令和５年度個別学力検査問題
（国際資源学部，教育文化学部，理工学部）

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　この問題冊子は９ページあります。解答用紙は１枚あります。

問題はⅠからⅣまで４題あります。ただし，Ⅳは**問題Ａ**または**問題Ｂ**のいずれかを選択して解答しなさい。

試験中に問題冊子の印刷不鮮明，ページの乱丁・落丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，手を挙げて監督者に知らせなさい。

3　監督者の指示に従って，解答用紙に受験番号と氏名を記入しなさい。

4　解答は，解答用紙の該当欄に記入しなさい。

5　配付された解答用紙は，持ち帰ってはいけません。

6　試験終了後，問題冊子は持ち帰りなさい。

I　次の文章中の空欄①～④，⑥，⑦を数式で，⑤を数値で埋め，解答欄に記入しなさい。

図1のように，あらい斜面をもつ直角三角形状の台が水平な床に固定されている。このとき，斜面と床のなす角はθである。軽くてなめらかに回転できる定滑車を通して，軽くて伸びない糸で質量mの小球Aと質量Mの物体Bが結ばれており，小球Aはつるされ，物体Bは斜面上に置かれている。このとき，小球Aと物体Bは静止している。ただし，小球Aが結ばれていない場合，物体Bは斜面をすべり下りる。なお，重力加速度の大きさをgとし，空気抵抗は無視できるものとする。

(i)　物体Bが静止した状態を保つために必要な小球Aの質量を考える。もし，斜面と物体Bとの間の摩擦を無視できるとすれば，物体Bが静止するために必要な小球Aの質量m_0は，M，θを用いて$m_0 =$(　①　)と表される。しかし，実際には物体Bに摩擦力がはたらく。そのため，小球Aの質量の範囲が$m_0 - m' \leqq m \leqq m_0 + m'$であるとき，物体Bは静止した状態を保つ。物体Bにはたらく最大摩擦力の大きさをF_0とするとm'は，F_0，gを用いて(　②　)と表される。また，斜面と物体Bとの間の静止摩擦係数は，F_0，M，g，θを用いて(　③　)と表される。

(ii)　次に，図2のように時刻$t = 0$において小球Aと物体Bを結ぶ糸を切り離すと，小球Aは鉛直下方に，物体Bは斜面をすべりながら下方向に，それぞれ運動を始めた。この運動に糸は影響しないものとする。時刻$t = T$において小球Aは床面に衝突し，鉛直上向きにはね返った。なお，小球Aと床との間の反発係数は0.5である。小球Aが床に衝突する直前の速さは，g，Tを用いて(　④　)と表される。また，小球Aが床との衝突直後にもつ運動エネルギーは床との衝突の直前と比べて(　⑤　)%に減少する。同じ時刻($t = T$)において物体Bの速さは，斜面と物体Bとの間の動摩擦係数μ'およびM，g，T，θから必要なものを用いて(　⑥　)と表される。その後，時刻$t = 1.8T$において，小球Aの速度は鉛直上向きを正とすると，g，Tを用いて(　⑦　)と表される。

