

2023年度

理 科

RA

【 物 理 】

3月12日(日) 理 学 部 (物理学科, 生物科学科, 創造理学コース)
【後 期 日 程】 工 学 部
農 学 部 9 : 40 ~ 11 : 00

注 意 事 項

試験開始前

- 1 監督者の指示があるまで、問題冊子、解答用紙に手を触れてはいけません。
- 2 監督者の指示に従い、出願時に選択した科目の問題冊子、解答用紙であるかどうかを確かめ、全部の解答用紙（3枚）に受験番号を記入しなさい。
- 3 出願時に選択した科目と解答した科目が異なる場合は採点されません。

試験開始後

- 4 この問題冊子は、7ページあります。はじめに、問題冊子、解答用紙を確かめ、枚数の不足や、印刷の不鮮明なもの、ページの落丁・乱丁があった場合は、手をあげて監督者に申し出なさい。
- 5 解答はすべて解答用紙に記入しなさい。
- 6 問題は、声を出して読んではいけません。
- 7 各問ごとの配点は、比率(%)で表示してあります。

試験終了後

- 8 問題冊子は、必ず持ち帰りなさい。

問題補足説明

記号 RA

科目 理科（物理）

補足説明箇所

問題 2

3 ページ 問 2 (4) 2 行目

・・・半導体をどのような形状 (長さ, 幅, 厚さ) にすれば・・・

(下線部を追加する。)

1 自然長 L 、ばね定数 k のばねが、図 1 のように水平に置かれた円盤の中心に取り付けられている。ばねのもう一方の端には質量 m の小球が取り付けられている。円盤には r 軸に沿って細い溝が付けられており、小球は溝から飛び出さず、 r 軸上を運動する。溝の鉛直な壁は滑らかで、小球との間に摩擦力は働かない。ばねは溝と接することなく、 r 軸に沿って滑らかに伸び縮みする。図 1 のように、ばねの長さが自然長のとき、 r 軸上の小球の位置を $r = 0$ とする。ばねの質量は十分小さいため無視できる。以下の問いに答えよ。(配点 33%)

問 1 から問 3 では、小球が接する円盤上の溝の床面は滑らかで、小球は溝の床面を摩擦なく変位できるとする。そして、円盤を一定の角速度 ω で回転させた。

問 1 円盤とともに回転する観測者には、 r 軸方向には、ばねの弾性力と回転による遠心力が小球に働いているように見え、図 2 のように $r = a$ (a は正の量とする) で両者の力が釣り合う。 a を求めよ。

問 2 円盤が角速度 ω で回転している状態で、図 3 のように $r = a$ の位置から小球が x だけ変位した状況を考えると、観測者から見て、小球に働く r 軸方向の力は $F = -k'x$ と表される。 k' を求めよ。

問 3 ばね定数 k は十分大きいいため、問 2 で求めた k' は $k' > 0$ である。小球を $r = a$ から変位させると、小球は角振動数 ω' で単振動した。 ω' を、 k 、 ω 、 m を用いて表せ。

