平成31年度入学者選抜試験問題

工 学 部

（高分子・有機材料工学科，化学・バイオ工学科，
情報・エレクトロニクス学科，
機械システム工学科，システム創成工学科）

理　　科
（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　この問題冊子の本文は，1ページから6ページまでです。

3　解答は，物理専用の解答用紙を使用してください。

4　問題は3問からなっています。**解答は問題番号と一致した解答用紙**に記入してください。解答用紙は裏面まで使用できます。解答用紙には，計算過程も記入してください。

5　すべての解答用紙に**大学受験番号**を正しく記入してください。大学受験番号が正しくない場合は，採点できないことがあります。

6　試験終了後，問題冊子および下書き用紙は持ち帰ってください。

（試験開始前用）

問 題 訂 正

＿工＿学部＿理科（物理）＿

（監督者への指示事項）

1　受験者に対して，「解答はじめ」の指示前に問題訂正があることを口頭で伝えた上，試験開始直後に，下枠の内容を黒板に書いてください。

2　訂正内容は，省略をせずに一字一句（例：「･･･」，「 ・ 」，「 ， 」等を含む。）正確に黒板に書いてください。

3　黒板に書いた訂正内容については，必ず複数の監督者で確認してください。

（問題訂正）

3ページ下から4行目　第2問（4）

（誤）最大値K_0を

（正）最大値K_0〔J〕を

第１問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1)，(2)，・・・，(13) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。なお，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。

図１のように，傾斜角 θ のあらい斜面，水平な床，および半径 r〔m〕の半円筒が，それぞれ点Ｂおよび点Ｄでなめらかに接続されている。床面と半円筒の内面はなめらかである。斜面上の点Ａと半円筒の上端の点Ｆは床面から $2r$〔m〕の高さにあり，点Ｆは点Ｄを通る鉛直線上にある。床面上の点Ｃには質量 m〔kg〕の小球がおかれている。点Ａに質量 m〔kg〕の小物体をおいて静かにはなしたところ，小物体はあらい斜面をすべりおり，点Ｃで小球と弾性衝突した。小物体とあらい斜面との間の動摩擦係数を μ' とする。

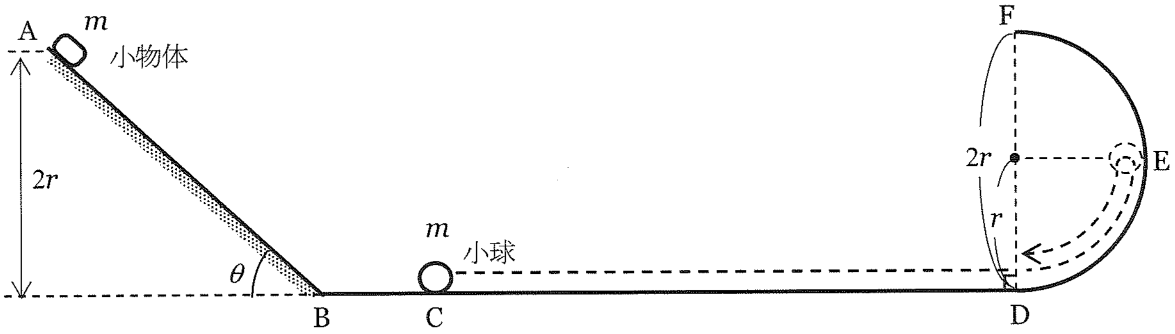

図１

(1) 小物体が斜面をすべりおりるときに斜面から受ける垂直抗力の大きさ N_1〔N〕を，θ, g, m を用いて表せ。

(2) 斜面をすべりおりるときの小物体の加速度の大きさ a〔m/s^2〕を，θ, μ', g を用いて表せ。

(3) 小物体が点Ａから点Ｂに達するまでに，動摩擦力が小物体にした仕事 W〔J〕を，θ, μ', g, m, r を用いて表せ。

(4) 斜面をすべりおりた小物体の点Ｂでの速さを v_B〔m/s〕としたとき，点Ｃにおいて小物体と弾性衝突した直後の小球の速さ v_C〔m/s〕を，m, v_B から必要な記号を用いて表せ。

