# 物理問題集

著者　　カシーナ、セゾーノフ
出版社　モスクワ「ビッシュシャーヤ　シュコーラ」
第3版、１９９６年

目次

序文
序章　　ベクトルとスカラー
第１部　力学
　第１章　運動学（物体の運動を数学的に表現する）
　　１節　等速直線運動
　　２節　可変速直線運動
　　３節　曲線運動
　第２章　動力学
　　４節　直線運動の動力学
　　５節　曲線運動の動力学
　　６節　万有引力の法則
　　７節　運動量。運動量保存則
　　８節　仕事。仕事率。エネルギー。エネルギー保存則
　　９節　力学における保存則
　第３章　静力学
　　１０節　質点の釣合
　　１１節　剛体の釣合
　　１２節　液体と気体
　第４章　力学的振動と波
　　１３節　調和振動の運動学
　　１４節　調和振動の動力学
　　１５節　波。音
第２部　分子物理学
　第５章　物質の構造の分子運動論
　　１６節　分子の質量と大きさ
　　１７節　分子の運動。分子の相互作用
　　１８節　固体と液体の熱拡散
　第６章　気体の性質
　　１９節　気体の分子運動論
　　２０節　気体の法則。理想気体の状態方程式
　　２１節　蒸気の性質。湿度
　第７章　熱と仕事
　　２２節　熱交換における内部エネルギーの変化
　　２３節　仕事を伴うときの内部エネルギーの変化
　　２４節　気体への初等熱力学の適用
第３部　電気
　第８章　静電気学
　　２５節　荷電。クーロンの法則
　　２６節　電場。電圧。電場の力の仕事。電位。
　　２７節　電場中の導体と誘電体
　　２８節　電気容量。コンデンサ
　第９章　定電流
　　２９節　電流。オームの法則。抵抗の接続
　　３０節　閉回路におけるオームの法則
　　３１節　電流による仕事と仕事率
　　３２節　種々の媒質中における電流
　第１０章　電磁気学

３３節　電流と磁場との相互作用
３４節　インダクタンス。自己インダクタンス
３５節　交流。電磁振動と波
第４部　光学　原子の構造
第１１章　幾何光学　測光
３６節　平らな境界における光の反射と屈折
３７節　球面鏡とレンズ
３８節　光学機器
３９節　測光法
第１２章　光の波動的性質と量子的性質
４０節　光の波としての性質
４１節　光の量子としての性質
第１３章　原子物理
４２節　原子の構造
４３節　原子核の構造

付録

解答

付録

解答

## 序章　ベクトルとスカラー

１．２つのベクトルａとｂがある（図１）。これらベクトルの和を求めよ。ベクトルの大きさは各々ａ＝５．０、ｂ＝４．０である。

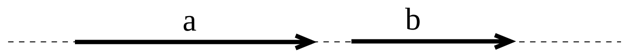


図１

２．２つのベクトル３ａと２ａが同じ直線上で、同じ方向を向いている。（1）ベクトルの和を求めよ、（2）前者に対する後者の差を求めよ、（3）後者に対する前者の差を求めよ。

３．直線ＡＢに沿って、大きさが等しい２つのベクトルが向かい合っている。これらベクトルの和と差を求めよ。

４．２つのベクトルａを、それらの和が（1）０、（2）２ａ、（3）ａとなるように組み合わせよ。

５．２つのベクトルａとｂのなす角度は６０°。ベクトルｃ＝ａ＋ｂの大きさと、ａとｃのなす角度βを求めよ。ベクトルの大きさはａ＝３．０、ｂ＝２．０である。

６．大きさ４．０のベクトルａがおおきさ６．０のベクトルｂと角度α＝２４０°をなしている。ベクトルｃ＝ａ－ｂの大きさと、ａとｃの間の角度βを求めよ。

７．問題６に与えられているベクトルにおいて、ベクトルｃ＝ｂ－ａの大きさと、ａとｃのなす角度βを求めよ。

８．お互いに垂直であるベクトルａ，ｂ、ｃがあり、それらの大きさは各々３．０，４．０，√１１である。ベクトルｄ＝ａ＋ｂ＋ｃの大きさを求めよ。

９．ｘｙ座標系で、ｘ＝５．０、ｙ＝５．０に点Ｍがある。座標の原点と点Ｍを結ぶベクトルｒの大きさ、このベクトルとｘ軸とのなす角度を求めよ。

１０．大きさ６．０のベクトルｒがｘ軸と角度α＝３０°をなす方向を向いている。ｘ、ｙ軸へのこのベクトルの投射成分を求めよ。

１１．大きさ４．０のベクトルａの終端が、ベクトルｂの始点に連結しているとすると、ベクトルａの始点をベクトルｂの終端と連結しているベクトルｃの大きさは４√３となる。ベクトルａｃのなすα角度は３０°。ベクトルａとｂのなす角度βとベクトルｂの大きさを求めよ。

１２．大きさ３．０のベクトルａが直線ＡＢと角度α＝３０°をなしている。ベクトルｃ＝ａ＋ｂが　直線ＡＢに平行となるためには、大きさ√３のベクトルｂを直線ＡＢに対してどのような角度βとすべきか。ベクトルｃの大きさは幾らとなるか。

