帝京大学

2021 年度　一般選抜　物理

物理①

（2 科目　120 分）

1 体重を支えるために人体が床や壁から受ける力について考える。体重を 60.0 kgw，重力加速度の大きさを $9.8\,\mathrm{m/s^2}$，$\sqrt{3} = 1.73$ とする。以下の設問に $A \times 10^n$ の形の有効数字 2 桁の数値で答えよ。ただし，$1 \leqq A < 10$，n は整数とする。

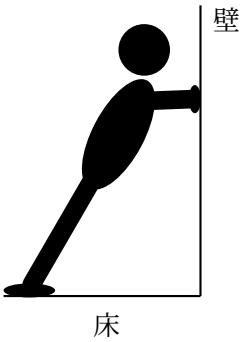


図 1

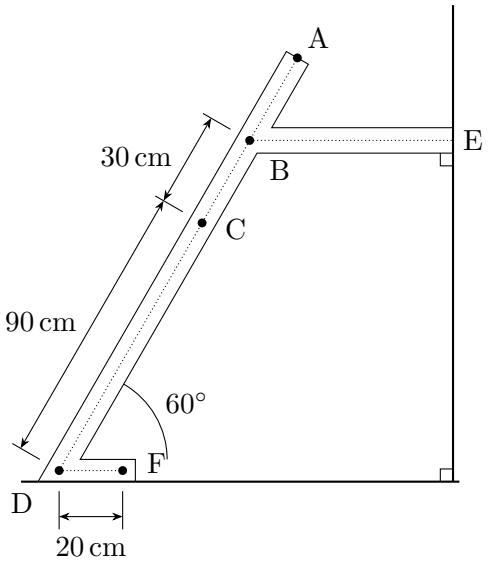


図 2

はじめに，図 1 のように，水平な床の上でなめらかで鉛直な壁に手をついてアキレス腱を伸ばしながら人が静止している。これを，厚みを無視できる剛体として近似したモデルが図 2 に示してある。このモデル剛体に作用する力の作用点は点 C，E，F のみであり，点 C には重力，点 E には壁からの垂直抗力，点 F には床からの垂直抗力と静止摩擦力が作用しているものとする。

(1)　点 E における壁からの垂直抗力による点 D のまわりの力のモーメントの大きさは何 N · m か。

(2)　点 F で作用している床からの垂直抗力の大きさは何 N か。

(3)　点 F で作用している床からの摩擦力の大きさは何 N か。



図 3

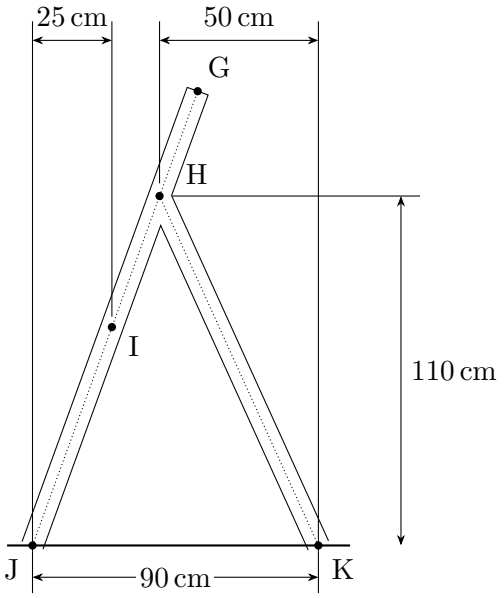


図 4

次に，図 3 のように，怪我した人が水平な床の上で松葉杖を用いて静止している。人体と松葉杖を一体化した系を，厚みを無視できる剛体として近似したモデルが図 4 である。このモデル剛体に作用する力の作用点は点 I，J，K のみであり，点 I には重力，点 J には床からの垂直抗力と静止摩擦力，点 K には床からの垂直抗力と静止摩擦力が作用しているものとする。ただし，松葉杖の質量は無視できるものとする。

