

理 科 (物 理)

(理 学 部 ・ 工 学 部)

(令 和 7 年 度)【後期日程】

問題冊子 1～10 ページ

答案用紙 4 枚

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまでこの問題冊子を開いてはいけない。
2. 問題冊子や答案用紙に、枚数の不足や印刷不鮮明なところがあれば申し出ること。
3. **1**, **2**, **3**, **4** の 4 問とも解答すること。
解答は必ず答案用紙の指定された箇所に、最後の結果に至るまでの筋道がわかるように記入すること。
4. 受験番号は、答案用紙 1 枚ごとに所定の欄 2 箇所に必ず記入すること。記入を忘れたり、あるいは誤った番号を記入した場合は失格となることがある。
5. 試験が終了したら、答案用紙を上から(その1), (その2), …の順番に重ねて机上に置くこと。
6. 退室するときは、問題冊子を持ち帰ること。

補 足 説 明

教科・科目名： 物理（理・工）

受験者に対して、「補足説明」があることを口頭で伝え、
下枠の内容を板書し、周知してください。

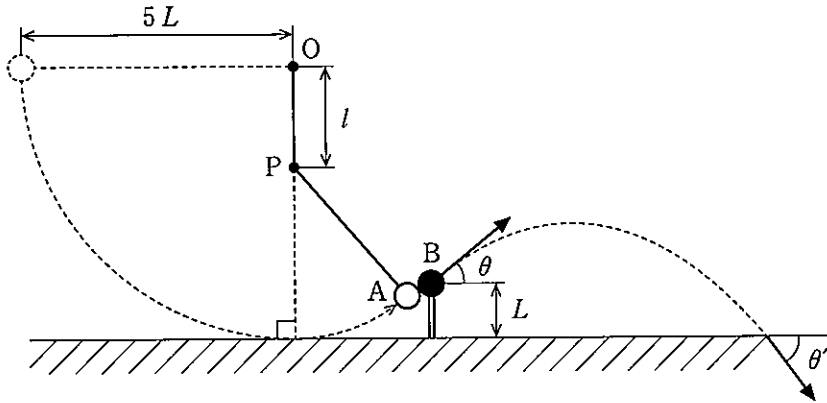
補足説明

理科（物理）

9ページ 4

ピストンの質量は無視できると
しめる。

- 1 図のように長さ $5L$ の軽い糸の一端を、水平な地面から高さ $5L$ の点 O に固定し、他端に質量 $3m$ の小球 A をつけ、糸がたるまないように水平になる位置に持ち上げ静かにはなした。小球 A が最下点を通過するとき、点 O から鉛直方向に l だけ離れた位置 P に設置されたピンに糸が引っかかり、その後、小球 A は高さ L の台座の上に置かれた質量 m の小球 B に弾性衝突した。ただし、 $0 < l < 4L$ とする。小球 B は点 P を支点とする振り子の接線方向に仰角 θ で打ち出され、地面の上に俯角 θ' で落下した。重力加速度の大きさを g とし、摩擦や空気抵抗、小球とピンの大きさは無視する。また、運動中に糸は常にたるまないものとする。以下の間に答えよ。



図

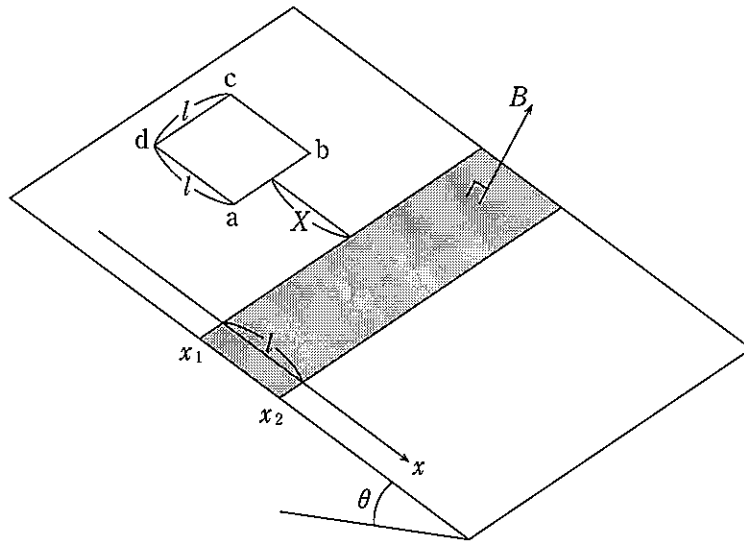
- 問 1 小球 A の衝突直前の速さを求めよ。
- 問 2 小球 B の衝突直後の速さ v を求めよ。
- 問 3 小球 B が打ち出されてから地面に落下するまでの時間 t を v , θ , g , L を用いて表せ。
- 問 4 $\tan \theta'$ を v , θ , g , L を用いて表せ。

