

物 理

解答例・出題意図

1

【出題意図】

小球の運動および衝突を題材として、落体の運動、力学的エネルギー保存、円運動、運動量保存に関する理解度を問う。

【解答例】

(a)	(i)	g
	(ii)	$\sqrt{2gR \cos \theta}$
	(iii)	$3mg$
	(iv)	$\frac{1}{2}\sqrt{gR}$
	(v)	$\frac{3}{8}R$
	(vi)	$\frac{\sqrt{3}}{2}R$
(b)	(i)	$\frac{2m}{M+m}\sqrt{2gR}$
	(ii)	$(2\sqrt{2}-1)m$
	(iii)	$\frac{23}{24}R$

令和7年度 入学試験（後期日程）

物 理

解答例・出題意図

2

【出題意図】

波の性質、特にドップラー効果について基礎的な事項の理解度を問う。

【解答例】

(a)	(i)	$f_a = \frac{V}{V - v_1} \cdot f_1$	
	(ii)	$f_b = \frac{V + u_1}{V - v_1} \cdot f_1$	
	(iii)	$f_c = \frac{V}{V - u_1} \cdot \frac{V + u_1}{V - v_1} \cdot f_1$	
	(iv)	$N = \frac{2Vu_1}{(V - v_1)(V - u_1)} f_1$	
	(v)	$f_c' = \frac{V - w_1}{V - w_1 - u_1} \cdot \frac{V + w_1 + u_1}{V + w_1 - v_1} \cdot f_1$	

(b)	(i)	$\Delta t' = \Delta t + \frac{L_b - L_a}{V}$	
	(ii)	$L_b = \sqrt{L_a^2 + (v_2 \Delta t)^2 - 2L_a v_2 \Delta t \cos \theta}$	
	(iii)	(ア)	$1 - 2 \frac{v_2 \Delta t}{L_a} \cos \theta$
		(イ)	$-v_2 \Delta t \cos \theta$
		(ウ)	$\frac{V - v_2 \cos \theta}{V} \Delta t$
		(エ)	$\frac{V}{V - v_2 \cos \theta} f_2$

令和7年度 入学試験（後期日程）

物 理

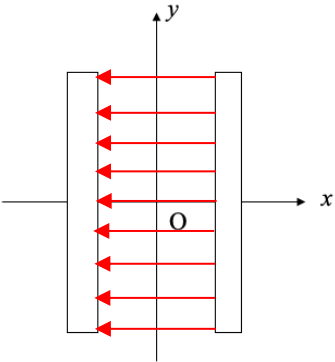
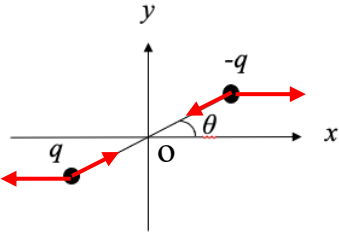
解答例・出題意図

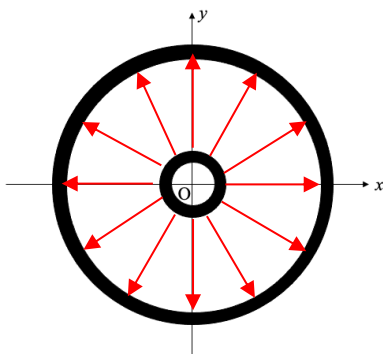
3

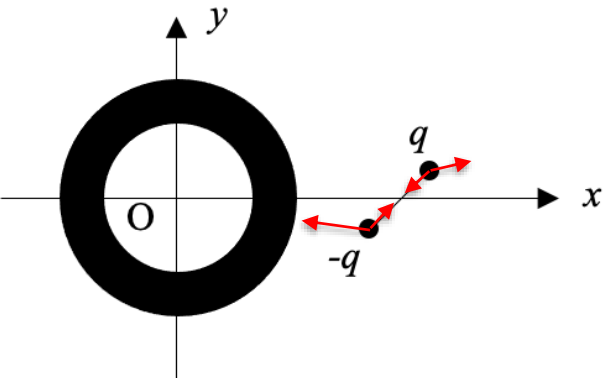
【出題意図】

電場と電気力線の関係を問う。そして電場が、正負の点電荷を端に有する剛体に及ぼす力と力のモーメントについて問う。

【解答例】

(a)	(i)	$\frac{4\pi k_0 Q}{a^2}$	(ii)	$\frac{1}{8\pi k_0} \frac{a^2}{L}$	(iii)	(イ)
	(iv)		(説明) 端の効果が無視できる平面上に均一に分布している電荷による電気力線は平行となる。よって単位面積あたりの電気力線の数は一位置によらず同じであるため。			
	(v)		(vi)	(ア)	(vii)	(エ)

