令　和　8　年　度

理　　　科

問　題　冊　子

問 題 訂 正

理科「物理」

訂正箇所	4ページ　第2問の下から4行目
誤	C_2，$\underline{I_0,\ \omega}$ のうち必要なものを…
正	C_2，$\underline{Q_0}$ のうち必要なものを…

物　　理

第１問　次の文章を読んで $\boxed{}$ に適した式または値をそれぞれ記せ。

図１のように，水平で滑らかな床の上に質量 M〔kg〕の台が置かれている。台の上面は滑らかで，水平面と斜面からなり，水平面の端にばね定数 k〔N/m〕の，質量が無視できるばねが取り付けられている。ばねは自然の長さの状態で，大きさが無視できる質量 m〔kg〕の小球が台の水平面上に置かれ，ばねに接している。このときの台の水平面上での小球の位置を点Ｏとし，Ｏを原点として水平右向きに，台の水平面に固定して x 軸をとる。台の水平面と斜面のなす角を θ〔rad〕とし，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とする。水平方向の速度および加速度は，右向きを正とする。

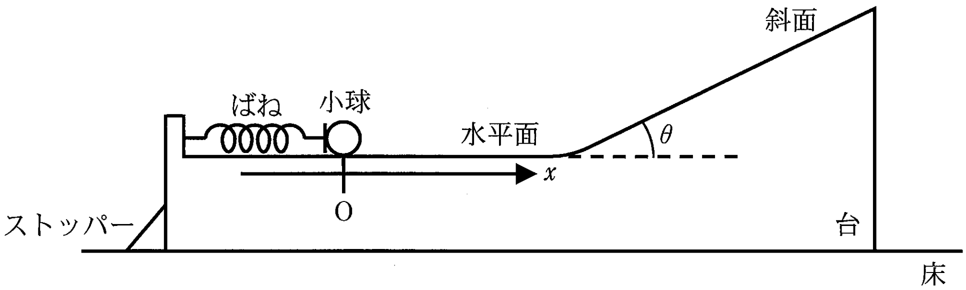

図１

Ⅰ　台ははじめ，ストッパーによって左に動かないようになっている。小球を左向きに押して，台の水平面上での小球の位置の x 座標が $-d$〔m〕$(d > 0)$ となるようにばねを縮めた。このとき，ばねの弾性力による位置エネルギーは $\boxed{\ 1\ }$〔J〕である。小球を静かに放したところ，ばねが自然の長さに戻ったところで，小球は速度 $\boxed{\ 2\ }$〔m/s〕でばねから離れた。

その後，小球が斜面をのぼり始めると，台は小球から力を受けて右向きに動き出した。台の水平面と斜面は滑らかにつながっており，小球は台の上面に沿って水平面から斜面へと移った。小球が最高点に達したとき，台から見た小球の水平方向の速度は $\boxed{\ 3\ }$〔m/s〕であることから，床から見た小球の水平方向の速度は $\boxed{\ 4\ }$〔m/s〕であり，台の水平面から小球までの高さは $\boxed{\ 5\ }$〔m〕である。ただし，小球は斜面の右端から飛び出さないとする。小球が斜面上にあるとき，床から見た台の水平方向の加速度を a〔m/s^2〕，小球が台の斜面から受ける垂直抗力の大きさを N〔N〕とすると，台の水平方向の運動方程式は，N，θ を用いて $Ma = \boxed{\ 6\ }$ と表される。また，台から見ると，小球には慣性力が働き，小球に働く斜面に垂直な方向の力のつりあいから，m，g，θ，a を用いて $N = \boxed{\ 7\ }$ と表される。これらのことから，m，M，g，θ を用いて $a = \boxed{\ 8\ }$ と表される。

Ⅱ　台と小球を図 1 の状態に戻し，小球を左向きに押して，台の水平面上での小球の位置の x 座標が $-d$〔m〕となるようにばねを縮め，小球を離すと同時にストッパーをはずした。

ばねが自然の長さに戻り小球がばねから離れるまでの間の，小球と台の運動について考える。小球が台の水平面上での位置 x〔m〕にあるとき，$x<0$ であることに注意すると，床から見た台の加速度は($\boxed{9}$)$\times x$〔m/s^2〕であり，台から見た小球の加速度は($\boxed{10}$)$\times x$〔m/s^2〕である。したがって，台から見ると，小球はばねから離れるまでの間，周期 $\boxed{11}$〔s〕の単振動をする。

