物　理

注　意

1. 問題は全部で18ページである。
2. 解答用紙に氏名・受験番号を忘れずに記入すること。(ただし，マーク・シートにはあらかじめ受験番号がプリントされている。)
3. 解答はすべて解答用紙に記入すること。
4. 問題冊子の余白は計算に利用してよい。
5. 解答用紙は必ず提出のこと。この問題冊子は提出する必要はない。

マーク・シート記入上の注意

1. 解答用紙(その1)はマーク・シートになっている。HBの黒鉛筆またはシャープペンシルを用いて記入すること。
2. 解答用紙にあらかじめプリントされた受験番号を確認すること。
3. 解答する記号の ◯ を塗りつぶしなさい。◯で囲んだり╳をつけたりしてはいけない。

解答記入例(解答が 1 のとき)

1	●	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	⓪

4. 一度記入したマークを消す場合は，消しゴムでよく消すこと。╳をつけても消したことにならない。
5. 解答用紙をよごしたり，折り曲げたりしないこと。

1 以下の文章の空欄(1)〜(9)にあてはまるもっとも適切な式をそれぞれの解答群から選び，**解答用紙(その1)**に記された記号をマークせよ。また，空欄(ア)〜(オ)にあてはまるもっとも適切な式または数値を**解答用紙(その2)**の所定の欄に解答せよ。ただし，重力加速度の大きさをgとし，ひもや滑車，ばねの質量は荷物の質量に比べて無視できるものとする。また，ひもは途中でたるんだり，伸び縮みしたりしないものとする。

図1―1に示すような滑車を用いて，荷物をゆっくりと持ち上げる場合を考える。ひもを引く力をT，荷物の質量をmとするとき，力のつり合いより $\boxed{\text{(ア)}}$ が成り立つ。したがって，滑車を用いずに荷物に付いたひもを直接持ち上げる場合に比べて，ひもを引く力の大きさは $\boxed{\text{(イ)}}$ になる。一方，この滑車を用いて，荷物を高さhだけ持ち上げる場合，ひもを引く長さは $\boxed{\text{(ウ)}}$ となるので，持ち上げるのに必要な仕事は $\boxed{\text{(エ)}}$ となる。

次に，図1―2に示すような装置を考える。ここで，荷物1および荷物2の質量はそれぞれm_1，m_2であり，ばねのばね定数はkである。最初，ばねの長さが自然長からℓ_0だけ縮んだ位置で，2つの荷物は静止していた。これより，$\ell_0 = \boxed{\text{(1)}}$ であり，ばねが縮んだことからm_1とm_2の関係は，$\boxed{\text{(2)}}$ となる。

その後，荷物1をさらにℓ_1だけ下方に押し下げてから静かに手を放したところ，2つの荷物は上下方向に単振動を始めた。荷物1の単振動は，ばねが自然長から $\boxed{\text{(3)}}$ だけ縮んだ位置を中心とし，振幅が $\boxed{\text{(4)}}$ となることから，荷物2の単振動の振幅は $\boxed{\text{(5)}}$ となる。

また，荷物1が最高点に達する時に荷物2が最低点に達することを考えると，2つの荷物の単振動は同じ角振動数を持つはずである。この角振動数を決定するために，ひもの張力Tを用いて各荷物の運動方程式を求めてみよう。荷物1の方は，単振動の中心となる位置からの変位を上向きを正としてxと表し，加速度をa_1とすれば，$m_1a_1 = \boxed{\text{(6)}}$ という運動方程式が得られる。一方，荷物2の方は，荷物1とは上下逆向きに運動するので，下向きを加速度a_2の正方向に取ると，$m_2a_2 = \boxed{\text{(7)}}$ という運動方程式が得られる。ここで各荷物の単振

動の振幅の比を考慮すると，加速度 a_1 と a_2 の間に $\boxed{\quad(8)\quad}$ という関係が成り立たねばならない。以上より，２つの荷物に対する運動方程式から T を消去すると，($\boxed{\quad(9)\quad}$)$a_1 = -kx$ が得られる。したがって角振動数 ω は，
$\omega = \boxed{\quad(オ)\quad}$ と求められる。