俯角 θ' を調整するために、ピンの位置 P を鉛直方向に動かし OP 間の距離 l を、 $0 < l < 4L$ の範囲で変化させた。このとき台座の位置も水平方向に微調整し、空振りしないように衝突させ、点 P を支点とする振り子の接線方向に小球 B を打ち出した。

問 5 $\cos \theta$ と $\sin \theta$ を L と l を用いて表せ。

問 6 俯角 θ' が 45° となる l を求めよ。

- 2 図のように水平面となす角が θ の十分に長い斜面があり、斜面に沿って下向きに x 軸をとる。ただし、 $0 < \theta < \frac{\pi}{2}$ とする。この斜面上に一辺の長さが l の正方形のコイルabcdがあり、その全体の電気抵抗は R 、質量は m である。また、 $x = x_1$ から $x = x_2$ までの幅 l の領域には磁束密度の大きさ B の一様な磁場が斜面に対して垂直上向きに加えられている。コイルを辺abと x_1 間の距離が X の位置におき、時刻0に静かにはなしたところ、コイルは斜面に沿って下向きに動き出した。コイルと斜面の間には摩擦はないものとし、コイルは変形せず、辺bcが x 軸と常に平行になるように姿勢を保つものとする。また、自己誘導や空気抵抗は無視する。重力加速度の大きさを g として、以下の問に答えよ。



図

- 問 1 コイルの辺abが x_1 に到達する時刻を t_1 とする。 t_1 を X 、 g 、 θ を用いて表せ。また、 t_1 におけるコイルの速さを X 、 g 、 θ を用いて表せ。

つぎに、コイルの辺 ab が x_2 に到達する時刻を t_2 とする。時刻 t_1 と t_2 の間のある時刻 t_A にコイルの速さは v_1 であるとする。

問 2 時刻 t_A にコイルを流れる電流の大きさと向きを答えよ。ただし、電流の向きは $abcd$ の向きか $dcba$ の向きかで答えよ。

問 3 時刻 t_A にコイルにはたらく力の合力の x 成分を答えよ。

さらに、コイルの辺 cd が x_2 に到達する時刻を t_3 とする。時刻 t_2 と t_3 の間のある時刻 t_B にコイルの速さは v_2 であるとする。

問 4 時刻 t_B にコイルを流れる電流の大きさと向きを答えよ。ただし、電流の向きは $abcd$ の向きか $dcba$ の向きかで答えよ。

問 5 時刻 t_B にコイルにはたらく力の合力の x 成分を答えよ。

時刻 0 におけるコイルの辺 ab と x_1 間の距離 X を調整したところ、時刻 t_1 から t_2 の間にコイルが一定の速さ v_c で運動した。

問 6 v_c および X を R, B, l, m, g, θ を用いて表せ。

問 7 コイルの抵抗で生じた単位時間当たりのジュール熱を R, B, l, m, g, θ を用いて表せ。

問 8 コイルが磁場のかかった領域を通過する時間 $t_3 - t_1$ を R, B, l, m, g, θ を用いて表せ。また、時間 $t_3 - t_1$ の間にコイルの抵抗で生じたジュール熱を l, m, g, θ を用いて表せ。

3 図1は、屈折率 n_1 の気体中で、水平に置かれた屈折率 n_3 の平坦な物質の上に、屈折率 n_2 で一様な厚さ d の薄膜が広がっている様子を示したものである。真空中での波長が λ の単色光を、気体中から薄膜表面の法線に対して入射角 θ_1 で入射させた。光線 Q_1 は点 O を通過し、屈折角 θ_2 で薄膜に進入し、点 A で反射して薄膜の上面の点 B から気体中に出て、点 P へ到達した。光線 Q_2 は点 B で反射し、点 P へ到達した。屈折率の大小関係は $n_1 < n_2$ とする。一般に屈折率 n の媒質中を光が距離 l だけ進むとき、同じ時間に光が真空中を進む距離は nl であり、この距離 nl を光路長(光学距離)と呼ぶ。以下の問に答えよ。

