奈良県立医科大学

2026 年度　後期日程　物理

（2 科目　180 分）

1 以下の［　　］の中に適切な記号，式または数を記入せよ．

図 1 のように交流電源と電気容量 C〔F〕の n 個のコンデンサー，自己インダクタンス L〔H〕の n 個のコイル，抵抗値 R〔Ω〕の n 個の抵抗，$(n-1)$ 個のスイッチからなる回路がある．時刻 t〔s〕における交流電源の電圧（点 P を基準にした点 O の電位）は，角周波数 ω〔rad/s〕（$\omega > 0$）を用いて，$V = V_0 \sin \omega t$〔V〕と表される．電流は矢印の向きを正にとる．コイル間の相互インダクタンス，コイルおよび導線の抵抗は無視してよい．また，電磁波として放出されるエネルギーは考えなくてよいものとする．

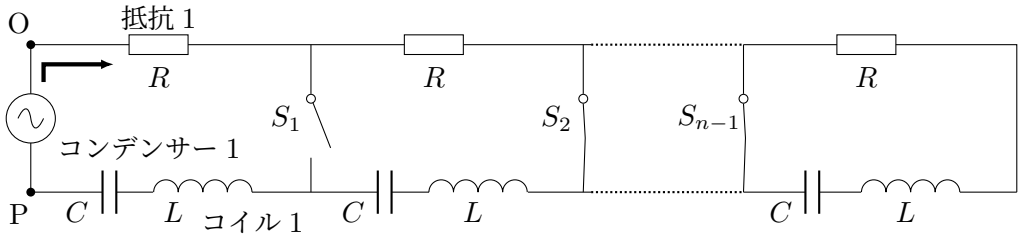


図 1

Ⅰ）コンデンサーに交流電圧を加えたときには，

［　(1・1)　］

ことが，また，コイルに交流電圧を加えたときに，

［　(1・2)　］

ことが知られている（(1・1)，(1・2) は，以下より正しい選択肢の記号を答えよ）．

（ア）　電流の位相は電圧の位相と一致する

（イ）　電流の位相は電圧の位相より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕だけ遅れる

（ウ）　電流の位相は電圧の位相より π〔rad〕だけ遅れる

（エ）　電流の位相は電圧の位相より $\dfrac{\pi}{2}$〔rad〕だけ進む

Ⅱ）最初，スイッチ S_1 は開いており，他のスイッチは閉じていた．仮に，矢印の向きに回路を流れる電流の位相は電圧より X〔rad〕$(-\dfrac{\pi}{2} \leqq X \leqq \dfrac{\pi}{2})$ だけ遅れると考え，回路を流れる電流を $I_0 \sin(\omega t - X)$〔A〕とすると，コンデンサー 1 の両端電圧 V_C〔V〕は

