(平成25年度前期日程)

理　　科

(物　理)

120　分

注　意　事　項

1. 試験開始の合図までこの冊子を開かないこと。
2. 本問題冊子は18ページ，答案用紙は3ページである。
3. 各答案用紙の上の枠内には，**受験番号**を記入し，下の枠内には，受験番号の**下2桁**の数字を忘れずに記入すること。
4. 解答はすべて各答案用紙の所定欄に記入すること。
5. 各答案用紙の中で導出過程欄のある設問については，答に加えて導出過程を必ず記入すること。必要があれば，図を用いてもよい。
6. 問題番号 $\boxed{1}$ 等のあとの(50点)は150点満点中の配点である。
7. 答案用紙の冊子は切りはなさないこと。
8. 答案用紙に記入する受験番号の数字の字体は，下記の例にならい，明瞭に記入すること。

0	1	2	3	4	5	6	7	8	9

1 (50点)

〔A〕 図1のように水平でなめらかな平面があり，その上の直線上を同じ質量 m の2つの物体AとBが，伸び縮みしない質量の無視できる長さ ℓ のひもで結ばれたまま，摩擦を受けずに運動している。以下では，図の右方向を速度の正の向きにとる。

時刻 $t=0$ において，図1のように物体Aは物体Bの右方向に距離 $\frac{\ell}{2}$ だけ離れた位置にあり，ひもはたるんだまま，物体AとBはそれぞれ速度 v_A, v_B $(v_A > v_B > 0)$ で運動している。物体間の距離が ℓ になるとひもがたるみなく張り，物体AとBには撃力がはたらく。その直後，物体AとBは近づき始め，やがて衝突する。ひもが張ったときの衝撃によってエネルギーが失われることはなく，ひもが張る前後で物体Aと物体Bの力学的エネルギーの和，および運動量の和が保存している。なお，ひもがたるんでいるときには，ひもは物体AとBの運動を妨げることはないとする。また，物体AとBの衝突は完全弾性衝突であるとする。空気抵抗は無視できるものとして，以下の問に答えよ。

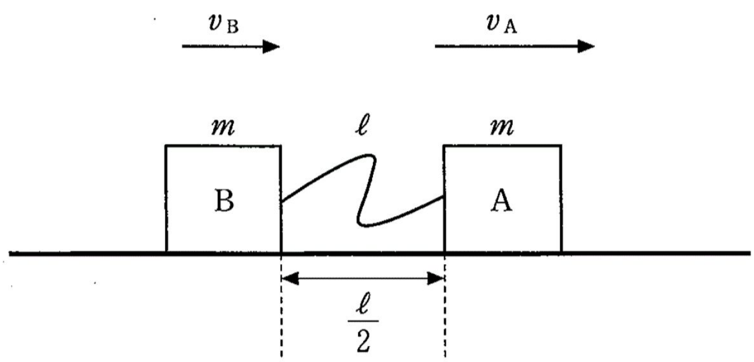

図1

(a) 初めてひもが張った直後の物体A，Bの速度をそれぞれv'_A，v'_Bとする。ひもが張る前後のエネルギー保存の式，および運動量保存の式を記せ。また，v'_A，v'_Bを求めよ。

(b) $t = 0$から初めてひもが張るまでの時間T_0を求めよ。また，$t = 0$から2回目にひもが張るまでの物体Bの速度を，時間の関数として解答欄(b)に実線で書き込め。ただし，初めてひもが張る時刻$t = T_0$と速度v_A，v_Bを表す位置は解答欄に示されている。

〔B〕 図2のように水平面となす角がθ ($0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}$)の斜面があり，その上の直線上を同じ質量$m$の2つの物体AとBが，伸び縮みしない質量の無視できる長さℓのひもで結ばれたまま運動している。ただし，2つの物体は紙面内を運動し，斜面から離れることはない。物体Aの下面はなめらかで斜面との間に摩擦はないが，物体Bの下面は粗く，物体Bと斜面との間の動摩擦係数はμ'である。物体Bにはたらく動摩擦力は重力の斜面下向き成分に比べて小さく，物体は斜面上で静止することはない。以下では，斜面下方を速度の正の向きにとる。