小球は小物体と衝突後，区間 CD を通り，半円筒の内面に沿って床面から r〔m〕の高さまで到達した後，半円筒内面をすべりおりた。この最高点を点Ｅとする。

(5) 小球が点Ｅに到達した瞬間に半円筒の内面から受ける垂直抗力の大きさ N_2〔N〕を求めよ。

(6) 小球が点Ｅに到達した後，再び点Ｄを通る瞬間の速さ v_D〔m/s〕を，g, r を用いて表せ。

(7) 点Ａでの小物体の位置エネルギーと点Ｅでの小球の位置エネルギーの差を考慮し，μ' を，θ を用いて表せ。

次に，小物体と小球をそれぞれ点Aと点Cにもどして，点Aから小物体をあらい斜面に沿って下向きに初速度 V_0〔m/s〕ですべらせたところ，小物体は床面上の点Cで小球と弾性衝突した。衝突後の小球は速さ V_C〔m/s〕で区間CDを通り，図2のように，半円筒の内面に沿って点Fまで到達した後に，速さ V_F〔m/s〕で水平左向きに投げ出され，点Gで1度床面と衝突してはねかえり，点Dから距離 $6r$〔m〕離れた点Hで再び床面と衝突した。なお，小球と床面との反発係数は $e\,(0<e<1)$ とする。

(8) 小球が点Fに到達するために，V_C が満たすべき条件を，g, r を用いた不等式で表せ。

(9) 床面上の点Gで1度目の衝突をした直後の小球の速度について，その水平成分と鉛直成分の大きさ V_{Gx}〔m/s〕，V_{Gy}〔m/s〕を，それぞれ e, g, r, V_F から必要な記号を用いて表せ。

(10) 点Aでの小物体の力学的エネルギーと点Eでの小球の力学的エネルギーとの差を考慮して，小球が点Eを通過する瞬間の速さ V_E〔m/s〕を，点Aで与えた小物体の初速度 V_0 を用いて表せ。

(11) 小球が点Fを通過する瞬間の速さ V_F〔m/s〕を，g, r, V_0 を用いて表せ。

(12) 小球が点Fを通過してから点Hに到達するまでに要した時間 T〔s〕を，e, g, r を用いて表せ。

(13) 点Dと点Hの間の距離が $6r$ であることから，点Aで与えた小物体の初速度 V_0 を，e, g, r を用いて表せ。

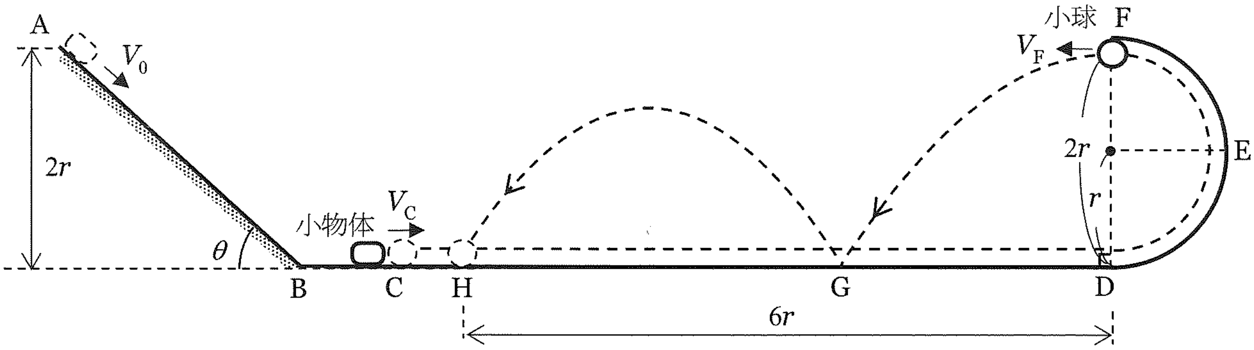

図2

第2問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1), (2), ･･･, (13) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。

