金沢大学

2019 年度　前期日程　物理

1 以下の文章が正しい記述となるように, (1), (3), (4), (5), (6), (8), (10), (12), (13) に適切な語句，式あるいは数値を記入しなさい。また，(2), (7), (9), (11) の{　}の選択肢は正しいものを 1 つ選びなさい。

放射性物質の原子核は，放射線を放出し別種の原子核へ変化する。このような過程は，放射性崩壊と呼ばれる。放射性物質の原子核が放射性崩壊すると，もとの放射性物質の原子核の数は時間とともに減少する。原子核数がはじめの原子核数の $\frac{1}{2}$ になるまでの時間を (1) と呼ぶ。この時間は崩壊せずに残った原子核の数が，さらに $\frac{1}{2}$ になるまでの時間 (2){よりも長い・と等しい・よりも短い}。時刻 0 における原子核数を N_0，(1) を T とすると，時刻 t において崩壊せずに残っている原子核数 N は，$N =$ (3) と表される。これは，放射性崩壊は原子核が生成してからの時間に関係なく，一定の確率で起こるためである。放射性物質の 1 個の原子核が (1) の間に崩壊する確率は (4) である。

2 種類の放射性物質の原子核 A と B があり，はじめ，A の原子核数は B の原子核数の 2 倍であったとする。それぞれの原子核の (1) が，T_{A} と T_{B}（$T_{\mathrm{A}} < T_{\mathrm{B}}$）であった場合，A と B の原子核数が同じになるまでの時間は (5) で与えられる。

放射性物質の崩壊により放出される主な放射線には α 線，β 線，γ 線があり，それぞれ磁場中で異なる軌跡を描く。図 1 の灰色で示した領域で，磁場は紙面裏側より表側に向かっているとすると，負電荷を持つ (6) 線は，(7){(Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)} のように進み，正電荷を持つ (8) 線は (9){(Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)} のように進む。また，X 線よりもおおむね波長が短い電磁波である (10) 線は，(11){(Ⅰ), (Ⅱ), (Ⅲ)} のように進む。

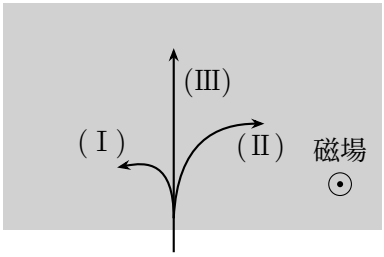

図 1

放射性物質の原子核が [(6)] 線を出す崩壊を [(12)] 回，[(8)] 線を出す崩壊を [(13)] 回行うと原子核の原子番号は 10 減少し，質量数は 28 減少する。

2 図 2a のように，真空中の波長が λ_0〔m〕の単色光の平面波を，薄膜に入射角 i〔rad〕で入射させる。この薄膜の厚さを d〔m〕，屈折率を n とする。薄膜は屈折率 n_1 の媒質 1 の中に入れられており，それぞれの屈折率の大きさは $1 < n < n_1$ の関係にある。図中の①は薄膜の上の境界面上で屈折した後，薄膜の下の境界面の点 C で反射して上の境界面上の点 B から薄膜の外に透過する光の経路を示している。一方，②は薄膜の上の境界面上の点 B で反射する光の経路を示している。媒質 1 中での光の波面 AA′ は，光の進行方向 A′B と直交している。

