

平成 29 年度入学者選抜試験問題

工 学 部

(高分子・有機材料工学科, 化学・バイオ工学科,
情報・エレクトロニクス学科,
機械システム工学科, システム創成工学科)

理 科 (物 理)

前 期 日 程

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 この問題冊子の本文は、1 ページから 8 ページまでです。
- 3 解答は、物理専用の解答用紙を使用してください。
- 4 問題は〔Ⅰ〕,〔Ⅱ〕,〔Ⅲ〕,〔Ⅳ〕からなっています。**解答は問題番号と一致した解答用紙**に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には、計算過程も記入してください。
- 5 すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は、採点できないことがあります。
- 6 試験終了後、問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

[I]

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (9) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

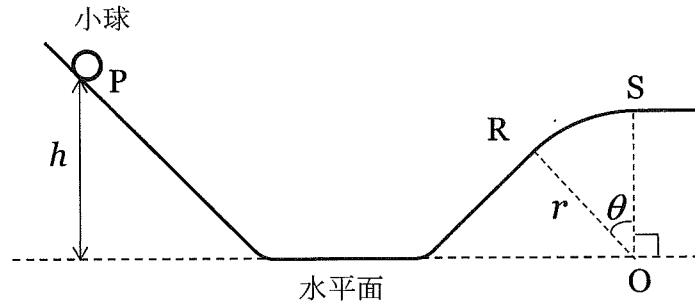


図 1

[A] 図 1 のように、水平面となめらかに接続されている 2 つの斜面がある。斜面の区間 RS は点 O を中心とする半径 r [m] の円弧で、 $\angle ROS = \theta$ である。水平面から高さ h [m] ($h > r$) にある斜面上の点 P から質量 m [kg] の小球が初速度 0 ですべり始め、水平面を通過した後、円弧面から離れずに点 S に達した。全ての面は摩擦がないとし、重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

- (1) 水平面を通過しているときの小球の速さ v_1 [m/s] を、 g, h を用いて表せ。
- (2) 点 R を通過した直後の小球の速さ v_R [m/s] を、 θ, g, h, r を用いて表せ。
- (3) 点 R を通過した直後に円弧面から小球にはたらく垂直抗力 N [N] を、 θ, g, m, r, v_R を用いて表せ。
- (4) 点 R を通過した小球が円弧面から離れずに点 S に達するためには、 h はある高さ h_{\max} [m] 以下でなければならない。 h_{\max} を、 θ, r を用いて表せ。

[B] 図 2 のように、高さの異なる水平面 PQ と RS があり、水平面 RS 上には質量 M [kg] の台車がある。台車の右端には、質量 m_B [kg] の小物体 B が軽い伸縮しない糸によってつながれている。

はじめ、台車は垂直面 QR に接しており、水平面 PQ と台車上面はなめらかにつながっている。また、糸はたるんでおり、台車と小物体 B は静止している。水平面 PQ から質量 m_A [kg] の小物体 A が右向きに進み、台車の上面に乗り移った後、あらい面 EF をすべることで台車は右向きに進みはじめた。面 EF と小物体 A との間の動摩擦係数は μ' であり、水平面 RS と台車および小物体 B と台車の間の摩擦は無視できるものとする。また、糸はびんと張っても小物体 B は点 F に届かないものとする。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。

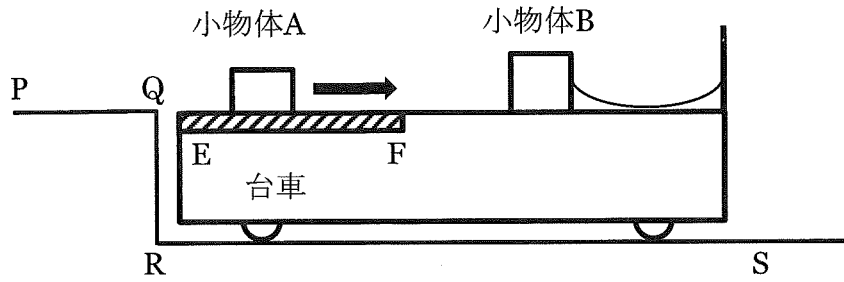


図2

- (5) 小物体Aが台車に乗り移った直後に、台車が小物体Aから受ける水平方向の力 f [N]を、 μ', g, m_A を用いて表せ。
- (6) 静止している観測者から見た、糸がたるんでいるときの台車の加速度 α_1 [m/s^2]を、 μ', g, m_A, m_B, M から必要な記号を用いて表せ。

