

長崎大学 一般（前期）

令和2年度 入学試験問題

理 科

	ページ
物 理.....	1～15

注 意 事 項

試験開始後、選択した科目の問題冊子及び解答用紙のページを確かめ、落丁、乱丁あるいは印刷が不鮮明なものがあれば新しいものと交換するので挙手すること。

1. 試験開始の合図があるまで問題冊子を開かないこと。
2. 試験開始後は、すべての解答用紙に受験番号（2か所）・氏名を記入すること。
3. 解答は、必ず解答用紙の指定されたところに記入すること。
4. 解答する数字、文字、記号等は明瞭に書くこと。
5. 解答用紙は持ち出さないこと。

物 理

1 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、長さ L [m] の軽い糸の上端を Q に固定し、下端に質量 M [kg] の小球 A をつるす。糸と鉛直線のなす角を θ [rad] に保ち、小球 A を水平でなめらかな床の上に常に接するようにして、 Q の鉛直下方の床上の点 O を中心として、周期 T [s] で等速円運動をさせる。 O を原点として床の上に x 軸および y 軸をとり、辺 bc が y 軸と平行になるように厚さ W [m] の直方体の粘土壁を、 O から離れた位置に床に対して垂直に固定した。

小球 A が y 軸との交点 P に達したときに糸を切断したところ、小球 A は OP に対して垂直な方向に直進し、点 P と粘土壁の間に静止していた質量 m [kg] ($m < M$) の小球 B に正面から弾性衝突した。その後、小球 B は直進し、粘土壁の面 $abcd$ に垂直に衝突して壁の中を直進し、壁の表面から $\frac{W}{2}$ のところで停止した。重力加速度の大きさを g [m/s²]、円周率を π とする。

- (1) 小球 A が等速円運動をしているときに、糸が小球 A を引く力の大きさ S [N] を、 π , θ , L , M , T , g のうち、必要なものを用いて表せ。
- (2) 小球 B に衝突する直前の小球 A の速さ v_A [m/s] を、 π , θ , L , M , T , g のうち、必要なものを用いて表せ。

- (3) 壁に衝突する直前の小球 B の速さ v_B [m/s] を, M, m, T, v_A, g のうち, 必要なものを用いて表せ。
- (4) 小球 B は粘土壁に衝突してから時間 Δt [s] 後に停止した。停止するまでに, 小球 B と壁との間にはたらいた力の大きさ F [N] および Δt を, それぞれ, M, m, W, v_B, g のうち, 必要なものを用いて表せ。ただし, F は Δt の間, 一定とする。

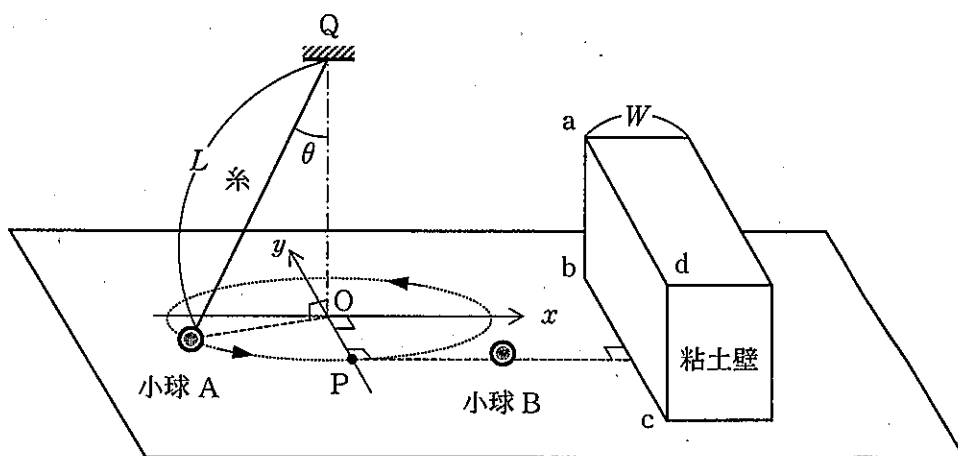


図 1

II 図2のように、まっすぐな変形しない軽い棒の端の点Bを、動かない鉛直な壁に、大きさと質量を無視できるちょうつがいで取りつけた。棒は、点Bを中心に鉛直面内でなめらかに回転できる。棒の端の点Aに質量 M [kg] のおもりを軽いひもでつり下げた。棒は、天井の点Cからのばした軽いひもで、点Dにおいて支えられている。重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。図中のすべての点は、同一の鉛直面内にあるとする。

