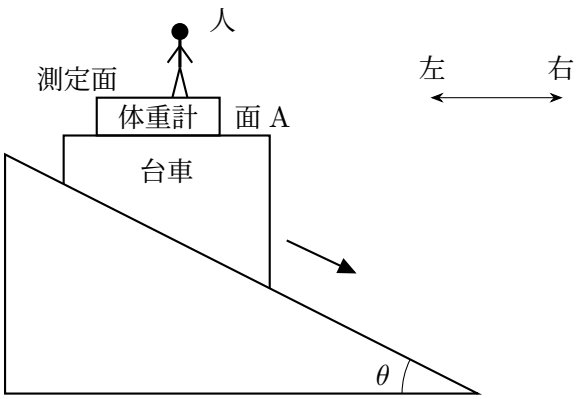
東邦大学

2021 年度　一般選抜　物理

（2 科目　120 分）

1 次の文章を読み，問 1 から問 4 に答えよ。

図のように，斜面を滑り降りる台車があり，台車の上には体重計が置かれ，さらにその上に人がのっている。斜面自体は動かない。斜面と水平面のなす角 θ は 0° から 90° の間で変えることができるが，最初は $\theta = 30^\circ$ とした。θ を変えた場合でも，台車の面 A と体重計の測定面は，ともに常に水平になるよう調整されるものとする。斜面と台車の間には摩擦がない。ただし，台車と体重計の間および体重計と人の間には，それぞれ摩擦があり，滑りが全く生じないものとする。ここで，台車の加速度の大きさを $a\,[\mathrm{m/s^2}]$，台車と体重計の質量の和を $M\,[\mathrm{kg}]$，人の質量を $\dfrac{M}{3}\,[\mathrm{kg}]$ とする。



問 1　台車が斜面から受ける力の大きさはいくらか。

a. $\dfrac{Ma}{3}$　　b. $\dfrac{Ma}{2}$　　c. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{3}$

d. $\sqrt{3}\,Ma$　　e. $2Ma$　　f. $\dfrac{4\sqrt{3}\,Ma}{3}$

問 2　人が体重計から受ける垂直抗力の大きさはいくらか。

a. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{6}$　　b. $\dfrac{Ma}{3}$　　c. $\dfrac{Ma}{2}$

d. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{2}$　　e. $\dfrac{2\sqrt{3}\,Ma}{3}$　　f. $2\sqrt{3}\,Ma$

問 3　体重計が人に及ぼす摩擦力の大きさと向きの組み合わせとして正しいものを選べ。

a. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{6}$ 右向き　　b. $\dfrac{Ma}{2}$ 右向き　　c. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{2}$ 右向き

d. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{4}$ 左向き　　e. $\dfrac{Ma}{2}$ 左向き　　f. $\dfrac{\sqrt{3}\,Ma}{3}$ 左向き

角 θ をある値 β にしたところ，台車が斜面を滑り降りているとき，体重計は 40 kg を示した。ただし，台車を斜面上で静止させると，体重計は 60 kg を示した。体重計の示す数値は，人が測定面に垂直に及ぼす力の大きさを重力加速度の大きさで割ったものとする。

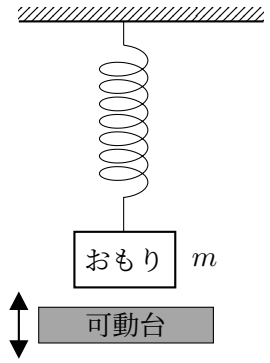
問 4　角度 β が満たす式として正しいものはどれか。

a. $\cos\beta = \dfrac{2}{3}$　　b. $\sin\beta = \dfrac{2}{3}$　　c. $\tan\beta = \dfrac{2}{3}$　　d. $\sin\beta\cos\beta = \dfrac{2}{3}$

e. $\cos\beta = \dfrac{\sqrt{6}}{3}$　　f. $\sin\beta = \dfrac{\sqrt{6}}{3}$　　g. $\tan\beta = \dfrac{\sqrt{6}}{3}$　　h. $\sin\beta\cos\beta = \dfrac{\sqrt{6}}{3}$