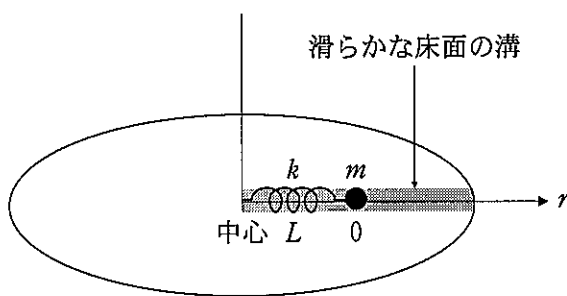


図 1

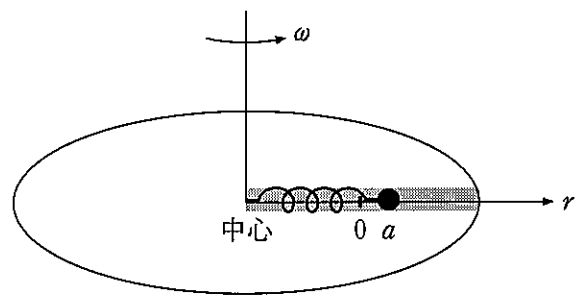


図 2

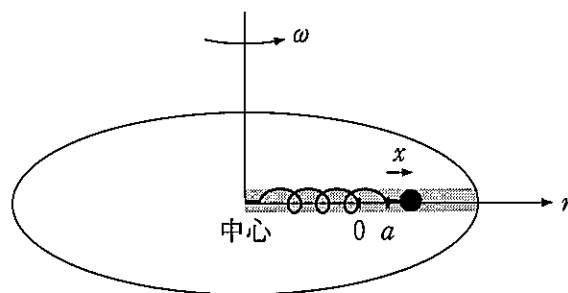


図 3

以下の問題では、溝の床面を、滑らかな面から粗い面に取り替えた場合について考える。粗い床面に対する小球の動摩擦係数を μ' 、静止摩擦係数を $\mu (> \mu')$ 、重力加速度の大きさを g とする。 $r = 0$ の位置で小球が静止している状態から円盤を回転させ始めた。円盤の角速度が小さいときは小球は動かなかったが、角速度を徐々に増加すると、角速度 ω_c のとき小球は滑り始めた。小球が滑り始めた後は角速度を ω_c に保つと、小球は図4のように b の位置まで滑って止まった。 b の値を、次のように考えて求めてみよう。問4では (1) から (6) の中に適切な数式を入れ、また問5にも解答せよ。

問4 円盤とともに回転する観測者から見ると、小球が滑っている間、ばねの弾性力、遠心力、摩擦力の3種類の力が打ち消し合う場所がある。この位置を $r = a_c$ とすると、 $a_c =$ (1) (ω_c を使うこと) となる。問2と同様に、 a_c から小球を x' だけ変位させた状況を考えて、観測者から見ると、ばね定数 k'' のばねによる復元力 ($F = -k''x'$) のように見える。 k'' を求めると、 $k'' =$ (2) (ω_c を使うこと) となる。ただし、ばね定数 k は十分大きいので、 $k'' > 0$ とする。 $r = 0$ の位置から滑り始めた小球は b だけ滑り、 $r = b$ の位置で止まった。 a_c を使うと、 $b =$ (3) と表される。ここで、小球が滑り始めたときの角速度 ω_c を求めると、 $\omega_c =$ (4) となる。 ω_c に関する (4) の結果を利用し、 m, g, k, L, μ, μ' を用いて b を表すと、 $b =$ (5) と求まる。 $r = b$ の位置において、小球に働くばねの弾性力と遠心力の和を F_0 とする。 m, g, μ, μ' を用いて F_0 を表すと、 $F_0 =$ (6) となる。

問5 $r = b$ の位置で一旦止まった後、小球は再び動くか、それとも動かないか。解答欄の「動く・動かない」のどちらかを○で囲み、その理由を説明せよ。

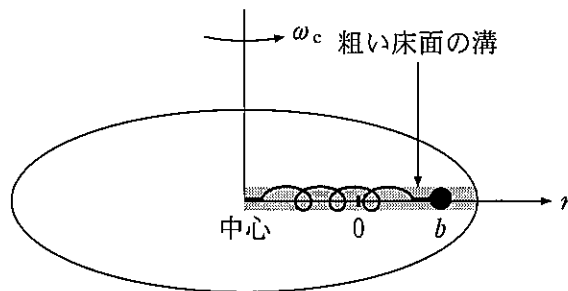


図4

- 2 図のように座標の上に、長さ L 、幅 w 、厚さ d の直方体の半導体が置かれていて、直方体の側面 P, S, T, U には、抵抗が無視できる導線が付けられている。面 P と面 S には電圧計が、面 T と面 U には起電力 V_0 の電源と電流計が取り付けられている。以下の問いに答えよ。
(配点 33%)