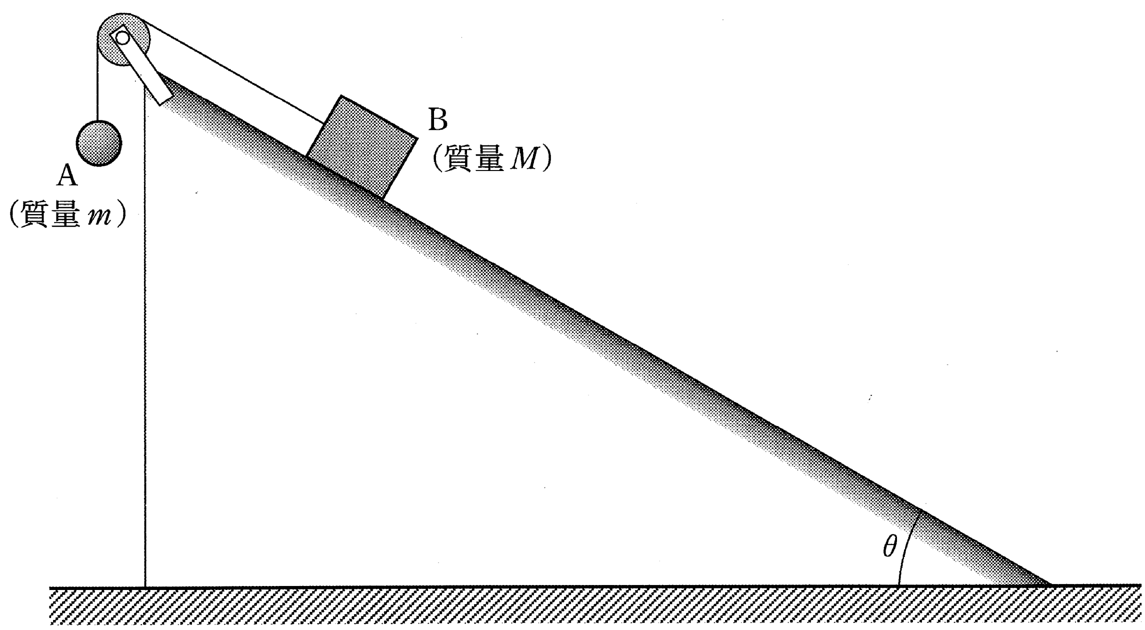


図 1

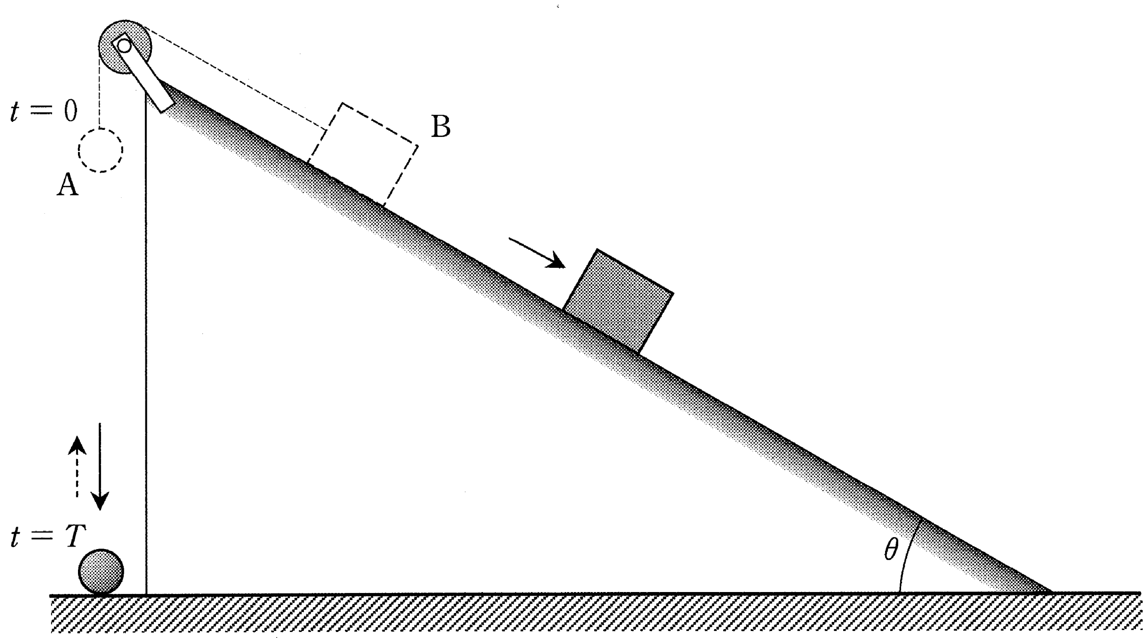


図 2

Ⅱ 次の文章中の空欄①〜⑧を数式で埋め，⑨には適切な文を，解答欄に記入しなさい。

(i) 真空中の光速を c とすると，屈折率 $n(n > 1)$ の媒質中での光速は(　①　)で与えられる。媒質中で光がある時間をかけて2点間を進むとき，これと同じ時間をかけて真空中で光が進む距離を媒質中の2点間の光路長(光学距離)という。屈折率 n の媒質中で l だけ離れた2点間の光路長は(　②　)である。図1のように，光が真空中から屈折率 n の媒質に入射する。AとB，および，A′とB′は，それぞれ同じ波面上にあるので，AA′間の光路長とBB′間の光路長は等しい。このことから，n を図中の線分の長さAA′，BB′を用いて表すと $n =$(　③　)となる。一方，入射角 i および屈折角 r は $\sin i = \dfrac{\mathrm{AA'}}{\mathrm{A'B}}$，$\sin r = \dfrac{\mathrm{BB'}}{\mathrm{A'B}}$ の関係を満たす。これらの関係より，n は i，r を用いて $n =$(　④　)と表される。

