平成３０年度入学試験問題（前期日程）

物　理

出 題 意 図

問題 $\boxed{1}$

運動方程式，力学的エネルギー，相対速度，放物線運動，物体の衝突を正しく理解しているかを問うている。

問題 $\boxed{2}$

屈折の法則，回折格子の干渉条件，全反射について理解しているかを問うている。また，数値計算力と幾何学的思考力についても問うている。

問題 $\boxed{3}$

コンデンサーの働きとコンデンサーにたくわえられる電気量や電位の考え方，およびコンデンサーを直列接続したり，抵抗を接続した場合の電気回路のふるまいについて問うている。

問題 $\boxed{4}$

ピストン・円筒容器に閉じ込められた理想気体の状態変化を題材として，ピストンにかかる力のつり合い，仕事，内部エネルギー，熱量，熱力学第１法則を正しく理解しているかを問うている。

前期日程

平成30年度入学試験問題

物　理

注　意　事　項

1．この問題冊子は，試験開始の合図があるまで開いてはいけません。

2．解答用紙は問題冊子とは別になっています。解答は解答用紙の指定されたところに記入しなさい。それ以外の場所に記入された解答は，採点の対象となりません。解答用紙は4枚あります。

3．本学の受験番号をすべての解答用紙の指定されたところへ正しく記入しなさい。氏名を書いてはいけません。

4．この問題冊子は，表紙を含めて12ページあります。問題は4ページから11ページにあります。ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚れ等に気付いた場合は，監督者に申し出なさい。

5．問題冊子の余白等は適宜利用しても構いませんが，どのページも切り離してはいけません。

6．この問題冊子は持ち帰りなさい。

1 図のように，水平でなめらかな床の上で，台を左から右へ一定の速度で移動させている。台の上面はなめらかな斜面になっており，小球はピンと糸を用いて斜面上につるされ，斜面上の点Aで台に対して静止している。斜面の右端の点Bが床上の点Oの真上に達したときに小球は糸からはずれ，そのあと斜面を転がることなくすべり落ち，点Bから飛び出した。飛び出した小球は，床上の点Pで床に衝突してはね返り，ふたたび床上の点Qで床に衝突してはね返り，さらに床上の点Rで床に衝突してはね返った。なお，小球が糸につるされている時から点Rで床に衝突するまでの間，台の速度は常に一定である。

小球の質量を m [kg]，台の速さを V [m/s]，斜面の傾斜角を θ [rad]，点Bから点Aまでの高さを h_1 [m]，床から点Bまでの高さを h_2 [m]，小球と床の間の反発係数を e，重力加速度の大きさを g [m/s^2]とする。小球と床の間に摩擦はないものとし，小球にはたらく空気抵抗は無視できるものとする。以下の問いに答えよ。答えには，$m, V, \theta, h_1, h_2, e, g$ のうちの必要な記号を用いよ。

(a) 小球が点Aから点Bまですべり落ちる間に台が移動する距離を求めよ。

(b) 小球が点Bを飛び出す瞬間の台に対する小球の速度を $\vec{v_1}$ [m/s]とする。

(i) $\vec{v_1}$ の水平方向成分を求めよ。ただし，図の右向きを正とする。

(ii) $\vec{v_1}$ の鉛直方向成分を求めよ。ただし，鉛直下向きを正とする。

(c) 小球が点Pで床に衝突する直前の床に対する小球の速度を $\vec{v_2}$ [m/s]とする。

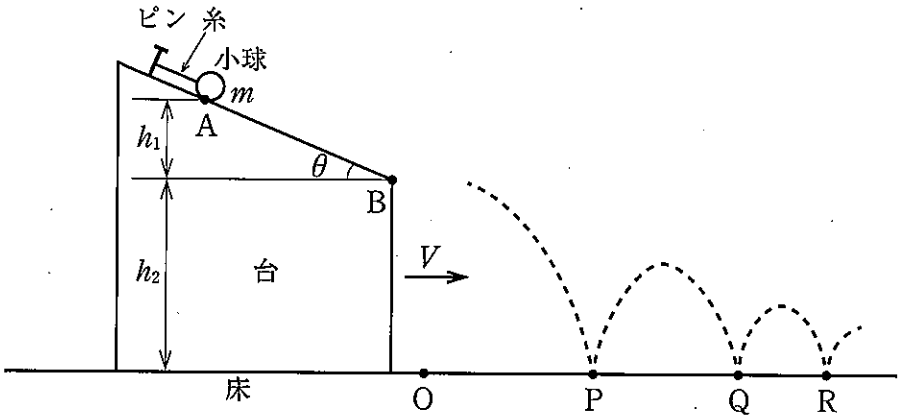
(i) $\vec{v_2}$ の水平方向成分を求めよ。ただし，図の右向きを正とする。