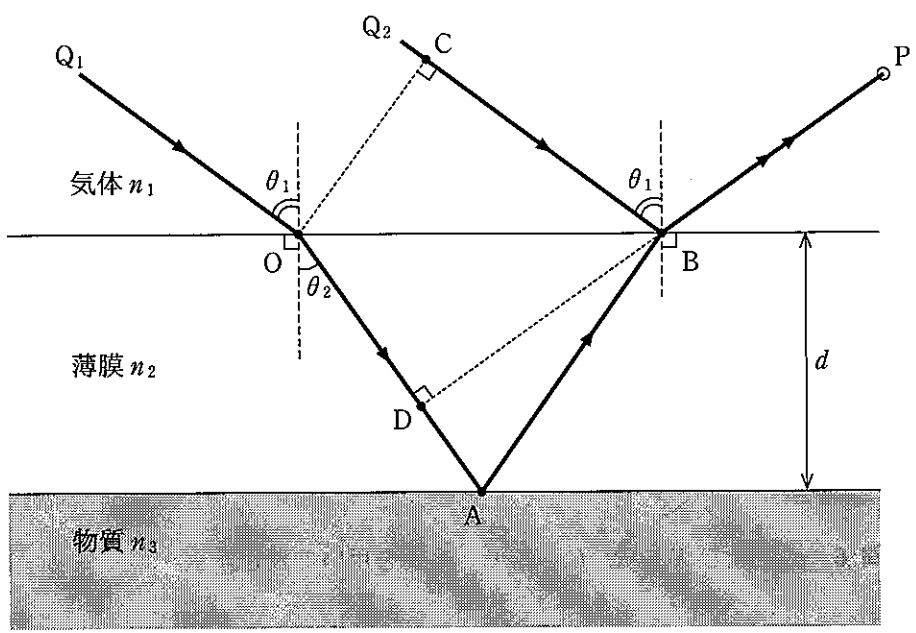


図1

問1 光線 Q_1 と Q_2 は平行に入射しており、 $\angle OCB = 90^\circ$ のとき、点 O と点 C では Q_1 と Q_2 は同位相にある。点 B から OA に下した垂線の足を点 D とすると、点 D と点 B でも Q_1 と Q_2 は同位相にある。このとき、 CB と OD の光路長が等しいことを用いて、 n_1 、 n_2 、 θ_1 、 θ_2 の間の関係式を示せ。

問 2 光線 Q_1 と Q_2 がそれぞれ経路 $OABP$ と CBP を通って干渉し、点 P で干渉光を観測した。 Q_1 と Q_2 の光路長の差(光路差)を d , n_2 , θ_2 を用いて表せ。

問 3 問 2 で得た光路差を d , n_1 , n_2 , θ_1 を用いて表せ。また、点 P における干渉光が弱めあい、暗くなる光路差の条件を λ と整数 m ($m = 0, 1, 2, \dots$) を用いて表せ。ただし、 $n_2 < n_3$ および $n_2 > n_3$ の場合に答えよ。

次に、ある試料の屈折率を調べる方法を考える。図2は屈折率 n_a の空气中で、屈折率 n_p のプリズムの上面に、屈折率 n_t の試料を載せた様子を示したものである。プリズムの頂角を α とし、 α は 90° 以下であるとする。プリズムの下方の点 A から入射角 θ_i で単色光を入射すると、角度 β でプリズム内に進入し、試料とプリズムの境界面上の点 O に角度 θ_c で入射した。光は点 O で屈折し、プリズムの上面と平行に進んだ。 θ_c は臨界角と呼ばれる。それぞれの屈折率の関係は $n_a < n_t < n_p$ とする。ただし、試料とプリズムの間には空気が入らないものとする。以下の問に答えよ。