(ii) 図2のように，真空中に複スリット S_1，S_2 を置き，距離 L だけ離れたところにスクリーンを複スリットと平行に置いた。この複スリットに，S_1，S_2 と等距離にある単スリット S_0 を通過した波長 λ の単色光を左から入射させたところ，スクリーン上に干渉縞が観察された。スリットの間隔(S_1 と S_2 との距離)を d とし，スクリーン上で S_1，S_2 から等距離の点をOとする。

S_1，S_2 を出て，スクリーン上でOから距離 x だけ離れた点Pに進む光を考える。距離 S_1P，S_2P をそれぞれ L_1，L_2 とすると，$|L_1 - L_2|$ は三平方の定理より，L，x，d を用いて(　⑤　)と表される。ここで，L よりも十分小さい長さ a に関して成り立つ近似式 $\sqrt{L^2 + a^2} \fallingdotseq L + \dfrac{a^2}{2L}$ を用いると，d と x が L に比べて十分小さいとき，$|L_1 - L_2|$ は，L，x，d を用いて(　⑥　)と表される。S_1 と S_2 を出る光は同位相であるので，Pが明線となる条件は，整数 $m(m = 0, 1, 2, \cdots)$ と λ を用いて，$|L_1 - L_2| =$(　⑦　)で与えられる。明線の間隔 Δx は，L，d，λ を用いて，$\Delta x =$(　⑧　)となる。

(iii) 図3のように，S_0S_1 間に屈折率が1より大きいガラスの板を置き，S_1 を通る光のみが板を通過するようにしたところ，干渉縞の明線・暗線の位置が変化した。この理由を「光路長」という言葉を用いて解答欄⑨に記入しなさい。