(4) 点 K で松葉杖に作用している床からの垂直抗力の大きさは何 N か。

(5) 点 J で人体に作用している床からの垂直抗力の大きさは何 N か。

(6) 点 K で松葉杖に作用している垂直抗力と静止摩擦力の合力は松葉杖の方向になることから，静止摩擦力の大きさは何 N か。

(7) 点 K において松葉杖がすべらずに静止しているためには，床の静止摩擦係数はいくら以上であればよいか。

2

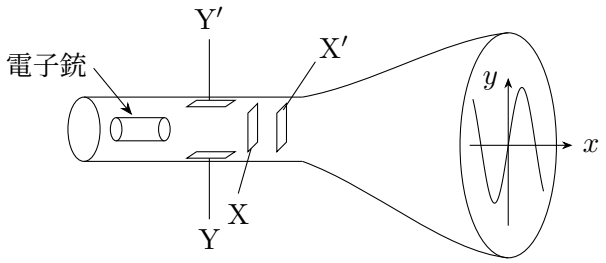


図 1

図 1 はオシロスコープの概略図である。真空にしたガラス管の中に電子銃と 4 枚の同じ長方形の電極が離れて配置されている。電極 X，X′ および電極 Y，Y′ はそれぞれ平行に対向し，電極対 X，X′ と電極対 Y，Y′ は互いに直交している。電子銃から放出された電子はこの 4 枚の電極で囲まれた空間を通った後，ガラス面に塗ってある蛍光物質に衝突してこれを励起・発光させる。ガラス面外側には図 1 に示すように互いに直交する x 軸と y 軸が描かれている。4 枚の電極すべてを接地したとき，ガラス面上の原点 $(0,\ 0)$ に光点が現れた。

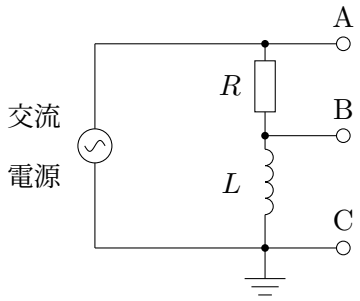


図 2

図 2 のように，角周波数 ω [rad/s] の正弦波交流電源に，抵抗 R [Ω] と自己インダクタンス L [H] のコイルを直列に接続した。

電極 X と A，X′ と B を接続し，電極 Y と Y′ を接地したところ，光点の軌跡は $-a \leqq x \leqq a$，$y = 0$ の直線となった。また，電極 X と A，X′ と C を接続し，電極 Y と Y′ を接地したときには，光点の軌跡は，$-2a \leqq x \leqq 2a$，$y = 0$ となった。なお，ガラス面で光る点の x 座標および y 座標は，それぞれ X，X′ 間と Y，Y′ 間の電圧に比例し，その比例定数は両方向で等しい。以下の設問に答えよ。

電極 X を B，電極 X′ を C に接続，電極 Y，Y′ を接地した。

(1) 光点の軌跡の形を x，y の式，光点の軌跡が現れる x の範囲を不等式で示せ。

以下，電極 X を A に，電極 X′ と電極 Y を B に，電極 Y′ を C に接続した。

(2) 光点の座標 $(x,\ y)$ は $\left(\dfrac{x}{\boxed{\text{(ア)}}}\right)^2+\left(\dfrac{y}{\boxed{\text{(イ)}}}\right)^2=1$ を満たす。$\boxed{\text{(ア)}}$，$\boxed{\text{(イ)}}$ を a を用いた式で埋めよ。

次に交流電源の電圧は一定で周波数を 2 倍に上げた。

(3) 光点の座標 $(x,\ y)$ は $\left(\dfrac{x}{\boxed{\text{(ウ)}}}\right)^2+\left(\dfrac{y}{\boxed{\text{(エ)}}}\right)^2=1$ を満たす。$\boxed{\text{(ウ)}}$，$\boxed{\text{(エ)}}$ を a を用いた式で埋めよ。

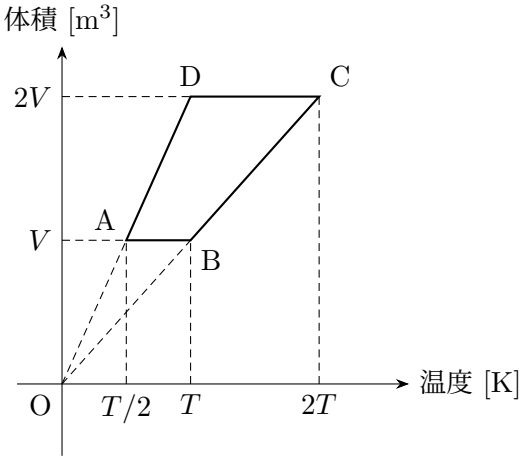
(4) 光点は楕円形を描く。この光点の動きは時計回りか，反時計回りか。

最後にコイルを抵抗値 $2R$ の抵抗に変えた。

(5) 光点の軌跡の形を x，y の式，光点の軌跡が現れる x の範囲を不等式で示せ。

3 なめらかに動くピストンを使って 1 mol の単原子分子理想気体をシリンダー内に封じ込め，温度 $T/2$ [K]，体積 V [m^3] の状態 A からはじまる図のような A → B → C → D → A の変化を 1 サイクルとする熱機関を作った。気体が外部から仕事をされる場合は，気体は外部にマイナスの仕事をすると考え，気体定数を R [J/(mol·K)] として，以下の設問に答えよ。