(5) いま、図2において、ひもを含む直線CDEと水平線（直線AE）との角度 θ が 45° であった。なお、AEとBEの長さは R [m] である。ひもCDに作用する張力の大きさ S_1 [N] を、 M 、 R 、 g のうち、必要なものを用いて表せ。

(6) 次に、図2においてひもを交換し、ひもの支点をCからC'に移動させた。同時にDをD'に移動させた。このとき、ひもを含む直線C'D'Eと水平線（直線AE）との角度 θ' が 30° となった。ひもC'D'に作用する張力の大きさ S_2 [N] を、 M 、 R 、 g のうち、必要なものを用いて表せ。

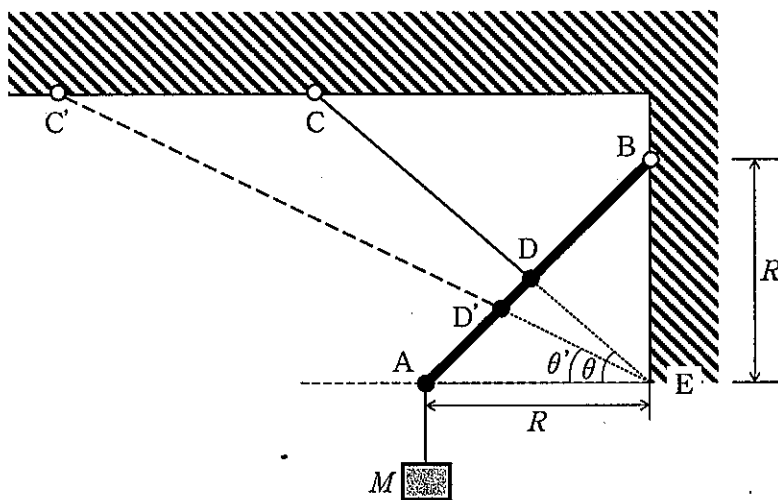


図2

- (7) さらに、図3のように、図2のまっすぐな変形しない軽い棒を、半径 R [m] の円弧状の変形しない軽い棒に取り換えた。ひもを含む直線 CDE と水平線（直線 AE）との角度 θ が 45° であったとき、ひも CD に作用する張力の大きさ S_3 [N] を、 M 、 R 、 g のうち、必要なものを用いて表せ。
- (8) 図3において、ひもを含む直線 CDE と水平線（直線 AE）との角度 θ が 0° から 90° ($0^\circ < \theta < 90^\circ$) に変化するとき、ひも CD に作用する張力の大きさはどのように変化するかを答えよ。

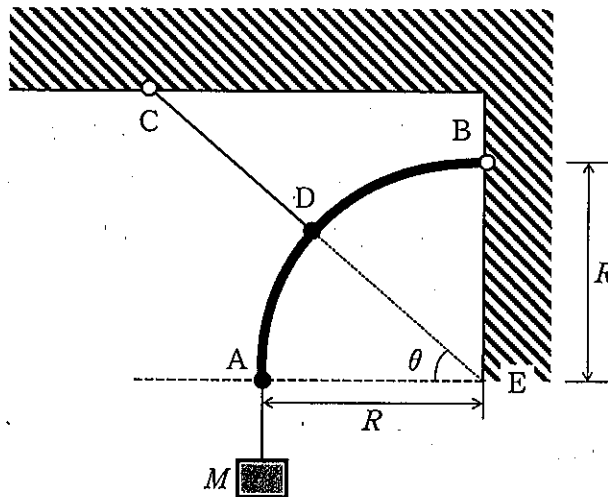


図3

2

次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 図1のように、内部抵抗が無視できる起電力 E [V] の電池 E_1 と、抵抗値がいずれも 0 でない r [Ω]、 $2r$ [Ω] の抵抗 R_1 、 R_2 と、抵抗値 R [Ω] が変化する可変抵抗 R_3 からなる回路がある。