やがて、糸は台車に引っ張られて、静かにぴんと張った状態になり、再びたるまなかった。しばらくして、小物体Aは点Fに到達する前に台車に対して静止した。ここで、糸が張った後、小物体Aが台車に対して静止するまでの運動を考える。

- (7) 静止している観測者から見た台車の加速度 α_2 [m/s^2]を、 μ', g, m_A, m_B, M から必要な記号を用いて表せ。
- (8) 糸の張力 T_1 [N]を求めよ。

小物体Aが台車に対して静止した後は、台車、小物体A、小物体Bが一体となって運動した。

- (9) 糸の張力 T_2 [N]を求めよ。

〔Ⅱ〕

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (9) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 図 1 のように、 xy 平面上で原点 O から a [m] 離れた点 $A(a, 0)$ に電気量 $+Q$ [C] ($Q > 0$) の点電荷を固定し、点 $B(-a, 0)$ に電気量 $-2Q$ [C] の点電荷を固定した。なお、クーロンの法則の比例定数を k [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] とする。

- (1) 点 A と点 B にある 2 つの点電荷間にはたらく静電気力の大きさ F [N] を、 a, k, Q を用いて表せ。
- (2) 点 $C(0, a)$ における電界(電場)の強さ E_C [N/C] を、 a, k, Q を用いて表せ。
- (3) 次に、 x 軸上の点 $P(p, 0)$ に電気量 $+Q$ の点電荷を固定したところ、原点 O の電界の強さが 0 (ゼロ) となった。 p [m] を、 a を用いて表せ。

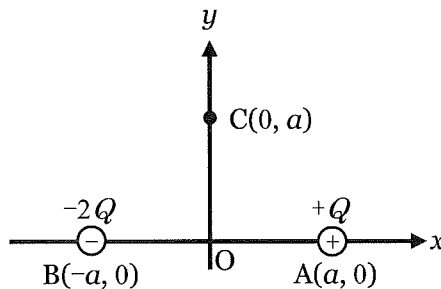


図 1

[B] 図 2 のように、真空中で、各辺がそれぞれ x 軸、 y 軸、 z 軸に平行な直方体形の領域 I および領域 II がある。高さが d [m] の領域 I には、強さ E [N/C] の一様な電界があり、領域 II には磁束密度 B [T] の一様な磁界(磁場)がある。これら 2 つの領域以外には電界や磁界はない。質量 m [kg]、電気量 Q [C] の陽イオンが、領域 I の下側から速さ v_1 [m/s] で z 軸に平行に入射した。この陽イオンは、 z 軸に平行な方向に加速された後、速さ v_2 [m/s] ($v_2 > v_1$) で領域 I を出て、領域 II に入射した。次に、入射した陽イオンは xz 面内で半円の軌道を描いて、図 2 のように入射位置から距離 L [m] だけ離れたところから外側へ出た。なお、重力の影響は無視できるものとする。