なお，状態 D の温度は T [K] である。



図

(1) 変化 A → B で気体が高温熱源から吸収する熱量はいくらか。

(2) 変化 B → C で気体が高温熱源から吸収する熱量はいくらか。

(3) 変化 C → D で気体が低温熱源に放出する熱量はいくらか。

(4) 変化 D → A で気体が低温熱源に放出する熱量はいくらか。

(5) 変化 B → C で気体が外部にする仕事はいくらか。

(6) 変化 D → A で気体が外部にする仕事はいくらか。

(7) この熱機関の効率を，（1 サイクルで気体が外部にする仕事の総和）／（1 サイクルで気体が高温熱源から吸収する熱量の総和）とし，これを求めよ。

物理②

（2 科目　120 分）

1 空欄 (1) を不等式で，空欄 (2) ～ (6) を式で，空欄 (7) を数値で，空欄 (8) を角度でそれぞれ埋め，以下の文章を完成せよ。ただし，空欄 (1) ～ (6) で使える記号は衝突パラメーター b および球の直径 d のみとする（本文参照）。

図 1 のように，滑らかな水平面上に置かれた質量 m，直径 d の表面が滑らかな球 A に，同じく質量 m で直径 d の表面が滑らかな球 B を，水平面上を滑らせて衝突させる。衝突前の球 B の進行方向を x 軸の正方向とし，水平で x 軸に垂直な方向を図 1 のように y 軸の正方向とする。球 A の中心を通り x 軸に平行な直線と，球 B の中心を通り x 軸に平行な直線の間の距離を衝突パラメーター b と呼ぶ。球 A と球 B の衝突は，(1) の時に起こる。球 A，球 B ともに密度一様な剛体で，回転はしないものとする。

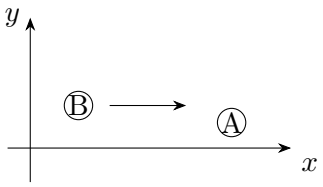


図 1

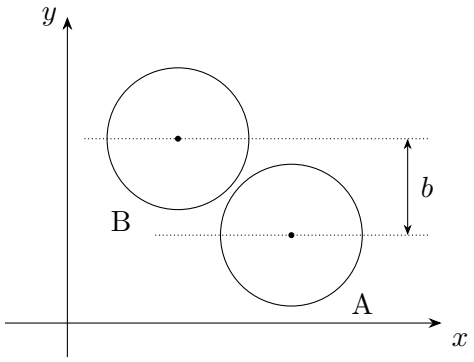


図 2

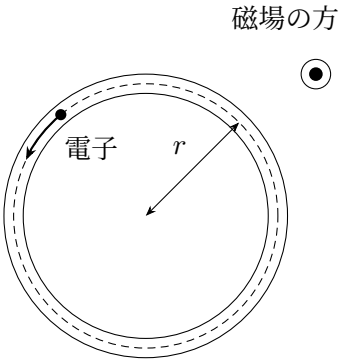
図 2 は，衝突の瞬間の，球 A と球 B の中心を含む水平断面を示す。衝突直前の球 B の運動量の x 成分を p とすると，衝突直前の球 B の運動エネルギーは $\dfrac{p^2}{2m}$ と表せる。

球 A との衝突で球 B が球 A から受けとる運動量の大きさを Δp とおくと，衝突直後の球 A の運動量の x 成分は (2) $\times \Delta p$，y 成分は $-$ (3) $\times \Delta p$ で，衝突直後の球 B の運動量の x 成分は $p-$ (2) $\times \Delta p$，y 成分は (3) $\times \Delta p$ である。衝突後に球 B が進む方向と x 軸がなす角度 θ は散乱角と呼ばれ，$\tan\theta =$ (3) $\times \Delta p/[p-$ (2) $\times \Delta p]$ なる関係がある。

