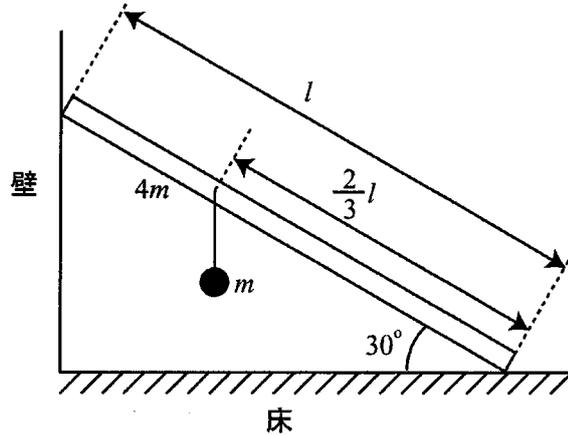


# 物 理

〔問 1〕 次の設問 (1) ～ (4) に答えよ。計算問題は、導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

(1) 図のように、長さが  $l$  で質量が  $4m$  の一様な細い棒を壁に立てかけた。棒と床面のなす角は  $30^\circ$  で、棒と壁の間では摩擦がなく、棒と床との間では摩擦がはたらいっている。さらに、床側から棒に沿って測った距離が  $\frac{2}{3}l$  となる位置に、軽い糸で質量  $m$  の小球をつり下げた。重力加速度の大きさを  $g$  として以下の各問いに答えよ。



① 壁が棒を押す力の大きさを求めよ。

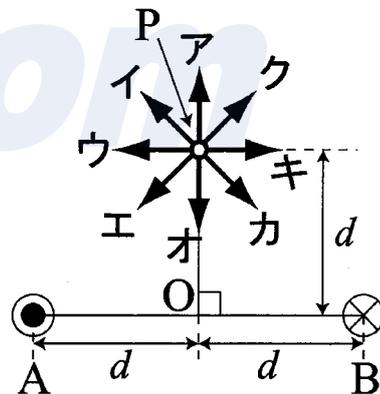
② 床側から棒に沿って測った距離が  $\frac{2}{3}l$  から  $l$  の間で、棒のどの位置に小球をつり下げても棒が滑らないための、棒と床面との間の静止摩擦係数  $\mu$  の満たすべき条件を求めよ。

(2) 音速は、 $20^\circ\text{C}$ の空気中では  $344\text{ m/s}$ 、水中では  $1480\text{ m/s}$  である。 $20^\circ\text{C}$ の空気中で振動数  $450\text{ Hz}$  の音源から出た音が、同じ温度の水中に進むとき、水中での音の振動数はいくらか。単位も記すこと。

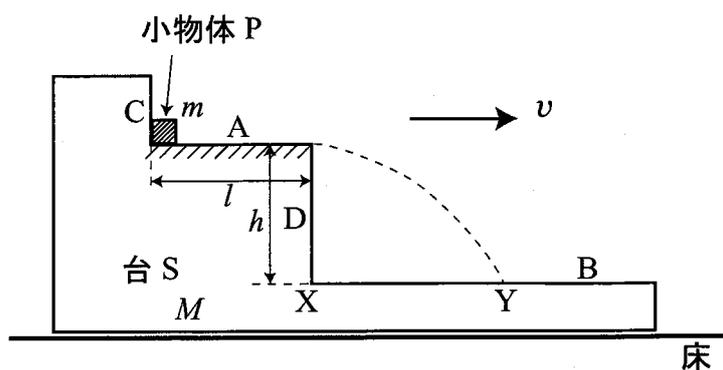
(3) 地上で振らせたとき、周期が  $T_0$  である単振動を行う単振り子がある。この単振り子を一定の大きさの加速度で加速しながら上昇しているエレベーターの中で振らせたときの周期を  $T_1$ 、同じ大きさの加速度で加速しながら下降しているエレベーターの中で振らせたときの周期を  $T_2$  とする。ただし、エレベーターの加速度は、重力加速度の大きさよりも小さく、空気抵抗の影響は無視できるものとする。このとき、 $T_0$ 、 $T_1$ 、 $T_2$  の間の関係として、次の (ア) ~ (ケ) の中から正しいものを選び、記号で答えよ。