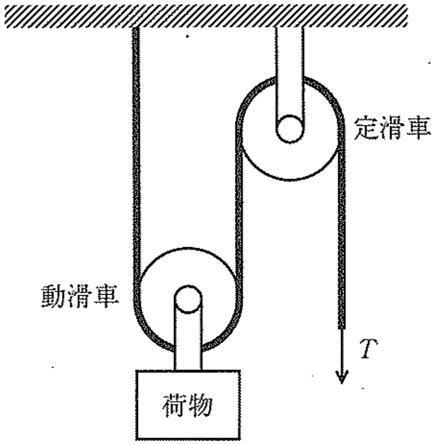

図１—１

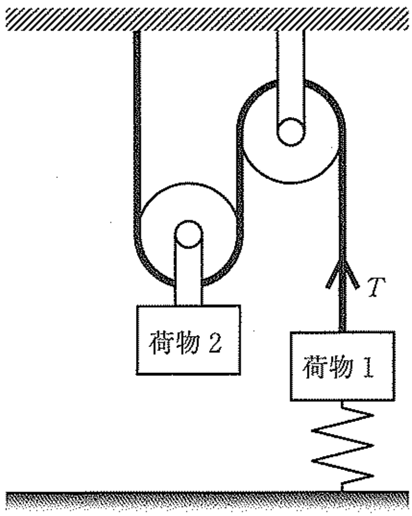

図１—２

(1)の解答群

① $\dfrac{(2m_1+m_2)g}{2k}$　② $\dfrac{(2m_1-m_2)g}{2k}$　③ $\dfrac{(m_1+2m_2)g}{2k}$