(ア) CD 間に流れる電流の大きさを、 E 、 R 、 r を用いて表せ。

(イ) 抵抗値 R を変化させたところ、可変抵抗 R_3 の消費電力が最大になった。
このときの R を、 r を用いて表せ。

図2は、図1の回路において CD 間の可変抵抗 R_3 を、点線で囲んだ回路で置き換えたものである。点線で囲んだ回路は、抵抗値がいずれも 0 でない r と $2r$ の抵抗 R_4 、 R_5 を並列に接続したものに、内部抵抗が無視できる起電力 E [V] の電池 E_2 を直列につないだものである。

(ウ) AB 間に流れる電流の大きさを、 E 、 r を用いて表せ。また、その電流の流れる向きを (A→B, B→A) の中から一つ選べ。

(エ) (ウ) のとき、抵抗 R_4 に流れる電流の大きさを、 E 、 r を用いて表せ。また、その電流の流れる向きを (C→D, D→C) の中から一つ選べ。

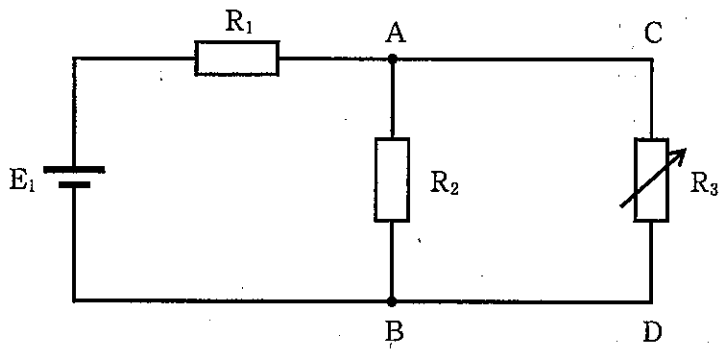


图 1

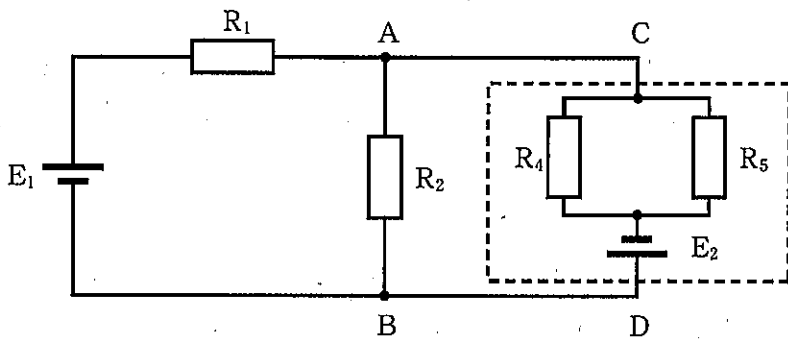


图 2

II 質量が異なる3種類の水素イオン (${}^1\text{H}^+$, ${}^2\text{H}^+$, ${}^3\text{H}^+$) について考える。陽子の質量を m (kg), 電気素量を e (C) とすると, それぞれのイオンの質量は (m , $2m$, $3m$) と近似でき, 電荷はすべて等しく $+e$ である。真空中で, これら3種類のイオンを速さ v (m/s) まで加速し, 一様な磁場中 (磁界中) に磁場の向きと垂直に打ちこむと, それぞれのイオンは, 異なる半径 (r_1 (m), r_2 (m), r_3 (m)) の円を描いて, 周期 (T_1 (s), T_2 (s), T_3 (s)) で等速円運動する。ただし, それぞれのイオンどうしは影響を及ぼし合わないものとする。

(オ) 半径の比, $r_1 : r_2 : r_3$ を, 整数で求めよ。

(カ) 周期の比, $T_1 : T_2 : T_3$ を, 整数で求めよ。

続いて, 水素イオン ${}^1\text{H}^+$ のみについて考える。イオンを元の速さの a 倍 ($a > 0$) になるように加速して打ちこむとともに, 磁場を元の強さの b 倍 ($b > 0$) になるように変化させた。