2 次の文章を読み，問 1 から問 5 に答えよ。

図のように，自然の長さ l [m]，ばね定数 k [N/m] のばねを鉛直につるし，ばねの下端に質量 m [kg] のおもりをつけた。おもりの下方には，鉛直方向に運動できる可動台がある。ばねは鉛直方向のみに変位し，ばねの質量は無視できるものとする。なお，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。ここで，次の 2 とおりの方法で可動台を操作した。



方法 1

おもりを可動台にのせた状態で可動台を上げ，ばねの長さを l よりも短くして，おもりと可動台の両方を静止させた。その後，可動台を一定の速さ $v\,[\mathrm{m/s}]$ で下げ続けたところ，ある時点でおもりが可動台から離れた。

問 1　おもりが可動台から離れた瞬間のばねの伸びはいくらか。

a. $\dfrac{mg}{k}$　　b. $\dfrac{mg}{2k}$　　c. $l+\dfrac{mg}{k}$　　d. $l+\dfrac{mg}{2k}$

e. $l-\dfrac{mg}{k}$　　f. $l-\dfrac{mg}{2k}$　　g. 0

問 2　可動台から離れた後，おもりは上下に振動を始めた。その振幅はいくらか。

a. $\dfrac{1}{2}\sqrt{\dfrac{m}{k}}\,v$　　b. $\sqrt{\dfrac{m}{2k}}\,v$　　c. $\sqrt{\dfrac{m}{k}}\,v$　　d. $\sqrt{\dfrac{2m}{k}}\,v$　　e. $2\sqrt{\dfrac{m}{k}}\,v$

方法 2

おもりを可動台にのせた状態で可動台を上げ，ばねの長さを l にして，おもりと可動台の両方を静止させた。その後，可動台を大きさ $\dfrac{g}{4}$ の加速度で下げ続けたところ，ある時点でおもりが可動台から離れた。

問 3　おもりが可動台から離れた瞬間のばねの伸びはいくらか。

a. $\dfrac{mg}{4k}$　　b. $\dfrac{mg}{3k}$　　c. $\dfrac{mg}{2k}$　　d. $\dfrac{2mg}{3k}$

e. $\dfrac{3mg}{4k}$　　f. $\dfrac{mg}{k}$　　g. $\dfrac{4mg}{3k}$

問 4　可動台から離れた瞬間のおもりの運動エネルギーはいくらか。

a. $\dfrac{m^2g^2}{16k}$　　b. $\dfrac{3m^2g^2}{16k}$　　c. $\dfrac{m^2g^2}{4k}$

d. $\dfrac{3m^2g^2}{4k}$　　e. $\dfrac{m^2g^2}{k}$　　f. $\dfrac{4m^2g^2}{3k}$

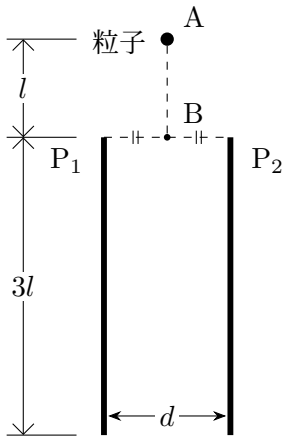
問 5　可動台から離れた後，おもりは上下に振動を始めた。その振幅はいくらか。

a. $\dfrac{mg}{4k}$　　b. $\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{4k}$　　c. $\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{3k}$

d. $\dfrac{\sqrt{7}\,mg}{4k}$　　e. $\dfrac{\sqrt{3}\,mg}{2k}$　　f. $\dfrac{\sqrt{7}\,mg}{2k}$