(b)	(i)	(ウ)	
	(ii)		(説明) 電気力線は放射状に広がっているため、点 A の方が点 B より単位面積当たりの電気力線の数が多い。よって A 点の方が電場が強い。

(b)	(iii)	 The diagram shows a thick black ring centered at the origin O of a Cartesian coordinate system with x and y axes. Two point charges are located on the positive x-axis to the right of the ring. The charge closer to the ring is labeled $-q$ and has a red arrow pointing left. The charge further from the ring is labeled q and has a red arrow pointing right.		
	(iv)	(エ)	(v)	(ウ)

物 理

解答例・出題意図

4

【出題意図】

ボーアの原子模型に関する理解度を問う。

【解答例】

(a)	(i)	$m\frac{v^2}{r} = k_0\frac{e^2}{r^2}$	(b)	(i)	$L = n\frac{h}{2\pi}$
	(ii)	$r = \frac{L^2}{mk_0e^2}$		(ii)	$r = \frac{h^2n^2}{4\pi^2mk_0e^2}$
	(iii)	$E = \frac{1}{2}mv^2 - k_0\frac{e^2}{r}$		(iii)	$E = -\frac{2\pi^2mk_0^2e^4}{h^2n^2}$
	(iv)	$E = -\frac{k_0e^2}{2r}$		(iv)	$h\nu = E_n - E_{n'}$
	(v)	$E = -\frac{mk_0^2e^4}{2L^2}$		(v)	$2.5 \times 10^{15} \text{ Hz}$

問題訂正紙

「物理」

注意事項

1. 試験監督の合図があるまで、この紙を裏返してはいけません。
「解答はじめ」の指示の後に、裏返して内容を確認しなさい。
2. 試験終了後、この紙は持ち帰りなさい。

【問題冊子】

●問題訂正

4 ページ ① (a) (ii) 問題文

(誤) 「点 O から小球に向かう」

(正) 「小球が点 B に向かう間で、点 O から小球に向かう」

8 ページ ③ (a) (v) 5 行目

(誤) 「x 軸に対して θ [rad] であった。」

(正) 「x 軸に対して θ [rad] $(0 < \theta < \frac{\pi}{2})$ であった。」

10 ページ ③ (b) (iii) 2 行目

(誤) 「x 軸に対して θ [rad] であった。」

(正) 「x 軸に対して θ [rad] $(0 < \theta < \frac{\pi}{2})$ であった。」

令和 7 年度入学試験問題

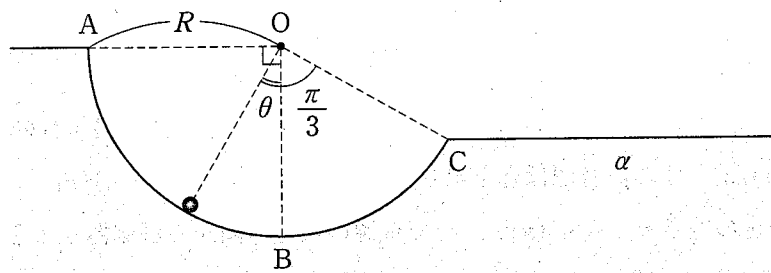
物 理

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るので、解答はすべて解答用紙の指定されたところに記入しなさい。また、解答用紙は問題ごとに別になっているので、注意すること。
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 16 ページあります。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. 試験終了後、問題冊子は持ち帰りなさい。

図の円弧は、半径 R [m] のなめらかな円筒面の、中心軸に垂直な断面を示している。円筒面の中心軸は水平に保たれており、点 O がその中心軸の位置、点 A は点 O と同じ高さ、点 B は点 O の鉛直下方、線分 OB と線分 OC のなす角は $\frac{\pi}{3}$ rad である。点 C の右側は水平面になっており、これを「水平面 α 」とよぶことにする。重力加速度の大きさを g [m/s²] とし、空気の抵抗は無視できるものとする。