時刻$t = 0$において物体Aは物体Bより距離$\dfrac{\ell}{2}$だけ下方にあり，物体AとBの速度は等しく，v_0(> 0)であった。重力加速度の大きさをgとし，空気抵抗は無視できるものとして，以下の問に答えよ。

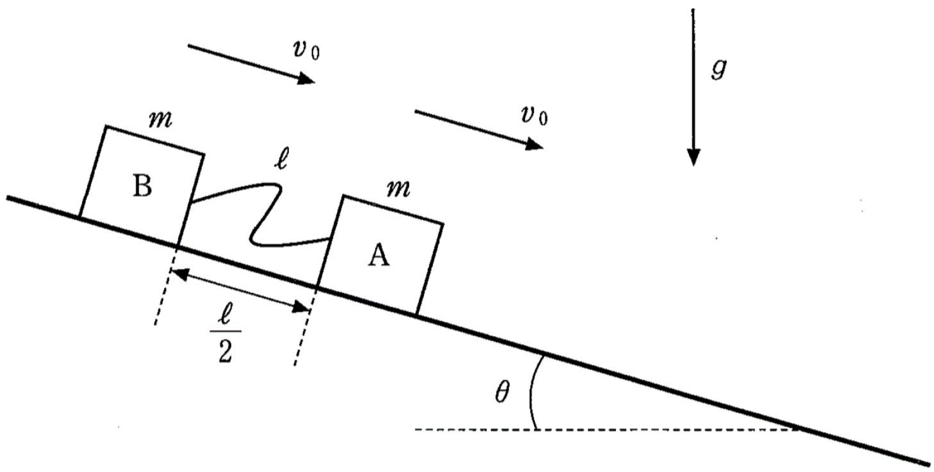

図2

(c) $t = 0$から初めてひもが張るまでの時間T_1を求めよ。

(d) 初めてひもが張った直後の，物体Bから見た物体Aの相対速度Δvを求めよ。ただし，ひもが張ったときの衝撃によってエネルギーが失われることはなく，ひもが張る前後で物体Aと物体Bの力学的エネルギーの和，および運動量の和が保存している。なお，ひもが張る瞬間において，物体にはたらく重力と摩擦力の影響は無視する。

(e) 問(d)でひもが張った時刻から，物体A，Bが近づき，初めて距離が $\dfrac{\ell}{2}$ になるまでの時間 T_2 を求めよ。また，距離が $\dfrac{\ell}{2}$ になったときの物体Bから見た物体Aの相対速度 ΔV を求めよ。

(f) $t = 0$ から3回目にひもが張るまでの物体A，Bの速度を，時間の関数として解答欄(f)に書き込め。物体Aの速度のグラフを実線，物体Bの速度のグラフを破線で書くこと。ただし，$t = 0$ から $t = T_1$ までのグラフは解答欄(f)に書き込まれている。

（下　書　き　用　紙）

（下 書 き 用 紙）

2 (50 点)

図1のように，水平な xy 平面上に固定された2本の平行なレール甲，乙と，そのレール上に置かれた電気抵抗をもつ2本の棒1，2よりなる装置がある。2本のレールは導体でできており，x 軸に平行になるように間隔 ℓ で配置されている。レール間にはスイッチを介して静電容量 C のコンデンサーが接続されており，レール甲は接地されている。2本の棒は y 軸に平行になるようにレール上に置かれ，向きを保ったままレール上を x 軸の向きになめらかに動くことができる。棒1と棒2の質量をそれぞれ m_1 と m_2 とする。また，棒1と棒2をレール間に渡したときの電気抵抗はそれぞれ R_1，R_2 である。$x \geqq 0$ の部分には鉛直上向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場がかけられている。$x < 0$ の部分の磁束密度の大きさは0である。