- (ア)  $T_0 < T_1 < T_2$       (イ)  $T_0 < T_2 < T_1$       (ウ)  $T_1 < T_0 < T_2$       (エ)  $T_1 < T_2 < T_0$   
 (オ)  $T_2 < T_1 < T_0$       (カ)  $T_2 < T_0 < T_1$       (キ)  $T_0 < T_1 = T_2$       (ク)  $T_1 = T_2 < T_0$   
 (ケ)  $T_0 = T_1 = T_2$

(4) 図のように、十分に長い2本の導線A、Bを、原点Oを中心に水平方向に  $2d$  離して平行に張った。導線Aには紙面に垂直に裏から表へ、導線Bには紙面に垂直に表から裏へ、同じ大きさ  $I$  の電流を流した。原点Oから紙面内で図の真上の方向に  $d$  離れた点Pでの磁場の大きさを求めよ。また、点Pでの磁場の向きを、図のア~クの中から選べ。



〔問2〕 図のような水平面A、Bと垂直面C、Dをもつ、質量 $M$ の台Sがあり、台Sの面A上に質量 $m$ の小物体Pが置かれている。面Aの左右方向の長さは $l$ であり、面Aは面Bから高さ $h$ のところにありとする。ただし、台Sと床の間の摩擦力は無視できるほど小さいが、小物体Pと面Aとの間には摩擦があり、静止摩擦係数は $\mu$ 、動摩擦係数は $\mu'$ であるとする。また、台Sの質量 $M$ は、小物体の質量 $m$ に比べて大きく、小物体Pおよび台Sは紙面に垂直な方向には運動しない。重力加速度の大きさを $g$ として、台Sと小物体Pの運動について以下の各問いに答えよ。計算問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。



摩擦係数は $\mu$ 、動摩擦係数は $\mu'$ であるとする。また、台Sの質量 $M$ は、小物体の質量 $m$ に比べて大きく、小物体Pおよび台Sは紙面に垂直な方向には運動しない。重力加速度の大きさを $g$ として、台Sと小物体Pの運動について以下の各問いに答えよ。計算問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。