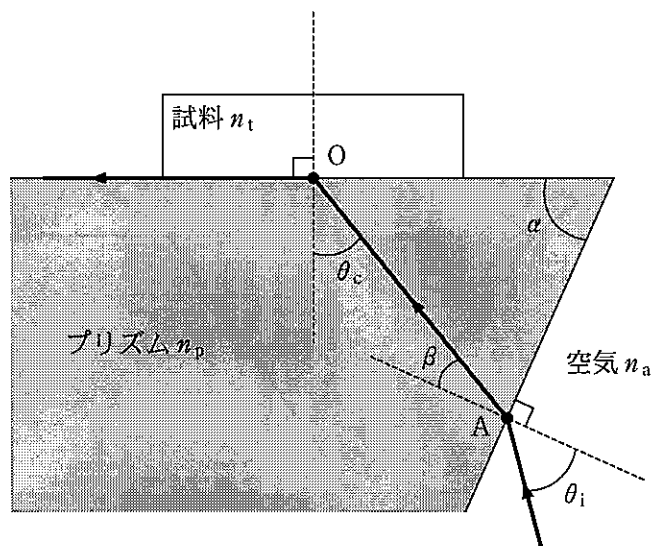


図2

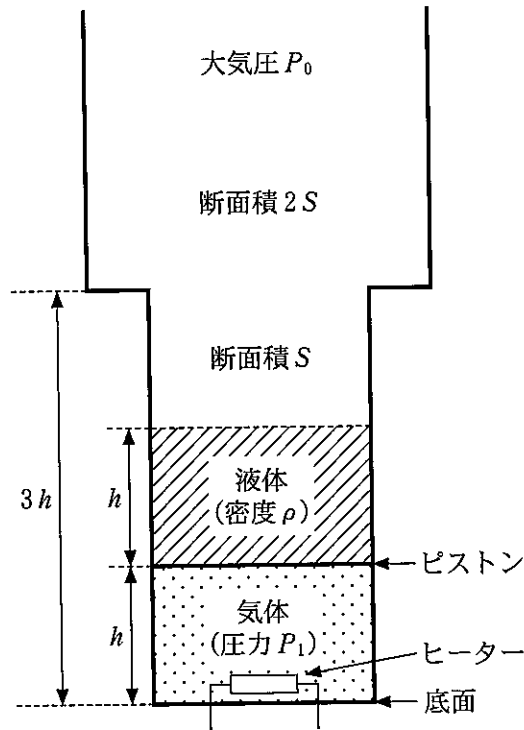
問4 n_t を n_p , θ_c を用いて表せ。

問5 点 A において、 n_a , n_p と θ_i , β の関係式を示せ。また、 θ_c を α , β で表せ。

問6 n_t を n_a , n_p , α , θ_i を用いて表せ。

問 7 図 2 の系において, $n_a = 1.0$, $\alpha = 90^\circ$, $n_p = 1.5$ であり, 入射角が $\theta_i = 30^\circ$ のとき, プリズム内に進入した屈折光は点 O において臨界角の条件を満たした。屈折率 n_t を有効数字 2 桁で求めよ。

- 4 図のように、水平な底面に鉛直に立つ十分に高い円筒容器があり、その断面積は底面から高さ $3h$ 以下では S 、 $3h$ より上では $2S$ となっている。円筒容器の底には、 n [mol] の単原子分子の理想気体が厚さの無視できる面積 S の円盤状ピストンで閉じ込められており、ピストン上部には深さ h の液体がおもりとして載っている。初め、ピストンの位置は底面から高さ h であり、気体の圧力は P_1 であった。



図

気体は底面に設置されたヒーターにより加熱が可能であり、初期状態ではヒーターは止めてある。熱移動はヒーターと気体との間のみである。また、ヒーターの体積、容器とピストンや液体との摩擦、液体の膨張や蒸発、気体の質量は無視できる。ピストンは常に水平に保たれているとする。

大気圧は P_0 であり、以下では「高さ」を底面からの距離として表す。さらに、液体の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R とする。 $h = \frac{5P_0}{\rho g}$ とし、以下の問に答えよ。

問 1 閉じ込められた気体の圧力 P_1 を P_0 を用いて表せ。

次に、ヒーターにより気体をゆっくりと加熱し、ピストンの高さを $2h$ まで上昇させた。以下の問では、 P_0 、 S 、 h のうち必要な記号を用いて答えよ。

問 2 ピストンが高さ h から $2h$ まで移動する間の気体のした仕事 W_A と気体の内部エネルギーの変化量 ΔU_A 、気体の吸収した熱量 Q_A を求めよ。