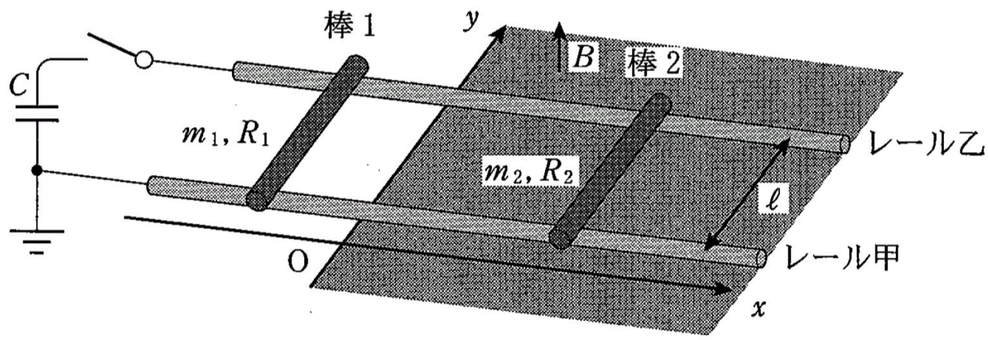

図1

レールと棒の太さは無視できるとする。レールは十分に長く，実験中に棒が端に達することはない。また，棒1と棒2は十分離れており，実験中互いに接触しないものとする。レールと棒の摩擦や空気抵抗，棒以外の電気抵抗，回路を流れる電流により発生する磁場，レール間の静電容量は無視できる。

以下では，棒を流れる電流は y 軸正方向を正とし，棒の速度，運動量，棒にはたらく力は x 軸正方向を正とする。解答には，小問中で指定されたもの以外に

$$m_1,\ m_2,\ R_1,\ R_2,\ \ell,\ B,\ C$$

を用いてよい。

〔A〕 まず，図2のようにスイッチを開いた状態で実験を行う。棒2を$x > 0$の部分に速度が0になるようにそっと置き，棒1を$x < 0$の部分から初速度$v_0(> 0)$で滑らせる。

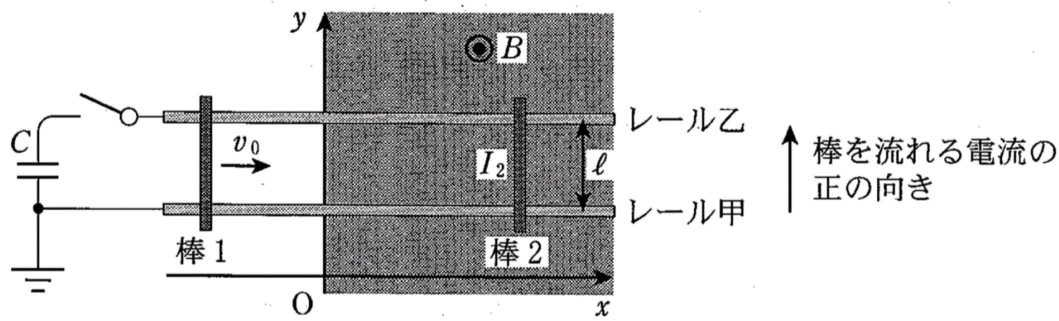

図2

(a) 棒1が$x = 0$を通過した直後に棒1に流れる電流I_0を初速度v_0を用いて表せ。

(b) 以下の空欄に入る適切な数式を答えよ。解答欄には答えのみを書くこと。

棒1が$x = 0$を通過したあとのある時刻において，棒2を流れる電流をI_2とする。棒2にはたらくローレンツ力fはI_2を用いて$f =$ $\boxed{(ア)}$ と与えられる。微小時間Δtあたりの棒2の速度の変化は$\Delta v_2 = \dfrac{f}{m_2}\Delta t$である。このとき棒1には電流$-I_2$が流れるから棒1にはたらくローレンツ力は$-f$であり，棒1の速度の変化は$\Delta v_1 = -\dfrac{f}{m_1}\Delta t$である。従って，棒1と棒2の運動量の和の変化は$m_1\Delta v_1 + m_2\Delta v_2 = 0$であり，運動量の和$m_1v_1 + m_2v_2$は時間とともに変化しない。