3 次の文章を読み，問 1 から問 4 に答えよ。

図のように，真空中に同じ形の 2 枚の薄い金属板 P_1，P_2 を面が鉛直になるように配置した。2 つの金属板の面は平行であり，左右から両金属板を見ると完全に重なっている。P_1 と P_2 の上端から高さ l [m] の位置にある点 A に，質量 m [kg]，正の電気量 q [C] をもつ小さな荷電粒子を置き，初速度 0（ゼロ）で落下させた。すると，荷電粒子は，P_1 と P_2 の上端と同じ高さまで落下したとき，2 つの金属板から等しい距離にある点 B にいた。その後，荷電粒子はどちらの金属板にも衝突しないで落下した。P_1，P_2 の鉛直方向の長さはともに $3l$ [m] で，間隔 d [m] は l よりもずっと小さい。P_1 と P_2 の間には電圧 V [V] $(V > 0)$ が加えられ，金属板間の空間内にのみ電場が存在し，その強さは一様であるとする。荷電粒子の大きさは無視でき，重力加速度の大きさを g [m/s^2] とする。



問 1　荷電粒子が点 B を通過してから金属板の下端の高さまで達するのに要した時間はいくらか。

a. $\sqrt{\dfrac{l}{2g}}$　　b. $\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　c. $\sqrt{\dfrac{2l}{g}}$　　d. $2\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　e. $2\sqrt{\dfrac{2l}{g}}$

問 2　荷電粒子が金属板の下端の高さに達したとき，水平方向の速さはいくらか。

a. $\dfrac{qV}{md}\sqrt{\dfrac{l}{2g}}$　　b. $\dfrac{qV}{md}\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　c. $\dfrac{qV}{md}\sqrt{\dfrac{2l}{g}}$　　d. $\dfrac{2qV}{md}\sqrt{\dfrac{l}{g}}$　　e. $\dfrac{2qV}{md}\sqrt{\dfrac{2l}{g}}$

問 3　荷電粒子が金属板の下端の高さに達したとき，運動エネルギーはいくらか。

a. $\dfrac{q^2V^2l}{2mgd^2}$　　b. $\dfrac{q^2V^2l}{mgd^2}$　　c. $\dfrac{2q^2V^2l}{mgd^2}$

d. $\dfrac{q^2V^2l}{2mgd^2}+3mgl$　　e. $\dfrac{q^2V^2l}{mgd^2}+3mgl$　　f. $\dfrac{2q^2V^2l}{mgd^2}+3mgl$

g. $\dfrac{q^2V^2l}{2mgd^2}+4mgl$　　h. $\dfrac{q^2V^2l}{mgd^2}+4mgl$　　i. $\dfrac{2q^2V^2l}{mgd^2}+4mgl$

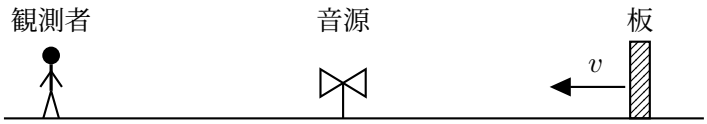
問 4　もし荷電粒子がどちらかの金属板に衝突する場合，電圧 V はいくら以上か。

a. $\dfrac{mgd^2}{2ql}$　　b. $\dfrac{\sqrt{2}\,mgd^2}{2ql}$　　c. $\dfrac{mgd^2}{ql}$　　d. $\dfrac{2mgd^2}{ql}$

e. $\dfrac{mgl^2}{2qd}$　　f. $\dfrac{\sqrt{2}\,mgl^2}{2qd}$　　g. $\dfrac{mgl^2}{qd}$　　h. $\dfrac{2mgl^2}{qd}$

4 次の文章を読み，問 1 から問 2 に答えよ。

図のように，観測者，音源，音を反射する大きな板が同一直線上に並んでいる。音源は振動数 f [Hz] の音を周囲に出していて，移動できる。観測者は静止しているが，板は観測者に向かって一定の速さ v [m/s] で移動している。ただし，v は音速 V [m/s] よりもずっと小さい。なお，観測者，音源，板の 3 つの並び順は常に変わらないものとする。