(ii) $\vec{v_2}$ の鉛直方向成分を求めよ。ただし，鉛直下向きを正とする。

(d) PQ間の水平距離を求めよ。

(e) 小球が点Pから点Qまで運動する間の最高点の床からの高さ H [m]を求めよ。

(f) 小球が点Qから点Rまで運動する間の最高点の床からの高さは問(e)の H の何倍か求めよ。



図

2 図1のように，水平に置かれた水槽（すいそう）に水が入っており，水槽の底に回折格子を水平に置いた。空気中での波長がλ_1[m]の単色光を，空気中から水面に対して入射角α[rad]で入射させ，回折格子の表面で反射させる。反射した光は回折して水面に達する。

(a) 図2は単色光が入射する水面付近を拡大したものである。以下の文章が正しい記述となるように，文中の空欄に適切な記号や数式を記入せよ。

空気中での単色光の速さをv_1[m/s]，水中での単色光の速さをv_2[m/s]とし，ある時刻での入射光の波面が線分OPであるとする。点Pを通過した波面が点Rに達するまでの時間をt[s]とすると，線分PRの長さは［ア］[m]である。この間に点Oを通過した波面は水中を進み点Qに達するので，線分OQの長さは［イ］[m]となる。よって，水中での波面は線分QRとなり，線分OQと水面の法線がなす角度β[rad]が屈折角となる。一方で，図2より，線分PRの長さは線分ORの長さの［ウ］倍，線分OQの長さは線分ORの長さの［エ］倍と表せる。これらの関係より，空気に対する水の屈折率n_{12}は

$$n_{12}=\frac{\boxed{\text{ア}}}{\boxed{\text{イ}}}=\frac{\boxed{\text{ウ}}}{\boxed{\text{エ}}}$$

と表せる。真空中の光の速さをc[m/s]，空気の絶対屈折率をn_1，水の絶対屈折率をn_2とすると，v_1はcとn_1を用いて［オ］，v_2はcとn_2を用いて［カ］と表せる。よって，n_{12}はn_1とn_2を用いて［キ］と表せる。光の振動数は媒質が異なっても変化しないという性質を利用すると，単色光の空気中での波長λ_1と水中での波長λ_2[m]を用いてn_{12}は［ク］と表せる。

(b) 図3は回折格子付近を拡大した図である。回折格子は，ガラス板の表面に光をよく反射する薄い金属の反射膜を付けたあと，この膜に溝を平行に間隔d[m]で多数刻んだものである。溝の方向は，水槽の真上から見た単色光の進行方向と直交している。回折格子に達した単色光は金属の反射膜では反射するが，金属膜がない溝の部分では単色光は反射しないものとする。回折格子からじゅうぶん離れたところでは，金属の反射膜で反射した光はある方向で強め合って平面波を形成する。その反射角をγ[rad]とする。以下の問いに答えよ。

(i) 線分STを波面の一部とする単色光は，点Sと点Uで反射し，回折格子よりじゅうぶん離れたところで強め合って線分VWを波面の一部とする平面波を形成する。経路SVから経路TUWを引いた経路差をβ，d，γを用いて表せ。

(ii) 回折格子からの反射光が強め合う場合は，問(b)(i)で求めた経路差が水中での単色光の波長λ_2[m]のm倍（mは整数）となっている。この場合の$\sin\gamma$をλ_1，α，n_{12}，d，mを用いて表せ。