④ $\dfrac{(m_1-2m_2)g}{2k}$　⑤ $\dfrac{(m_1+m_2)g}{k}$　⑥ $\dfrac{(m_1-m_2)g}{k}$

⑦ $\dfrac{(2m_1+m_2)g}{k}$　⑧ $\dfrac{(2m_1-m_2)g}{k}$　⑨ $\dfrac{(m_1-2m_2)g}{k}$

⓪ $\dfrac{(m_1+2m_2)g}{k}$

(2)の解答群

① $m_1 > m_2$　② $m_1 = m_2$　③ $m_1 < m_2$　④ $m_1 > 2m_2$

⑤ $m_1 = 2m_2$　⑥ $m_1 < 2m_2$　⑦ $2m_1 > m_2$　⑧ $2m_1 = m_2$

⑨ $2m_1 < m_2$

(3), (4)および(5)の解答群

① ℓ_0　② ℓ_1　③ $\ell_0+\ell_1$　④ $|\ell_0-\ell_1|$

⑤ $2\ell_0$　⑥ $2\ell_1$　⑦ $\dfrac{\ell_0}{2}$　⑧ $\dfrac{\ell_1}{2}$

⑨ $\ell_0+\dfrac{\ell_1}{2}$　⓪ $\left|\ell_0-\dfrac{\ell_1}{2}\right|$

(6)の解答群

① $T-kx-m_1g$　② $-T+kx-m_1g$

③ $T+kx-m_1g$　④ $T-k(\ell_0+x)-m_1g$

⑤ $-T+k(\ell_0+x)-m_1g$　⑥ $T+k(\ell_0+x)-m_1g$

⑦ $T-k(\ell_0-x)-m_1g$　⑧ $-T+k(\ell_0-x)-m_1g$

⑨ $T+k(\ell_0-x)-m_1g$

(7)の解答群

① $m_2g + T$　② $m_2g - T$　③ $-m_2g + T$

④ $m_2g + 2T$　⑤ $m_2g - 2T$　⑥ $-m_2g + 2T$

⑦ $2m_2g + T$　⑧ $2m_2g - T$　⑨ $-2m_2g + T$

(8)の解答群

① $a_1 = a_2$　② $a_1 = 2a_2$　③ $2a_1 = a_2$　④ $a_1 = 3a_2$

⑤ $3a_1 = a_2$　⑥ $a_1 = 4a_2$　⑦ $4a_1 = a_2$　⑧ $a_1 = 5a_2$

⑨ $5a_1 = a_2$

(9)の解答群

① $m_1 + m_2$　② $m_1 + 2m_2$　③ $m_1 + 3m_2$　④ $m_1 + 4m_2$

⑤ $m_1 + 5m_2$　⑥ $m_1 + \frac{m_2}{2}$　⑦ $m_1 + \frac{m_2}{3}$　⑧ $m_1 + \frac{m_2}{4}$

⑨ $m_1 + \frac{m_2}{5}$

<余　　　白>

＜余　　　白＞

2 以下の設問を読んで空欄に最もよく当てはまる数値または式を**解答用紙(その2)**の対応した解答欄に記入しなさい。(1)および(4)については対応する解答群から最も適したものを選んでその記号を解答欄に記入しなさい。ここでは導線の太さは無視できるものとする。

問(1) 図2―1のようにx―y平面上で原点を中心とする半径aの円周上を図のように流れる電流Iがある。この円電流がその中心軸であるz軸上に作る磁場について以下の設問に答えなさい。

円電流を，長さ$\Delta\ell$の微小な電流素片に分割して考える。この電流素片が，それに垂直な面内のz軸上の点$\mathrm{P}(0, 0, z_0)$に作る微小な磁場の強さΔHは，電流素片からの距離の2乗に反比例し，電流の大きさと電流素片の長さに比例する。ここではその比例係数を記号Aで表すと，$\Delta H = A \times$ $\boxed{(1)}$ と書ける。その向きは，電流素片を中心とする電流に垂直な面上のPを通る円の接線方向のうち，電流の向きに進む右ねじの回転方向で与えられる。またそのz成分ΔH_zは図2―1中のθを使って$\Delta H_z = \Delta H \times$ $\boxed{(2)}$ と書ける。さらに $\boxed{(2)}$ をaとz_0を使って書くことにより$\Delta H_z = A \times$ $\boxed{(3)}$ を得る。