(キ) イオンが描く円軌道の半径およびその等速円運動の周期は, それぞれ, 変化させる前の何倍になるか求めよ。

(ク) イオンがもつ運動エネルギーは, 変化させる前の何倍になるか求めよ。

3 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I 振動数がともに f_0 [Hz] の音源 S_1 , S_2 および観測者が、図 1 のように x 軸上にある。矢印の向きを正としたとき、音源 S_1 は負の向きへ、音源 S_2 は正の向きへ、それぞれ同じ速さ v_s [m/s] で動いている。音速は V [m/s] とし、音源の速さ v_s は音速 V に比べ十分小さいとする。ただし、風は吹いていないものとする。



図 1

- (a) 静止している観測者が聞く音源 S_1 , S_2 からの音の振動数 f_1 [Hz], f_2 [Hz] を、それぞれ、 f_0 , v_s , V を用いて表せ。
- (b) 上記のとき観測者は毎秒 N 回のうなりを聞いた。このときの音源の動く速さ v_s を、 N , f_0 , V を用いて表せ。ただし、 $V^2 - v_s^2$ を V^2 と近似して答えよ。
- (c) 速さ v_o [m/s] で負の向きへ動く観測者が毎秒聞くうなりの回数を、 f_0 , v_s , V , v_o を用いて表せ。ただし、 $V^2 - v_s^2$ を V^2 と近似して答えよ。

- (d) 続いて、音源 S_1 を取り除き、 f_0 の音源 S_2 、観測者および反射板を、図 2 のように x 軸上に配置した。音源 S_2 と観測者は正の向きに、それぞれ速さ v_s 、 v_o で動き、反射板は負の向きに、速さ v_w で動いている。このとき、観測者が音源から直接聞く音の振動数 f_3 [Hz] と反射音の振動数 f_4 [Hz] を、それぞれ f_0 、 v_s 、 V 、 v_o 、 v_w を用いて表せ。

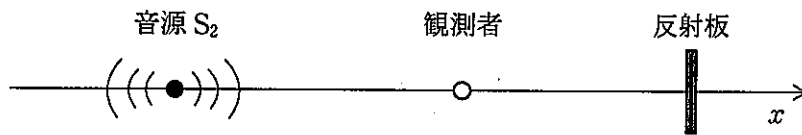


図 2

II 図3のように、薄い凸レンズであるレンズ1と、その光軸に垂直なスクリーンを置き、レンズ1の左側に物体を置いたところ、スクリーン上に実像が投影された。 f はレンズ1の焦点距離、 a はレンズの中心から物体までの距離、 b はレンズの中心からスクリーンまでの距離を示す。

(e) f を、 a と b を用いて表せ。

次に、物体を取り除き、スクリーンを $b = 20$ cmの位置に置く。図の左側から、光軸に平行な光線を、レンズ1を通してスクリーン上に投影したところ、図4のように光線がスクリーン上の一点に集まった。

(f) f は、何 cm であるか答えよ。

次に、スクリーンを移動させて $b = 24$ cmの位置に置いたところ、光線は図5のようにスクリーン上の一点には集まらなかった。

そこで、レンズ1の場所は動かさずに、薄いレンズ2をレンズ1から左側に20 cm離れた位置に、光軸を一致させるようにして設置して、光線がスクリーン上の一点に集まるようにしたい。