$$V_C = \boxed{(1\cdot 3)}$$

コイル 1 の両端電圧 V_L〔V〕は

$$V_L = \boxed{(1\cdot 4)}$$

である．

抵抗 1 の両端電圧を V_R〔V〕とすると，正の定数 α を用いて，$\alpha V = V_C + V_L + V_R$ と表すことができる．ここで，

$$\alpha = \boxed{(1\cdot 5)}$$

である．右辺で三角関数の公式を用いれば，

$$\alpha V_0 \sin\omega t = A\cos\omega t + B\sin\omega t \qquad (*)$$

となる．ただし，A，B は，

$$A = \boxed{(1\cdot 6)} \times I_0$$

$$B = \boxed{(1\cdot 7)} \times I_0$$

である．

式 $(*)$ の両辺の $\cos\omega t$，$\sin\omega t$ の係数を比較すると，$\tan X$ は，ω，C，L，R を用いて，

$$\tan X = \boxed{(1\cdot 8)}$$

と表される．また，$V_0 = I_0 Z$ とすれば，この Z〔Ω〕は，ω，C，L，R を用いて，

$$Z = \boxed{(1\cdot 9)}$$

と表される（X を用いずに答えよ）．

Ⅲ）すべてのスイッチを開いた．回路を流れる電流の実効値は，角周波数が

$$\boxed{(1\cdot 10)}\ 〔\mathrm{rad/s}〕$$

の時，最大になる．この時，回路で消費される電力の時間平均は，

$$\boxed{(1\cdot 11)}\ 〔\mathrm{W}〕$$

である．

2 以下の［　　］の中に適切な語句，説明または式を記入せよ．

上面が半径 R_0〔m〕の球面，下面が平面となっているガラスの凹レンズの上に，上面が平面，下面が半径 R〔m〕（$R_0 > R$）の球面となっているガラスの凸レンズを，**図 2** のようにレンズの中心軸を一致させて置いた．上方から鉛直下向きに波長 λ〔m〕の単色光を当て，上方から観察すると，同心円状の明暗の縞が多数観察された．レンズの中心軸からの距離を r〔m〕（$r > 0$）で表す．r は R_0, R に比べて十分に小さいものとする．空気の屈折率は 1 であり，ガラスの屈折率は 1 より大きいものとする．

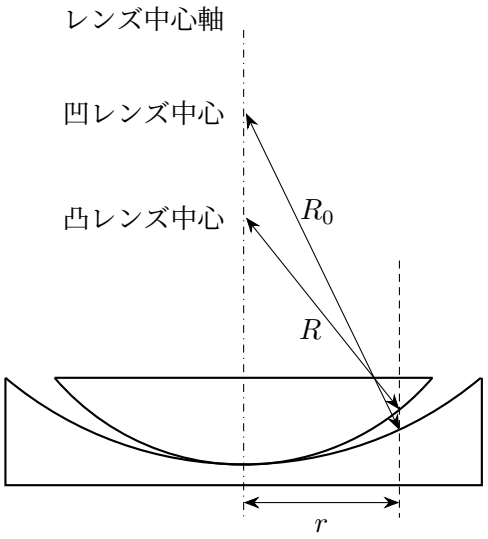


図 2

この装置で明暗の縞が生じる現象は光学研究で知られる科学者にちなんで，

［　(2・1)　］

と呼ばれている（適切な語句を答えよ）．

屈折率の大小から，凸レンズの下面で反射する光と凹レンズ上面で反射する光について，反射時の位相変化を説明せよ（100 字以内で答えよ）．

［　(2・2)　］

円の中心付近は

［　(2・3)　］

となる（明部，暗部，から正しい語句を選択して答えよ）．

中心から数えて m 番目（$m = 1, 2, 3, \cdots$）の明輪の半径は中心から r_m〔m〕の地点で観測された．

この位置での凸レンズと凹レンズの間の隙間の距離 d_m〔m〕は，R_0，R と r_m を用いて，

$$d_m = \boxed{(2\cdot 4)}$$

と表される．1 に比べて $|x|$ が十分小さい時，

$$(1+x)^{\alpha} \fallingdotseq 1 + \alpha x$$

である．この近似式を用いると，

$$d_m \fallingdotseq \boxed{(2\cdot 5)}$$

となる．

単色光の波長 λ を用いて，d_m は

$$d_m = \boxed{(2\cdot 6)}$$

と表される．$(2\cdot 5)$，$(2\cdot 6)$ より，

$$r_m^2 = \boxed{(2\cdot 7)}$$

がわかる（d_m を用いずに答えよ）．

半径 R_0 が既知の凹レンズを用いて，同心円の間隔を測定すれば，凸レンズの半径 R を決定することができる．$R_0 - R$ を小さくすれば，より精度よく決定できると考えられる．凹レンズのかわりに上面が平面である平面ガラスを用いて凸レンズの半径 R を測定する場合と比較すると，r_m は平面ガラスを用いた場合の