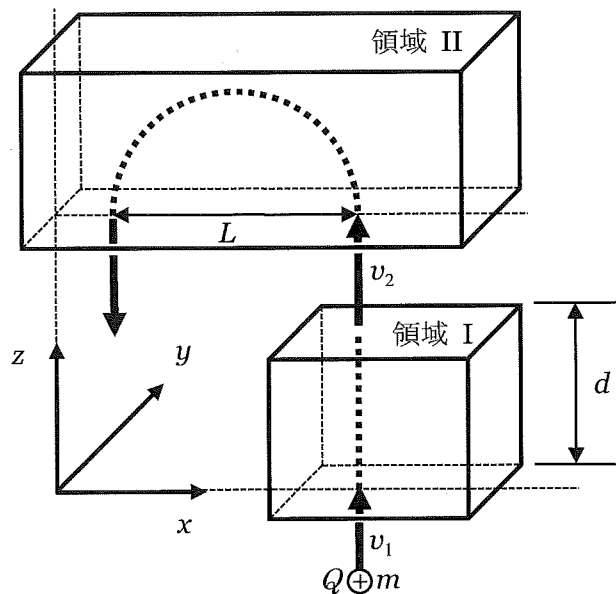


図 2

- (4) 領域 I の電界の向きと、領域 II の磁界の向きを、以下の選択肢 (ア) ~ (カ) の中から選び、それぞれ記号で答えよ。
- (ア) x 軸に平行な正の向き, (イ) y 軸に平行な正の向き, (ウ) z 軸に平行な正の向き
 (エ) x 軸に平行な負の向き, (オ) y 軸に平行な負の向き, (カ) z 軸に平行な負の向き
- (5) 陽イオンが領域 I にあるときに電界から受ける静電気力の大きさ F_m [N], および陽イオンが領域 I に入ってから出るまでにされた仕事 W [J] を, d, m, E, Q の中からそれぞれ必要な記号を用いて表せ。
- (6) 陽イオンが領域 I から出たときの運動エネルギー U [J] を, d, m, v_1, E, Q の中から必要な記号を用いて表せ。
- (7) $v_2 = 2v_1$ となる電界の強さ E を, d, m, v_1, Q を用いて表せ。
- (8) 領域 II で陽イオンが描く半円の直径 L を, m, v_2, B, Q を用いて表せ。
- (9) 陽イオンが領域 II に入ってから出るまでの時間 t [s] を, 円周率 π , および, m, B, Q を用いて表せ。

〔Ⅲ〕

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (7) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 単振動をする波源から、 x 軸の正の向きに速さ v [m/s] で伝わる正弦波を考える。この正弦波の振幅を a [m]、周期を T [s] とし、原点 ($x=0$) にある波源の時刻 t [s] での変位 y [m] が単振動の式

$$y = a \sin\left(\frac{2\pi}{T}t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1)$$

で表されるとする。この波が原点から位置 x [m] まで進むのにかかる時間は $\frac{x}{v}$ である。よって、時刻 t

における位置 x での媒質の変位 y は、その時刻より $\frac{x}{v}$ だけ前の時刻 $\boxed{\text{①}}$ における原点での変位と同じである。式 (1) の t を $\boxed{\text{①}}$ で置きかえて、時刻 t 、位置 x における媒質の変位を表す正弦波の式

$$y = \boxed{\text{②}} \quad (2)$$

が得られる。ここで波長を λ [m] とすれば、 λ と T および v の間には $\lambda = \boxed{\text{③}}$ の関係があるので、式 (2) を λ と T を用いて書き改めれば、次のような正弦波の式が得られる。

$$y = \boxed{\text{④}} \quad (3)$$

(1) 上の文章の $\boxed{\text{①}}$ ~ $\boxed{\text{④}}$ に入る適切な数式を記せ。

(2) 別の単振動の式が

$$y = 2a \sin\left(\frac{4\pi}{T}t + \frac{3\pi}{2}\right) \quad (4)$$

で表されるとき、式 (4) および式 (1) を表すグラフとして最も適切なものを次の (ア) ~ (エ) の中から 1 つ選べ。

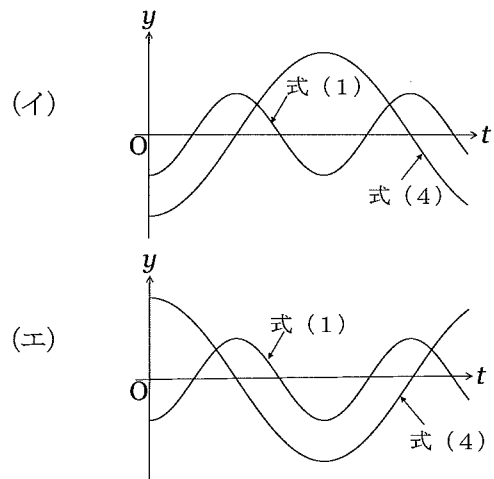
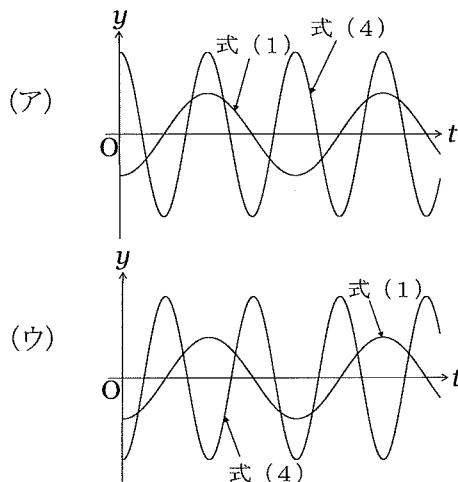