次に，小球がばねから離れた後の小球と台の運動について考える。小球がばねから離れた直後の，床から見た台の速度は $\boxed{12}$〔m/s〕，床から見た小球の速度は $\boxed{13}$〔m/s〕である。小球が斜面をのぼって最高点に達したとき，台の水平面から小球までの高さは $\boxed{14}$〔m〕である。ただし，小球は斜面の右端から飛び出さないとする。

第2問 次の文章を読んで $\boxed{}$ に適した式または値をそれぞれ記せ。ただし，$\boxed{2}$ については最も適するものを解答群から一つ選び，記号で記せ。

図2のように，十分に長い2本の導体のレールが水平面上に間隔 l で平行に置かれている。レールには，抵抗値 R_1，R_2 の抵抗1，2，電気容量 C_1，C_2 のコンデンサー1，2，自己インダクタンス L のコイル，スイッチ S_1，S_2 からなる回路が接続されている。レール上には導体棒がレールに対して垂直に置かれており，導体棒はレールからはずれることなく，滑らかにレールに沿って平行移動できる。レールが置かれている領域には磁束密度 B の一様な磁場(磁界)が紙面に対して垂直で裏から表の向きにかけられている。導体棒とレールの接点を a，b とする。接点 a，b における摩擦や電気抵抗は無視してよい。また，レール，導体棒および導線の電気抵抗は無視してよい。

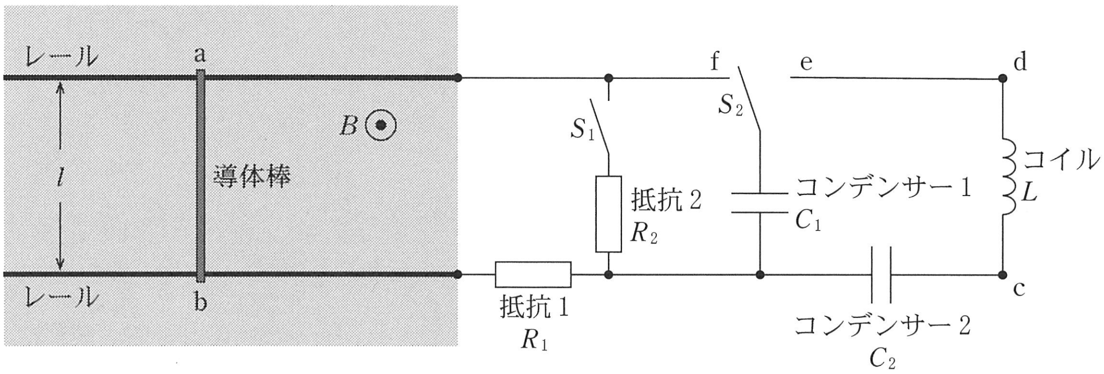

図2

I　コンデンサーに電荷が蓄えられていない状態で，スイッチ S_1 を開き，S_2 を f 側に接続した。導体棒を一定の速さ v_0 で水平右向きに動かしたところ，大きさ $V=$ $\boxed{1}$ の誘導起電力が発生し，導体棒には $\boxed{2}$ の向きに電流が流れ始めた。導体棒を一定の速さで動かし続けて十分に時間が経過すると，導体棒に流れる電流は0となった。導体棒を動かし始めてから，電流が0になるまでに接点 a，b の間の起電力がした仕事は，V，R_1，C_1 のうち必要なものを用いると，$\boxed{3}$ と表され，抵抗1で発生したジュール熱は $\boxed{4}$ と表される。