(g) レンズ2は凹レンズであるか、凸レンズであるか、正しい方を丸で囲め。

(h) レンズ2の焦点距離は何 cm である必要があるか答えよ。

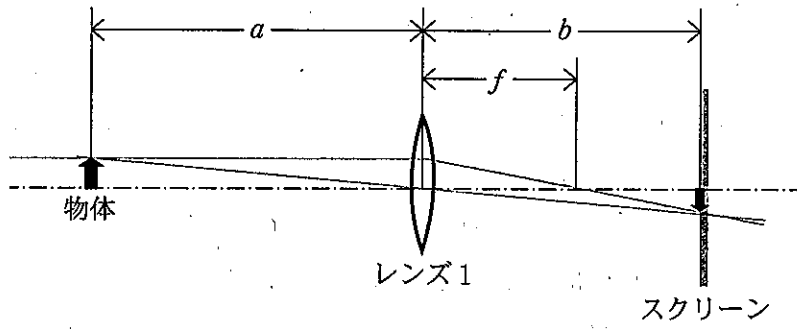


図 3

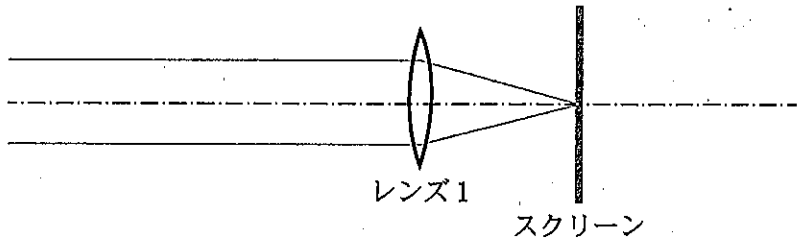


図 4

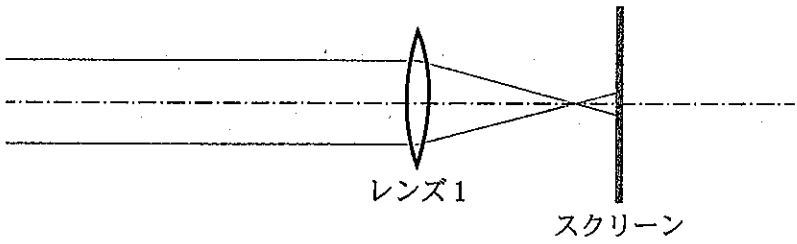


図 5

4 次の文章を読み、以下の各問に答えよ。

I n [mol] の理想気体（以下、気体という）を、なめらかに動くピストンを持つシリンダー内に閉じこめている。図1のように、この気体の圧力と体積を、状態 $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow A$ の順序で、1 サイクルの変化をさせた。 $A \rightarrow B$ では $p_A = p_B$ の等圧変化により、温度が T_A [K]、体積が V_A [m³] から、それぞれ T_B [K]、 V_B [m³] に変化した。 $B \rightarrow C$ では断熱膨張により、温度が T_B [K]、圧力が p_B [Pa]、体積が V_B [m³] から、それぞれ T_C [K]、 p_C [Pa]、 V_C [m³] に変化した。 $C \rightarrow D$ では $p_C = p_D$ の等圧変化により、温度が T_C [K]、体積が V_C [m³] から、それぞれ T_D [K]、 V_D [m³] に変化した。 $D \rightarrow A$ では断熱圧縮により、温度が T_D [K]、圧力が p_D [Pa]、体積が V_D [m³] から、それぞれ T_A [K]、 p_A [Pa]、 V_A [m³] に変化した。

出入りする熱量は、気体が外部から熱を吸収する場合を正とする。また仕事は、気体が外部に仕事をする場合を正とする。なお、気体定数を R [J/(mol·K)] とし、この気体の定積モル比熱を C_V [J/(mol·K)]、定圧モル比熱を C_p [J/(mol·K)] とする。

(あ) 状態 A から状態 B に変化する間に気体に吸収される熱量 Q_{AB} [J]、および、このとき気体が外部にする仕事 W_{AB} [J] を、それぞれ、 n 、 T_A 、 T_B 、 R 、 C_p のうち、必要なものを用いて表せ。

(い) 状態 C から状態 D に変化するとき、気体が外部にする仕事 W_{CD} [J] を、 n 、 T_C 、 T_D 、 R 、 C_p のうち、必要なものを用いて表せ。

(5) 状態Bから状態Cに変化するときの内部エネルギーの変化 ΔU_{BC} (J), および, このとき気体が外部にする仕事 W_{BC} (J)を, それぞれ, n, T_B, T_C, R, C_V のうち, 必要なものを用いて表せ。