図1は、正弦波が x 軸の正の向きに伝わる時の、ある時刻における各点での媒質の変位を示したものであり、この時刻から時間 t_1 [s]だけ経過したときに初めて再び同じ波形となった。

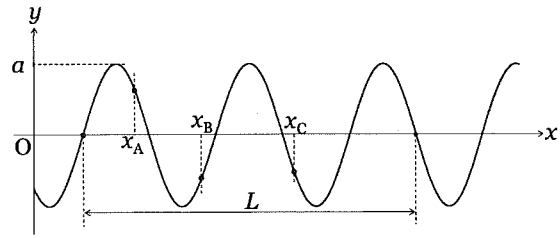


図1

(3) 図1からわずかに時間が進むと、点 x_A における媒質の変位 y が正の向きに変化した。このときの点 x_B および点 x_C における y の変化の向きについて正しいものを次の(ア)～(エ)の中から1つ選べ。

- (ア) 点 x_B で正、点 x_C で正の向き (イ) 点 x_B で負、点 x_C で正の向き
 (ウ) 点 x_B で正、点 x_C で負の向き (エ) 点 x_B で負、点 x_C で負の向き

(4) この波の周期 T 、速さ v 、および波長 λ を、図中の長さ L [m]および時間 t_1 を用いて表せ。

[B] 空気中での音の速さ v_{Air} [m/s]は、温度 θ [°C]が $-20 \sim 40^\circ\text{C}$ のとき次式で表される。

$$v_{\text{Air}} = 331.5 + 0.6\theta \tag{5}$$

(5) 振動数 300 Hz の音が 20°C の室内から、室内よりも低温の室外に伝わっている。室内と室外の音の波長の差が 2 cm のとき、室外の温度 θ_0 [°C] を計算せよ。なお、音の振動数は室内と室外で変化しない。

一方、気体中を伝わる音の速さ v_{Gas} [m/s]は、圧力 p [Pa]、定圧モル比熱と定積モル比熱の比 γ および気体の密度 ρ [kg/m³]を用いて次のようにも表すことができる。

$$v_{\text{Gas}} = \sqrt{\frac{\gamma p}{\rho}} \tag{6}$$

(6) 同じ温度、同じ圧力における水素中の音の速さ v_{H} [m/s]と酸素中の音の速さ v_{O} [m/s]の比 $\frac{v_{\text{H}}}{v_{\text{O}}}$ を求めよ。

ただし、水素および酸素はいずれも $\gamma = \frac{7}{5}$ の理想気体とし、酸素の密度は水素の密度の16倍であるとする。

(7) 空気を理想気体とし、 $\theta = 0^\circ\text{C} (= 273 \text{ K})$ のときに空気中の音の速さが $v_{\text{Air}0} = 331.5 \text{ m/s}$ であることを用いて、 v_{Gas} の式(6)から気体が空気するときの v_{Air} の式(5)を導け。ただし、解答には次の近似式を用いてもよい。

$$|\alpha| \text{ が } 1 \text{ に比べて十分に小さいとき } (1+\alpha)^n \cong 1+n\alpha$$

[IV]

次の文章を読んで、以下の問いに答えよ。解答は、小問番号 (1), (2), …, (9) を明記し、途中の計算過程も記入して、答えに下線を引くこと。

[A] 図 1 に示すように、真空中で陰極から飛び出した電子を V [V] の電圧で加速して金属（陽極）に衝突させたところ、図 2 に示すようなスペクトルのX線が発生した。電子の電気量の大きさを e [C]、質量を m [kg] とし、プランク定数を h [J·s]、真空中の光の速さを c [m/s] とする。