図１のように，平行板コンデンサーと電流計が端子P, Qをもつ電源回路に接続されている。コンデンサーの極板の面積はS〔$\mathrm{m^2}$〕，極板間の距離はd〔m〕である。極板間は真空であり，その誘電率をε_0〔F/m〕とする。コンデンサーの側面には遮光板があり，図１の状態では光が極板間に入らない。遮光板を点線の位置にスライドさせると，電流計に接続された右側の極板にのみ振動数ν〔Hz〕の光が当たる。極板の金属の仕事関数をW〔J〕，光速をc〔m/s〕，プランク定数をh〔J･s〕とする。

電源回路では，電源1と電源2，および一様な太さの抵抗線を用いたすべり抵抗器が，スイッチS_1, S_2を介して直列接続されている。電源1と電源2の電圧はいずれもV_0〔V〕である。すべり抵抗器の電源1側の端部を点A，電源2側の端部を点Bとすると，AB間の長さはℓ〔m〕，抵抗はR〔Ω〕である。可動接点Cは点Aと点Bの間で動かすことができ，AC間の長さをx〔m〕とする。AC間の抵抗をR_{AC}〔Ω〕，CB間の抵抗をR_{CB}〔Ω〕とする。端子Pは，点Cと接続されている。端子Pと接地された端子Qとの間には，r〔Ω〕の抵抗が接続されている。はじめ，スイッチS_1とS_2は開いている。

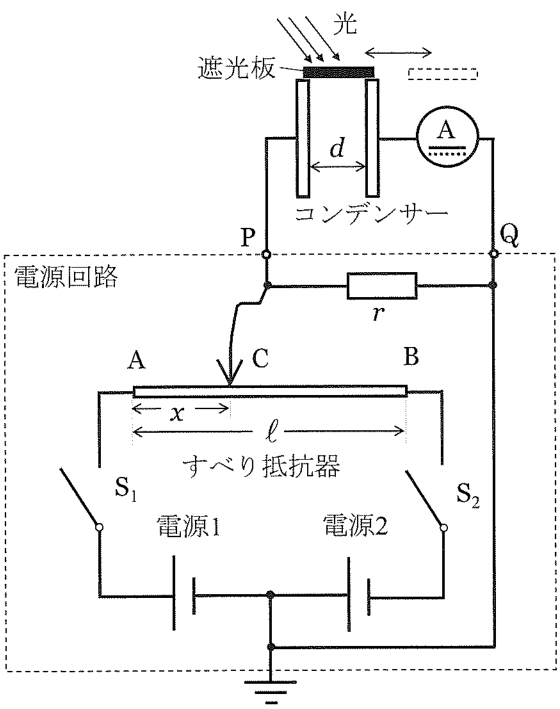

図１

(1) 抵抗R_{AC}とR_{CB}を，ℓ, x, Rを用いて表せ。

(2) コンデンサーの電気容量C〔F〕を，ε_0, d, Sを用いて表せ。

遮光板を点線の位置にスライドさせると，右側の極板から<u>電子が飛び出してきた</u>。

(3) 上記下線部が示すような，光を当てることで金属から電子が飛び出す現象の名称を答えよ。

(4) 飛び出した電子の運動エネルギーの最大値K_0を，ν, c, h, Wの中から必要な記号を用いて表せ。

(5) 振動数を一定に保ちながら光を強くしたとき，電流計を流れる電流について，正しいものを以下から一つ選べ。

　（ア）大きくなる，　（イ）変わらない，　（ウ）小さくなる

遮光板を元の位置にもどし，光が極板間に入射しない状態で十分時間が経過してからスイッチ S_1 を閉じた。

(6) スイッチ S_1 を閉じた直後に電流計に流れる電流の大きさ I_Q〔A〕を，r, R_{AC}, V_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

(7) スイッチ S_1 を閉じてから十分時間が経過した後の端子Pの電位 V_P〔V〕を，r, R_{AC}, V_0 を用いて表せ。

次に，S_1 と S_2 の両方を閉じて十分時間が経過した。このときの端子Pの電位を求めるため，図 1 の点線内部の電源回路を，図 2 に示すような電源1と電源2を含む閉回路として考える。R_{AC} に流れる電流を I_1〔A〕，r に流れる電流を I_2〔A〕とする。