以下の問いに答えなさい。ただし，真空中での光の速さを c〔m/s〕とする。

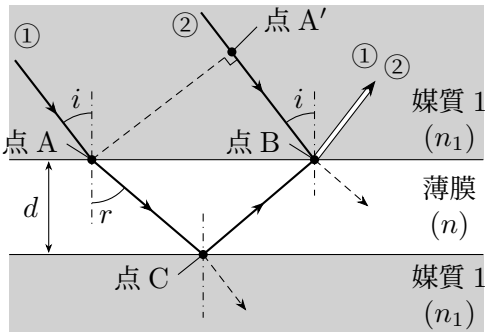

図 2a

問 1　薄膜中でのこの光の速さと波長を求めなさい。

問 2　媒質 1 内で光が A′B 間の距離を進む間に，薄膜内で光が進む距離は A′B の何倍かを求めなさい。

薄膜内での光の屈折角を r〔rad〕とする。以下の問いに答えなさい。

問 3　$\sin r$ を入射角 i を用いて表しなさい。

問 4　入射角 i を 0 にして薄膜の上方向で反射光を観測する。経路①と②の光が強め合う最小の薄膜の厚さ d_0〔m〕を求めなさい。

問 5　入射角 i を角度 α〔rad〕より大きくすると，薄膜の下の境界面からの透過光が全く観測され

なくなった。$\sin\alpha$ の値を，屈折率 n と n_1 を用いて表しなさい。

問 6　入射角が $0 < i < \alpha$ のとき，経路①と②の光路差を r を用いて表しなさい。

問 7　入射角を $0 < i < \alpha$ の範囲に定め，薄膜による反射光を上方から観察する。ただし，$d > d_0$ とする。入射角を変化させていくと，反射光は強め合ったり弱め合ったりした。反射光が強め合う $\sin i$ の最大値を求めなさい。

次に図 2b のように屈折率 n_1 の媒質 1 と屈折率 n_2 の媒質 2 が，屈折率 n のくさび型の薄膜によって隔てられているとする。図 2b のように Δd〔m〕と L〔m〕を定義する。薄膜の下面は水平で，上面は傾き $\dfrac{\Delta d}{L}$ で水平からわずかに傾いている。この薄膜に，真上から真空中の波長が λ_0 の単色光の平面波を入射させる。以下の問いに答えなさい。

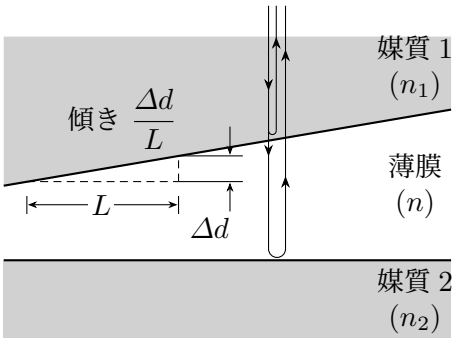

図 2b

問 8　屈折率の大きさが $1 < n < n_1 < n_2$ である場合を考える。薄膜の上から反射光を観察すると，明暗の縞模様が観測された。明線の間隔を求めなさい。

問 9　屈折率の大きさが $1 < n_2 < n < n_1$ である場合に観測される明暗の縞模様と，問 8 の $1 < n < n_1 < n_2$ の場合の縞模様との比較に関する記述として適切なものを，下記の (a)〜(d) 中から選びなさい。ただし，n_2 の値のみ変化したとする。

(a)　明線の間隔も位置も同じである。

(b)　明線の間隔は同じであるが，位置は異なる。

(c)　明線の間隔は問 8 の場合より広くなり，位置も異なる。

(d)　明線の間隔は問 8 の場合より狭くなり，位置も異なる。

3 図 3a に示すように，水平な床と斜面が曲面でなめらかにつながれている。斜面の右端の点 P での床からの高さは H〔m〕，斜面の床に対する角度は 30° である。水平な床の上には，大きさが無視できる質量 M〔kg〕の板が一端を固定されたばね定数 k〔N/m〕のばねに取り付けられている。ばねが自然長のときの板の位置を x 座標の原点 O（$x = 0$）とし，ばねが伸びる向きを x 軸の正の向きとする。板と床の間の摩擦およびばねの質量，空気抵抗は無視できるとする。重力加速度の大きさを g〔$\mathrm{m/s^2}$〕とする。

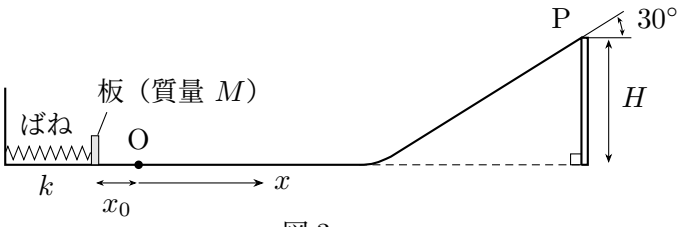

図 3a

板を $x = -x_0$〔m〕（$x_0 > 0$）の位置で静かにはなすと単振動をはじめた。ただし振動する板は斜面に達することはなかった。

問 1　板の速さの最大値を求めなさい。

問 2　板がはなされてから原点 O を初めて通過するときまでの時間を求めなさい。

次に，図 3b に示すように板を x 座標が負の位置で静止させ，質量 m〔kg〕の小球を板と接触させて置いた。板を静かにはなすと，小球は板と接触したまま x 軸正方向に移動し板からはなれた。そのあと小球は水平な床の上を移動したのち，斜面を上方へ移動して，図 3c に示すように点 P から斜面に沿った角度で飛び出した。そして小球は，なめらかな壁の床からの高さが H の点 Q に衝突したあとはね返り，点 P と点 Q の間の床に落下した。小球は床および斜面と接触したまま移動し，小球と床面および斜面との摩擦は無視できるとする。