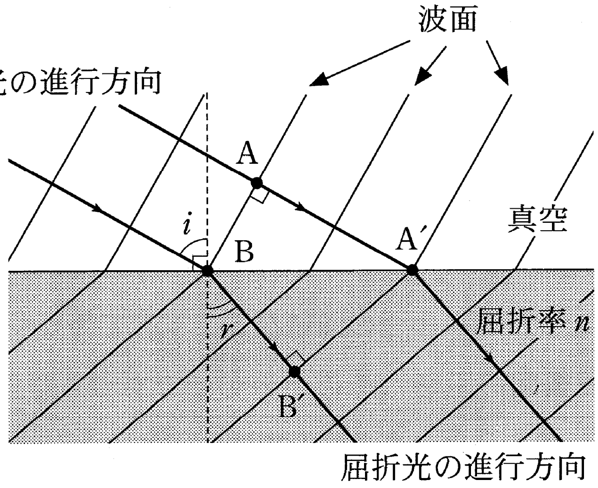

波面
入射光の進行方向
A
i
B
A′
真空
r
屈折率 n
B′
屈折光の進行方向

図 1

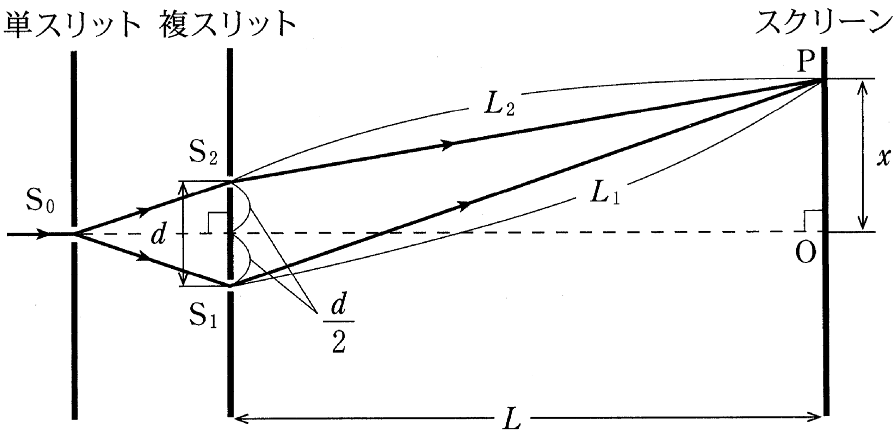

単スリット
複スリット
スクリーン
P
L_2
S_2
x
S_0
L_1
d
O
S_1
$\frac{d}{2}$
L

図 2

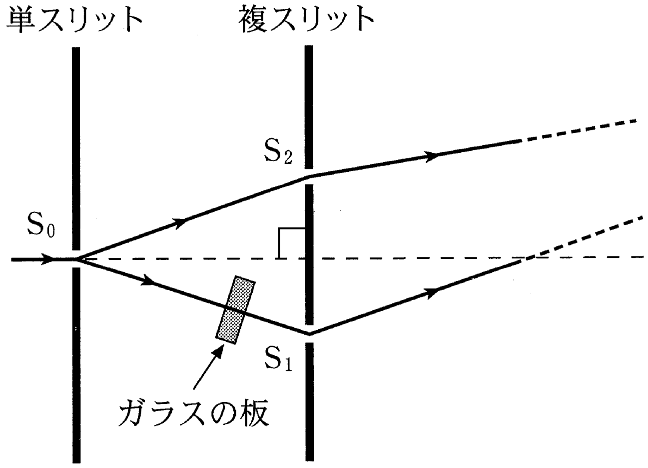

単スリット
複スリット
S_2
S_0
S_1
ガラスの板

図 3

III 次の文章中の空欄①～⑥を数式で，⑦と⑧を数値で埋め，解答欄に記入しなさい。

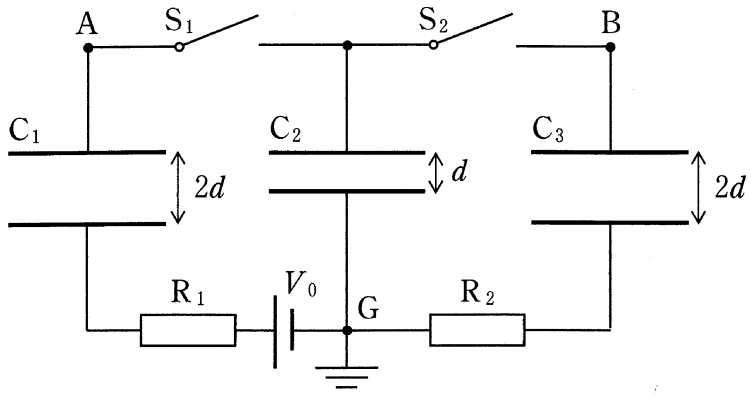
図のように，平行板コンデンサーC_1，C_2，C_3，抵抗R_1，R_2，起電力V_0の電池，およびスイッチS_1，S_2からなる回路がある。点Gを接地し，電位を0Vとする。各コンデンサーは，極板の面積がSですべて等しく，C_1とC_3の極板間の距離が$2d$，C_2の極板間の距離はその半分のdであり，空気で満たされている。ただし，極板の面積は十分に大きく，極板間の距離は十分に小さいものとする。また，2つのスイッチは開いており，各コンデンサーに電荷はないものとする。なお，真空の誘電率をε_0，空気の比誘電率を1.0とする。

(i) C_1の電気容量Cは，S，d，ε_0を用いて表すと，$C=$(①)である。また，C_2の電気容量は，Cを用いて(②)と表され，C_3の電気容量はC_1と同じCである。

(ii) はじめに，スイッチS_1だけを閉じた。十分に時間が経ったとき，C_1の電気量は，C，V_0を用いて(③)と表される。また，C_1にかかる電圧は，V_0を用いて(④)である。

(iii) 次に，S_1を開いた後，S_2を閉じた。十分に時間が経ったとき，点AとBの電位をそれぞれV_AとV_Bとすると，V_0を用いて，$V_A=$(⑤)，$V_B=$(⑥)と表される。