$\boxed{2}$ の解答群

(ア) a から b　　　　(イ) b から a

Ⅱ　導体棒を停止したところ，コンデンサー1は放電して，蓄えられている電気量は0になった。その後，スイッチS_2をf側に接続したままS_1を閉じ，導体棒を一定の速さv_0で水平左向きに動かしたところ，導体棒には大きさVの誘導起電力が発生した。回路に電流が流れ始めた直後の抵抗1に流れる電流は，V，R_1，R_2，C_1のうち必要なものを用いると，$\boxed{\quad 5 \quad}$と表される。充電されている途中のコンデンサー1の電気量がQとなったとき，抵抗1，2に流れる電流の大きさI_1，I_2は，V，R_1，R_2，C_1，Qのうち必要なものを用いて，それぞれ$I_1 = \boxed{\quad 6 \quad}$，$I_2 = \boxed{\quad 7 \quad}$と表される。また，微小時間$\Delta t$の間にコンデンサー1の電気量$Q$が$\Delta Q$だけ増えるときの変化率$\dfrac{\Delta Q}{\Delta t}$は，$V$，$R_1$，$R_2$，$C_1$，$Q$のうち必要なものを用いると，$\dfrac{\Delta Q}{\Delta t} = \boxed{\quad 8 \quad}$と表される。ただし，微小時間$\Delta t$の間に電流の大きさ$I_1$，$I_2$は変化しないとする。十分に時間が経過して充電が完了したとき，コンデンサー1に蓄えられている電気量Q_0は，V，R_1，R_2，C_1のうち必要なものを用いると，$Q_0 = \boxed{\quad 9 \quad}$と表される。

Ⅲ　コンデンサー1に電気量Q_0が蓄えられている状態でスイッチS_2をf側からe側に切り替えたところ，コンデンサー1，2とコイルを含む閉じた回路に電気振動が生じた。コイルに流れる電流が最大になるとき，コンデンサー1，2に蓄えられている電気量Q_1，Q_2は，C_1，C_2，Lのうち必要なものを用いると，それぞれ$Q_1 = \boxed{\quad 10 \quad} \times Q_0$，$Q_2 = \boxed{\quad 11 \quad} \times Q_0$と表される。各コンデンサーとコイルに蓄えられているエネルギーの関係を用いると，コイルに流れる電流の最大値I_0は，C_1，C_2，L，Q_0のうち必要なものを用いて，$I_0 = \boxed{\quad 12 \quad}$と表される。ここで，スイッチ$S_2$を切り替えた時刻を$t = 0$，電気振動の角周波数を$\omega$として，時刻$t$にコイルに流れる電流を$I_0 \sin \omega t$とおく。時刻$t$におけるコイルの両端の電位差は，点cを基準にした点dの電位で表すと，C_1，L，I_0，ωのうち必要なものを用いて，$\boxed{\quad 13 \quad} \times \cos \omega t$である。時刻$t$におけるコンデンサーの両端の電位差は，点cを基準にした点eの電位で表すと，C_1，C_2，I_0，ωのうち必要なものを用いて，$\boxed{\quad 14 \quad} \times \cos \omega t$である。これらの電位差が等しいことから，電気振動の固有周波数は，C_1，C_2，L，I_0のうち必要なものを用いると，$\boxed{\quad 15 \quad}$と表される。また，時刻$t = \dfrac{\pi}{\omega}$にコンデンサー2に蓄えられている電気量は，C_1，C_2，Lのうち必要なものを用いると，$\boxed{\quad 16 \quad} \times Q_0$と表される。

第3問 次の文章を読んで $\boxed{}$ に適した式または値をそれぞれ記せ。ただし，$\boxed{9}$ と $\boxed{10}$ については最も近い値を解答群から一つ選び，記号で記せ。また，電気素量を e，プランク定数を h，真空中のクーロンの法則の比例定数を k_0 とする。

Ⅰ 原子番号 Z の原子を，図3－1のように，静止した正の電荷 Ze を持つ原子核と，そのまわりを等速円運動している質量 m で負の電荷 $-e$ を持つ電子からなるモデルで考える。ここでは，図3－2のように，原子核からの距離(軌道半径)が r，速さが v で等速円運動をしている電子Aに着目する。このモデルでは，電子Aには他の電子との間に静電気力(クーロン力)がはたらかないと仮定する。ただし，他の電子からの影響を実効的に表すために，電子Aから見た原子核の電荷が $(Z-b)e$ (ただし，b は0以上の定数)になるとする。等速円運動している電子Aの中心方向(半径方向)の運動方程式は，原子核との間の静電気力が向心力のはたらきをすることから $\boxed{1}$ と表される。電子Aの運動エネルギー K は，k_0，e，Z，b，r のうち必要なものを用いると，$K=\boxed{2}$ と表される。電子Aの静電気力による位置エネルギー U は，無限遠点を基準にとり，k_0，e，Z，b，r のうち必要なものを用いると，$U=\boxed{3}$ と表される。