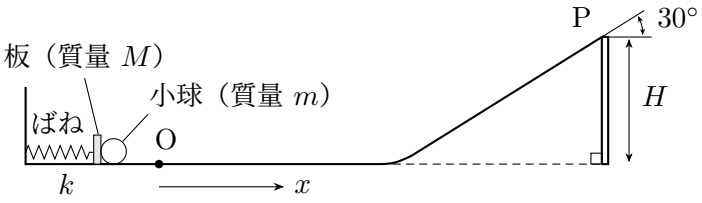

図 3b

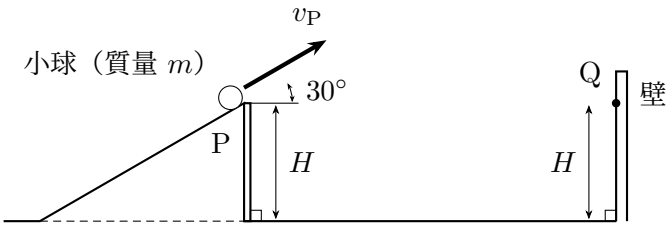

図 3c

点 P における小球の速さを v_{P}〔m/s〕として問 3 と問 4 に答えなさい。

問 3　点 P から壁までの水平方向距離を求めなさい。

問 4　小球が点 P を飛び出してから床に落下するまでの時間を求めなさい。

板をはなすときの位置を $x = -x_1$〔m〕（$x_1 > 0$）とする。以下の問いでは v_{P} を使わずに答えなさい。

問 5　原点 O における小球の速さを求めなさい。

問 6　小球が板から離れた瞬間を時刻 0 として，時刻 t〔s〕での板の位置座標 x を求めなさい。

問 7　点 P における小球の速さを求めなさい。

小球が点 P から飛び出したあと点 Q に衝突するまでの間の，小球の床からの最大高度は $2H$〔m〕であった。

問 8　板をはなした位置の原点 O からの距離 x_1 を求めなさい。

4 図 4a のように，シリンダー A，B を水平な床に固定する。シリンダー A，B にはそれぞれ，断面積 S〔m^2〕で，断熱材でできたピストンが設置されている。それぞれのピストンは，変形しない棒でつながれており，水平方向になめらかに動くことができる。シリンダー A，B の中にはそれぞれ，n_A，n_B モルの単原子分子理想気体が封入されている。シリンダー A は断熱性が保たれており，内部の気体の温度を制御する装置が備わっている。一方，シリンダー B 内の気体は大気と熱のやりとりをすることにより，温度は常に T〔K〕に保たれている。また，2 つのピストンにはさまれた領域は，大気の出入りがあり，常に圧力 p〔Pa〕，温度 T に保たれている。気体定数を R〔$\mathrm{J/(mol\cdot K)}$〕として，以下の問いに答えなさい。

はじめ，シリンダー A，B 内の両気体の圧力は p，温度は T であった。

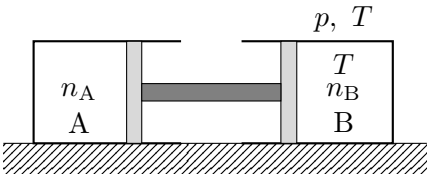

図 4a

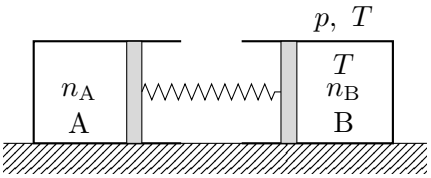

図 4b

問 1　シリンダー A 内の気体の体積を求めなさい。

問 2　シリンダー B 内の気体の内部エネルギーを求めなさい。

次に，シリンダー A 内の気体の温度をある温度までゆっくり上げたところ，シリンダー A 内の気体の圧力は Δp_1〔Pa〕だけ増加した。

問 3　シリンダー B 内の気体の圧力を求めなさい。

問 4　シリンダー B 内の気体の体積を求めなさい。

問 5　シリンダー A 内の気体の温度を求めなさい。

問 6　シリンダー A 内の気体に加えた熱量からシリンダー B 内の気体が大気に出した熱量を引いた値を求めなさい。

次に，図 4b のように，図 4a のピストンの間の棒を質量が無視できるばね定数 k〔$\mathrm{N/m}$〕のばねに交換した。シリンダー A，B 内の両気体の圧力が p，温度が T のとき，ばねは自然長となりピスト