(6) この一連の状態の変化を熱機関と考え, その熱機関の熱効率 e を T_A, T_B, T_C, T_D を用いて表せ。

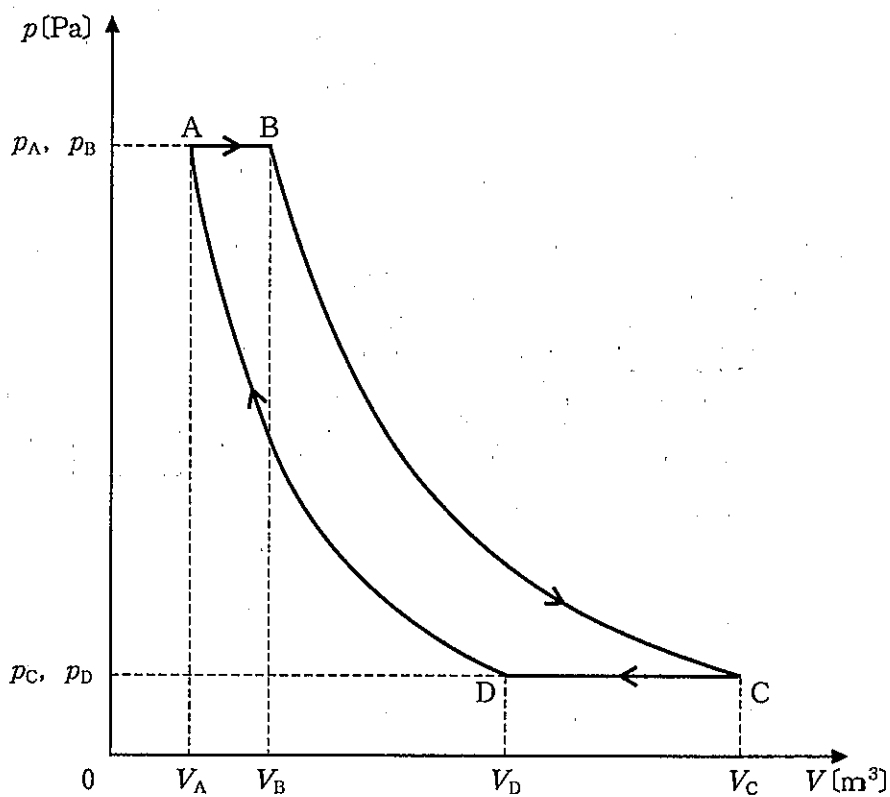


図1

II 陽電子は電子の反粒子であり、質量は電子と等しく、正の電荷をもち、その電荷の大きさは電子の電荷の大きさ、すなわち、電気素量 e と等しい。この陽電子は、ある種の放射性元素の原子核が崩壊し陽子が中性子に変わる際に、原子核からニュートリノとともに放出される。放出された陽電子は電子と衝突すると、ともに消滅して2つの光子が互いに逆向きに放出される。これを対消滅という。

(※) 以下の文章はクォークに関する記述である。□(1) ~ □(6) にあてはまる最も適切なものを【選択肢】の①~⑪から選べ。

核子はクォークとよばれる基本的な粒子3個からできている。核子を構成するクォークは、電荷が $\frac{2}{3}e$ のアップクォーク u と電荷が $-\frac{1}{3}e$ のダウンクォーク d である。陽子の電荷は □(1) であることから、クォークの組合せは □(2) となる。また、中性子の電荷は □(3) であるので、クォークの組合せは □(4) となる。したがって、陽電子を放出する放射性元素の原子核が崩壊する際は、陽子の中の1個の □(5) が □(6) へと変化し、中性子に変わると考えられる。

- 【選択肢】
- | | | | |
|---------|---------|---------|---------|
| ① $+2e$ | ② $+e$ | ③ 0 | ④ $-e$ |
| ⑤ $-2e$ | ⑥ u | ⑦ d | ⑧ uuu |
| ⑨ uud | ⑩ udd | ⑪ ddd | |

(カ) 陽電子1個と電子1個が衝突して対消滅するとき、全質量は光子のエネルギーに変換される。この場合の全部の光子のエネルギー E [J] を、電子の質量 m [kg]、真空中の光の速さ c [m/s] を用いて表せ。ただし、陽電子と電子が衝突する際のそれぞれの運動エネルギーは極めて小さく無視できるものとする。