問 1 $V_0 = 2.4 \text{ V}$ のとき電流計の値が 0.48 A であった。 $L = 8.0 \text{ mm}$ 、 $w = 5.0 \text{ mm}$ 、 $d = 1.2 \text{ mm}$ として次の値を計算し有効数字 2 桁で解答せよ。ただし、電気素量は $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ とする。

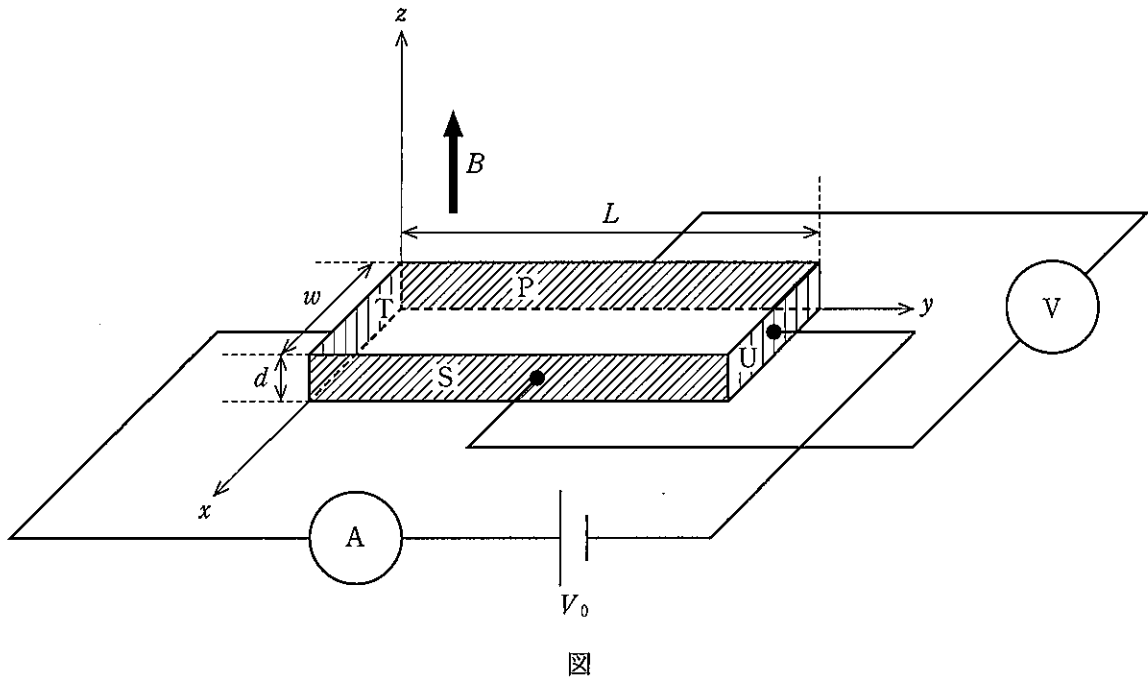
- (1) 5.0 秒間に電流計を通過する電子の全電気量の大きさ Q_1 と電子の個数 N_1 を求めよ。
- (2) 半導体の抵抗 R_1 と抵抗率 ρ_1 を求めよ。

問 2 半導体は p 型で、キャリアは正の電気量 q を持つ正孔(ホール)とする。図のように z の正の方向に磁束密度の大きさ B の磁場をかけると、電圧計でホール電圧と呼ばれる V_H の電圧が測定された。電流計の値を I として次の問いに答えよ。ただし、問 1 の数値は使わないこととする。

- (1) 半導体中の正孔の数密度(単位体積当たりの正孔の数)を n_p とする。半導体中の正孔の平均の速さ v を I 、 n_p 、 q 、 L 、 w 、 d から必要な文字を用いて求めよ。
- (2) 正孔は磁場によって力を受ける。正孔 1 個が受ける力の大きさ F_B を v 、 q 、 B 、 L 、 w 、 d から必要な文字を用いて求めよ。
- (3) 次の 、、 に入る式を、 V_H 、 v 、 q 、 B 、 L 、 w 、 d から必要な文字を用いて求めよ。ただし、(c)では V_H を使わないこと。

