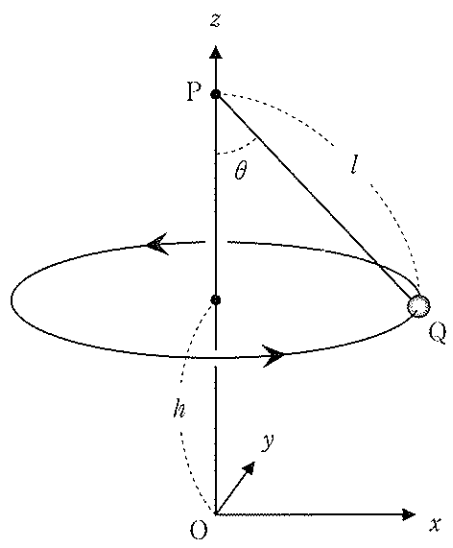
受験番号	第　　　　　　番

物　理　301　その1

第1問　質量の無視できる長さ l〔m〕のひもの一端に質量 m〔kg〕の小球をつける。そのひもの他端Pを手に持ち，張力 S〔N〕で引っ張りながら，小球を水平面内で等速円運動させる。張力 S を変化させると，ひもが鉛直線となす角 θ〔rad〕と小球の円運動の速さ v〔m/s〕はともに変化する。重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕とし，空気抵抗は無視して，次の問いに答えよ。ただし，問1では張力，重力を図に描き入れ，①，②に適切な語句を入れよ。また，問2，問3は，l，m，S，g 以外の文字を使ってはいけない。



問1　小球に働いているひもの張力 S と重力 mg を，大きさに注意して図に描き入れよ。この合力は［①］の方向を向き，［②］と呼ばれている。

答	①	②

問2　鉛直方向の力のつりあいを用いて $\cos\theta$ を表せ。

〔式と計算〕

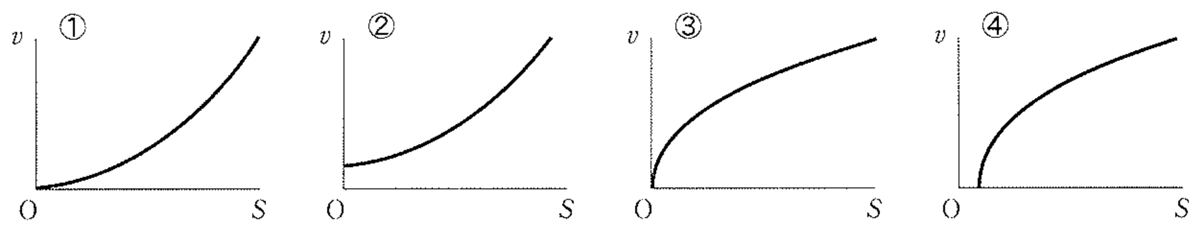
答	

問3　小球の円運動の速さ v はいくらか。

〔式と計算〕

答	

問4　ひもの張力 S と小球の円運動の速さ v の関係を正しく表したグラフの番号を選べ。



答	

問5　小球は高さ $z=h$ の位置で円運動しているとする。小球が xz 面にきたとき，すなわち図の点Qで手を離した。このときの速さを v_Q，ひもが鉛直方向となす角を θ_Q とする。小球が床($z=0$)に落ちる地点の x 座標，y 座標はいくらか。

〔式と計算〕

答	
	x 座標
	y 座標

問6　ひもの張力 S が重力 mg より十分大きいときには，mg/S を0としてよい。0.20 m のひもにつけた 0.010 kg の球を速さ 5.0 m/s で回転させるには，いくらの張力で引っ張ればよいか。

〔式と計算〕

答	

小　計	点

受験番号	第　　　　　番

物　理　301　その2

第2問　図1のように，内側の断面積 S〔m^2〕のシリンダーが鉛直に立てられていて，その内部には n〔mol〕の理想気体が，なめらかに動くピストンで閉じこめられている。ピストンは質量 M〔kg〕で，その上にはおもりをのせることができる。シリンダーの底面には熱交換器が取りつけられており，理想気体と熱をやりとりして，理想気体の温度を調整することができる。シリンダーとピストンはともに断熱材でできており，シリンダー内での熱交換器の体積は無視できるものとする。初め，ピストンの上におもりをのせないとき，気体の体積は V_A〔m^3〕であった。この状態をAとする。大気圧を p_0〔Pa〕，重力加速度の大きさを g〔m/s^2〕，理想気体の気体定数を R〔J/(mol・K)〕，定積モル比熱を C_V〔J/(mol・K)〕として，以下の問いに答えよ。