時間が十分経過したあと，それぞれの棒の速度が変化しなくなった。このとき，それぞれの棒にはたらくローレンツ力は0であるから，棒に電流は流れていないはずである。従って，十分時間が経過したあとの棒1

の速度 $v_{1\infty}$ と棒 2 の速度 $v_{2\infty}$ の間に，運動量保存の式とは別に，関係 $\boxed{\text{(イ)}}$ が成り立つ。このことから，時間が十分経過したあとの棒 1 の速度 $v_{1\infty}$ とレール乙の電位 V_∞ は v_0 を用いて $v_{1\infty} = \boxed{\text{(ウ)}}$，$V_\infty = \boxed{\text{(エ)}}$ と表すことができる。

(c) 棒 1 に初速度を与えてから最終的にそれぞれの棒の速度が変化しなくなるまでに，棒 1 で発生したジュール熱 Q_1 を v_0 を用いて表せ。

〔B〕 今度は，図 3 のようにスイッチを閉じた状態で同様の実験を行う。棒 2 を $x > 0$ の部分に速度が 0 になるようにそっと置き，棒 1 を $x < 0$ の部分から初速度 $v_0 (> 0)$ で滑らせる。はじめコンデンサーは充電されていないものとする。

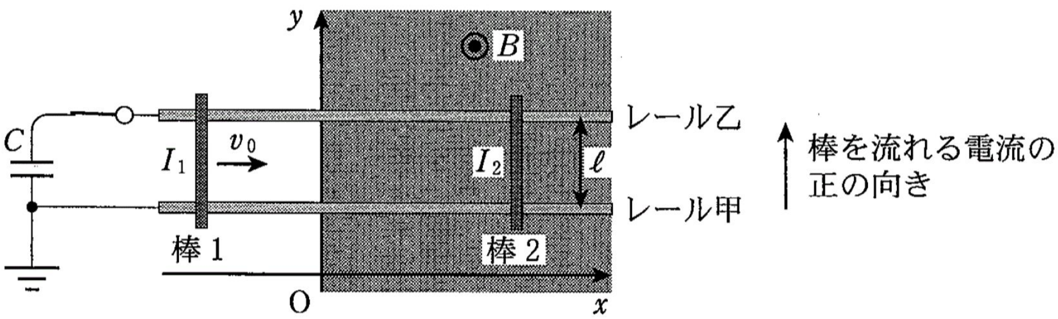

図 3

(d) 以下の空欄に入る適切な数式を答えよ。解答欄には答えのみを書くこと。

棒 1 が $x = 0$ を通過したあとのある時刻において，レール乙の電位を V，棒 1 と棒 2 を流れる電流をそれぞれ I_1，I_2 とし，微小時間 Δt あたりの棒 1 と棒 2 の速度の変化をそれぞれ Δv_1，Δv_2 とする。Δt あたりの棒 1 と棒 2 の運動量の変化の合計を I_1 と I_2 を用いて表すと $m_1 \Delta v_1 + m_2 \Delta v_2 = \boxed{\text{(オ)}}\ \Delta t$ となる。また，Δt あたりのレール乙の

電位の変化ΔVをI_1とI_2を用いて表すと$\Delta V = \boxed{\text{(カ)}}\ \Delta t$となる。

これら2つの式より

$$m_1 \Delta v_1 + m_2 \Delta v_2 + \boxed{\text{(キ)}}\ \Delta V = 0$$

が成り立つので，

$$m_1 v_1 + m_2 v_2 + \boxed{\text{(キ)}}\ V$$

は時間とともに変化しない。

(e) 十分時間が経過したあと，それぞれの棒の速度が変化しなくなった。このときの棒1の速度$v_{1\infty}$とレール乙の電位V_∞をv_0を用いて表せ。

(f) 棒1に初速度を与えてから最終的にそれぞれの棒の速度が変化しなくなるまでに，棒1と棒2で発生したジュール熱の合計Qを，棒1の初速度v_0，棒1の最終的な速度$v_{1\infty}$および最終的なレール乙の電位V_∞を用いて表せ。