I. はじめ、小物体Pは面A上で面Cと接触して置かれており、台S全体は床に対して図の右の方向に一定の速さ $v$ で等速度運動をしていた。

(1) 床に静止している観測者から見た、小物体Pと台Sとを合わせた全体の運動量の大きさを求めよ。

II. その後、きわめて短い時間 $\Delta t$ の間に台Sに一定の力が加えられた結果、台Sは左の方向にはじめの2倍の速さ $2v$ で等速度運動をした。

(2) 時間 $\Delta t$ の間に、台Sに生じた加速度の大きさを求めよ。

III. 台Sが運動の向きを変えた後、小物体Pは面Cを離れ、面A上で運動を始めた。

(3) 小物体Pが面Cを離れるための静止摩擦係数 $\mu$ の大きさの条件を求めよ。

(4) 小物体Pが面Cを離れるときの、台Sに対する速さを求めよ。ただし、時間 $\Delta t$ の間は、小物体Pの面A上での移動は無視できるとする。

IV. その後、小物体Pは面A上から飛び出し、面B上に落下した。

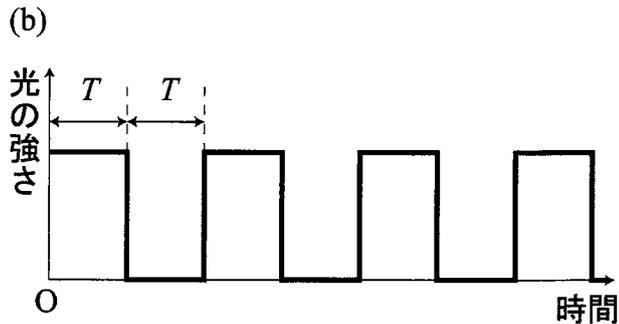
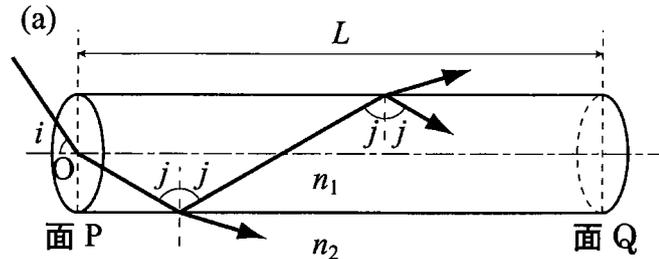
(5) 小物体Pが面Aから飛び出す直前に、床に静止している観測者から見た小物体Pの速度を求めよ。ただし、小物体Pが面A上を移動する間、台Sの速さは $2v$ のままであったとする。また、右向きに動くときの速度を正とせよ。

(6) 面Dと面Bの交線Xから、小物体Pが落下した面B上の点Yまでの距離を求めよ。

(このページは白紙である)

*Windom*

〔問3〕図(a)のように、屈折率 $n_1$ の透明な材質で作られた全長 $L$ のまっすぐな円柱状の光ファイバーがある。この光ファイバーを屈折率 $n_2$ の溶液中に置き、左端の面Pの中心Oを通して単色光を入射させる。この入射角を $i$ とする。光は面Pの境界で屈折して入射し、その後光ファイバーの壁面に入射角 $j$ で入射するが、一部は屈折してファイバーの外に失われ、一部が反射角 $j$ で反射しながら進み、右端の面Qに到達する。ただし、面Pと面Qは、中心軸に垂直であり、 $L$ はファイバーの直径よりも十分に長いものとする。また、 $n_1$ と $n_2$ の間には $n_1 > n_2$ の関係があるとして、以下の各問いに答えよ。計算問題は導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。



I. まず、光の入射角と反射角との関係について考える。面Pにおける入射角が、ある特別な値 $i_c$ かそれより小さくなったとき、光はファイバーの外に失われることなく反射し、面Qに到達した。面Pにおける入射角が $i_c$ であるときの光ファイバーの壁面における光の入射角を $j_c$ とする。

- (1) このように、光の屈折率の異なる媒質間において、光が屈折率の大きい媒質側から屈折率の小さい媒質側に漏れることなく反射することを何というか。
- (2)  $\sin j_c$ を、 $n_1$ 、 $n_2$ を用いて表せ。
- (3)  $\sin i_c$ を、 $n_1$ 、 $n_2$ を用いて表せ。

II. 次に、光の面Pへの入射角 $i$ と、光が面Pから面Qまで到達するのにかかる時間の関係を考える。ただし、真空中の光の速さを $c$ とする。

- (4)  $i=0$ のときに、光が面Pから面Qまで到達するのにかかる時間を、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $L$ 、 $c$ から必要なものを用いて表せ。
- (5)  $i=i_c$ のときに、光が面Pから面Qまで到達するのにかかる時間を、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $L$ 、 $c$ から必要なものを用いて表せ。

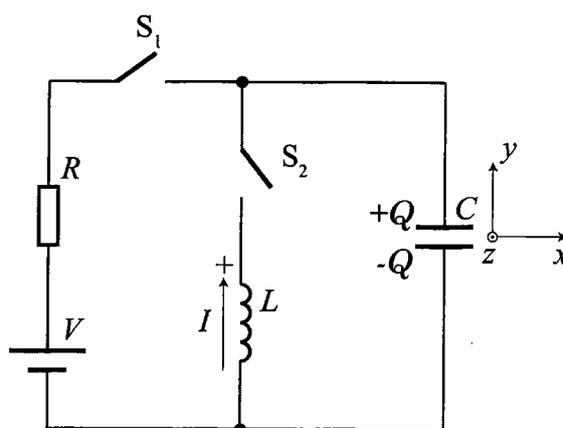
III. 図(b)のように時間 $T$ の幅で明暗をくり返す長方形の光パルスを、0から $i_c$ までのさまざまな入射角で面Pの中心Oから入射させて面Qで観測すると、光パルスの明るい時間が長くなり、暗い時間が短くなった。