問 1　音源が静止している場合，板によって単位時間あたりに反射される音波の波の数はいくらか。ただし，一波長分を 1.0 と数える。

a. $\dfrac{V+v}{V}f$　　b. $\dfrac{V-v}{V}f$　　c. $\dfrac{V}{V+v}f$

d. $\dfrac{V}{V-v}f$　　e. $\dfrac{V+v}{V-v}f$　　f. $\dfrac{V-v}{V+v}f$

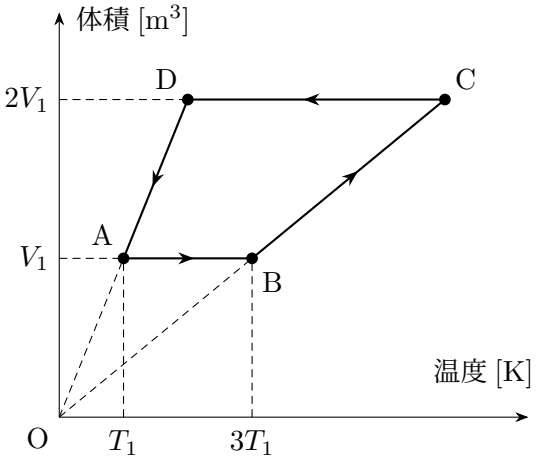
問 2　音源が静止している場合，板で反射された音波の波長は観測者の場所においていくらか。

a. $\dfrac{V^2}{(V-v)f}$　　b. $\dfrac{V(V+v)}{(V-v)f}$　　c. $\dfrac{(V+v)^2}{(V-v)f}$

d. $\dfrac{V^2}{(V+v)f}$　　e. $\dfrac{V(V-v)}{(V+v)f}$　　f. $\dfrac{(V-v)^2}{(V+v)f}$

5 次の文章を読み，問 1 から問 5 に答えよ。

図のようなサイクル A → B → C → D → A の状態変化をする熱機関を考える。この熱機関には，n [mol] の単原子分子理想気体が入っている。以下，気体定数を R [J/(mol · K)] とする。