(iv) さらに，S_2を開いた。その後，C_3の極板間に，極板と同じ形かつ同じ面積で厚さがdである比誘電率3.0の誘電体を，極板と平行に，ゆっくり完全に挿入した。誘電体挿入後のC_3の電気容量は元の値Cの(⑦)倍になり，Bの電位は誘電体を挿入する前の(⑧)倍になる。


A
S1
S2
B
C1
C2
C3
2d
d
2d
R1
V0
G
R2

Ⅳ **問題Ａ**と**問題Ｂ**のいずれかを選択して解答しなさい。なお，解答欄にある，選択した問題の**記号Ａ**または**記号Ｂ**を○で囲みなさい。

《問題Ａ》

次の文章中の空欄①～③，⑤を数式で，⑥，⑦を数値で埋め，④については(ア)～(ウ)のうちから正しいものを１つ選び，解答欄に記入しなさい。

(i) 図１のように，温度 T_1〔℃〕，質量 m〔g〕，比熱(比熱容量) c〔J/(g･K)〕の金属球を，温度 T_2〔℃〕($T_1 > T_2$)の水の入った温度 T_2〔℃〕の容器にゆっくりと入れ，十分に時間が経つと，図２のように，金属球と水と容器が同じ温度 T_3〔℃〕になった。ただし，水と容器を合わせた熱容量を C〔J/K〕とし，金属球の比熱および水と容器の熱容量は温度によらず一定とする。また，水はこぼれたり蒸発したりしないものとする。

熱は金属球と水と容器の間だけで移動する(外部との熱の出入りがない)とした場合，金属球が放出した熱量 Q_1 は，T_1，T_3，m，c を用いて Q_1 =(　①　)〔J〕と表される。また，水と容器が吸収した熱量 Q_2 は，T_2，T_3，C を用いて Q_2 =(　②　)〔J〕と表される。このとき，熱量の保存より，金属球が放出した熱量 Q_1 は，水と容器が吸収した熱量 Q_2 に等しいことから，比熱 c は，T_1，T_2，T_3，m，C を用いて c =(　③　)〔J/(g･K)〕と表される。

一方，熱が外部に放出される場合，金属球が放出した熱量 Q_1 は，水と容器が吸収した熱量 Q_2 に(④　(ア)　比べて大きくなる，(イ)　等しくなる，(ウ)　比べて小さくなる)と考えられる。

(ii) 図３のように，断面積 S〔m^2〕のシリンダーの内部に，同じく断面積 S〔m^2〕のなめらかに動く軽いピストンで体積 V〔m^3〕の単原子分子の理想気体が閉じ込められている。シリンダーの内側には，この気体を均一に加熱および冷却できる温度調節器が設置されている。ただし，閉じ込められた気体の温度は大気の温度と同じであるとし，大気圧は p_0〔Pa〕とする。また，シリンダーおよびピストンは熱を通さず，温度調節器の体積および熱容量は無視できるものとする。

温度調節器を使って内部の温度を一定に保ったまま，ゆっくりとピストンを引いて，気体の体積を増加させた。図4のように気体の体積が $2V$〔m^3〕となったとき，ピストンを引いている力の大きさ F は，S，V，p_0 から必要なものを用いて F =（　⑤　）〔N〕と表される。また，気体に加えた熱量が 24 J であったとき，気体が外部にした仕事は（　⑥　）J となる。

一方，この気体の温度が 10 K 上昇するとき，その内部エネルギーは 24 J 増加するものとする。温度調節器を停止させたまま，ゆっくりとピストンを押して，この気体の体積を減少させたところ，温度が 40 K 上昇した。このとき，気体の内部エネルギーの変化と気体が外部からされた仕事は等しくなり，いずれも（　⑦　）J となる。