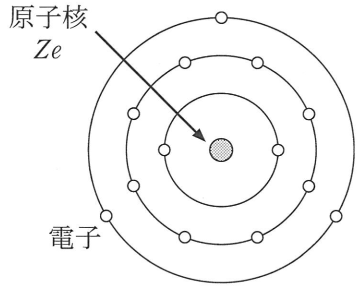

図3－1

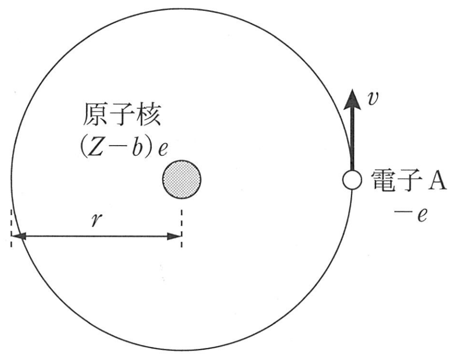

図3－2

従来の電磁波の理論では等速円運動をする電子は電磁波を放出してエネルギーを失うので，このモデルでは原子が安定して存在することを説明できない。ボーアは，ある条件(量子条件)を満たす軌道に電子が存在するとき，電子は電磁波を出さずに安定して存在できるとした。この量子条件は，原子内の電子の軌道1周の長さが物質波の波長(ド・ブロイ波長) $\dfrac{h}{mv}$ の n 倍 $(n=1,2,3,\cdots)$ であるときに電子は安定して存在できると表すことができる。n を量子数という。電子Aの量子数を n として量子条件を用いると，電子の速さ v は，h，e，r，m，n のうち必要なものを用いて，$v=\boxed{4}$ と表される。電子Aの軌道半径 r は，k_0，h，e，Z，b，m，n のうち必要なものを用いると，$r=\boxed{5}$ と表される。電子Aのエネルギー E(運動エネルギー K と静電気力による位置エネルギー U の和)は，k_0，h，e，Z，b，m，n のうち必要なものを用いると，$E=\boxed{6}$ と表される。水素原子の場合には $b=0$ であるので，水素原子の基底状態(量子数 $n=1$)の電子のエネルギー E_0 は，k_0，h，e，m のうち必要なものを用いると，$E_0=\boxed{7}$ と表される。

量子条件により電子のエネルギー E はとびとびの値になる。これをエネルギー準位という。

原子内の低いエネルギー準位に電子の空席ができると，より高いエネルギー準位の電子が1つの光子を放出して低いエネルギー準位に移る。この放出される光子が固有X線(特性X線)であり，そのエネルギーは2つのエネルギー準位の差に等しい。高いエネルギー準位の量子数を n，低いエネルギー準位の量子数を n' とするとき，原子番号 Z の原子から放出される固有X線のエネルギーは，e，Z，b，n，n'，E_0 のうち必要なものを用いて，$\boxed{\quad 8 \quad}$ と表される。

II　定数 b の値は，量子数 n と n' によって決まり，原子番号 Z によらないことが知られている。そこで，原子中の電子が量子数2から1のエネルギー準位に移る(遷移する)ときに放出される固有X線について考える。以下では，水素原子の基底状態の電子のエネルギーを $-13.6\,\mathrm{eV}$ とする。カリウム($Z = 19$)の量子数2から1への遷移に伴い放出される固有X線のエネルギーが $3.30 \times 10^3\,\mathrm{eV}$ であることから，b は $\boxed{\quad 9 \quad}$ と求められる。この b の値を用いると，原子番号が不明なある原子の量子数2から1への遷移に伴い放出される固有X線のエネルギーが $8.04 \times 10^3\,\mathrm{eV}$ であるとき，原子番号は $\boxed{\quad 10 \quad}$ と求められる。

$\boxed{\quad 9 \quad}$ の解答群

(ア)　0　　(イ)　1　　(ウ)　2　　(エ)　3　　(オ)　4

$\boxed{\quad 10 \quad}$ の解答群

(カ)　26　　(キ)　27　　(ク)　28　　(ケ)　29　　(コ)　30