- (a) 質量 m [kg] の小球を、円筒面に沿って点 A の位置から初速度 0 で落下させる。小球はつねに円筒面の中心軸に垂直な同一平面内にあるとする。また、小球の大きさは無視してよい。以下の問いに答えよ。
- (i) 落下をはじめた瞬間の、小球の加速度の大きさを求めよ。
 - (ii) 点 O から小球に向かう直線と線分 OB とのなす角が θ [rad] のときの小球の速さを求めよ。
 - (iii) 小球が点 B を通過する瞬間に円筒面から受ける垂直抗力の大きさを求めよ。
 - (iv) 小球が点 C を通過する瞬間の、小球の速度の水平成分の大きさを求めよ。
 - (v) 点 C を通過した後、小球はどこまで高く上がるか。水平面 α からの高さで答えよ。
 - (vi) 点 C を通過した後、小球が水平面 α に着地する位置を点 D とする。CD 間の距離を求めよ。
- (b) 次に、質量 m [kg] の小球を、(a) と同様に、円筒面に沿って点 A の位置から初速度 0 で落下させ、点 B の位置に静止している質量 M [kg] の小球に衝突させる。2つの小球は衝突の前後を通してつねに円筒面の中心軸に垂直な同一平面内にあるとする。また、この衝突は弾性衝突であり、2つの小球の運動エネルギーの和は衝突の前後で変わらないものとする。各小球の大きさは無視してよい。以下の問いに答えよ。
- (i) 衝突直後の質量 M の小球の速さを求めよ。
 - (ii) 衝突後、質量 M の小球が点 C に到達するための、 M の上限の大きさを求めよ。
 - (iii) M が m の半分 ($M = \frac{1}{2}m$) であるとき、質量 M の小球は点 C を通過した後どこまで高く上がるか。水平面 α からの高さで答えよ。



☒

2

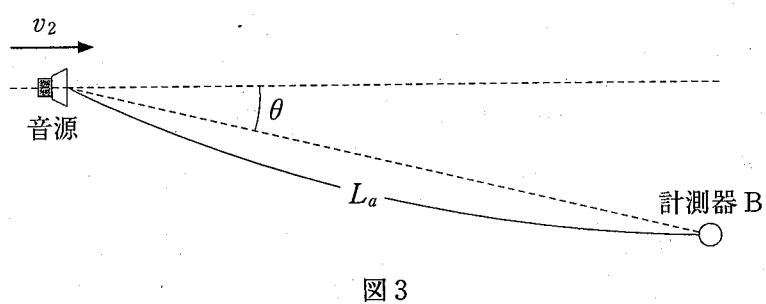
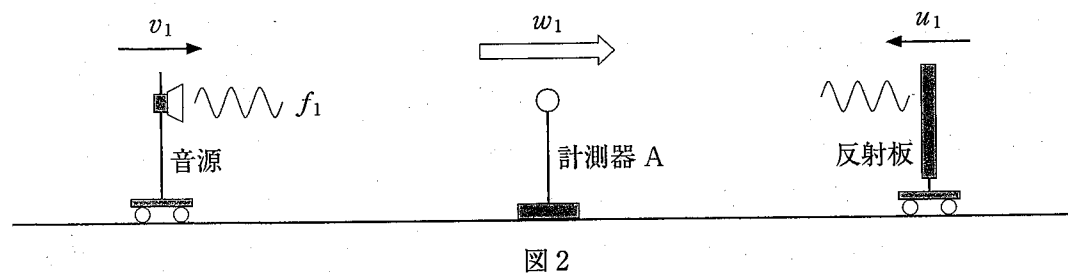
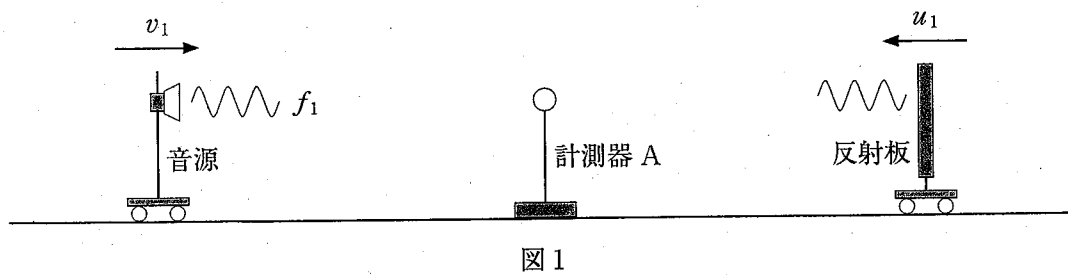
(a) 図1のように音源、計測器A、反射板が一直線に並んでいる。音源の出す音の振動数は f_1 [Hz] とする。音速は V [m/s] とする。音源は音を出しながら一定の速さ v_1 [m/s] ($v_1 < V$) で計測器Aに近づき、反射板は一定の速さ u_1 [m/s] ($u_1 < V$) で音源の反対方向から計測器Aに近づいている。ただし、計測器Aは静止しており、音が伝わることに對して影響を及ぼさないほど小さなものとする。問(a)(v)以外は風が吹いていないものとする。以下の問いに答えよ。