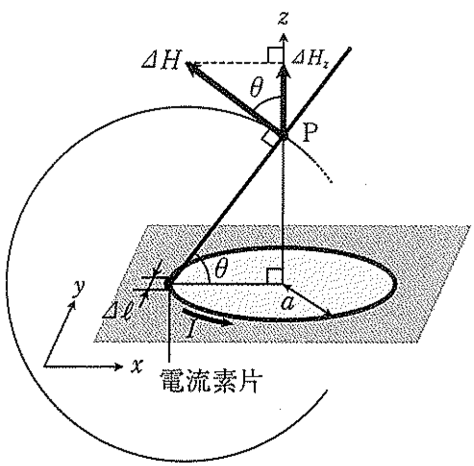

図2―1

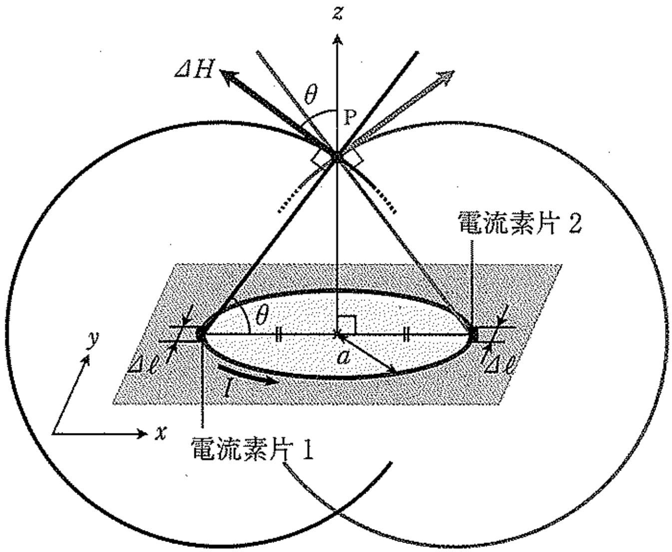

図 2 — 2

図 2 — 2 のように，円の中心について対称な位置の円周上にある同じ長さ $\Delta\ell$ の電流素片 1 と 2 を考える。これらの作る磁場の和は， $\boxed{\quad(4)\quad}$ 成分だけが残り，他の成分は打ち消しあう。このような対称性から，すべての電流素片の作る磁場について足し合わせたとき，この磁場の $\boxed{\quad(4)\quad}$ 成分だけが打ち消されずに残る。電流素片の長さの総和は $\boxed{\quad(5)\quad}$ であるから，P における磁場の強さは $H = A \times$ $\boxed{\quad(6)\quad}$ で与えられる。

ここで $z_0 = 0$ とすることによって，円の中心における磁場の強さが求まる。この大きさ H_0 は $H_0 =$ $\boxed{\quad(7)\quad}$ であることから $A =$ $\boxed{\quad(8)\quad}$ であることがわかる。以上より $(0,\ 0,\ z)$ における磁場の強さ $H(z)$ は $R = \dfrac{z}{a}$ と H_0 だけを使って $H(z) = H_0 \times$ $\boxed{\quad(9)\quad}$ と書ける。このことから z 軸上の磁場の強さは H_0 と R だけに依存することもわかる。この $\dfrac{H(z)}{H_0} =$ $\boxed{\quad(9)\quad}$ を R に対してプロットしたものを図 2 — 3 に示す。

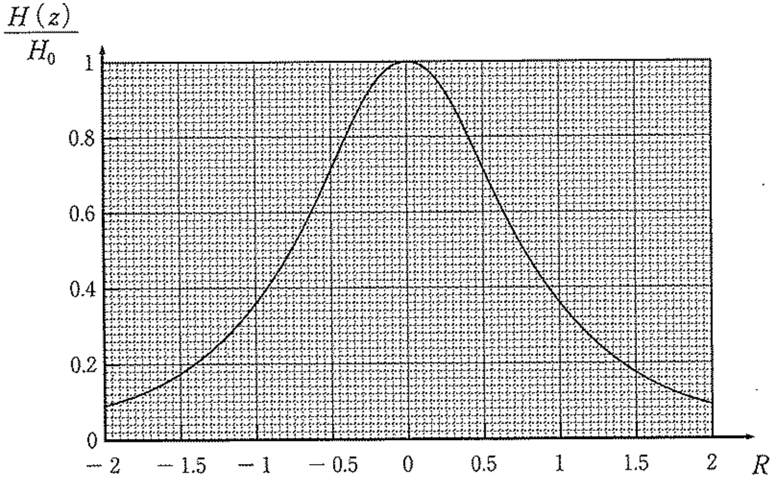

図２―３

問(2)　この一巻きのコイルと同じコイルを図２―４のように d の間隔をおいて，平行に並べ，同じ向きに同じ大きさの電流 I を流した。この２つのコイルが中心軸上に作る磁場について以下の設問に答えなさい。

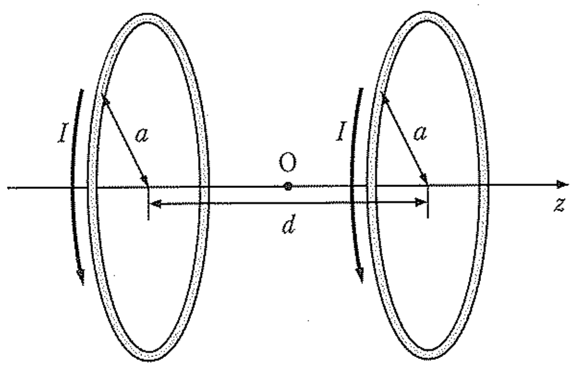

図２―４

図２―５はコイルの間隔が $d = a$ の場合に，それぞれのコイルが中心軸上に作る磁場の z 成分を，縦軸を $\frac{H(z)}{H_0}$ に，横軸を R として描いたグラフである。これらを使って２個のコイルが作る磁場の z 成分を，縦軸を $\frac{H(z)}{H_0}$，横軸を R にしたグラフとして**解答用紙（その３）**の図２―６に描きなさい。