- (6) 面Qで観測する光パルスの明るい部分が重なり、明るいままになる $T$ の条件を、 $n_1$ 、 $n_2$ 、 $L$ 、 $c$ から必要なものを用いて表せ。

(このページは白紙である)

*Windom*

〔問4〕図のように、起電力 $V$ の電池、インダクタンス $L$ のコイル、抵抗値 $R$ の抵抗、容量 $C$ のコンデンサーが、スイッチ $S_1$ および $S_2$ で接続された回路がある。最初、スイッチ $S_1$ および $S_2$ は開かれていて、コンデンサーに蓄えられた電気量は0であるとする。電池の内部抵抗や導線およびコイルの抵抗は無視できるものとして、以下の各問いに答えよ。計算問題は、導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。



I. まず、スイッチ $S_1$ を閉じた。

- (1) スイッチ $S_1$ を閉じた直後に抵抗に流れた電流を求めよ。
- (2) 十分時間が経った後に、コンデンサーに蓄えられた電気量の大きさを求めよ。
- (3) 十分時間が経った後に、コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーを求めよ。

II. 次に、スイッチ $S_1$ を開き、スイッチ $S_2$ を閉じた。スイッチ $S_2$ を閉じた瞬間の時刻 $t$ を $t=0$ とする。

- (4) コンデンサーに蓄えられた電気量が振動するとき、振動の周期を求めよ。
- (5) コイルを流れる電流の最大値を求めよ。
- (6) 図のようにコンデンサーの上側の極板に蓄えられている電気量 $Q$ とコイルを流れる電流 $I$ は、時間 $t$ とともにどのように変化するかを、 $Q$ は実線で、 $I$ は破線で、それぞれ同じグラフに図示せよ。電流 $I$ は、コイルを上向きに流れる方向を正の方向とする。ただし、(4)で求めた周期を $T$ として、 $0 \leq t \leq 2T$ の範囲を必ず図に含み、また、(2)で求めた電気量を $Q_0$ 、(5)で求めた電流を $I_0$ とし、縦軸に $Q$ と $I$ それぞれについて、最大値と最小値も示すこと。

III. 最後に、II の場合に、コンデンサーから真空中に  $x$  軸方向にのみ電磁波が放射されている場合を考える。ただし、電磁波の放射によって、電流や電磁波は減衰しないものとする。

(7) 図の  $x$  軸方向に放射される電磁波では、 $x$ 、 $y$ 、 $z$  軸方向のそれぞれに対応する電場の 3 つの成分  $E_x$ 、 $E_y$ 、 $E_z$  と磁場の 3 つの成分  $H_x$ 、 $H_y$ 、 $H_z$  は  $x$  軸方向に沿ってどのように空間変化しているか、有限の値を持って変動する (常にゼロとなることはない) 成分のものだけを 2 つ選び、グラフに図示せよ。ただし、電磁波の波長を  $\lambda$  として  $0 \leq x \leq 2\lambda$  の範囲を必ず図に含み、縦軸にはどの成分を示しているかを必ず記入すること。時刻は各成分が有限の値を持つ任意の時刻を選んで良いが、2 つの成分は同時刻のものを示すこと。各成分の最大値・最小値を明示する必要はない。紙面の垂直手前方向を  $z$  軸の正の方向とする。

(8)  $L = 0.050 \text{ mH}$ 、 $C = 0.020 \text{ } \mu\text{F}$  の場合、真空中に放射される電磁波の波長を求めよ。ただし、光の速さを  $3.0 \times 10^8 \text{ m/s}$  とする。単位も記すこと。