磁場によって面 P に負の電荷が、面 S に正の電荷が蓄積され半導体の x 軸の負の向きに一樣な電場が生じる。この電場の大きさは $E = \text{$ となるので、この電場により正孔は x 軸の負の向きに、大きさ $F_E = \text{$ の力を受ける。この F_E と F_B が同じ大きさなので、ホール電圧は $V_H = \text{$ となる。

- (4) v を使わず、 I 、 n_p 、 q 、 B 、 L 、 w 、 d から必要な文字を用いて、ホール電圧 V_H を求め、 B と I を変えずにホール電圧 V_H を大きくするには、半導体をどのような形状にすればよいかを説明せよ。
- (5) 半導体が p 型か n 型かを判断する方法を、n 型のキャリアに働く力を図示して説明せよ。



3 真空中に置かれた図1のような光学装置を考える。波長 λ の単色で平行な光を発するレーザー光源Sから光が発せられている。この光は直進し、厚さが無視できる半透鏡(ハーフミラー)Hで反射して、厚さが無視できる平面鏡Aに向かう光と、直進して厚さが無視できる平面鏡Bに向かう光の二つに分けられる。以下の問いに答えよ。なお、問題文中の「明」は光が干渉して強め合うこと、「暗」は弱め合うことを意味する。(配点34%)

問1 平面鏡Aに向かった光は平面鏡Aで反射され、同じ経路を逆方向に進んだのち、半透鏡を透過して検出器Dに到達する。一方、平面鏡Bに向かった光は平面鏡Bで反射され、同じ経路を逆方向に進んだのち、半透鏡Hで反射された光が、検出器Dに到達する。これらの異なる経路を通った光は干渉する。

- (1) 図1のように、半透鏡Hの点Oからの平面鏡Aの距離が L_A 、平面鏡Bの距離が L_B のとき、検出器Dで検出される光が「明」となった。このときの条件を、 L_A 、 L_B 、 L_S 、 L_D 、 λ 、整数 m のうちから必要なものを用いて式で表せ。
- (2) 平面鏡Bを点Oから離れる方向に徐々に動かしたところ、光の強さは単調に弱くなって「暗」になったのち、再び単調に強くなって、「明」となった。そのときの距離は、 $L_B + \Delta L$ であった。 ΔL を、 λ を用いて表せ。
- (3) 次に、平面鏡Bの位置を点Oから L_B の位置に戻した上で、図2に示すように、半透鏡Hを光源Sの方に角度は変えずに動かすと、検出器Dで観測される光は単調に弱くなって、点Oと点O'の間の距離が Δl のとき、初めて「暗」となった。この間、光は平面鏡Aと検出器Dから外れないとする。 Δl を、 λ を用いて表せ。

問2 半透鏡を点Oに戻した上で、 $L_A = L_B$ の位置に平面鏡Aと平面鏡Bを図3のように傾けて配置する。

- (1) このとき、検出器Dが「明」「暗」のどちらを観測するか、解答欄の「明」か「暗」のどちらかを○で囲み、その理由を L_A 、 L_C 、 L_S 、 L_D 、 λ 、整数 m のうちから必要なものを用いた式を使って説明せよ。

さらに、図3の平面鏡Aと平面鏡Bを直線でつなぐ光路上の、平面鏡Aから距離 x の位置に、厚さが無視できる表裏両面で光を反射できる鏡(両面鏡)Cを、図4のように配置した。このとき検出器Dで検出される光が「明」となった。

- (2) 両面鏡Cを、傾きは変えずに平面鏡Aから距離 $x + \Delta x$ の位置に移動させたところ、検出器Dでの光は単調に弱くなり、初めて「暗」になった。このときの Δx を、 λ を用いて表せ。