(8) 電源1，抵抗 R_{AC} および r を含む経路1に着目して，電源1の電圧 V_0 を，r, I_1, I_2, R_{AC} を用いて表せ。

(9) 2つの電源と抵抗 R_{AC} および R_{CB} を含む経路2に着目すると，抵抗 R_{CB} を流れる電流は I_1-I_2 と表わすことができる。2つの電源の起電力の和が $2V_0$ となることに注意して，$2V_0$ を，I_1, I_2, R_{AC}, R_{CB} を用いて表せ。

(10) 端子Pの電位が 0 になるとき，$I_2=0$ になることに注意して，このときの x の値を，ℓ を用いて表せ。

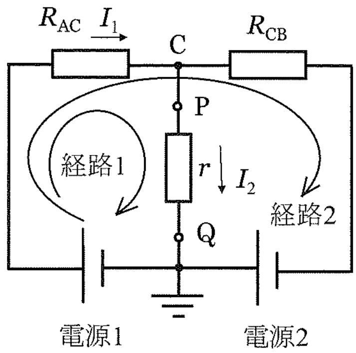

図 2

さらに，図1でスイッチ S_1 と S_2 を閉じたまま遮光板を点線の位置にスライドさせ，右側の極板に再び光を当てた。
すべり抵抗器の可動接点Cを点Aから点Bに向かってゆっくり動かしながら電流計に流れる電流の大きさを調べたところ，$x=\frac{3}{4}\ell$ のとき，電流が流れなくなった。なお，$r=\frac{3}{16}R$ とし，光によって飛び出した電子による端子Pの電位の変化は無視できるものとする。

(11) 電流が流れなくなる理由を説明せよ。

(12) 小問 (1), (8) および (9) の結果から，$x=\frac{3}{4}\ell$ のときの I_2 を，R, V_0 を用いて表せ。

(13) $x=\frac{3}{4}\ell$ のときの端子Pの電位 V_P を，V_0 を用いて表せ。

第3問

次の文章を読んで，以下の問いに答えよ。解答は，小問番号 (1), (2), ・・・, (10) を明記し，途中の計算過程も記入して，答えに下線を引くこと。

ボーアの水素原子モデルについて考える。電気量 $+e$〔C〕の原子核のまわりを，質量 m〔kg〕，電気量 $-e$〔C〕の電子が速さ v〔m/s〕，半径 r〔m〕で等速円運動している。円周率をπ，光の速さを c〔m/s〕，プランク定数を h〔J·s〕，真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0〔$\mathrm{N \cdot m^2/C^2}$〕とする。

(1) 電子に働く遠心力と静電気力のつり合いの式を，e, k_0, m, r, v を用いて表せ。

(2) ド・ブロイは電子にも波動性があるという仮説を立てた。この波を物質波という。速さ v で等速円運動している電子の物質波としての波長 λ_e〔m〕を，h, m, v を用いて表せ。

(3) ボーアは，原子の定常状態において，電子の円軌道の 1 周の長さ $2\pi r$ が電子の波長の整数倍 $n\lambda_e$ と等しい，という仮説を立てた。ここで $n = 1, 2, 3, \cdots$ である。この仮説と小問 (1) および (2) の結果に基づいて，n 番目の定常状態の円軌道の半径 r_n を，π, e, h, k_0, m, n を用いて表せ。

(4) 前問で求めた円軌道の半径 r_n は，$n = 1$ の定常状態の円軌道の半径 r_1 を用いて $r_n = r_1 n^2$ と表される。一方，n 番目の定常状態の電子のエネルギー E_n〔J〕は，運動エネルギーと静電気力による位置エネルギーの和である。E_n を，e, k_0, n, r_1 を用いて表せ。ただし，電子が無限遠にあるときの位置エネルギーを 0 とする。