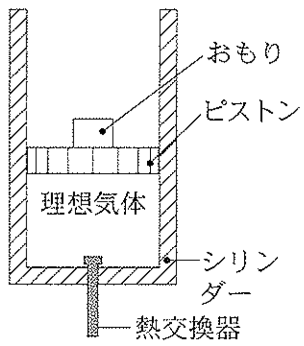


図1

問1　状態Aでの気体の温度を求めよ。

〔式と計算〕

答

問2　状態Aから，熱交換器によりシリンダー内の気体の温度を一定に保ちながら，ピストンの上におもりを少しずつのせていき，気体を圧縮した。おもりの質量が m〔kg〕になったときの気体の状態をBとする。図2はシリンダー内の気体の状態を表す圧力 p と体積 V のグラフで，この過程A→Bにおける p と V の変化が示してある。状態Bでの気体の体積を求めよ。

〔式と計算〕

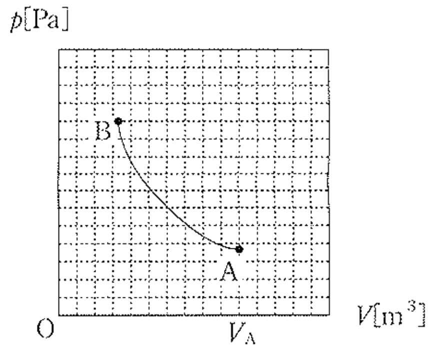


図2

答

問3　状態Bから，ピストンの上のおもりを質量 m のままにして，熱交換器でシリンダー内の気体に熱をゆっくり加えて，気体が初めの体積 V_A になるまで膨張させた。これを状態Cとする。図2に状態Cを表す点を文字Cとともに記号●で記入し，過程B→Cにおける p と V の変化を表す実線を描き入れよ。また，過程B→Cで気体がした仕事を求めよ。

〔式と計算〕

答

問4　状態Cから，気体の体積を V_A に保ったまま，熱交換器でシリンダー内の気体から熱を奪いながら，ピストンの上のおもりを少しずつとりのぞいていき，状態Aまで変化させた。図2に過程C→Aにおける p と V の変化を表す実線を描き入れよ。また，過程C→Aで気体から奪った熱量を求めよ。