（下 書 き 用 紙）

(下　書　き　用　紙)

3 (50 点)

単色光源から出た波長λの光が，単スリットS，二重スリットA，Bを通過し，スクリーン上につくりだす干渉縞を，光の強度(明るさ)に比例した読みを与える光検出器Cを用いて観測する。屈折率が1の大気中に，単スリットSを有する遮光板と，二重スリットA，Bを有する遮光板と，大きさの無視できる光検出器が置かれたスクリーンが，図1①のように互いに平行に置かれている。二重スリットを有する遮光板とスクリーンとの距離をLとする。各スリットは，紙面に垂直な方向に細長く，水平方向の幅は波長に比べて十分に狭い。また，二重スリットA，Bの間隔$a(\ll L)$は，波長よりも十分に大きい。スリットSの位置は，可動装置Nによって左右に動かすことができ，二重スリットA，Bの位置は固定されている。光検出器Cの位置をスクリーン上の座標xで表し，二重スリットA，Bから等距離にある点を原点Oとし，図の右向きを正にとる。各スリットの間の距離をL_{SA}，L_{SB}，スリットと光検出器との間の距離をL_{AC}，L_{BC}のように表す。以下の問では，原点付近($|x| \ll L$)の光の強度について考える。

(a) $L_{SA} = L_{SB}$となる位置に単スリットSを固定し，光検出器Cの位置xをずらしながら，その読みを記録した。以下の文章の空欄に入る適切な数式を答えよ。解答欄には答えのみを書くこと。

L_{AC}はL，x，aを用いて，$L_{AC} = \boxed{(ア)}$と表される。ここで，$|h| \ll 1$のとき，$\sqrt{1+h} \fallingdotseq 1 + \dfrac{h}{2}$とする近似を用いると，$L_{AC} \fallingdotseq \boxed{(イ)}$となる。同様の計算を$L_{BC}$についても行うと，$L_{AC} - L_{BC} \fallingdotseq \boxed{(ウ)}$となる。光検出器の位置をずらしながら，その読みを記録したところ，スクリーンに生じた干渉縞に対応して，図1②のように読みがxとともに周期的に変化した。この干渉縞の間隔は$P = \boxed{(エ)}$であった。