(9) (8) の波長の電磁波は、次の (ア) ~ (キ) のいずれであるかを選び、記号で答えよ。

(ア) 長波 (イ) 短波 (ウ) 赤外線 (エ) 可視光線 (オ) 紫外線

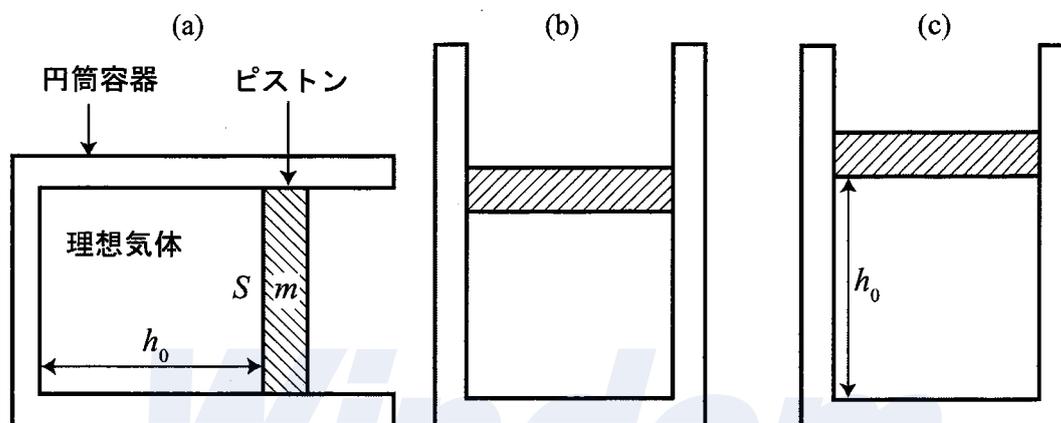
(カ) X 線 (キ)  $\gamma$  線

(10) 電磁波のうち、(9) で記されたもの以外にも、「超短波」や「マイクロ波」とよばれるものがある。この「超短波」や「マイクロ波」は、医療においてどのように用いられているか。例を一つあげて、「超短波」や「マイクロ波」との関係を含めて説明せよ。

Windom

〔問5〕図のように、単原子分子からなる物質質量  $n$  の理想気体が、断面積  $S$  の円筒容器に閉じ込められている。円筒容器に垂直に取り付けられたピストンの質量は  $m$  であり、円筒容器内を円筒の中心軸方向になめらかに動く。円筒容器内部には、中の気体の温度を調節できる熱源が取り付けられており、円筒容器やピストンは断熱材でできている。また、円筒容器の外の圧力は、つねに  $p$  である。

最初、図(a)のように、円筒容器は中心軸が水平になるように置かれており、ある温度でピストンの下面は、円筒容器内部の底面から距離  $h_0$  の位置で静止していた。気体定数を  $R$ 、重力加速度の大きさを  $g$  として以下の各問いに答えよ。ただし、理想気体の温度・圧力は容器内でもいつも同様であるとする。計算問題は、導出過程も簡潔にまとめて記し、解答は解答欄に記すこと。



I. まず、理想気体の温度を一定に保ちながら、図(b)のように円筒容器を中心軸が鉛直方向になるまでゆっくりと回転させた。

(1) 図(b)の状態でのピストン下面から円筒容器内部の底面までの距離を求めよ。

II. 次に、理想気体に熱を加えたところ、ピストンがゆっくりと上昇し、図(c)のようにピストンの下面から円筒容器内部の底面までの距離が  $h_0$  となった。

(2) 図(c)の状態での理想気体の温度はいくらか。

III. 図(b)の状態から図(c)の状態に移る過程を考える。

(3) 理想気体が外部にした仕事はいくらか。

(4) 理想気体の内部エネルギーの変化はいくらか。

(5) 理想気体に加えられた熱量はいくらか。