選択科目

(医　学　部)

― 2月3日 ―

物　理
化　学
生　物
この中から１科目を選択して解答しなさい。

科　目	問題のページ
物　理	1 ~ 5
化　学	6 ~ 14
生　物	15~24

選択した科目の解答用紙をビニール袋から取り出し，解答はすべて選択した科目の解答用紙に記入して提出しなさい。

物　理

1

次の各問いについて，それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の記号にマークしなさい。

図1のように，真空中に物体および焦点距離がf〔m〕($f>0$)の充分に薄い凸レンズL_1があり，光軸となるx軸に対して垂直に置かれている。凸レンズL_1の中心は$x=0$ mの位置に，物体は$x=-a$〔m〕($a>f$)の位置にある。

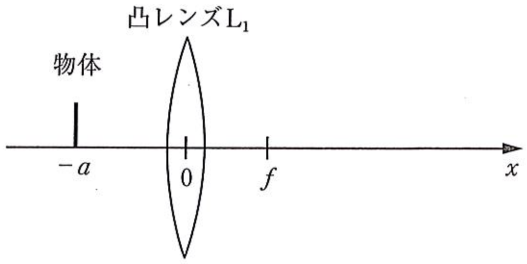


図1

(1) x軸に垂直なスクリーンを凸レンズL_1の近くからx軸の正方向に動かしたところ，位置$x=b$〔m〕でスクリーン上に物体の鮮明な像ができる。この位置b〔m〕をa，fを用いて表しなさい。

次に，図2のように，焦点距離が$2f$〔m〕の充分に薄い凸レンズL_2を$x=c$〔m〕($b<c<b+2f$)の位置に置いた。

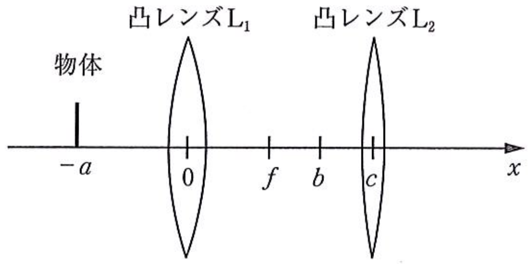


図2

(2) xの正の方向から凸レンズL_2を覗いたとき，物体の像が見える位置をb，c，fを用いて表しなさい。

(3) そのときの像の倍率をa，b，c，fを用いて表しなさい。

物体の位置はそのままで，凸レンズL_1と凸レンズL_2を密着させ，２つのレンズの中心が$x=0$ mの位置になるようx軸に垂直に置いた。

(4) x軸に垂直なスクリーンを，密着したレンズの近くからx軸の正方向に動かすと，ある位置でスクリーン上に物体の鮮明な像ができる。この位置をa，fを用いて表しなさい。

次に，図３のように，物体を取り除き，x 軸の負の方向から x 軸に平行な単色光を密着した２つの凸レンズ L_1，L_2 に当てる。２つのレンズの中心は $x = 0$ m の位置にある。x 軸の正の方向で，密着した２つの凸レンズ L_1，L_2 を１枚のレンズと考えたときの焦点距離の半分の位置に x 軸に垂直に遮光板を置いた。この遮光板には x 軸を中心として，内径 r〔m〕，外径 $2r$〔m〕のリング状のスリットが入っており，屈折率が n $(n > 1)$ の充分厚いガラスを x 軸の正の方向から遮光板に密着させて置いた。レンズを透過した光の一部が遮光板のリング状スリットを通過する。レンズの半径に対し，リング状スリットの外径 $2r$ は小さいとし，遮光板の厚み，光の回折および反射は無視できる。

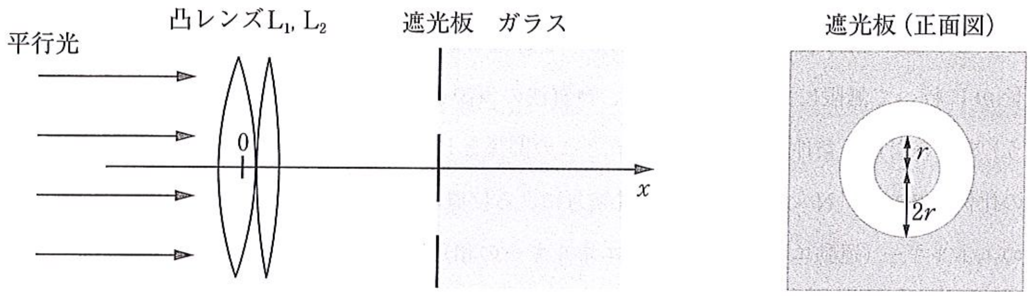


図３

(5)　リング状スリットを通過した光線が x 軸を横切る最大の位置を n，r，f を用いて表しなさい。

〔解答群〕

(1)　ア．$\dfrac{af}{a+f}$　　イ．$\dfrac{f}{f-a}$　　ウ．$\dfrac{af}{a-f}$　　エ．$\dfrac{a(a+f)}{f-a}$　　オ．$\dfrac{a-f}{a+f}$