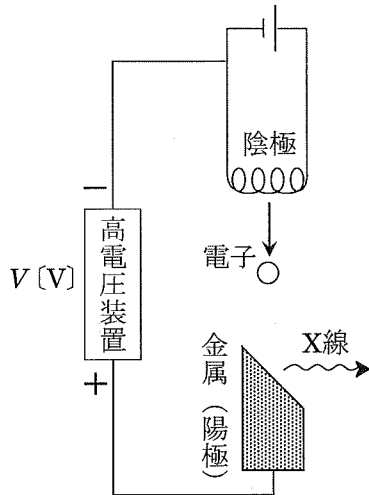


図 1

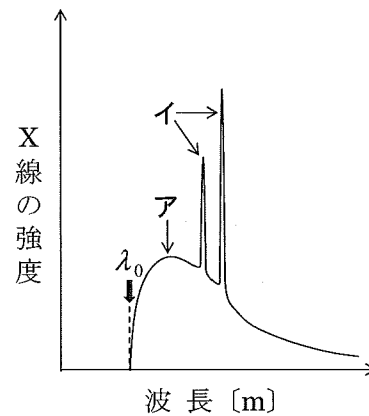


図 2

- (1) 図 2 で、強度が波長に対して連続的に変化するX線（図中のア）、および、金属の種類によって特定の波長に強く現れるX線（図中のイ）はそれぞれ何と呼ばれているか、名称を答えよ。
- (2) 電圧 V で加速された電子が衝突して発生するX線の最短波長 λ_0 [m] を、 c , e , h , V を用いて表せ。なお、電子が陰極から飛び出した際の初速度は無視してよい。

図 3 に示すように波長 λ_1 [m] のX線を物質に照射したところ、物質中の電子が入射方向となす角 ϕ の方向に速さ v [m/s] ではね飛ばされるとともに、入射方向となす角 θ で波長 λ_2 [m] ($\lambda_2 > \lambda_1$) のX線が散乱された。(a)この現象は、X線の光子が物質中の電子に衝突して、自身の運動量と運動エネルギーの一部を与えるというX線の粒子性を示している。

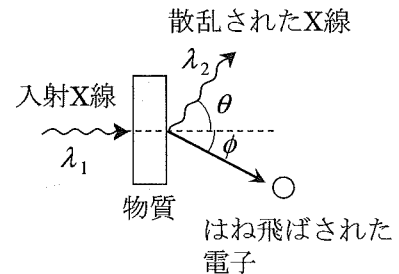


図 3

- (3) 下線部(a)の現象は何と呼ばれているか、その名称を答えよ。
- (4) はね飛ばされた電子の、入射X線に平行な方向の運動量 p_x [kg·m/s] を、 λ_1 , λ_2 , h , θ を用いて表せ。

[B] ウラン 238 ($^{238}_{92}\text{U}$) とポロニウム 210 ($^{210}_{84}\text{Po}$) の放射性崩壊について考える。

(5) $^{238}_{92}\text{U}$ の原子核は 1 回の α 崩壊でトリウム (Th) に変化する。質量数と原子番号を明記して、その崩壊の式を書け。

(6) $^{210}_{84}\text{Po}$ は 1 回の α 崩壊で安定な原子核に変化し、その半減期は 138 日である。 $^{210}_{84}\text{Po}$ の数が初めの $\frac{1}{16}$ に

なるのは何日後か計算せよ。

図 4 に示すように、 $^{210}_{84}\text{Po}$ の α 崩壊に伴う現象を考える。静止した状態の $^{210}_{84}\text{Po}$ 原子核が α 崩壊して、運動エネルギー E_α [J] の α 粒子を放出した。 α 崩壊によって生じた新しい原子核 A と α 粒子の速さをそれぞれ v_A [m/s]、 v_α [m/s] で表し、真空中の光の速さを c [m/s] とする。 $^{210}_{84}\text{Po}$ および原子核 A の質量をそれぞれ M_{Po} [kg]、 M_A [kg]、 α 粒子の質量を M_α [kg] とする。

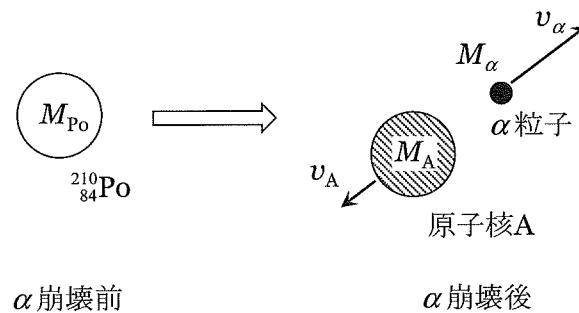


図 4

(7) α 崩壊前後で質量の総和が変化した。この質量変化により放出されるエネルギー E [J] を、 M_{Po} 、 M_A 、 M_α および c を用いて表せ。

(8) α 崩壊前後の運動量の保存を式で表せ。

(9) 崩壊後の原子核 A と α 粒子の運動エネルギーの和が $E_\alpha \left(1 + \frac{M_\alpha}{M_A}\right)$ であることを導け。