(c) $d=1.6\times10^{-6}$ m，$\lambda_1=5.2\times10^{-7}$ m，$\sin\alpha=0.52$，$n_{12}=1.3$とする。以下の問いに答えよ。

(i) $0<\gamma<\frac{\pi}{2}$において，回折格子からの反射光が強め合う条件となるmの値をすべて求めよ。

(ii) 問(c)(i)で求めたmのうち，反射光が水面で全反射するmの値をすべて求めよ。なお，回折格子からの反射光は直接水面に達するものとする。

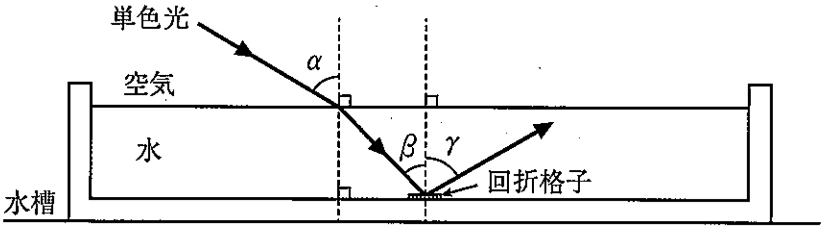

単色光
空気
水
水槽
回折格子
α
β
γ

図1

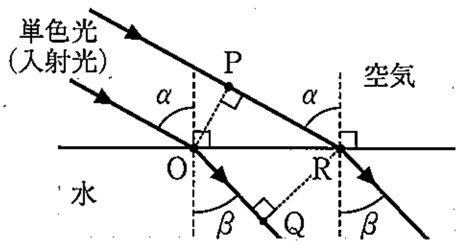

単色光
(入射光)
P
空気
α
O
R
水
Q
β

図2

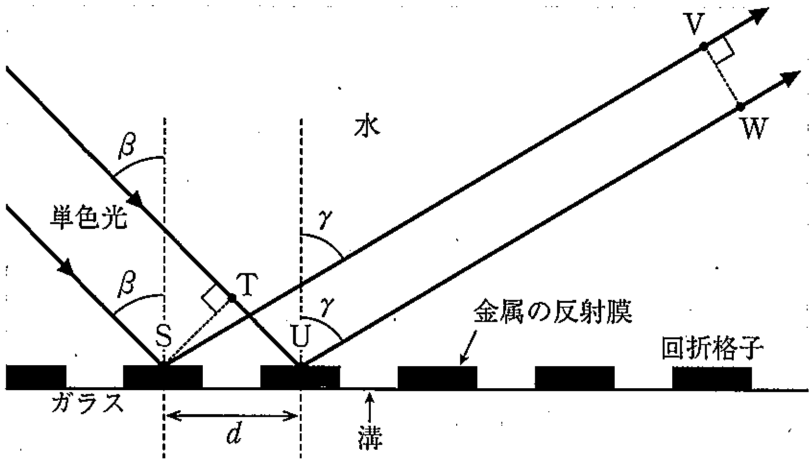

V
水
W
β
単色光
γ
T
S
U
金属の反射膜
回折格子
ガラス
d
溝

図3

3 電子部品として用いられるコンデンサーは，電池をつないだ場合，電荷を蓄えるとともに，耐電圧以下の電圧においても，片方の極板からもう片方の極板へ，コンデンサーの内部を通じて，電流がごくわずかに流れることが知られている。この電流の影響を調べるために，電子部品としてのコンデンサーを，内部に電流が流れないコンデンサーと電流がごくわずかに流れる抵抗を並列につないだものとして考える。以下の問いに答えよ。

(a) まず，電子部品のコンデンサー1個を電池に接続する場合を考える。図1のコンデンサー C_0 は内部に電流が流れないコンデンサーであり，抵抗 R_0 を流れる電流が電子部品のコンデンサーの内部を流れる電流を表すものと考える。導線やスイッチの抵抗は無視できるものとする。最初にスイッチSは開いていて，コンデンサー C_0 には電荷が蓄えられていない。電池の起電力は E[V]，その内部抵抗は r[Ω]，抵抗 R_0 の抵抗値を R_0[Ω]，コンデンサー C_0 の電気容量を C_0[F]とする。