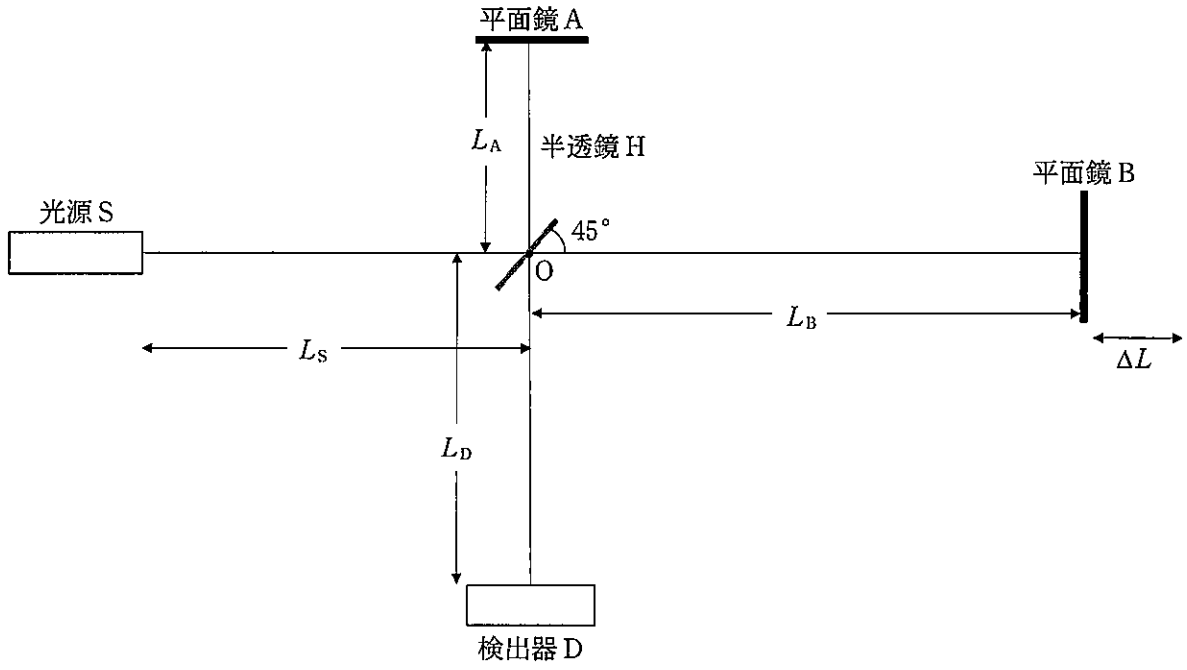


图 1

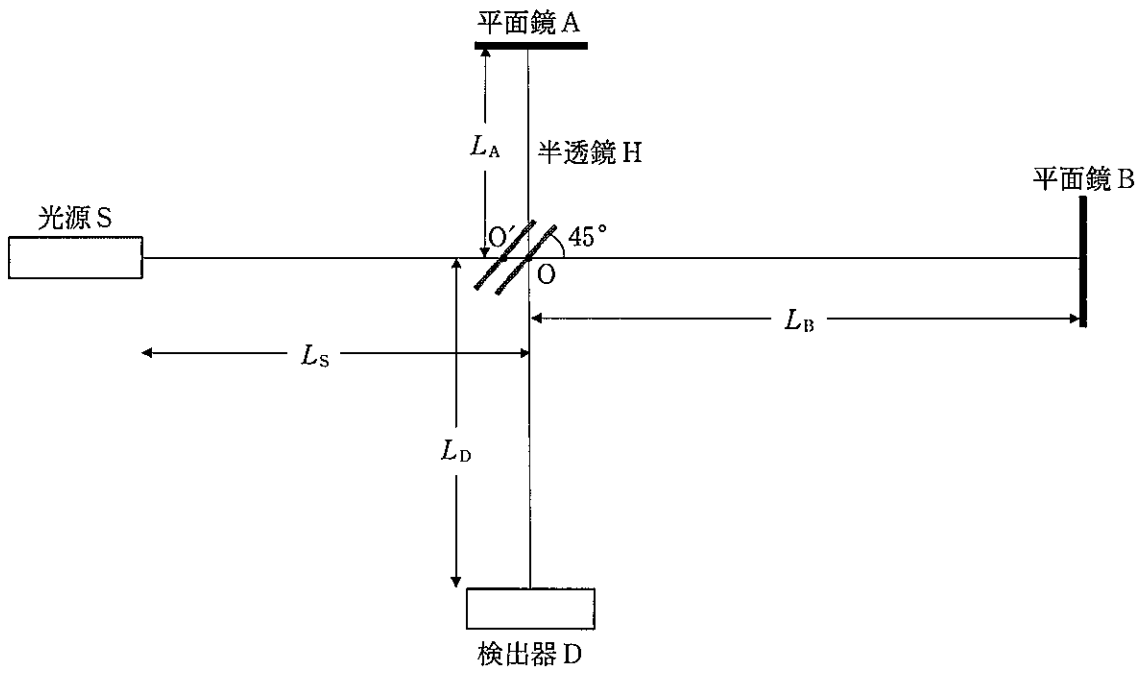


图 2

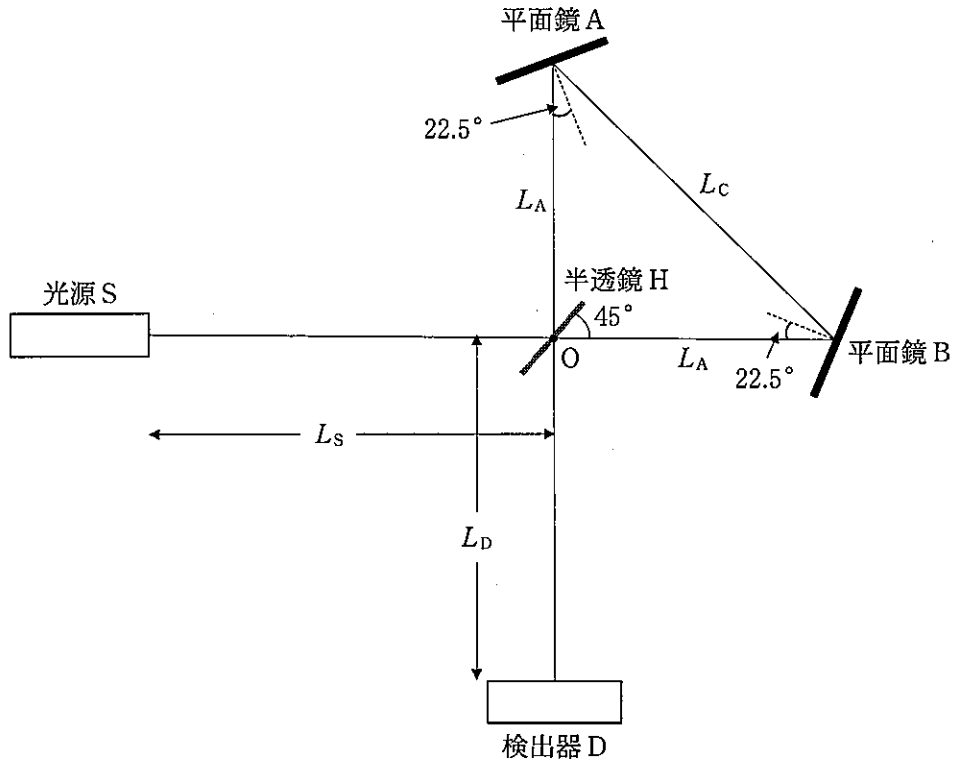


图 3

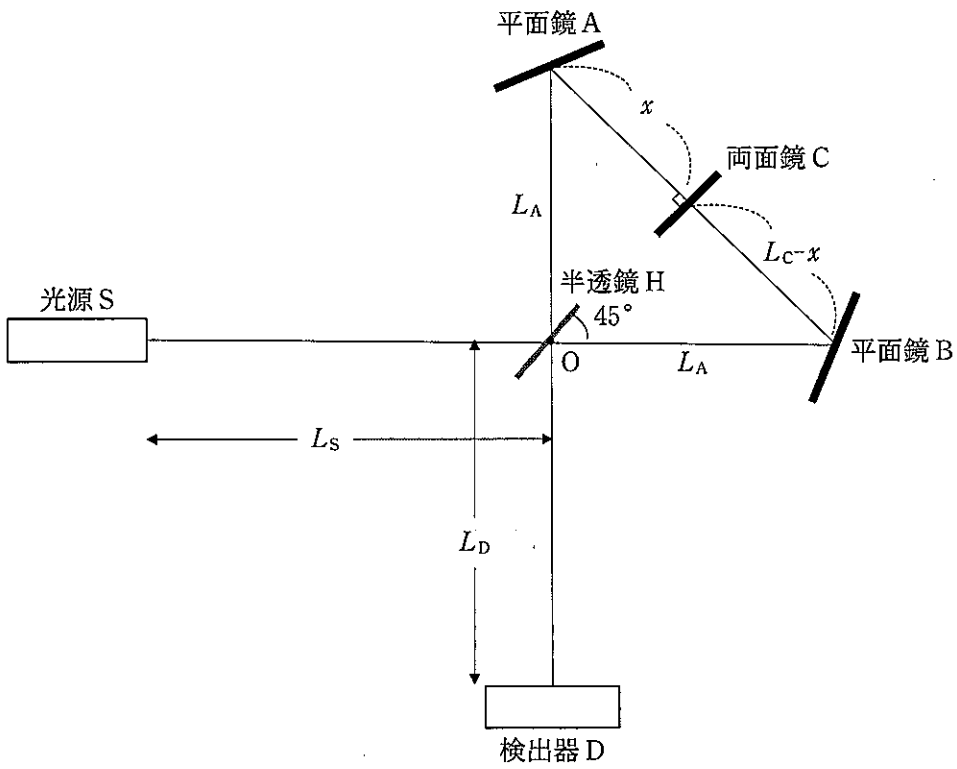


图 4

正解・解答例

教科・科目名	物理（後期日程試験：令和5年度） 1 / 3	問題番号	RA
対象学部・学科(課程)等	理学部（物理学科、生物科学科、創造理学コース）、工学部、農学部		
<div style="text-align: center; margin-bottom: 10px;"> 1 </div> <p style="text-align: center;">(33) % 配点(66)点</p>	<p>問1 $\frac{mL\omega^2}{k - m\omega^2}$</p> <p>問2 $k - m\omega^2$</p> <p>問3 $\sqrt{\frac{k - m\omega^2}{m}}$</p> <p>問4 (1) $\frac{mL\omega_c^2 - \mu'mg}{k - m\omega_c^2}$</p> <p>(2) $k - m\omega_c^2$</p> <p>(3) $2a_c$</p> <p>(4) $\sqrt{\frac{\mu g}{L}}$</p> <p>(5) $\frac{2mg(\mu - \mu')}{k - m\frac{\mu g}{L}}$</p> <p>(6) $-mg(\mu - 2\mu')$</p> <p>問5 (1) 動かない</p> <p>(2)</p> <p style="text-align: center;">$0 < \frac{\mu'}{\mu} < 1$ であるので、F_0 の大きさは $F_0 = \mu mg \left 1 - 2\frac{\mu'}{\mu} \right < \mu mg$ となる。よって、F_0 は静止摩擦力の最大値 μmg よりも小さくなるため、$r = b$ で止まった後は動かない。</p>		