- (i) 計測器Aが音源から直接受ける音の振動数 f_a [Hz] を V, v_1, f_1 を用いて求めよ。
- (ii) 反射板が音源から受ける音の振動数 f_b [Hz] を V, v_1, u_1, f_1 を用いて求めよ。
- (iii) 計測器Aが観測する反射板で反射された音の振動数 f_c [Hz] を V, v_1, u_1, f_1 を用いて求めよ。
- (iv) 計測器Aが観測する1秒間あたりのうなりの回数 N を V, v_1, u_1, f_1 を用いて求めよ。
- (v) 音を観測している際、図2のように音源が動く方向に一定の速さ w_1 [m/s] で風が吹いていたとする。このとき、反射板で反射して計測器Aに伝わった音の振動数 f_c' [Hz] を V, v_1, u_1, f_1, w_1 を用いて求めよ。

(b) 振動数 f_2 [Hz] の音を出しながら一定の速さ v_2 [m/s] で一直線上を動いている音源と、静止している計測器Bがある。音速は V [m/s] であり、 $v_2 < V$ とする。図3に、ある時刻 t_0 [s] における音源と計測器Bの位置を示す。このとき、計測器Bは音源が動く方向から角度 θ 方向 ($\theta < 90^\circ$) に距離 L_a [m] 離れた位置にある。ただし、風は吹いていないものとする。以下の問いに答えよ。

- (i) 音源が時刻 t_0 から時刻 t_1 [s] の時間 Δt [s] の間に音を出して動き、音源から計測器Bまでの距離が L_b [m] となった。この時間 Δt の間に音源から発せられた音を計測器Bが観測した時間を $\Delta t'$ [s] とする。 $\Delta t'$ を $V, \Delta t, L_a, L_b$ を用いて求めよ。
- (ii) 時刻 t_1 の音源の位置から計測器Bまでの距離 L_b を $\Delta t, L_a, v_2, \theta$ を用いて求めよ。
- (iii) 計測器Bが音源から観測する音の振動数 f_2' [Hz] を導く。文章中の空欄 (ア) から (エ) を $V, \Delta t, L_a, v_2, f_2, \theta$ のうち必要な記号を用いた適切な式で埋めよ。

(ii) で求めた L_b の式で、 $v_2 \Delta t$ は L_a よりも極めて小さく $\left(\frac{v_2 \Delta t}{L_a}\right)^2 \doteq 0$ とみなせるものとする。そのとき、 L_b の式は $L_b = L_a \left(\text{(ア)} \right)^{\frac{1}{2}}$ と変形できる。さらに、 $|x| \ll 1$ のときに成り立つ近似式 $(1+x)^a \doteq 1+ax$ を利用すると $L_b - L_a = \text{(イ)}$ となる。この $L_b - L_a$ の式を利用すると $\Delta t'$ の式は $\Delta t' = \text{(ウ)}$ と示される。時間 Δt の間に音源から発せられた振動数 f_2 の波の個数は時間 $\Delta t'$ の間に計測器Bが観測した振動数 f_2' の波の個数と同一であるから $f_2 \Delta t = f_2' \Delta t'$ となる。よって、計測器Bが観測した音の振動数 f_2' は $f_2' = \text{(エ)}$ で示される。