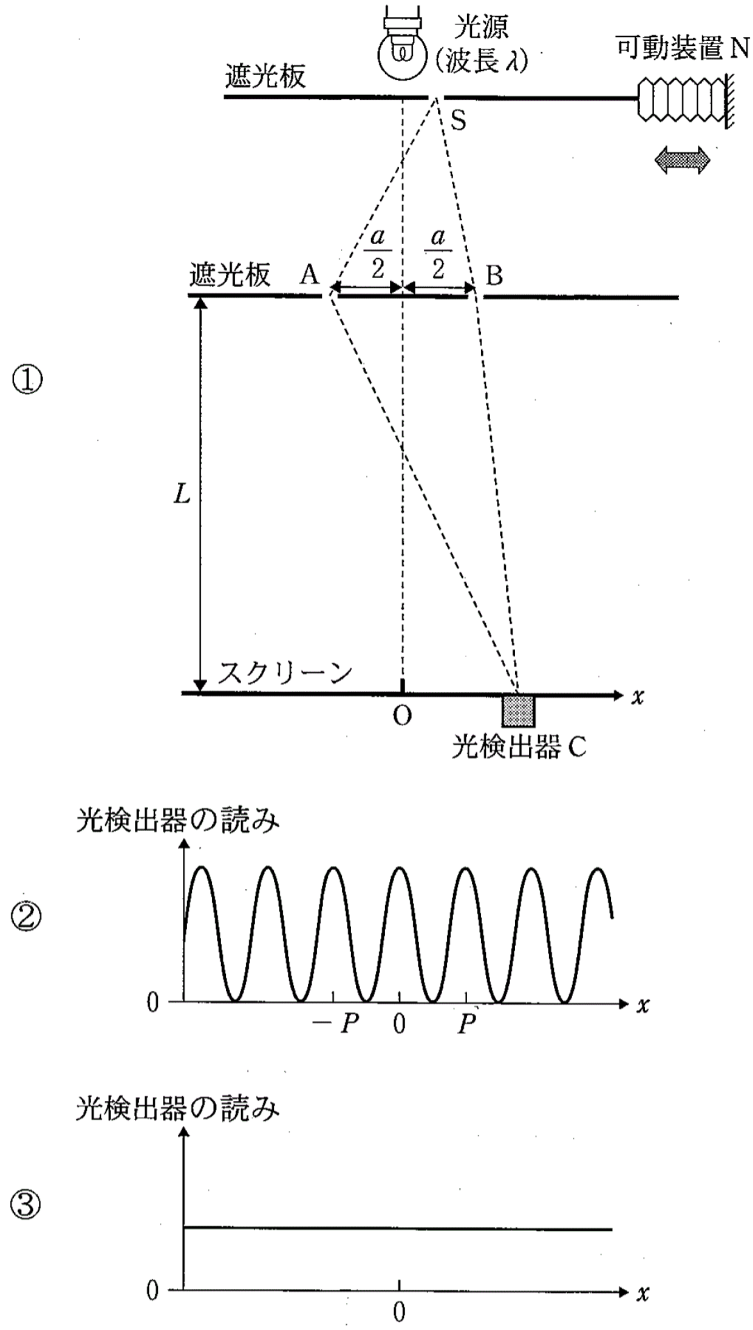

図 1

(b) 可動装置 N を使って単スリット S の位置をずらした。以下の文章の空欄に入る適切な数式を答えよ。(オ)については導出過程も書くこと。

$L_{\mathrm{SA}} - L_{\mathrm{SB}}$ が 0 から ℓ に変化したとき，干渉縞が x 軸正の方向に d だけずれた。$L_{\mathrm{AC}} - L_{\mathrm{BC}} \fallingdotseq$ $\boxed{\quad (ウ) \quad}$ より，d は a，L，ℓ を用いて $d \fallingdotseq$ $\boxed{\quad (オ) \quad}$ と表

すことができる。光検出器Cをずらしながら，その読みを記録したところ，読みは $\frac{\alpha}{2}\left[1+\cos\left\{\frac{2\pi}{P}(x-d)\right\}\right]$ という関数で表すことができた。ここで α は，干渉縞の光強度が最大となる位置における光検出器Cの読みである。

次に，可動装置Nを使って単スリットSの位置を不規則に変化させたところ，光検出器Cの読みが不規則に変動した。そこで，光検出器の読みを十分長い時間にわたって平均し，その平均値を，光検出器の位置 x の関数として作図した。すると，図1③のように，干渉縞が消失してしまった。これは次のように理解することができる。単スリットSの位置を不規則に動かすと，$L_{SA}-L_{SB}$ が変化し，干渉縞のずれ d が不規則に変化する。実験では光検出器の読みを表す式 $\frac{\alpha}{2}\left[1+\cos\left\{\frac{2\pi}{P}(x-d)\right\}\right]$ の中の $\cos\left\{\frac{2\pi}{P}(x-d)\right\}$ という項が -1 から1までの値を不規則にとり，長い時間にわたって読みを平均することで，平均値が0に近づいていったものと考えられる。そのために，光検出器の読みの平均値が $\boxed{\text{(カ)}}$ に近づき，干渉縞が消失したわけである。