衝突の前後で力学的エネルギーが保存されるとすれば，$\Delta p =$ (4) $\times p$ となり，（衝突後の球 A の運動エネルギー）／（衝突前の球 B の運動エネルギー）$=$ (5)，$\tan\theta =$ (6) である。この

とき，$b =$ (7) $\times d$ なら衝突後の球 A と球 B の運動エネルギーは等しく，散乱角は $\theta =$ (8) となる。

2



図

ベータトロンは電磁誘導を利用して電子（質量 m [kg]，電荷 $-e$ [C]）を加速する装置である。まず，あらかじめ加速した電子を，図のような半径 r のドーナツ状の真空パイプ中に導き，ドーナツ面に垂直な方向に加えた磁場のもと，パイプ内で等速円運動させておく。磁場の方向が紙面裏から表向きの場合には，電子は反時計回りに運動する。磁場の強さを時間的に変化させることで生じる誘導電場により，電子を加速することができる。

ドーナツ面内の磁束密度の大きさはドーナツの中心からの距離のみで決まるものとし，真空パイプにおける磁束密度の大きさを B_r [T]，このパイプより内側の平均磁束密度の大きさを B_i [T] とおく。また，電子の速さは光速にくらべて十分に小さく，電子の運動に対する重力の影響は無視できるものとする。以下の設問に答えよ。

加速前，パイプ内で等速円運動している電子について，

(1) 運動量の大きさを求めよ。

(2) 磁場から受けるローレンツ力の大きさを求めよ。

電子を加速するために，パイプ内側の平均磁束密度 B_i を微小時間 Δt [s] の間に ΔB_i [T] 増加させた。このとき，

(3) 半径 r の円周上に発生する誘導起電力を求めよ。なお，図に示すように電子の運動方向（反時計回り）を正とする。

(4) (3) の誘導起電力は誘導電場が発生したためだと解釈できる。円周上では誘導電場はどこでも同じ強さで，その方向は接線方向である。この誘導電場の大きさを求めよ。

(5) 電子が Δt の間に受けとる力積の大きさを求めよ。

(6) 加速された電子の円運動の半径を一定値 r に保つためには，B_r も変化させなければならない。このときに必要な変化量 ΔB_r は，ΔB_i に比例する。比例定数を求めよ。

3 医療の現場では様々な放射性同位体が用いられているが，代表的なものとしてバセドウ病の治療に用いられているヨウ素の放射性同位体 ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ が挙げられる。${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の半減期は $T_{\mathrm{phys}} = 8.0$ 日で，β 崩壊する際にガンマ線も放出する。バセドウ病の治療では，これらの放射線によって病気の原因となっている細胞を減少させている。この放射性同位体について，以下の設問に答えよ。ただし，アボガドロ定数を $6.02 \times 10^{23}/\mathrm{mol}$ とする。(2) から (5) は有効数字 2 桁の数値で，(3) と (4) については $A \times 10^n$ の形で答えよ。ただし，$1 \leqq A < 10$，n は整数とする。

(1) ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ は β 崩壊後にキセノンの同位体へ推移する。このキセノンの同位体の質量数と原子番号はそれぞれいくらか。

(2) バセドウ病の患者が摂取した ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ が体外へ排泄されないのであれば，16.0 日後，64.0 日後に体内に残っている ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の割合は，摂取時の量に対してそれぞれ何%か。

(3) 半減期 T_{phys} の逆数に $\log_e 2 = 0.693$ を乗じた物理量を壊変定数という。壊変定数は，原子核が 1 秒間に崩壊する確率を表している。${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の壊変定数は何毎秒（$= \mathrm{s}^{-1}$）か。

(4) 原子核が 1 秒間に 1 個崩壊するとき，放射能の強さが 1 Bq（ベクレル）であるという。${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の単位質量あたりの放射能の強さ（比放射能）は何 Bq/kg か。(3) で求めた壊変定数を使用して計算せよ。

(5) ${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ が体内から消失する過程としては，β 崩壊による過程と，生物学的な体外への排泄過程がある。${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の場合，生物学的な体外への排泄過程の半減期は $T_{\mathrm{bio}} = 120$ 日であることが知られている。医療の現場では両方の過程による影響を考慮して，$1/T_{\mathrm{eff}} = 1/T_{\mathrm{phys}} + 1/T_{\mathrm{bio}}$ で定義される有効半減期 T_{eff} が用いられているが，${}^{131}_{53}\mathrm{I}$ の有効半減期 T_{eff} は何日か。