- (a) 図1に示すような、正方形の極板を用いた平行板コンデンサーを考える。極板は金属からつくられており、その厚さは無視できない。極板と極板の間の距離 $2L$ [m] は極板の辺の長さ a [m] に対して十分短く、極板の端の影響は無視できる。コンデンサーは真空かつ無重力の空間に置かれている。図2はコンデンサーの xy 平面上の断面図である。2つの極板の中心と中心を結ぶ線の中点を座標の原点 O とし、極板の垂直方向に x 軸をとる。図1のように、 x 軸の正の側に置かれた極板に正の電荷 Q [C] が、 x 軸の負の側に置かれた極板に負の電荷 $-Q$ [C] が蓄えられている。真空中でのクーロンの法則の比例定数を k_0 [$\text{N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$] とする。以下の問いに答えよ。ただし、円周率を π とする。
- (i) 極板間の電場の強さを a , Q , k_0 , π を用いて表せ。
- (ii) コンデンサーの電気容量を a , L , k_0 , π を用いて表せ。
- (iii) 2つの極板に蓄えられた電荷の分布の様子を次から選べ。ただし、以下の選択肢における表面とは x 軸に垂直な面とする。
- (ア) 2つの極板全体に一様に分布する。
 - (イ) 2つの極板の内側の表面に一様に分布する。
 - (ウ) 2つの極板の外側の表面に一様に分布する。
 - (エ) 2つの極板それぞれの内側と外側の表面に一様に分布する。
- (iv) 電荷の分布を考慮して、原点 O を含む xy 平面上の電場を示す電気力線を描け。ここに描く電気力線の本数は9本として表すこと。また、電場の強さが x 軸上の位置によらず同じであることを電気力線の観点から説明せよ。
- (v) ここで、図3に示すような、2つの反対符号の点電荷が長さ $\frac{L}{4}$ [m] の棒でつながれた物体について考える。片方の電荷を q [C] ($0 < q < Q$)、もう片方の電荷を $-q$ [C] とし、点電荷の質量は両方とも m [kg] とする。棒は絶縁体の剛体でできており、その質量と太さは無視できる。この物体の中心が座標の原点に、また正の電荷の位置が $x < 0$ となるように、静かに置いた。このとき、両方の点電荷は xy 平面上にあり、棒の角度は x 軸に対して θ [rad] であった。この物体の両方の点電荷それぞれにはたらくクーロン力をベクトル(矢印のついた線分)を用いて描け。ベクトルは両方の点電荷にはたらく力の大きさの大小関係と向きがわかるように描くこと。
- (vi) クーロン力がはたらいた結果、この物体にはたらく力と力のモーメントに関して正しい答えを次から選べ。
- (ア) 力はつりあい、力のモーメントはつりあわない。
 - (イ) 力はつりあわず、力のモーメントはつりあう。
 - (ウ) 力はつりあい、力のモーメントもつりあう。
 - (エ) 力はつりあわず、力のモーメントもつりあわない。
- (vii) クーロン力がはたらいた結果、この物体の中心の位置と棒の角度は時間と共にどうなるか、正しい答えを次から選べ。

- (ア) 中心の位置は変化し，角度は変化しない。
- (イ) 中心の位置は変化せず，角度も変化しない。
- (ウ) 中心の位置は変化し，角度も変化する。
- (エ) 中心の位置は変化せず，角度は変化する。