(c) 可動装置Nを使って単スリットSの位置を不規則に変化させても，干渉縞を観察することができるように，図2のような，問(a)の光検出器Cと同一の応答をする光検出器2台を有する新しい装置Mを用いることにした。二つの光検出器 C_1，C_2 の位置を x_1, x_2 とする。同時刻における，C_1, C_2 の読みをかけあわせた値が，装置Mの読みとして得られる。x_1 を固定し，x_2 をずらしながらMの読みを記録した。以下の文章の空欄に入る適切な数式，または記号を答えよ。解答欄には，答えのみを書くこと。

まず，単スリットSを $L_{SA}=L_{SB}$ となる位置に固定した。n を整数として，x_1 が $\boxed{\text{(キ)}}$ という条件を満たしている場合は，x_2 をずらしても，Mの読みは0のまま変化しなかった。しかし，C_1 を $x_1=0$ の位置に固定すると，装置Mの読みが，x_2 の関数として間隔 P で周期的に変化した。

次に，単スリットSの位置を $L_{SA}-L_{SB}=\ell$ となる位置にずらすと，スクリーン上の干渉縞が，問(b)と同様に d だけずれた。C_1 を $x_1=0$ の位置に固定したまま，C_2 の位置 x_2 を変えながら装置Mの読みを記録すると，その値

は，a，P，d，x_2 を用いて，$\boxed{\quad(ク)\quad}$ という関数で表すことができた。

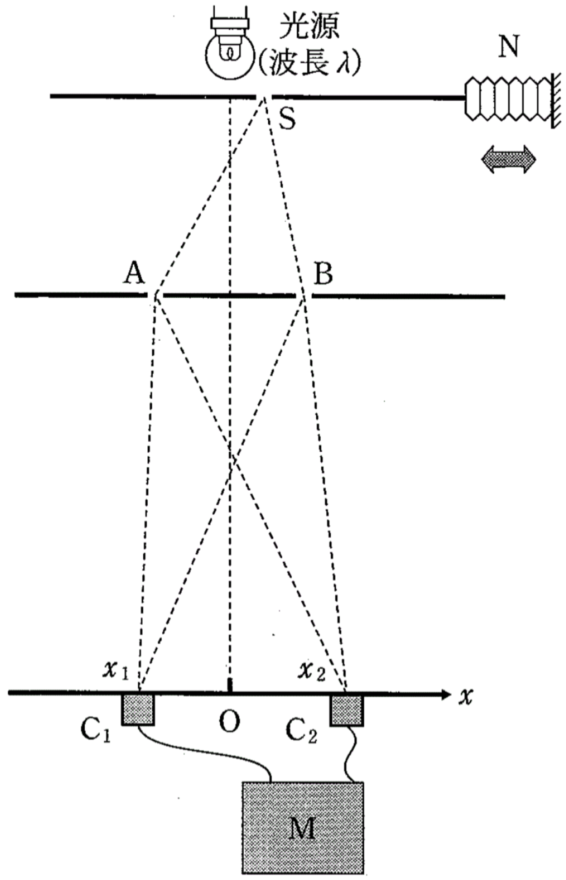

図 2

最後に，可動装置Nを用いて，単スリットSの位置を不規則に変化させたところ，装置Mの読みが変動した。そこで，問(b)と同様に，装置Mの読みを十分長い時間にわたって平均した値を，x_2 を変えながら記録した。C_1 は $x_1 = 0$ に固定したままである。先程求めた装置Mの読み $\boxed{\quad(ク)\quad}$ の中で，d を含む三角関数の値は，-1 から 1 までの値を不規則に変化する。問(b)の考えに基づくと，装置Mの読みを十分長い時間平均した値は，a，P，x_2 を用いて，$\boxed{\quad(ケ)\quad}$ と表されるはずである。実験をしてみたところ，$\boxed{\quad(コ)\quad}$（図3 ①～⑩のうちから一つ選択せよ）のようなグラフが得られた。

