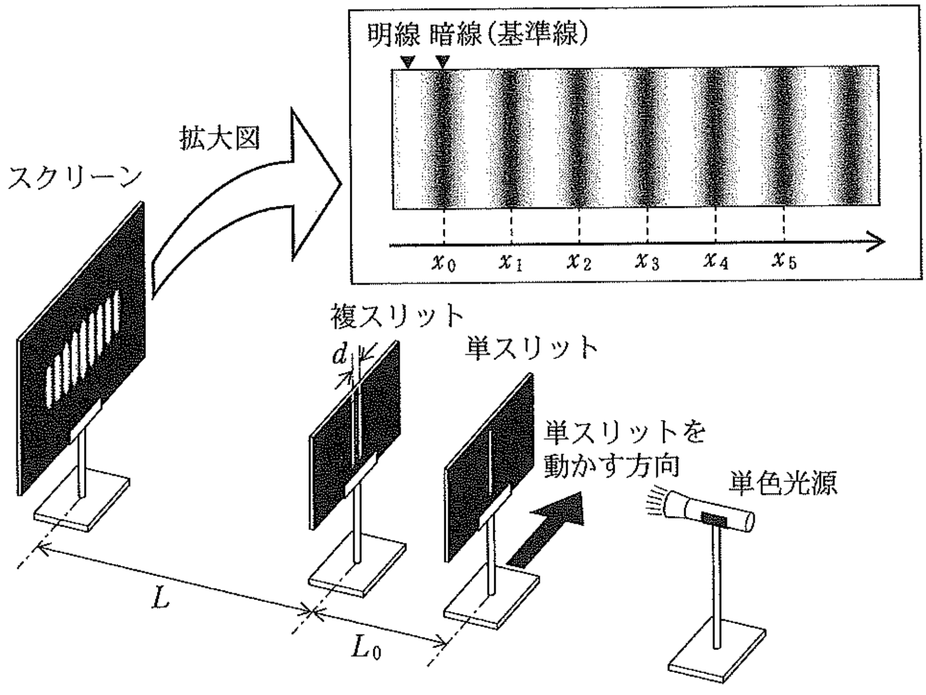
この実験は　(ア)　の実験と呼ばれている。1800年頃に　(ア)　はこのような実験をして，光の波動性を証明した。

実験の方法：

① 図Aのように，単色光源，単スリット，複スリット，スクリーンを配置し，単スリットと複スリットの距離 L_0，複スリットとスクリーンの距離 L，複スリットの間隔 d を測定した。

② スクリーン上に干渉縞ができることを確認した。

③ 干渉縞の間隔を測定するため，暗線の一つを基準線に選んだ。その位置 x_0 と，そこから数えて n 本目の暗線の位置 x_n ($n = 1 \sim 5$) をものさしで測定した。



図A：装置の配置

測定の結果：

表A：測定した結果

L_0：単スリットと複スリットの間の距離	0.102 m
L：複スリットとスクリーンの間の距離	0.700 m
d：複スリットの間隔	0.105 mm

表B：暗線の位置

x_0	27.1 mm
x_1	31.0 mm
x_2	35.1 mm
x_3	39.0 mm
x_4	43.1 mm
x_5	47.1 mm

以下の手順により，表Bの測定値を用いて，隣接する暗線の間隔 s の平均を表Cの通り計算した。

(イ)
① 暗線の間隔の3倍($3s$)を求めた。
② $3s$ の平均を計算し，この値から s の平均4.00 mm(有効数字3桁)を得た。

表C：間隔 s の平均の計算

$x_3 - x_0$	11.9 mm
$x_4 - x_1$	12.1 mm
$x_5 - x_2$	12.0 mm
$3s$ の平均	12.0 mm
s の平均	4.00 mm

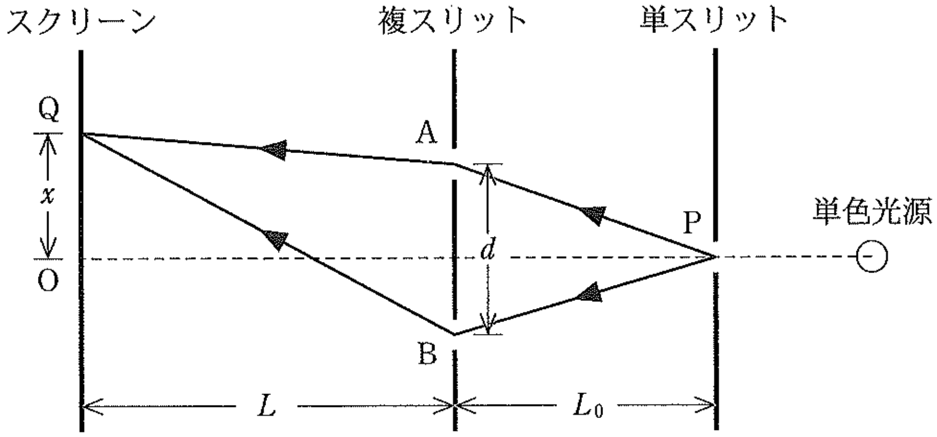
実験中に気付いたこと：

(ウ) 単スリットを光軸と垂直な方向(図Aに記した黒い矢印の方向)へわずかに動かすと，干渉縞はその間隔を保ったままスクリーン上を移動した。

(実験日：令和2年2月3日　共同実験者：浩介)

資料２　千春さんのレポート（一部抜粋）

◎干渉縞の位置はどのような物理量と関係しているか



L_0：単スリットと複スリットの距離

L：複スリットとスクリーンの距離

d：複スリットの間隔

x：スクリーンの中心Ｏから点Ｑまでの距離

図Ｂ：実験装置を真上からみた配置

上図のように，単スリットの位置Ｐで回折された光が複スリットのＡまたはＢを通り，スクリーン上の点Ｑに到達したとする。単スリットと複スリットの開口幅は十分に狭い。Ａを通る経路 PAQ とＢを通る経路 PBQ で，それぞれの長さは

$$\mathrm{PAQ} = \mathrm{PA} + \mathrm{AQ} = \sqrt{{L_0}^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2}$$

$$\mathrm{PBQ} = \mathrm{PB} + \mathrm{BQ} = \sqrt{{L_0}^2 + \left(\frac{d}{2}\right)^2} + \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2}$$

となる。点Ｑが中心Ｏよりも下にあるときには，$x < 0$ とすれば上式はそのまま成り立つ。

ゆえに，経路差 $\Delta L = \mathrm{PBQ} - \mathrm{PAQ}$ は，

$$\begin{aligned}\Delta L &= \sqrt{L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2} - \sqrt{L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2} \\ &= L\left\{\sqrt{1 + \left(\frac{x}{L} + \frac{d}{2L}\right)^2} - \sqrt{1 + \left(\frac{x}{L} - \frac{d}{2L}\right)^2}\right\} \\ &\fallingdotseq \frac{xd}{L}\end{aligned}$$

最後の変形には，$|\alpha| \ll 1$ のときの近似式 $\sqrt{1+\alpha} \fallingdotseq 1 + \dfrac{\alpha}{2}$ を用いた。

点 Q で明線がみられるとき，A を通った光と B を通った光の位相がそろっているから，経路差 ΔL がちょうど波長 λ の整数倍に等しくなる。つまり，

$$\frac{xd}{L} = m\lambda \quad (m = 0,\ \pm 1,\ \pm 2,\ \cdots)$$

である。

一方，点 Q で暗線がみられるとき，A を通った光と B を通った光の位相が

(エ)