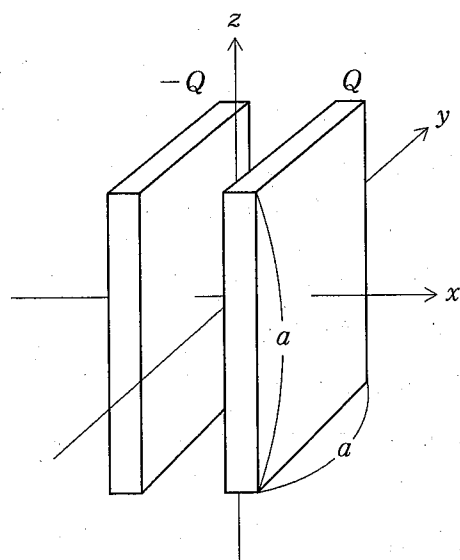


図 1

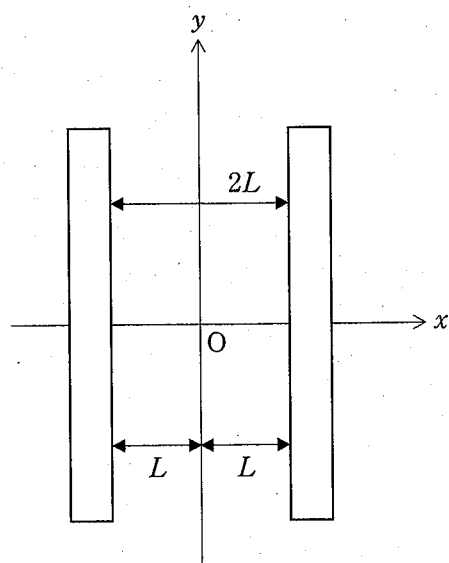


図 2

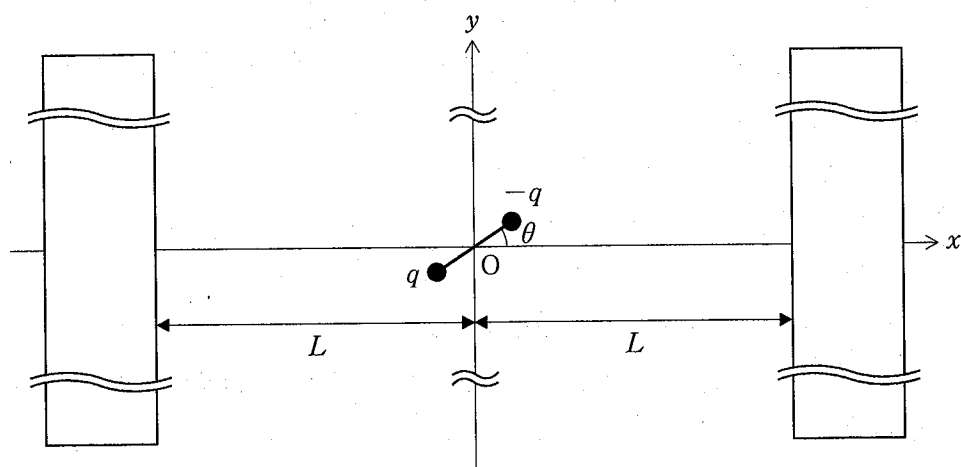


図 3

(b) 次に、図4に示すような、金属でできた2つの円筒極板を用いたコンデンサーを考える。2つの円筒の中心軸は同じであり、極板の厚みは無視できない。極板と極板の間の距離 L [m] は円筒の長さに対して十分短く、極板の端の影響は無視できる。コンデンサーは真空かつ無重力の空間に置かれている。円筒の中心軸を z 軸とする。また、図5は円筒コンデンサーの円筒の中心 O を含む z 軸に垂直な xy 平面上の断面図である。図4のように、内側の極板に正の電荷 Q [C] が、外側の電極に負の電荷 $-Q$ [C] が蓄えられている。以下の問いに答えよ。

(i) 2つの極板に蓄えられた電荷の分布の様子を次から選べ。

(ア) 2つの円筒極板全体に一様に分布する。

(イ) 内側の円筒の内側の表面と、外側の円筒の内側の表面に分布する。

(ウ) 内側の円筒の外側の表面と、外側の円筒の内側の表面に分布する。

(エ) 内側の円筒の外側の表面と、外側の円筒の外側の表面に分布する。

(オ) 内側の円筒の内側の表面と、外側の円筒の外側の表面に分布する。

(ii) 電荷の分布を考慮して、原点 O を含む xy 平面上の電場を示す電気力線を描け。ここで描く電気力線の本数は12本として表すこと。また、点 A と点 B における電場の強さを電気力線の観点から説明せよ。

(iii) 問(a)(v)で用いた物体を、極板間の図5に示す位置に静かに置いた。両方の点電荷は原点 O を含む xy 平面上にあり、棒の角度は x 軸に対して θ [rad] であった。この物体の両方の点電荷それぞれにはたらくクーロン力をベクトル(矢印のついた線分)を用いて描け。ベクトルは両方の点電荷にはたらく力の大きさの大小関係と向きがわかるように描くこと。