ンは静止していた。シリンダー A 内の気体の温度をゆっくり上げたところ，シリンダー A 内の気体の圧力は Δp_2〔Pa〕だけ増加した。

問 7　ばねが自然長より縮んだ長さを求めなさい。

問 8　シリンダー A 内の気体の体積とシリンダー B 内の気体の体積の和を求めなさい。

問 9　シリンダー A 内の気体の体積を求めなさい。

問 10　シリンダー A 内の気体がした仕事とシリンダー B 内の気体がした仕事の和を求めなさい。

問 11　シリンダー A 内の気体に加えた熱量からシリンダー B 内の気体が大気に出した熱量を引いた値を求めなさい。

5 図 5a のように，間隔 $4d$〔m〕の 2 枚の平行極板 A，B からなるコンデンサー，抵抗値 R〔Ω〕の抵抗，内部抵抗が無視できる起電力 V〔V〕の電池，スイッチからなる回路がある。極板 A，B 間が真空のときのコンデンサーの電気容量を C〔F〕とし，極板が帯電していない状態から，スイッチを閉じた。

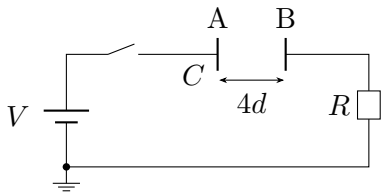

図 5a

問 1　スイッチを閉じた直後に抵抗に流れる電流を求めなさい。

問 2　時間がじゅうぶん経過した後，抵抗にかかる電圧を求めなさい。

問 3　時間がじゅうぶん経過した後，コンデンサーに蓄えられる電気量を求めなさい。

問 4　スイッチを閉じてから時間がじゅうぶん経過するまでに，電池がする仕事を求めなさい。

問 5　スイッチを閉じてから時間がじゅうぶん経過するまでに，抵抗で発生するジュール熱を求めなさい。

時間がじゅうぶん経過した後，スイッチを開いた。その後，図 5b のようにコンデンサーの極板間に極板と同じ形状の断面をもつ厚さ d の導体板を，極板 A，B と平行にそれぞれからの距離を d，$2d$ に保ちつつ，外力を加えながらゆっくりと挿入した。導体板は帯電していないとする。

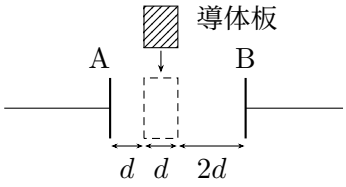

図 5b

問 6　導体板を極板面積のちょうど半分まで挿入したときのコンデンサーの電気容量を求めなさい。

問 7　導体板全体を挿入した後の極板 A，B 間の電位差を求めなさい。

問 8　導体板を挿入していない状態から全体を挿入し終えるまでに外力がした仕事を求めなさい。

次に，図 5c のように導体板と極板 B の間に比誘電率 ε_{r} の誘電体板をすきまなく挿入した。その後，導体板に正の電気量 Q〔C〕を与えてから，スイッチを閉じ，時間をじゅうぶん経過させた。

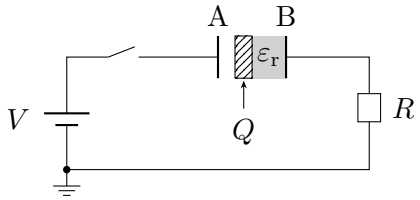

図 5c

問 9　極板 A と B の電気量をそれぞれ求めなさい。

問 10　コンデンサーに蓄えられたエネルギーが誘電体の比誘電率 ε_{r} に関わらず同じ値となるには，導体板に与えた電気量 Q がどのような値をとる必要があるか求めなさい。また，このときコンデンサーに蓄えられたエネルギーを求めなさい。