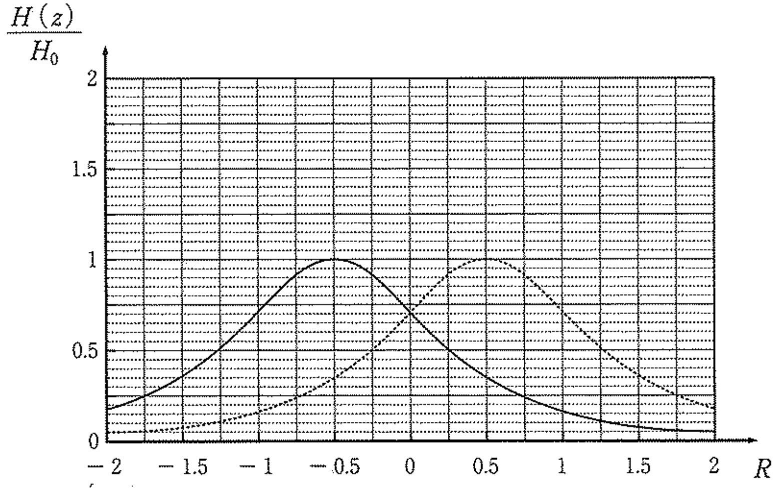

図 2 ― 5

この配置のコイルはヘルムホルツコイルと呼ばれ，一様な磁場を作るために広く用いられている。

(1)の解答群

(ア) $\dfrac{I\Delta\ell}{\sqrt{a^2+z_0{}^2}}$　(イ) $\dfrac{I\Delta\ell}{a^2+z_0{}^2}$　(ウ) $\dfrac{I\Delta\ell}{(a^2+z_0{}^2)^{\frac{3}{2}}}$

(エ) $\dfrac{\Delta\ell}{(a^2+z_0{}^2)^{\frac{3}{2}}}$　(オ) $\dfrac{I\Delta\ell}{(a^2+z_0{}^2)^3}$　(カ) $\dfrac{I\Delta\ell}{(a^2+z_0{}^2)^{\frac{5}{2}}}$

(キ) $\dfrac{\Delta\ell}{(a^2+z_0{}^2)^2}$

(4)の解答群

(ア) x　(イ) y　(ウ) z

<余　　　白>

<余　　　白>

3 以下の設問（3—1）について，空欄(10)～(14)に当てはまるもっとも適切な解答の記号を**解答用紙（その1）**の該当する解答欄にマークせよ。

なお，クーロンの法則の比例定数は k_0 とする。$e(>0)$ は電気素量を表す。

（3—1） 図3—1のように，水素原子では点Oにある電気量 $+e$ の原子核を中心として電気量 $-e$，質量 m の電子が半径 r の円を描いて一定の速さ v で等速円運動しているとみなせる。この円運動の角速度を ω とすると，電子の速さ v および加速度の大きさ a と ω の関係はそれぞれ $v=$ $\boxed{(10)}$ および $a=$ $\boxed{(11)}$ で与えられる。この加速度を生む力は向心力と呼ばれ，その大きさ f は $f=$ $\boxed{(12)}$ であり，常に点Oの方向に働く。

一方，電子と原子核との間には大きさ $f_C=$ $\boxed{(13)}$ のクーロン力が $\boxed{(14)}$ として働いており，これが原子核の周りを等速円運動する電子の向心力として作用する。