(i) スイッチSを入れた直後に点aを流れる電流の大きさ I_a[A]，抵抗 R_0 を流れる電流の大きさ I_R[A]，点bを基準とした点aの電位 V_a[V]を E，r，R_0，C_0 のうち必要な記号を用いて表せ。

(ii) スイッチSを入れてじゅうぶんに時間が経ったとき，点aを流れる電流の大きさ I_a[A]，抵抗 R_0 を流れる電流の大きさ I_R[A]，点bを基準とした点aの電位 V_a[V]，コンデンサー C_0 に蓄えられる電気量の大きさ Q_0[C]を E，r，R_0，C_0 のうち必要な記号を用いて表せ。

(b) 次に，電子部品のコンデンサー2個を直列に接続する場合を考える。図2のコンデンサー C_1，C_2 は内部に電流が流れないコンデンサーであり，抵抗 R_1，R_2 を流れる電流が電子部品のコンデンサーの内部を流れる電流を表すものと考える。最初にスイッチSは開いていて，2つのコンデンサー C_1，C_2 には電荷が蓄えられていない。導線やスイッチの抵抗は無視できるものとする。電池の起電力は E[V]，その内部抵抗は r[Ω]，抵抗 R_1，R_2 の抵抗値をそれぞれ R_1[Ω]，R_2[Ω]，コンデンサー C_1，C_2 の電気容量をそれぞれ C_1[F]，C_2[F]とする。

(i) 図2のスイッチSを入れると，R_1，R_2 は非常に大きいので，コンデンサー C_1，C_2 を充電するための電流に比べて抵抗 R_1，R_2 に流れる電流が無視できる状況がまず現れ，その場合は図3で表すことができる。この状況でコンデンサーの充電がいったん完了したときを考える。2つのコンデンサー C_1，C_2 の合成容量 C_T[F]，点eを基準とした点cの電位 V_c[V]，点eを基準とした点dの電位 V_d[V]，コンデンサー C_2 に蓄えられる電気量の大きさ Q_2[C]を E，r，C_1，C_2 のうち必要な記号を用いて表せ。

(ii) 次に，問(b)(i)の状態からさらに長い時間を考えると，図2のコンデンサー C_1，C_2 を充電するための電流が小さくなり，抵抗 R_1，R_2 に流れるごくわずかな電流が無視できなくなる。そこで，問(b)(i)の状態のあとは図4を考える。コンデンサー C_1，C_2 に蓄えられる電気量はゆっくりと変化し，最終的に一定値となる。電気量が一定となったとき，抵抗 R_2 を流れる電流の大きさ I_2[A]，点eを基準とした点cの電位 V_c[V]，点eを基準とした点dの電位 V_d[V]，コンデンサー C_2 に蓄えられる電気量の大きさ Q_2[C]を E，r，R_1，R_2，C_1，C_2 のうち必要な記号を用いて表せ。