$\boxed{(2\cdot 8)}$ 倍

になることがわかる．

3 以下の［　　］の中に適切な語句，式，記号または数を記入せよ．

質量 M〔kg〕の台が滑らかな床の上に水平に置かれ静止している（**図 3 参照**）．台はその断面が半円形（中心 O，半径 r〔m〕）の円筒面になるようにくりぬかれており，点 O，P，Q，R は円筒の軸に垂直な同一平面内にあり，点 P，O，R は台の底面から等しい高さにある．円筒面上の最下点 Q に質量 m〔kg〕の小球を置き，水平方向（x 軸の正の方向）に大きさ v_0〔m/s〕の初速度を与える．小球の大きさは考えなくてよい．台の表面は滑らかであり，重力加速度の大きさは g〔m/s^2〕とする．角 α〔rad〕の大きさが 1 に比べて非常に小さい時（$|\alpha| \ll 1$），近似式 $\sin\alpha \fallingdotseq \alpha$，$\cos\alpha \fallingdotseq 1$ が成り立つと考えてよい．

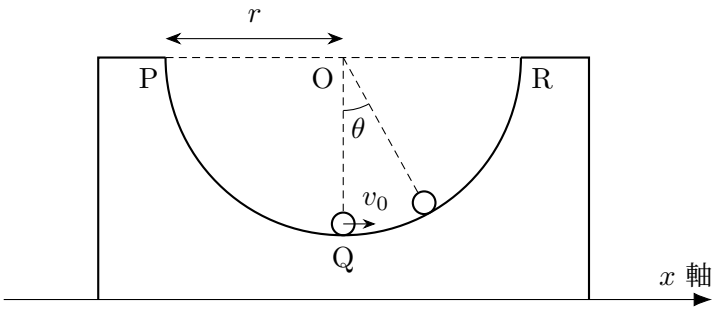


図 3

I）台が床に固定されているとする．また，初速 v_0 は非常に小さいとする．この時，小球の運動は x 軸に平行な直線上の運動とみなすことができる．小球の運動は Q を中心とした

［　(3・1)　］

となり（適切な語句を答えよ），その周期 T〔s〕は

$T =$［　(3・2)　］

と表される．

初速 v_0 を少し大きくした．小球の運動がやはり x 軸に平行な直線上の運動とみなすことができるのであれば，T は

（イ）大きくなる　　（ロ）小さくなる　　（ハ）変化しない

［　(3・3)　］

ことになる（正しい選択肢を答えよ）．

Ⅱ）次に，台が床に固定されておらず可動である場合を考えよう．円の中心 O と小球を結ぶ線が鉛直方向となす角を θ〔rad〕とする．小球は台から垂直抗力を受けており，その大きさを N〔N〕とすると，台が小球から受ける力の水平成分は x 軸の正の方向に

(3・4)	〔N〕

である．この力によって台も動き始める．

ここで，小球が点 R から飛び出す場合を考え，点 R に達した瞬間の，床から見た台の速度の大きさを V'〔m/s〕，床からみた小球の速度の大きさを v'〔m/s〕とする．このとき，台からみた小球の速度の水平成分の大きさは

(3・5)	〔m/s〕

である．これより，床からみた小球の速度の水平成分の大きさは

(3・6)	〔m/s〕

となり，鉛直成分の大きさは

(3・7)	〔m/s〕

となる．これらより v_0 を用いて V'，v' を表すと，

$V' =$ (3・8)

であり，

$v' =$ (3・9)

である．

小球が点 R から飛び出すことができるためには，

$v_0 >$ (3・10)