〔式と計算〕

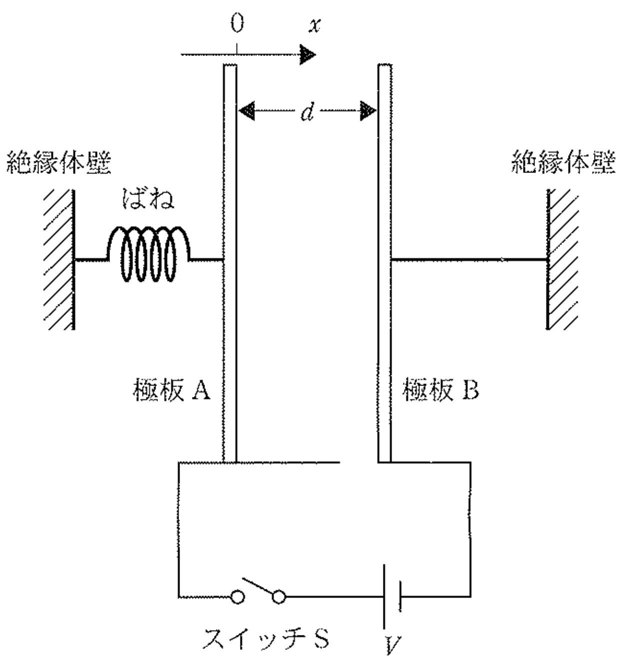
答

小　計	点

受験番号	第　　　　　番

物　理　301　その３

第３問　図のように，真空中に一対の正方形の平行な金属板A，Bを極板とするコンデンサーが置かれている。A，Bには起電力V〔V〕の電池とスイッチSが図のようにつながれている。極板Bは固定されている。極板Aには，ばね(ばね定数k〔N/m〕)が取り付けられており，Aは導線との接続部の上を，Bと平行なまま水平方向になめらかにすべることができる。図のように水平方向にx座標をとる。ばねが自然長のときのAの位置を$x=0$〔m〕，A，B間の距離をd〔m〕，コンデンサーの容量をC〔F〕とする。A，Bの辺の長さは同じであり，dに比べて十分に大きい。最初，Sは開いており，A，B上に電荷はなかった。ばねの質量および回路内の電気抵抗は無視できるものとして，以下の問いに答えよ。



問１　Aを$x=0$の位置で固定しSを閉じた。十分な時間が経過した後，Aにたくわえられた電荷はいくらか。

〔式と計算〕

答	

問２　その後，Sを開きAを放したところ，Aは図の右方向に動きはじめた。①$x=a\,(a<d)$のときのコンデンサーの容量はCの何倍か。②また，$x=a$のときのコンデンサーの静電エネルギーは$x=0$のときの値に比べどれだけ減少しているか。

〔式と計算〕

答	①　　　　　　　　倍	②

問３　$x=a$のときのAの運動エネルギーをK〔J〕として，そのときのばねも含めた全系のエネルギーはいくらか。

〔式と計算〕

答	

問４　その後，Aは$x=b\,(b<d)$までBに接近したのち，ばねに引き戻された。bを求めよ。

〔式と計算〕

答	

小　計	点

受験番号 第　　　　　番

物　理　301　その4

第4問 次の文章の中の $\boxed{}$ に数式,「　」に語句を入れよ。ただし,プランク定数は h〔J・s〕,電気素量は e〔C〕,静電気力に関するクーロンの法則の比例定数は k_0〔N・m^2/C^2〕で表すものとする。

原子の中の電子の運動は,太陽系の惑星の運動に似ていると言われることもあるが,実は両者には大きな違いがある。原子内電子は,どんな軌道でも自由に選べるのではなく,ある特別な条件を満たすものだけが許される。

水素原子についてのボーアの理論を用いて,これをもう少し定量的に考えてみよう。質量 m〔kg〕の電子が,速さ v〔m/s〕で半径 r〔m〕の等速円運動を続けるためには

$$F = \boxed{}\ \text{〔N〕} \qquad (1)$$

という力が常に「　　　　　　」方向に働いていることが必要である。水素原子の場合,この力を生み出しているのは電子と原子核(陽子)の間の「　　　　　　」であり,その大きさ F は

$$F = \boxed{} \qquad (2)$$

である。式(1),(2)より v と r の間に一つの関係(これを関係1とする)が生れ,これを電子の力学的エネルギー

$$E = \frac{1}{2}mv^2 - k_0\frac{e^2}{r}$$

に代入すると

$$E = -k_0\frac{e^2}{2r} \qquad (3)$$

となる。

一方,ド・ブロイは,運動量 mv〔kg・m/s〕の電子には,波長 $\lambda = \boxed{}$〔m〕の波動が伴なうと予測した。この予測に基づけば,電子の軌道としては,電子波が安定に存在できる軌道,つまり半径 r が

$$2\pi r = \boxed{} \times n$$

(n は正の整数)を満たす軌道だけが許されることになるので,ここでも v と r の間に別の関係(これを関係2とする)が生まれる。関係1と関係2から v を消去することにより r の取り得る値が

$$r_n = \boxed{}$$

と決まり,それを(3)に代入することにより整数 n に対応する電子の力学的エネルギー E_n が

$$E_n = \boxed{}$$

と決まる。

例えば,i 番目の軌道にいる電子が j 番目の軌道に移るときには,そのエネルギーの差は光として放出される。この光の振動数 ν は,両軌道のエネルギー E_i,E_j と

$$\boxed{}$$

という等式で結びつけられる。

小　計	点