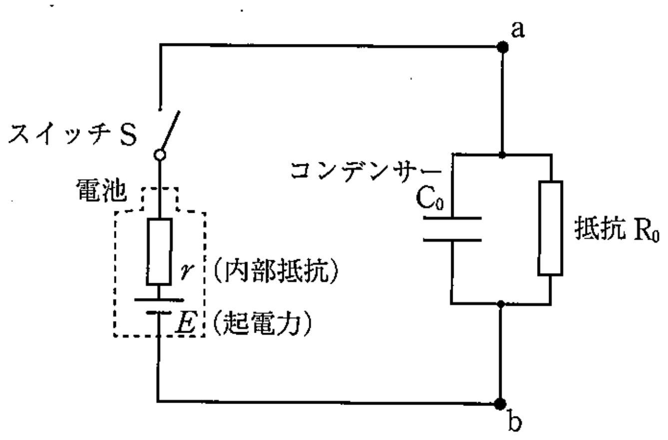

a
スイッチ S
電池
コンデンサー
C_0
抵抗 R_0
r（内部抵抗）
E（起電力）
b

図 1

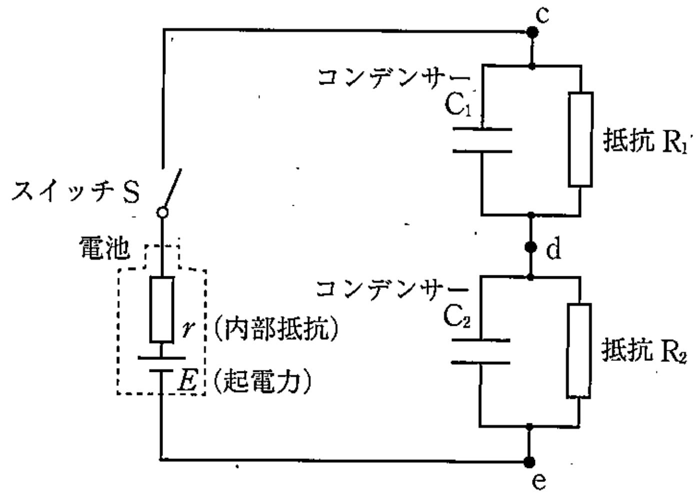

c
コンデンサー
C_1
抵抗 R_1
スイッチ S
電池
d
コンデンサー
C_2
r（内部抵抗）
抵抗 R_2
E（起電力）
e

図 2

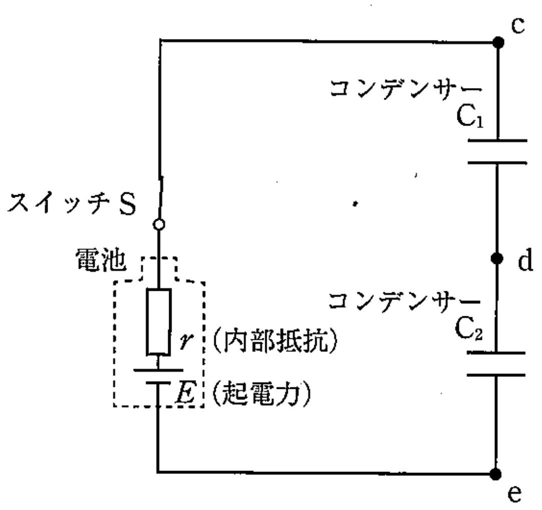

c
コンデンサー
C_1
スイッチ S
d
電池
コンデンサー
C_2
r（内部抵抗）
E（起電力）
e

図 3

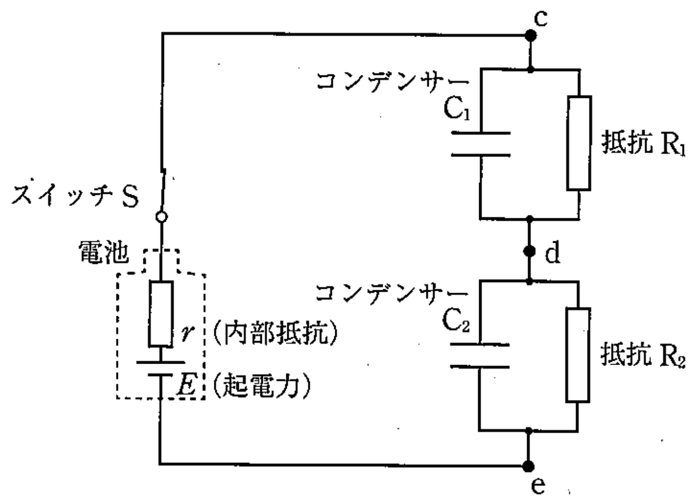

c
コンデンサー
C_1
抵抗 R_1
スイッチ S
d
電池
コンデンサー
C_2
r（内部抵抗）
抵抗 R_2
E（起電力）
e

図 4

4 図のように，円筒容器1が鉛直に置かれている。円筒容器1にはなめらかに動くピストン1がついている。円筒容器1の中には，断面積 $S\,[\mathrm{m}^2]$ の円筒容器2とヒーターが置かれている。円筒容器2にはなめらかに動くピストン2がついている。ピストン2にはばね定数 $k\,[\mathrm{N/m}]$ のばねが取り付けられており，ばねの他端は円筒容器2の底面に固定されている。円筒容器1の中にはピストン1によりモル数 $n_A\,[\mathrm{mol}]$ の単原子分子の理想気体Aが閉じ込められている。円筒容器2の中にはピストン2によりモル数 $n_B\,[\mathrm{mol}]$ の単原子分子の理想気体Bが閉じ込められており，気体Aは入っていない。円筒容器1とピストン1は熱を伝えない材料でできており，円筒容器2とピストン2は熱をよく伝える材料でできている。