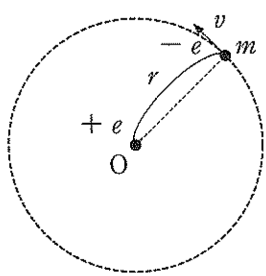

図3—1

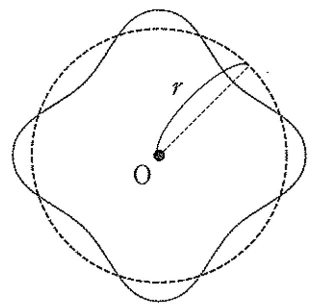

図3—2

（3—2） ボーアは二つの仮説に基づく原子模型を提唱した。仮説の一つ，ボーアの量子条件は，大きさ p の運動量を持つ電子には波長 $\lambda=\dfrac{h}{p}$ の波が伴う，というド・ブロイの唱えたミクロの粒子の波動性に基づき理解できる。ただし h はプランク定数と呼ばれる定数である。

そこで，図3—1で表した原子の電子が，図3—2の様に波としてふ

るまう場合を考えよう。円軌道に沿って定常波(定在波)が生じる状態が原子の定常状態であるとする。円軌道の長さは $2\pi r$ なので，波長 λ の定常波が生じる条件は，正の整数 n と波長 λ を用いて $\boxed{\text{(A)}}$ という式で与えられる。この式を $\lambda = \dfrac{h}{p}$ の関係式を利用して λ を使わずに書き直すと $\boxed{\text{(B)}}$ となり，この形の式が一般的に知られるボーアの量子条件式である。さらに(3―1)で議論した $f_C = f$ の関係を利用してこの量子条件式から v を消去すると，定常状態における電子軌道の半径 r を与える次式，$r = \boxed{\text{(C)}}$ が得られる。$n = 1$ の時の半径 r はボーア半径 a_0 と呼ばれ，おおよそ 5.0×10^{-11} m である。

(3―3) 水素原子のエネルギー E は，電子の運動エネルギー K と電子－原子核間に働くクーロン力による位置エネルギー U の和に等しい。m と v を用いた場合，$K = \boxed{(15)}$ で与えられるが，再び $f_C = f$ を利用してこの式から m と v を消去し書き直すと $K = \boxed{(16)}$ となる。一方，無限遠を位置エネルギーの基準とすると $U = \boxed{(17)}$ である。これら K と U の和より，$E = \boxed{(18)}$ が導出される。

この結果に $r = \boxed{\text{(C)}}$ を適用し，E をボーア半径 a_0 と n を用いて表すと $E = \boxed{\text{(D)}}$ となる。これより水素原子のエネルギーはとびとびの値をとることがわかる。

なおボーアが設けたもう一つの仮説はボーアの振動数条件とよばれ，エネルギー E の定常状態から，それよりも低い(または高い)エネルギー E' の定常状態に移るとき，原子のエネルギー差に等しいエネルギーの光子(電磁波)を放出(または吸収)する，というものである。

(10), (11)の解答群

① r　② ω　③ $r\omega$　④ $r\omega^2$　⑤ $r^2\omega$

⑥ $r^2\omega^2$　⑦ $2r\omega$　⑧ $\frac{1}{2}r\omega$　⑨ $2r\omega^2$　⓪ $2r^2\omega$

(12)の解答群

① mr　② $m\omega$　③ $mr\omega$　④ $mr\omega^2$　⑤ $mr^2\omega$

⑥ $mr^2\omega^2$　⑦ $2mr\omega$　⑧ $\frac{1}{2}mr\omega$　⑨ $2mr\omega^2$　⓪ $2mr^2\omega$

(13)の解答群

① $\frac{e}{r}$　② $\frac{e}{r^2}$　③ $\frac{e^2}{r}$　④ $\frac{e^2}{r^2}$　⑤ $k_0\frac{e}{r}$