(5) 電子が $n = 3$ から $n = 2$ の定常状態に移るとき，赤色の光が放射される。$n = 3$ および $n = 2$ のときの電子のエネルギーを E_3〔J〕, E_2〔J〕とする。放射される光の波長 λ_R〔m〕を，c, h, E_2, E_3 を用いて表せ。

図 1 は，水素放電管（水素ガス中での放電を利用した光源）から放射される光の波長を測定する装置の模式図である。水素放電管から距離 a〔m〕離れた位置に焦点距離 f_1〔m〕の凸レンズを置いたところ，凸レンズの右側 b〔m〕の位置に光が集まり実像ができた。その後，凸レンズの右側 ℓ〔m〕の位置（$\ell < b$）に焦点距離 f_2〔m〕の凹レンズを置いたところ，光は光軸に平行に進んだ。凸レンズと凹レンズの光軸は一致しており，水素放電管はその光軸上に置かれているものとする。

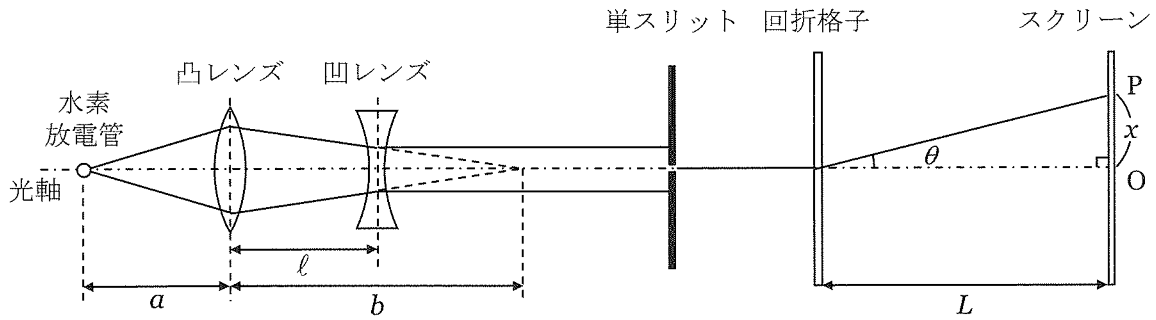

図1

(6)　b を，a, f_1 を用いて表せ。

(7)　f_2 を，a, b, ℓ の中から必要な記号を用いて表せ。

図 1 に示すように，凹レンズを通過して平行に進んだ光線の先に単スリットを置き，その右側に格子定数 d〔m〕の回折格子を光軸に垂直に置いた。さらに，回折格子から距離 L〔m〕の位置にスクリーンを光軸に垂直に置いたところ，赤色や青色などの明線がそれぞれ等間隔に観測された。スクリーンと光軸の交点 O から上側に x〔m〕離れた位置を点 P とし，点 P に向かう光と光軸のなす角を θ とする。図 2 はそのときの回折格子内のとなり合うスリット部分の拡大図である。ただし，θ はきわめて小さいとする。

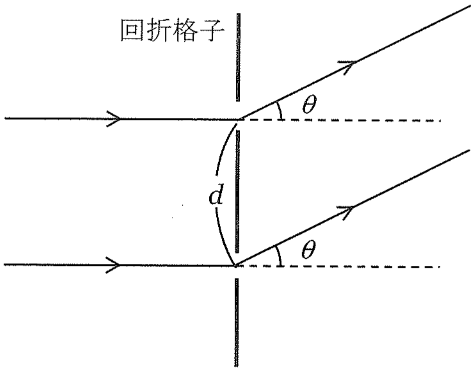

図 2

(8)　回折格子内のとなり合うスリットを経て点 P に達する光の経路差 ΔL_1〔m〕を，d, x, L を用いて表せ。ただし，θ がきわめて小さいとき，$\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta$ と近似してよいものとする。

(9)　スクリーン上の赤色の明線の間隔を測定したところ，Δx_1〔m〕であった。赤色の光の波長 λ_R を，Δx_1, d, L を用いて表せ。

(10)　水素放電管からは異なる波長 λ_B〔m〕の青色の光も放射される。青色の明線の間隔は赤色の明線の間隔よりも大きいか小さいか，理由とともに答えよ。