(iv) クーロン力がはたらいた結果、この物体にはたらく力と力のモーメントに関して正しい答えを次から選べ。

(ア) 力はつりあい、力のモーメントはつりあわない。

(イ) 力はつりあわず、力のモーメントはつりあう。

(ウ) 力はつりあい、力のモーメントもつりあう。

(エ) 力はつりあわず、力のモーメントもつりあわない。

(v) クーロン力がはたらいた結果、この物体の中心の位置と棒の角度は時間と共にどうなるか、正しい答えを次から選べ。

(ア) 中心の位置は変化し、角度は変化しない。

(イ) 中心の位置は変化せず、角度も変化しない。

(ウ) 中心の位置は変化し、角度も変化する。

(エ) 中心の位置は変化せず、角度は変化する。

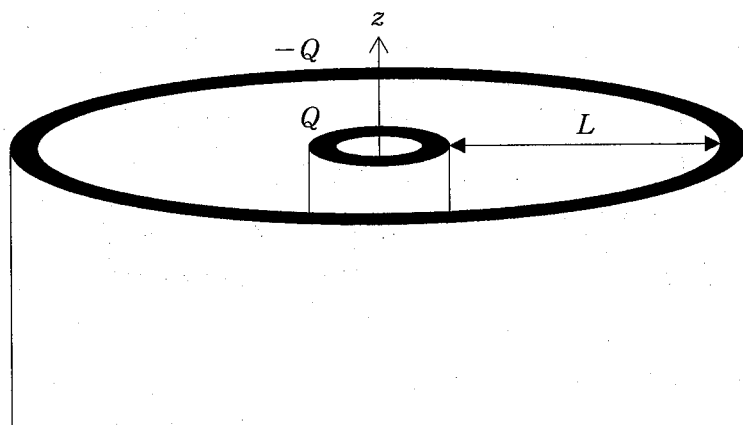


图 4

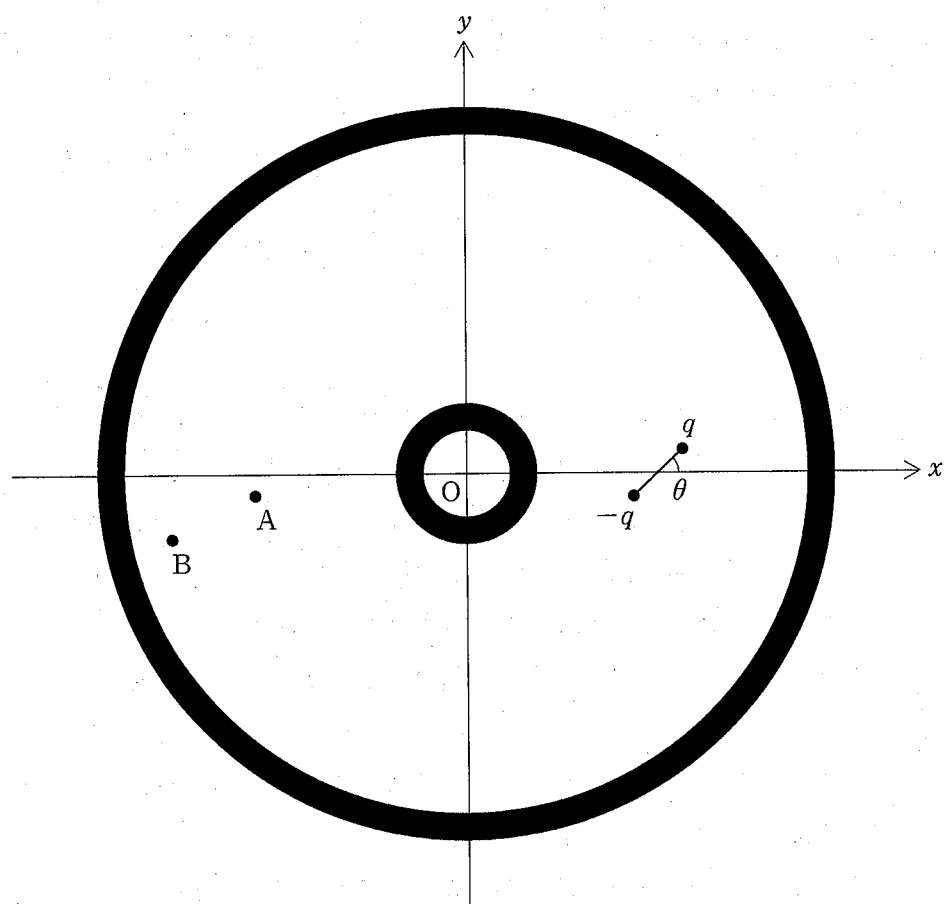


图 5

(a) 図1のように、電子が原子核から静電気力を受けて、原子核のまわりを軌道半径 r [m]、速さ v [m/s]、大きさが $\frac{v^2}{r}$ [m/s²] の加速度で等速円運動しているとする。電子の質量を m [kg]、電子の電気量を $-e$ [C]、原子核の電気量を e [C] とする。また、電子にはたらく力は、大きさが $k_0 \frac{e^2}{r^2}$ [N] である静電気力のみとする。ここで、 k_0 [N·m²/C²] は真空中でのクーロンの法則の比例定数である。以下の問いに答えよ。