さらに気体をゆっくりと加熱し、ピストンの高さが z ($2h \leq z \leq 3h$) となった場合を考える。

問 3 気体の膨張とともに、気体の圧力 P は減少していった。 P を z を含んだ式で表せ。また、 $2h \leq z \leq 3h$ における圧力 P と気体の体積 V の関係を答案用紙の P - V 図に示せ。ただし、各軸には $z = 2h$ と $3h$ での体積と P_0 を用いた圧力を必ず記すこと。

問 4 ピストンがある高さ z_T のとき、気体の温度は下がり始めた。 z_T を求めよ。

問 5 一方、ピストンをゆっくりと押し上げるために必要なヒーターの出力は徐々に下がり始め、ピストンがある高さ z_Q に達するとヒーターの出力が 0 となった。 z_Q を求めよ。

※印欄には記入しないこと。
解答は右のケイ線をはみ出さないこと。

1

問 1

速さ = _____ ※

問 2

$v =$ _____ ※

問 3

$t =$ _____ ※

問 4

$\tan \theta' =$ _____ ※

問 5

$\cos \theta =$ _____ $\sin \theta =$ _____ ※

問 6

$l =$ _____ ※

1 ※

1 ※

※印欄には記入しないこと。
解答は右のケイ線をはみ出さないこと。

(理学部・工学部)

2

問 1

$t_1 =$ _____ 速さ = _____

※

問 2

電流の大きさ = _____ 電流の向き : _____

※

問 3

合力の x 成分 = _____

※

問 4

電流の大きさ = _____ 電流の向き : _____

※

問 5

合力の x 成分 = _____

※

問 6

$v_c =$ _____ $X =$ _____

※

問 7

単位時間当たりのジュール熱 = _____

※

問 8

$t_3 - t_1 =$ _____ ジュール熱 = _____

※

2

※

2

※

※印欄には記入しないこと。
解答は右のケイ線をはみ出さないこと。

3

問 1

※

問 2

光路差 = _____

※

問 3

光路差 = _____

暗くなる条件

$n_2 < n_3$ の場合: _____

※

$n_2 > n_3$ の場合: _____

問 4

$n_t =$ _____

※

問 5

関係式: _____ $\theta_c =$ _____

※

問 6

$n_t =$ _____

※

問 7

$n_t =$ _____

※

3 ※

3

※

※印欄には記入しないこと。
解答は右のケイ線をはみ出さないこと。

(理学部・工学部)

4

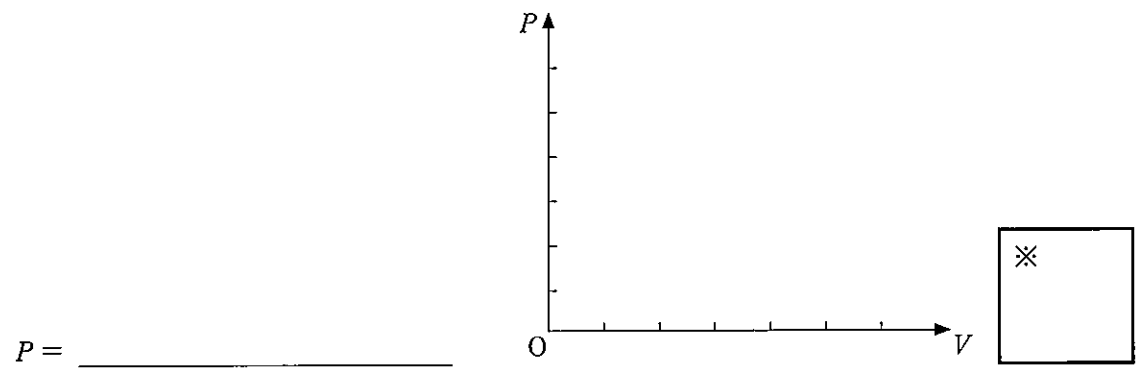
問 1

$P_1 =$ _____ ※

問 2

$W_A =$ _____
 $\Delta U_A =$ _____ ※
 $Q_A =$ _____

問 3



問 4

$z_T =$ _____ ※

問 5

$z_Q =$ _____ ※

4 ※

4 ※