(2)　ア．$\dfrac{bf^2+bc-c^2}{f+b-c}$　　イ．$\dfrac{2bf+bc-c^2}{2f+b-c}$　　ウ．$\dfrac{2bf-bc+c^2}{f+b+c}$　　エ．$\dfrac{2bf-bc+c^2}{2f+b+c}$

オ．$\dfrac{bf^2+bc+c^2}{2f+b-c}$

(3)　ア．$\dfrac{2af}{b(2f+b-c)}$　　イ．$\dfrac{bf}{a(f+b+c)}$　　ウ．$\dfrac{2bf^2}{a(2f+b+c)}$　　エ．$\dfrac{2af}{b(f+b-c)}$

オ．$\dfrac{2bf}{a(2f+b-c)}$

(4)　ア．$\dfrac{2af}{3a-2f}$　　イ．$\dfrac{2af}{a-2f}$　　ウ．$\dfrac{f}{5a-2f}$　　エ．$\dfrac{2f}{3a+2f}$　　オ．$\dfrac{a-2f}{3a-2f}$

(5)　ア．$\sqrt{\left(\dfrac{f}{3n}\right)^2+\left(\dfrac{1}{n^2}-1\right)r^2}$　　イ．$\sqrt{\left(\dfrac{nf}{3}\right)^2+4(n^2-1)r^2}$　　ウ．$\sqrt{\left(\dfrac{f}{2n}\right)^2+(n^2-1)r^2}$

エ．$\sqrt{\left(\dfrac{f}{3n}\right)^2+\left(\dfrac{2r}{n-1}\right)^2}$　　オ．$\sqrt{f^2+4\left(\dfrac{1}{n^2}-1\right)r^2}$

物　　理

2　ボーアの水素原子モデルでは，原子中の電子は，原子の中心からクーロンの法則に従う電気力を受け，その力を向心力とする等速円運動を行うと考える。このボーアの理論は，電子が単なる粒子ではなく波でもある，という物質波の仮説を取り入れると理解しやすくなる。さらに，この仮説をフックの法則に従う力を向心力とする等速円運動に適用すると，半導体中に閉じ込められた電子の動きを考察できる。次の文中の空欄 $\boxed{\ (1)\ }$ ～ $\boxed{\ (5)\ }$ について，それぞれの解答群の中から最も適切なものを一つ選び，解答欄の記号にマークしなさい。円周率を π とする。

プランク定数を h〔J・s〕，電子の運動量を p〔kg・m/s〕，電子の質量を m〔kg〕とすると，この粒子の物質波としての波長は $\boxed{\ (1)\ }$〔m〕である。ボーアの水素原子モデルに従い座標原点に置かれた電気量 e〔C〕$(e>0)$ の原子核を中心とする半径 r〔m〕の円軌道上を，電気量 $-e$ の電子が速さ v〔m/s〕で運動しているとする。原子核の質量は電子の質量 m に較べて無限に大きいとみなす。物質波の仮説によると，定常状態の電子の円軌道は，自然数 n（量子数 n という）を用いた量子条件を満たすので，r と v の関係として表すと，$r=\boxed{\ (2)\ }$〔m〕である。真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0〔N・m^2/C〕とし，電気力による位置エネルギーを無限遠方でゼロとすると，n 番目の定常状態の電子のエネルギー（運動エネルギーと位置エネルギーの和）E_n〔J〕は，$\boxed{\ (3)\ }$〔J〕である。

自然界には，電子と同じ電気量を持ち電子の約200倍の質量を持つミュー粒子（ミューオン）が存在し，水素原子中の電子をこのミュー粒子に置き換えた水素原子（ミュオニック水素原子）を生成することができる。このミュオニック水素原子に，ボーアの水素原子モデルを用いると，n 番目の定常状態のミュー粒子のエネルギーを計算することができる。量子数2の励起状態のミュー粒子は，きわめて短い時間で量子数1の基底状態に移り，このとき E_2-E_1 のエネルギーの光子が放出される。その波長は，水素原子中の電子から放出される光子の波長から推定できる。特に，バルマー系列の光子の波長は可視光線の領域にあるので，量子数2の励起状態のミュー粒子から放出される光子の波長は $\boxed{\ (4)\ }$ nm 程度である。

次に，半導体中に閉じ込められた電子の動きを考察するために，電子がフックの法則に従い半径に比例する向心力（比例係数を k〔N/m〕とする）を受けて等速円運動を行う場合を考える。ボーアの水素原子モデルで用いた量子条件を電子の円軌道に課す。その結果，n 番目の定常状態の電子のエネルギー（運動エネルギーと半径に比例する向心力による位置エネルギーの和）E_n が，$\omega=\sqrt{\dfrac{k}{m}}$〔rad/s〕を用いて $\boxed{\ (5)\ }$〔J〕と求まる。

〔解答群〕

(1)　ア．$\dfrac{h}{2\pi p}$　　イ．$\dfrac{h}{\pi p}$　　ウ．$\dfrac{h}{p}$　　エ．$\dfrac{\pi h}{p}$　　オ．$\dfrac{2\pi h}{p}$