問 1　状態 C における圧力は状態 A における圧力の何倍か。

a. 1　　b. $\dfrac{4}{3}$　　c. 2　　d. $\dfrac{5}{2}$　　e. 3

f. 4　　g. $\dfrac{16}{3}$　　h. 5　　i. $\dfrac{11}{2}$　　j. 6

問 2　B → C と D → A の過程で気体が外部にする正味の仕事の和は nRT_1 の何倍か。

a. 1　　b. 2　　c. 3　　d. 4　　e. 5

f. −1　　g. −2　　h. −3　　i. −4　　j. −5

問 3　B → C と D → A の過程で気体が吸収する正味の熱の和は nRT_1 の何倍か。

a. 1　b. 2　c. 3　d. 4　e. 5

f. −1　g. −2　h. −3　i. −4　j. −5

問 4　A → B と C → D の過程で気体が吸収する正味の熱の和は nRT_1 の何倍か。

a. 1　b. 2　c. 3　d. 4　e. 5

f. −1　g. −2　h. −3　i. −4　j. −5

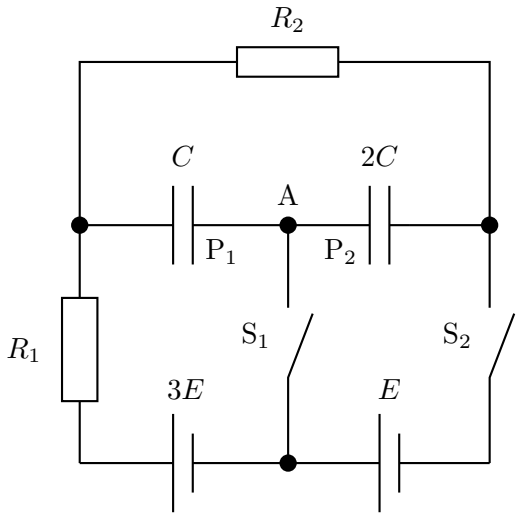
問 5　この熱機関の熱効率はいくらか。最も近い数値を選べ。

a. 0.05　b. 0.10　c. 0.15　d. 0.20　e. 0.25

f. 0.30　g. 0.35　h. 0.40　i. 0.45　j. 0.50

6 次の文章を読み，問 1 から問 7 に答えよ。

図のように，電気容量が C，$2C$ [F] の 2 つのコンデンサー，抵抗値が R_1，R_2 [Ω] の 2 つの抵抗，起電力が $3E$，E [V] の 2 つの直流電源および 2 つのスイッチ S_1 と S_2 を接続した。2 つのコンデンサーの点 A に直接つながっている極板をそれぞれ P_1，P_2 とする。最初，S_1 と S_2 はともに開いており，2 つのコンデンサーに電荷は蓄えられていない。2 つの直流電源の内部抵抗は，ともに無視できる。以下，問題の順番に従って，2 つのスイッチを操作してゆく。



問 1　S_1 は開いたまま，S_2 のみを閉じた直後，R_2 の抵抗に流れる電流の大きさはいくらか。

a. 0　　b. $\dfrac{E}{R_1+R_2}$　　c. $\dfrac{4E}{R_1+R_2}$　　d. $\dfrac{E}{R_1}$　　e. $\dfrac{4E}{R_1}$

問 2　次に，S_1 を閉じ，S_2 を開いて十分に長い時間が経った。極板 P_1 に蓄えられた電気量はいくらか。

a. $-3CE$　　b. $-\dfrac{3}{2}CE$　　c. $-CE$　　d. 0

e. $+CE$　　f. $+\dfrac{3}{2}CE$　　g. $+3CE$

問 3　前問（問 2）の状態において，$2C$ のコンデンサーに蓄えられたエネルギーはいくらか。

a. 0　　b. CE^2　　c. $\dfrac{CE^2}{2}$　　d. $\dfrac{9CE^2}{2}$　　e. $9CE^2$　　f. $18CE^2$

問 4　その後，S_2 を開いたまま，S_1 も開いた。極板 P_1 と P_2 に蓄えられた電気量の和はいくらか。

a. $-9CE$　　b. $-3CE$　　c. $-2CE$　　d. 0

e. $+2CE$　　f. $+3CE$　　g. $+9CE$

問 5　次に，S_1 は開いたまま，S_2 を閉じて十分に長い時間が経った。R_2 の抵抗にかかる電圧はいくらか。

a. E　　b. $4E$　　c. $\dfrac{3R_2}{R_1}E$　　d. $\dfrac{4R_2}{R_1}E$

e. $\dfrac{3R_2}{R_1+R_2}E$　　f. $\dfrac{4R_2}{R_1+R_2}E$　　g. $\dfrac{4(R_1+R_2)}{R_2}E$

問 6　前問（問 5）の状態において，R_2 の抵抗での消費電力が最大となるのは，R_2 が R_1 の何倍のときか。ただし，R_1 は有限な一定値であるが，R_2 は可変とする。

a. $\dfrac{1}{4}$　　b. $\dfrac{1}{3}$　　c. $\dfrac{1}{2}$　　d. $\dfrac{2}{3}$　　e. 1　　f. $\dfrac{3}{2}$　　g. 2

問 7　R_1 と R_2 が問 6 の関係にある場合，問 5 の状態の極板 P_1 に蓄えられる電気量はいくらか。

a. $-\dfrac{29}{6}CE$　　b. $-\dfrac{13}{3}CE$　　c. $-\dfrac{11}{4}CE$

d. $+\dfrac{11}{4}CE$　　e. $+\dfrac{13}{3}CE$　　f. $+\dfrac{29}{6}CE$