正解・解答例

教科・科目名	物理（後期日程試験：令和5年度） 2 / 3	問題番号	RA
対象学部・学科(課程)等	理学部（物理学科、生物科学科、創造理学コース）、工学部、農学部		
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">2</div> <p style="text-align: center; margin-top: 20px;">(33) % 配点(66)点</p>	<p>問1</p> <p>(1) 2.4</p> <p>(2) 1.5×10^{19}</p> <p>(3) 5.0</p> <p>(4) 3.8×10^{-3}</p> <p>問2</p> <p>(1) $\frac{I}{qn_p w d}$</p> <p>(2) qvB</p> <p>(3)</p> <p style="margin-left: 20px;">(a) $\frac{V_H}{w}$</p> <p style="margin-left: 20px;">(b) $\frac{qV_H}{w}$</p> <p style="margin-left: 20px;">(c) wvB</p> <p>(4)</p> <p style="margin-left: 20px;">$V_H = wvB$、$v = I / qn_p w d$ より、 $V_H = IB / qn_p d$ となるので、dを小さくすればV_Hが大きくなる。 (半導体を薄くする)</p> <p>(5)</p> <div style="display: flex; align-items: center; margin-left: 20px;"> <div style="text-align: center; margin-right: 10px;"> </div> <div style="margin-left: 10px;"> <p>n型半導体の場合、キャリアである電子が$-y$方向に進むので、磁場によってx方向に力を受ける。このため面Sに負の電荷が面Pに正の電荷が蓄積される。したがって、PS間のホール電圧はp型半導体と逆になり、ホール電圧の正負によって、n型かp型か判断できる。</p> </div> </div> <p style="margin-left: 20px;">(○をキャリアとする)</p>		

正解・解答例

教科・科目名	物理（後期日程試験：令和5年度） 3 / 3	問題番号	RA
対象学部・学科(課程)等	理学部（物理学科、生物科学科、創造理学コース）、工学部、農学部		
<div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">3</div> <p style="text-align: center; margin-top: 10px;">(34) % 配点(68)点</p>	<p>問1 (1) $L_B - L_A = m\lambda/2$ (2) $\lambda/2$ (3) $\lambda/4$</p> <p>問2 (1) 「明」 理由： 経路 $S \rightarrow O \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow O \rightarrow D$ の長さは $L_S + 2L_A + L_C + L_D$、 経路 $S \rightarrow O \rightarrow A \rightarrow B \rightarrow O \rightarrow D$ の長さは $L_S + 2L_A + L_C + L_D$ であり、経路差は $L_S + 2L_A + L_C + L_D - (L_S + 2L_A + L_C + L_D) = 0$ で、$m\lambda$ ($m=0$) に等しいから。</p> <p>(2) $\lambda/8$</p>		

採点・評価基準(具体的基準)

教科・科目名	物理 (後期試験：令和 5 年度)	問題番号	RA
対象学部・学科(課程)等	理学部 (物理学科、生物科学科、創造理学コース)、工学部、農学部		
出題のねらい	<p>① 回転台上にある、ばねに取り付けられた小球について、回転している観測者から見た運動の理解を確認する問題である。</p> <p>② ホール効果の実験を例として、回路を流れる電流などの計算が正しい単位でできているか、磁場中の荷電粒子の運動が理解できているかを見るための問題である。</p> <p>③ 光の干渉について理解しているかを問う問題である。</p>		
採点基準 (点数は200点満点の場合)	<p>① 配点 33% (66点) 問1 7点 問2 7点 問3 7点 問4 (1) 6点 (2) 6点 (3) 6点 (4) 6点 (5) 6点 (6) 6点 問5 (1) 5点 (2) 4点</p> <p>② 配点 33% (66点) 問1 (1)~(4) 各6点 問2 (1) 6点 (2) 6点 (3) (a) 6点 (b) 6点 (c) 6点 (4) 6点 (5) 6点</p> <p>③ 配点 34% (68点) 問1 (1) 14点 (2) 14点 (3) 14点 問2 (1) 13点 (2) 13点</p>		