(2)　ア．$\dfrac{nh}{2\pi mv}$　　イ．$\dfrac{nh}{\pi mv}$　　ウ．$\dfrac{nh}{mv}$　　エ．$\dfrac{\pi nh}{mv}$　　オ．$\dfrac{2\pi nh}{mv}$

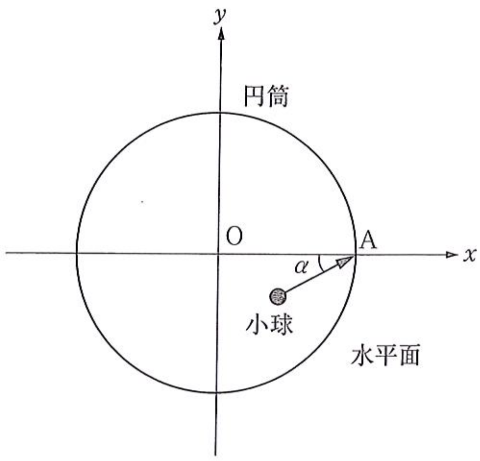
(3)　ア．$-\dfrac{2\pi^2 mk_0^2e^4}{n^2h^2}$　　イ．$-\dfrac{2\pi^2 mk_0^2e^4}{nh^2}$　　ウ．$-\dfrac{2\pi^2 mk_0e^4}{n^2h}$　　エ．$-\dfrac{2\pi^2 mk_0^2e^4}{nh}$

オ．$-\dfrac{2\pi^2 mk_0^2e^4 n}{h}$

(4)　ア．10^{-4}　　イ．10^{-2}　　ウ．1　　エ．10^2　　オ．10^4

(5)　ア．$\dfrac{h\omega}{2\pi n}$　　イ．$\dfrac{h\omega}{n}$　　ウ．$h\omega$　　エ．$h\omega n$　　オ．$\dfrac{h\omega n}{2\pi}$

3 図は半径がRで質量が$2m$の短い円筒を滑らかな水平面上に置き，円筒の中心Oをx，y座標系の原点にセットした状況を上方から見たものである。ここで，質量mの小球を円筒内部の側面とx軸が交差する点Aへむけて入射角α $(\alpha > 0)$ および速さvで衝突させた。円筒内面と小球の衝突は弾性衝突であり，小球と円筒内面との間の摩擦はない。小球および円筒の運動は水平面上で行われ，円筒は変形しないものとして，この衝突現象について次の各問いに答えなさい。



(1) 小球の衝突直後の速さを求めなさい。

(2) 円筒中心Oの衝突直後の速さを求めなさい。

小球の入射角αを選ぶことで，2回目の衝突において小球は円筒内面と垂直に衝突した。

(3) このときのαを求めなさい。

(4) 2回目の衝突直後の小球の速さを求めなさい。

(5) 2回目の衝突直後の円筒中心Oの速さを求めなさい。

4　2個以上の点電荷が配置されているときの静電エネルギーについて考える。図1のように，電気量 q_1〔C〕の点電荷と電気量 q_2〔C〕の点電荷（以下ではそれぞれ電荷 q_1，q_2 のように呼ぶ）が r_{12}〔m〕離れて置かれているときの静電エネルギー〔J〕は，「無限に離れた q_1 と q_2 を r_{12} までゆっくり近づけるために外力がする仕事」と定義される。次の各問いに答えなさい。クーロンの法則の比例定数を k〔$N \cdot m^2/C^2$〕とする。

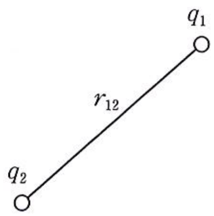


図1

(1)　図1の系の静電エネルギー〔J〕を求めなさい。

(2)　ここに，図2のように，電荷 q_3 を置く。q_1，q_2 との距離はそれぞれ r_{13}〔m〕，r_{23}〔m〕とする。このとき系の静電エネルギーは，(1)で求めたエネルギーに「q_3 を無限遠からゆっくり近づけ，所定の位置に置くまでに外力がする仕事」を加えたものである。系の静電エネルギー〔J〕を求めなさい。

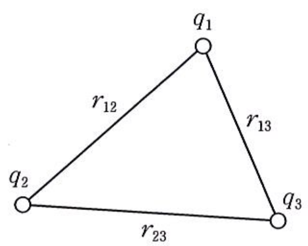


図2

(3)　一方，3個の点電荷があるとき，電位の基準を無限遠方にとったときの q_i $(i = 1,\ 2,\ 3)$ の位置の電位 V_i〔V〕は，q_i の位置に他の点電荷が作る電位を全て重ねあわせたものになる。(2)で求められた系の静電エネルギー〔J〕を q_1，q_2，q_3 と V_1，V_2，V_3 を用いて表しなさい。

(4)　(3)の結果から，更に第4，第5と次々に点電荷を置いていったときの静電エネルギーを推測できる。N個の点電荷が同じ電気量 q〔C〕を持ち，それらが全て電位 V〔V〕にあるとき，系の静電エネルギー〔J〕を求めなさい。

(5)　(4)の結果を利用して，半径 a〔m〕の球状導体に電気量 Q〔C〕を与えたとき，系が持つ静電エネルギー〔J〕を求めなさい。