

物 理（後期）

I 地表の点 P から、鉛直上方へ探査機を積んだ宇宙船を打ち上げた。地球の中心を点 O、質量を M [kg]、半径を R [m]、万有引力定数を G [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{kg}^2$]として、①～⑦の空欄を適当な数値または式で埋めよ。ただし、地球の大気や自転・公転からの影響、探査機や宇宙船の大きさは無視する。必要であれば、ケプラーの第三法則「惑星の公転周期の 2 乗とだ円軌道の半長軸の長さの 3 乗の比は、全ての惑星で一定である」を用いよ。

宇宙船を初速度 ① [m/s]に調整して打ち上げると、点 P から $3R$ の点 A で宇宙船の速度がゼロになった。その瞬間、宇宙船の船首を PA に直角をなす方向へ向け、探査機を宇宙船の真後ろに打ち出した。すると宇宙船は、点 O を中心として、速さ ② [m/s]、周期 ③ [s]の等速円運動をするようになった。一方、探査機はだ円軌道を描いて地球を周回し、地球から最も離れた点 B を通過したとき、距離 OB は $14R$ であった。点 B での探査機の速さは、点 A での速さの ④ 倍になっていた。これらのことから、点 A での探査機の速さは ⑤ [m/s]と求まる。宇宙船と探査機を合わせた質量が m [kg]のとき、探査機の質量は (⑥) $\times m$ でなければならない。宇宙船が地球の周りを ⑦ 回転したとき、宇宙船は点 A で再び探査機に出会う。

Ⅱ 遮音性・気密性の高い部屋の中に、張力を調整できる2本の弦A、Bが水平に張られ、その上に長さを自由に変えられる細長い両端の開いた円筒（開管）が垂直に吊るされている。2本の弦は均質な同じ材料でできており、弦Aの長さは30.0 cm、弦Bの長さ、断面積は弦Aの4倍である。弦を弾いて音を鳴らし、円筒の長さを変えると共鳴音が聞こえることがある。弦の振動は空気を通してのみ円筒に伝わるものとする。円筒で共鳴が起こる時の開口端補正は無視できるものとし、空気中の音速を340.0 m/sとして、以下の間に小数点以下1桁まで答えよ。

- (1) 弦Aを弾いたところ、440.0 Hzの基本振動による音（基本音）が鳴った。このときの弦Aを伝わる波の速さはいくらか。
- (2) 弦Bの張力が弦Aと同じとき、弦Bを弾いたときに鳴る基本音の周波数はいくらか。なお、弦を伝わる波の速さは、弦の線密度の二乗根に反比例し、張力の二乗根に比例する。
- (3) 弦Aの張力を $\frac{1}{4}$ 倍にし、弦Bの張力を少しずつ大きくしながら弦Aと弦Bを同時に弾くと、それぞれの基本音で1秒間に2回のうなりが発生するようになった。この時の弦Bを伝わる波の速さはいくらか。
- (4) 張力が $\frac{1}{4}$ 倍のままの弦Aを弾いて2倍音を発生させた。円筒の長さを変えていくと、ある長さの時に弦Aから発生した2倍音と円筒が共鳴した。この共鳴が円筒内の気柱の最も小さい固有振動数で起こったとすると、この時の円筒の長さは何 cm か。
- (5) 部屋の中を酸素とヘリウムの混合気体で満たしたところ、音速が空気中のときの2倍になった。この状態で弦Aを弾いて基本音を発生させ、円筒の長さを変えていくと、ある長さの時に共鳴が起こった。この共鳴が円筒内の気柱の最も小さい固有振動数で起こったとすると、この時の円筒の長さは何 cm か。また、円筒で発生する共鳴音の周波数はいくらか。

Ⅲ 図1のような、長さ L [m]、断面積 S [m²]を持つ、均質な金属でできた導体棒の両端に電圧 E [V]を加えて、電流 I [A]を流した。導体棒をつくっている金属の単位体積あたりの自由電子の数を n [個/m³]とし、電子の質量を m [kg]、電気量を $-e$ [C] ($e > 0$)として、以下の文の①～⑨の空欄を v や $\bar{v}$ を用いずに適当な記号や式で埋めよ。