- (i) 電子の運動方程式を m , r , v , k_0 , e を用いて表せ。
- (ii) 電子の運動量の大きさ $p = mv$ [kg·m/s] に軌道半径 r を掛けた量を $L (= mvr)$ [kg·m²/s] とする。問(a)(i)で求めた電子の運動方程式を使って、 r を L , m , k_0 , e を用いて表せ。
- (iii) 電子は運動エネルギー K [J] と静電気力による位置エネルギー U [J] をもっている。位置エネルギーは原子核から無限遠にある点を基準点とする。電子の全エネルギー $E (= K + U)$ [J] を m , r , v , k_0 , e をすべて用いて表せ。
- (iv) 問(a)(i)で求めた電子の運動方程式を使って、電子の全エネルギー E を r , k_0 , e を用いて表せ。
- (v) 問(a)(ii)で求めた r に関する式と問(a)(iv)で求めた E に関する式を使って、電子の全エネルギー E を L , m , k_0 , e を用いて表せ。

(b) 大きさが $p = mv$ の運動量をもつ電子は、波長が $\lambda = \frac{h}{mv}$ [m] である電子波とよばれる波として振る舞う。ここで、 h [J·s] はプランク定数である。以下の問いに答えよ。ただし、円周率を π とする。

- (i) 原子内で、電子波が半径 r の円周上に存在しているとする。その円軌道の周の長さ $2\pi r$ が電子波の波長の自然数倍になるとき、図2のように電子波の位相がそろって、電子波の状態が安定に保たれる。このような電子波が形成されるための条件式 $2\pi r = n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) と波長に関する式 $\lambda = \frac{h}{mv}$ を使って、 L を n , h , π を用いて表せ。ここで、 L は問(a)(ii)で与えられた量である。なお、図2は $n = 8$ の場合を描いたものである。
- (ii) 問(a)(ii)で求めた r に関する式と問(b)(i)で求めた L に関する式を使って、 r を m , k_0 , e , n , h , π を用いて表せ。
- (iii) 問(a)(v)で求めた E に関する式と問(b)(i)で求めた L に関する式を使って、 E を m , k_0 , e , n , h , π を用いて表せ。
- (iv) 問(b)(iii)で求めた E は、量子数 n に依存するエネルギー準位とよばれるとびとびの値を取る。量子数 n , n' のエネルギー準位を、それぞれ E_n [J], $E_{n'}$ [J] とする。電子が $E_n (> E_{n'})$ の状態から $E_{n'}$ の状態に移るとき、振動数 ν [Hz] の光が放出されたとする。 ν が満たすべき条件式を E_n , $E_{n'}$, ν , h を用いて表せ。

- (v) 問(b)(iii)で求めた E に関する式を用いると、 $n=1$ のときのエネルギー準位は有効数字2桁で、 $E_1 = -2.2 \times 10^{-18} \text{ J}$ となる。 $h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ として、電子が $n=2$ のエネルギー準位の状態から $n=1$ のエネルギー準位の状態に移ったとき、放出される光の振動数 $\nu [\text{Hz}]$ を有効数字2桁で求めよ。

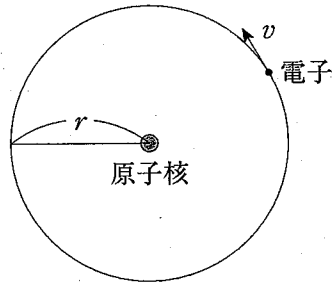


図1

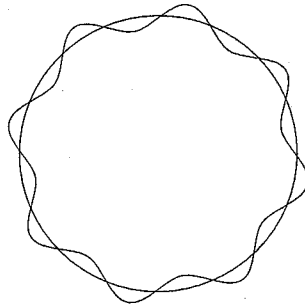


図2