はじめは，ばねは自然の長さであり，気体Aと気体Bの絶対温度は $T_0\,[\mathrm{K}]$，気体Bの体積は $V_0\,[\mathrm{m}^3]$ であった。この状態からヒーターでゆっくりと加熱し，気体Aと気体Bの絶対温度が $4T_0$ となったところで，加熱をやめた。このとき気体Bの体積は $2V_0$ であった。大気圧を $P_0\,[\mathrm{Pa}]$，気体定数を $R\,[\mathrm{J/(mol \cdot K)}]$ とする。ただし，ピストン1，ピストン2，ばねにはたらく重力は無視でき，円筒容器2，ピストン2，ばねの熱容量は無視できる。また，ばねの体積は無視でき，ばね定数は一定とする。以下の問いに答えよ。

(a) 加熱後の気体Bの圧力 $P'\,[\mathrm{Pa}]$ を，P_0 を用いて表せ。

(b) ばね定数 k を，S, V_0, P_0 を用いて表せ。

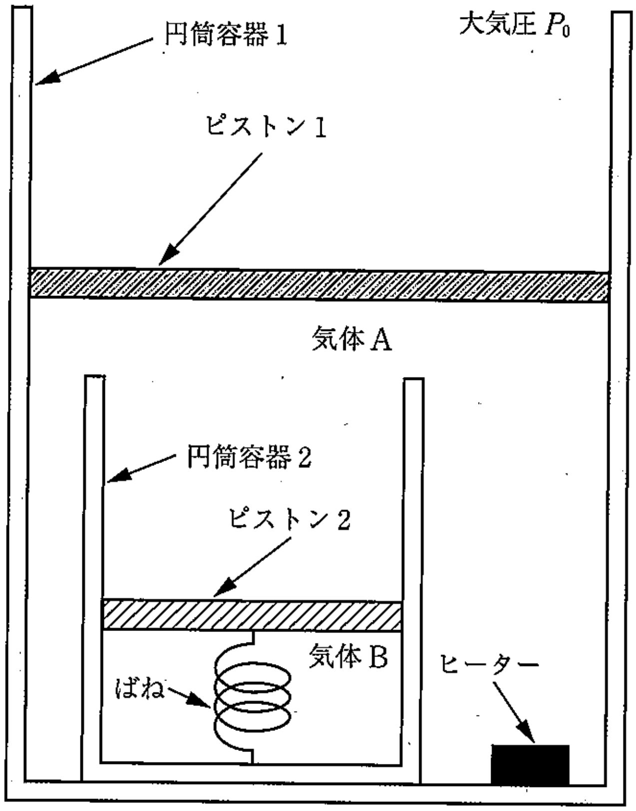
(c) 加熱中の気体Bの圧力と体積の変化を解答欄のグラフに実線で示せ。

(d) 加熱後にばねにたくわえられている弾性エネルギー $W_1\,[\mathrm{J}]$ を，V_0, P_0 を用いて表せ。

(e) 加熱の間に気体Aがピストン1に対してした仕事 $W_2\,[\mathrm{J}]$ を，n_A, n_B, T_0, R を用いて表せ。

(f) 加熱前後での気体Aの内部エネルギーの変化 $\Delta U_A\,[\mathrm{J}]$ と気体Bの内部エネルギーの変化 $\Delta U_B\,[\mathrm{J}]$ を，n_A, n_B, T_0, R のうち必要な記号を用いて表せ。

(g) ヒーターによって発生した熱量 $Q\,[\mathrm{J}]$ を，n_A, n_B, T_0, R を用いて表せ。ただし，ヒーターによって発生した熱量はすべて気体に与えられるものとする。



図