という条件を満たす必要がある．

4 以下の［　　］の中に適切な式を記入せよ．

Ⅰ）ラザフォードの原子模型では，水素原子は中心に e〔C〕（$e>0$）の電荷を持つ重い原子核があり，$-e$〔C〕の電荷を持ち，質量 m〔kg〕の電子がその周りを運動すると考える．電子が原子核を中心とする半径 r〔m〕の円周上を等速円運動する時，電子と原子核の間には

$$k_0\frac{e^2}{r^2}〔\mathrm{N}〕$$

の大きさの静電気力がはたらく．ただし，真空中のクーロン定数を k_0〔$\mathrm{N\cdot m^2/C^2}$〕とした．

この静電気力が遠心力とつりあうことより，円運動の速さは，r を用いて，

［　(4・1)　］〔m/s〕

と表される．

静電気力の位置エネルギーは，無限遠を原点に取るものとする．電子の力学的エネルギー E〔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り，

$$E=［\quad(4\cdot 2)\quad］$$

である．

電子の円運動の角速度の大きさを ω_0〔rad/s〕とすると，

$$\omega_0=［\quad(4\cdot 3)\quad］$$

となる．しかし，従来の電磁気学では，電子がこのような運動を行うと，振動数が

$$\frac{\omega_0}{2\pi}\times\ell,\qquad \ell=1,2,3,\ldots \tag{A}$$

の電磁波を放出し（円周率を π とした），その軌道半径が徐々に小さくなっていくことが予想され，安定な原子構造を説明することができなかった．

Ⅱ）真空放電などで，気体状態の原子から放出される光は，それぞれの原子に特有の波長を持ち，線スペクトルとして観測される．

水素原子で観測される線スペクトルの波長 λ〔m〕は

$$\frac{1}{\lambda}=R\left[\frac{1}{n^2}-\frac{1}{(n+\ell)^2}\right],\qquad n=1,2,3,\cdots,\quad \ell=1,2,3,\cdots \tag{B}$$

となることが示された．ここで R〔1/m〕はリュードベリ定数である．

ボーアはこの結果に注目し，次の仮定を導入して，水素原子の理論を作った．

［仮定 1］原子中の電子には，いくつかの定常状態があり，電子がこれらの状態にある時，電磁波は放射されない．

［仮定 2］定常状態のエネルギーを低いものから E_n〔J〕（$n = 1, 2, 3, \cdots$）とすると，電子がエネルギー $E_{n+\ell}$ の状態からそれよりも低いエネルギー E_n の状態に移る時，$E_{n+\ell} - E_n$ に等しいエネルギーを持つ電磁波（光子）を放出する．

光速を c〔m/s〕，プランク定数を h〔J·s〕とする．波長 λ の光子 1 個のエネルギーは ch/λ〔J〕である．このことより，

$$E_n = \boxed{\quad (4・4) \quad} \times \frac{1}{n^2}$$

とすれば，(B) の実験結果を**［仮定 2］**より導くことができる．

また，n が非常に大きく $n \gg \ell$ の時，

$$\frac{1}{(n+\ell)^2} \fallingdotseq \frac{1}{n^2} - \frac{2\ell}{n^3}$$

である．この近似式を用いれば，

$$E_{n+\ell} - E_n \fallingdotseq \boxed{\quad (4・5) \quad} \times \frac{\ell}{n^3}$$

であり，

$$\omega_0 = \boxed{\quad (4・6) \quad}$$

とすれば，n が十分に大きな場合に，放射される電磁波の振動数は (A) に一致すると考えられる．

Ⅲ）最初にⅠ）で導いた E，ω_0 は r を用いた表式である．E と E_n が一致するとすると，

$$r = \boxed{\quad (4・7) \quad}$$

となる．これを (4・3) に代入して，(4・6) と比較すれば，

$$R = \boxed{\quad (4・8) \quad}$$

が導かれる．

更に，(4・6) と (4・7) から，

$$mr^2\omega_0 = k_0^2 \times \frac{me^4\pi}{Rch^2} n$$

が得られる．(4・8) を代入して整理すれば，n を用いた関係式

$$2\pi r = \boxed{\quad (4・9) \quad}$$

が導かれる．

$r\omega_0$ は電子の速さになることに注意すれば，これは“電子軌道の円周の長さが電子波の波長の整数倍になる条件”に相当する．