⑥ $k_0\frac{e}{r^2}$　⑦ $k_0\frac{e^2}{r}$　⑧ $k_0\frac{e^2}{r^2}$　⑨ $k_0{}^2\frac{e}{r^2}$　⓪ $k_0{}^2\frac{e^2}{r}$

(14)の解答群

① 重力　② 摩擦力　③ 張力　④ 引力

⑤ 圧力　⑥ 斥力　⑦ 電子親和力　⑧ 強い核力

⑨ 弱い核力　⓪ 撃力

(15)の解答群

① m　② v　③ $\frac{1}{2}mv^2$　④ mv　⑤ mv^2

⑥ $\frac{1}{2}mv$　⑦ $\frac{1}{2}m^2v$　⑧ $\frac{1}{2}m^2v^2$　⑨ $\frac{1}{4}mv$　⓪ $\frac{1}{4}mv^2$

(16), (17), (18)の解答群

① $k_0\frac{e^2}{2r}$　② $-k_0\frac{e^2}{2r}$　③ $k_0\frac{e^2}{r}$　④ $-k_0\frac{e^2}{r}$　⑤ $k_0\frac{e^2}{r^2}$

⑥ $-k_0\frac{e^2}{r^2}$　⑦ $k_0\frac{e}{2r}$　⑧ $-k_0\frac{e}{2r}$　⑨ $k_0\frac{e}{r}$　⓪ $-k_0\frac{e}{r}$

(A)の解答群

① $r = n\lambda$　② $\frac{4}{3}\pi r^3 = n\lambda$　③ $\pi = n\lambda$　④ $2r = n\lambda$

⑤ $2\pi = n\lambda$　⑥ $2\pi r = n\lambda$　⑦ $3\pi r = n\frac{\lambda}{2}$　⑧ $2\pi r = n\lambda^2$

⑨ $3\pi r = n\lambda$　⓪ $\pi r^2 = n\lambda$

(B)の解答群

① $n = mv$　② $n = vr$　③ $n = mvr$

④ $n = hmvr$　⑤ $n = \frac{h}{2\pi}mvr$　⑥ $n\frac{h}{2\pi} = mv$

⑦ $n\frac{h}{2\pi} = vr$　⑧ $n\frac{h}{2\pi} = mvr$　⑨ $nh = mv$

⓪ $nh = vr$

(C)の解答群

① $\frac{h^2}{\pi^2 k_0 me^2}n$　② $\frac{h^2}{2\pi^2 k_0 me^2}n$　③ $\frac{1}{2\pi^2 k_0 me^2}n^2$

④ $\frac{1}{4\pi^2 k_0 me^2}n^2$　⑤ $\frac{1}{2\pi^2 k_0 e^2}n^2$　⑥ $\frac{h^2}{\pi^2 k_0 me^2}n^2$

⑦ $\frac{h^2}{4\pi^2 k_0 me^2}n^2$　⑧ $\frac{h^2}{\pi^2 me^2}n^2$　⑨ $\frac{h^2}{4\pi^2 k_0 m^2 e^2}n^3$

⓪ $\frac{h^2}{8\pi^2 k_0 me}n^3$

(D)の解答群

① $\frac{k_0 e^2}{a_0}\frac{1}{n^2}$　② $-\frac{k_0 e^2}{a_0}\frac{1}{n^2}$　③ $\frac{k_0 e^2}{a_0{}^2}\frac{1}{n^2}$　④ $-\frac{k_0 e^2}{a_0{}^2}\frac{1}{n^2}$

⑤ $\frac{k_0 e^2}{2a_0}\frac{1}{n^2}$　⑥ $-\frac{k_0 e^2}{2a_0}\frac{1}{n^2}$　⑦ $\frac{k_0 e}{a_0}\frac{1}{n^2}$　⑧ $-\frac{k_0 e}{a_0}\frac{1}{n^2}$

⑨ $\frac{k_0 e^2}{2a_0}\frac{1}{n}$　⓪ $-\frac{k_0 e^2}{2a_0}\frac{1}{n}$

＜余　　白＞

<余　　　白>