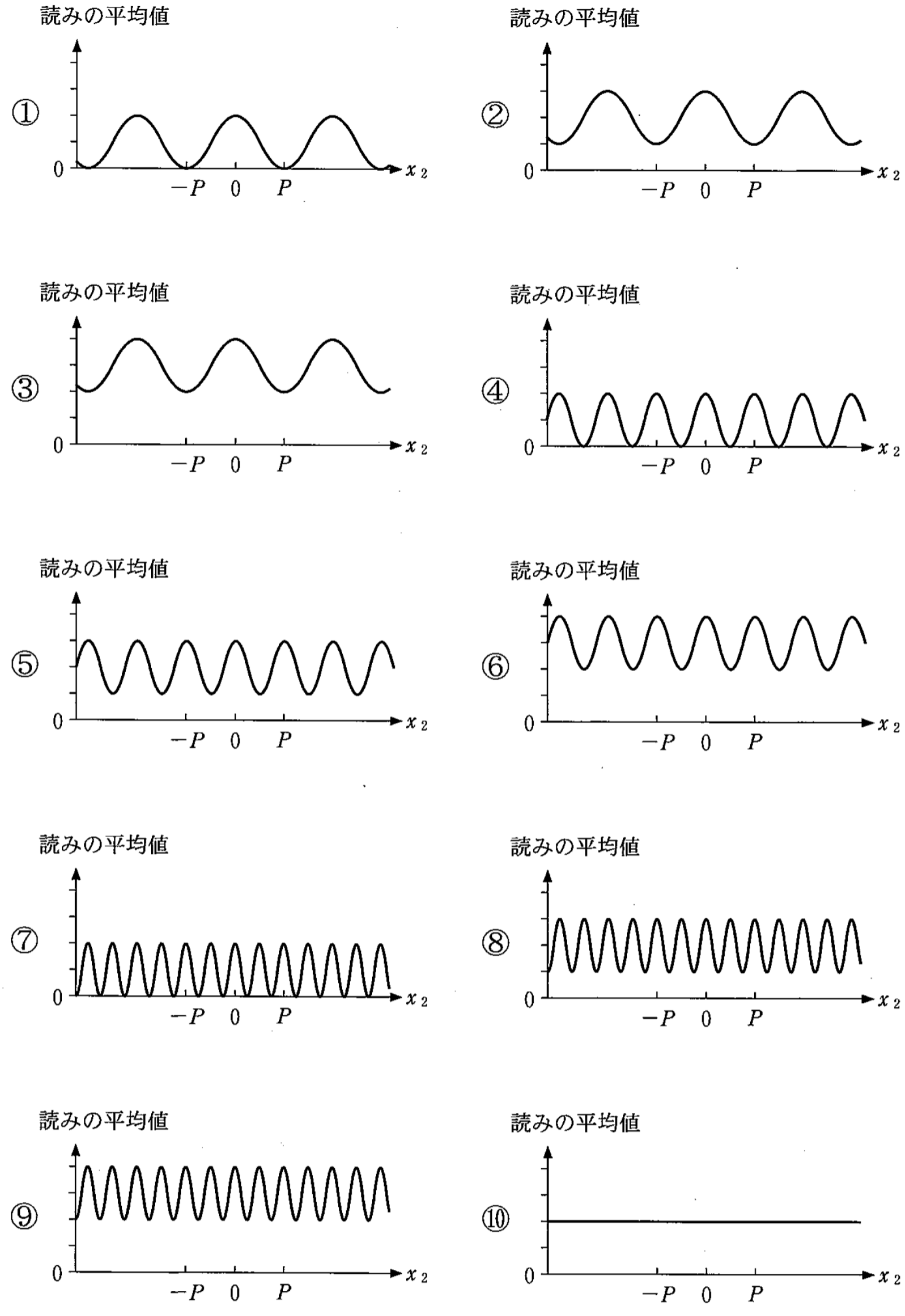

図3

（下　書　き　用　紙）