- (1) 導体には自由電子が存在する。導体に電圧を加えると、図2のように自由電子は電場による加速と陽イオンとの衝突による停止（速さ0）を繰り返しながら導体内を運動するものとする。この衝突は一定の時間間隔 t_0 [s]で起こるとして、自由電子の運動を考えてみる。導体内では、強さ[①] [V/m]の様な電場によって自由電子は加速され、その加速度の大きさは[②] [m/s²]で与えられる。電子は速さ0から加速されるとすると、時間 t_0 後の衝突直前の速さ v [m/s]は[③]と求められる。よって、平均の速さ $\bar{v}$ [m/s]は[④]と求められる。
- (2) 導体棒の電気抵抗 R [Ω]と、導体棒をつくっている金属の抵抗率 ρ [Ω・m]を求める。導体棒内のどの自由電子も同じ平均の速さ $\bar{v}$ で移動するとした場合、導体棒を流れる電流 I は $I =$ [⑤] $\times \bar{v}$ で与えられる。抵抗 R は L と S を用いると $\rho \times$ [⑥]と表せるので、抵抗率 ρ は R を用いずに表すと[⑦]となる。

次に、自由電子が導体棒内を進行する際のエネルギー収支を考える。時間 t_0 の間にひとつの電子が加速によって得たエネルギー[⑧] [J]は陽イオンとの衝突で失われ、そのエネルギーは陽イオンの振動のエネルギーに変わる。よって、導体棒全体で単位時間あたりに発生するジュール熱は[⑧] $\times$ [⑨] [W]と求められる。

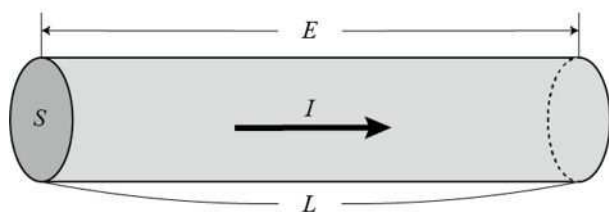


図1

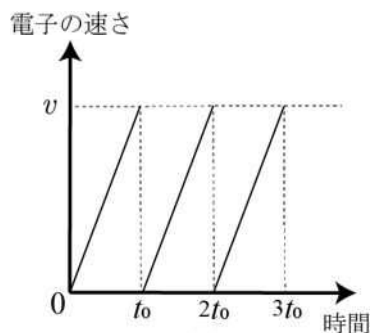
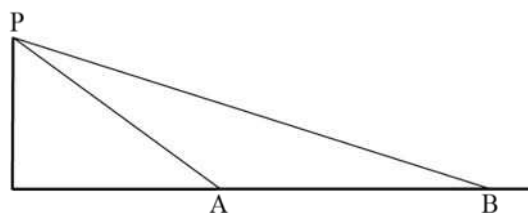


図2

Ⅳ 以下の問に答えよ。

- (1) 水平面から高さ 3 m の P から、長さ 5 m の斜面 PA 及び長さ 10 m の斜面 PB に沿ってふたつの小物体を同時に滑らせた。B に到達するのは (①)。両方とも B を通過したのち、水平面を滑り続けるふたつの小物体の間隔は、(②)。



①と②は、それぞれの選択肢から、記号で答えよ。なお、斜面および水平面と小物体の間の摩擦はないものとし、また、小物体が水平面に達したときは、斜面と水平面はなめらかに接続されていて、接続面で小物体の速さは変化しないものとする。

①の選択肢

- A. PA を滑らせた方が早い B. PB を滑らせた方が早い C. 両方同時である

②の選択肢

- A. どんどん広がる B. 同じままである C. 縮まる

- (2) 容器内に放射性物質を含んだ水がある。全体の放射エネルギーを調べるため、まず、 1 cm^3 を採取してその放射能を測定すると a ベクレル (Bq) であった。採取したものを元に戻し、水 $V [\text{cm}^3]$ を加えてよくかき混ぜたのち、 1 cm^3 を採取して、その放射能を測定すると b ベクレルであった。全体の放射エネルギーは何ベクレルか。
- (3) プランク定数 h 、真空中の光の速さ c 、電子の質量 m のうちから必要なものを用いて下記の次元を持つ式を記せ。

- ① 運動量 ② 時間 ③ 力

- (4) ①～③ に適当な語句または式を入れ、④～⑥ は選択肢から正しい記号を選べ。

原子核は陽子と中性子が結合して構成されている。このとき、原子核の質量は、単独で存在している陽子と中性子のそれぞれの質量の和より小さい。この質量の差を (①) という。この (①) を Δm 、光の速さを c とすると、原子核の結合エネルギーは (②) と表され、この値を原子核の (③) で割ると核子 1 個当たりの結合エネルギーが得られる。ヘリウムより重い原子核では、核子 1 個当たりの結合エネルギーは約 8 MeV であるが、質量数によって異なり、質量数が 50 から 60 付近で最大となり、原子核は (④ ア:安定、イ:不安定) である。核子 1 個当たりの結合エネルギーが最も大きい原子核より (⑤ ア:重い、イ:軽い) 原子核では、(⑥ ア:核分裂、イ:核融合) によってエネルギーを得ることができ、このエネルギーが原子力発電に利用されている。