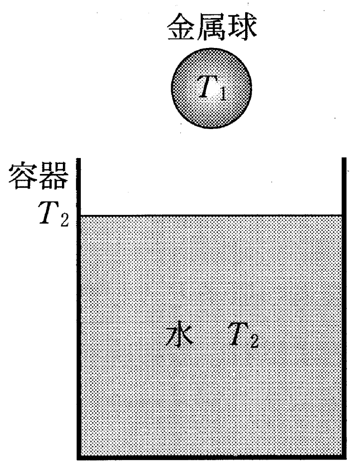


図 1

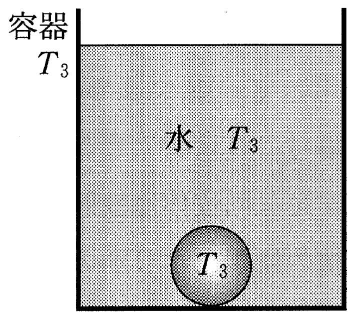


図 2

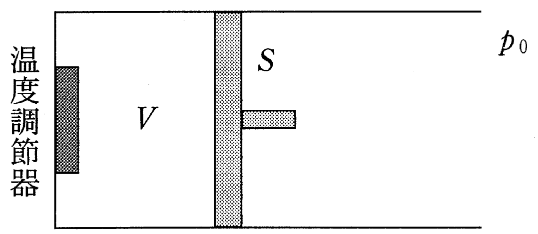


図 3

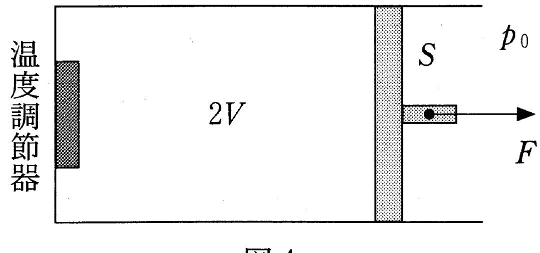


図 4

《問題B》

次の文章中の空欄①を語句で，②，④，⑤を数式で，③，⑥，⑦を数値で埋め，解答欄に記入しなさい。

原子は，中心の原子核と，それをとりまく負電荷をもつ（　①　）からなる。原子核は，正電荷をもつ陽子と，電荷をもたない中性子からなる。原子は，同じ数の陽子と（　①　）をもち，電気的に中性である。陽子と中性子の質量がほぼ等しいのに対して，（　①　）の質量はこれらに比べ非常に小さいので，原子核の質量が，原子全体の質量の大部分を占める。原子核を構成する陽子と中性子を総称して，核子とよぶ。

原子核内の陽子の数により原子の性質が異なり，元素が区別される。原子核内の陽子の数を原子番号という。原子核内の陽子と中性子の数の総和(核子数)は，質量数とよばれる。原子核の質量数をA，原子核内の陽子と中性子の数を，それぞれ，ZとNとすると，$A=$（　②　）が成立する。原子核は元素記号Xと質量数A，原子番号Zを用いて，${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$により表される。

同じ原子番号で質量数の異なる原子核をもつ原子どうしを，互いに同位体であるという。不安定な同位体は放射性同位体とよばれ，放射線を放出する。放射性同位体は，原子核の崩壊により別の原子核に変わる。この崩壊は一定の確率で起こり，多数の原子核の集団では，もとの原子核の数は時間とともに減少する。もとの原子核の数が半分になるまでに必要な時間を半減期という。半減期138日のポロニウム${}^{210}_{84}\mathrm{Po}$の原子核の数は，552日経つともとの原子核の数の（　③　）分の1になる。

放射性同位体の原子核の崩壊には，α線を放出するα崩壊と，β線を放出するβ崩壊があり，安定な原子核になるまで崩壊は続く。α崩壊では，原子核から1個のα粒子(ヘリウム${}^{4}_{2}\mathrm{He}$原子核)が放出される。このとき放出されるα粒子の流れがα線である。α崩壊により，原子核${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$の質量数はAから$A-4$に，原子番号はZから（　④　）に変わる。一方，β崩壊は，原子核内の1個の中性子が陽子と（　①　）に変わることにより起こる(正確には，反電子ニュートリノも放出される)。このとき放出される（　①　）の流れがβ線である。β崩壊の前後で，原子核${}^{A}_{Z}\mathrm{X}$の質量数Aは変わらないが，原子番号はZから（　⑤　）に変わる。ラジウム${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$は，（　⑥　）回のα崩壊と（　⑦　）回のβ崩壊を行い，最終的に鉛の安定な同位体のひとつ${}^{206}_{82}\mathrm{Pb}$になる。