１３．点$M_1$（２，１０）、$M_2$（５，６）が与えられている。$M_1$と$M_2$を連結するベクトルの大きさを求めよ。

１４．ｘｙ座標系で（図２）、２つのベクトルが与えられている。合成ベクトルｃの大きさとｘ軸に対するそのベクトルの傾斜角度αを求めよ。

１５．ベクトルａ、ｂがｘｙ座標系で与えられている（図３）。ベクトル$c_1$＝ａ＋ｂ、$c_2$＝ａ－ｂの大きさを求めよ。

１６．ベクトルａとｂのスカラー積のそれらのなす角度α依存性をグラフにせよ。

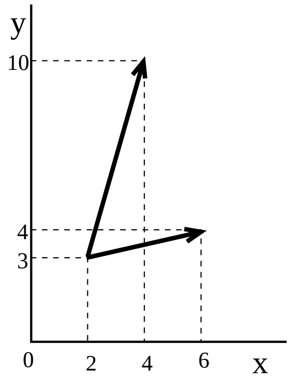


図２

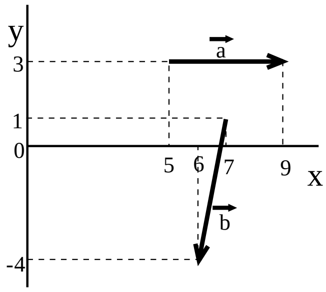


図３

１７．大きさ２．０，１．０の２つのベクトルａ，ｂがある。それらのなす角度はα＝６０°。ベクトルｃ＝（ａ・ｂ）・ａ＋ｂ　と　ｄ＝２ｂ－ａ／２　の大きさを求めよ。

１８．与えられた方向の成分にベクトルを分解せよ（図４）。

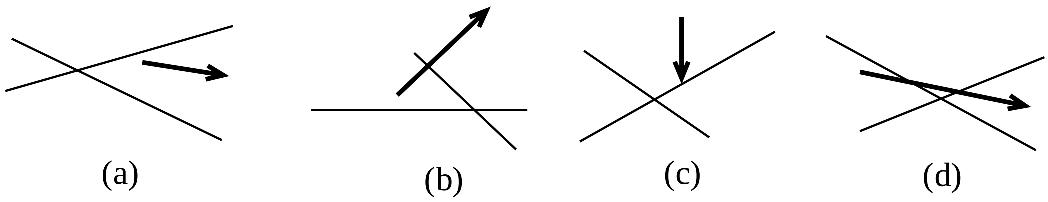


図４

１９．ベクトルａの一成分$a_1$がわかっている（図５）。他方の成分$a_2$を求めよ。

２０．ベクトルｄとｃが与えられ、、ベクトルａとｂが沿っている方向MN、$M_1N_1$が与えられている（図６）。ベクトルｄは３つのベクトルａ，ｂ，ｃの合成である。ベクトルａとｂを定めよ。

２１．２つの平行なベクトルａ，ｂが同じ方向を向いている。それらの間隔は６．０ｃm。ａ＝２ｂとし、合成ベクトルまでの距離を求めよ。

２２．２つの反平行ベクトルがあり、各々の大きさは８．０，２．０で、お互いの間隔は１２ｃmである。これらベクトルの合成ベクトルと、得られたベクトルの作用線を示せ。

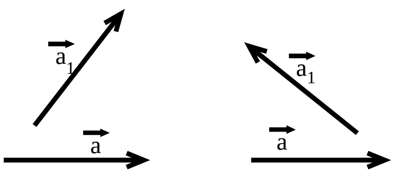


図５

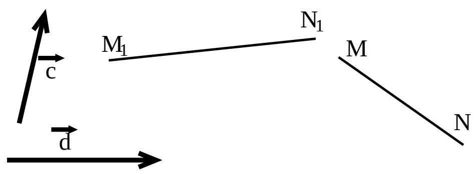


図６

第１部　力学

## 第１章　運動学

### １節　等速直線運動

１．１　図７に、物体の座標と時間の依存グラフが示されている。グラフはどのような運動を示しているのか。物体の速さと経路の時間依存はどのようなものとなるか。

１．２　図８には物体のどのような運動が示されているのか。物体はいつ出会うか。出会った後、物体はどのような経路をとるか。

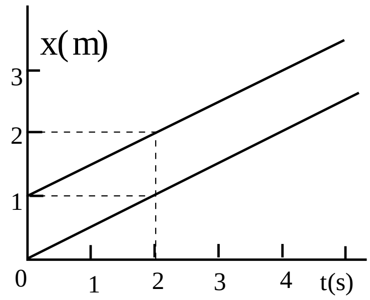


図７

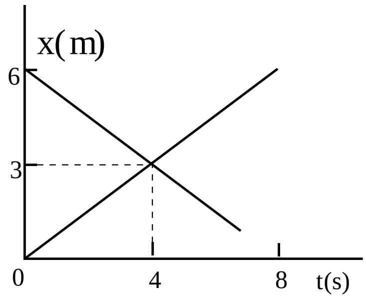


図８

１．３　２つの物体の座標と時間の依存性が図９に示してある。出会うまでの時間、出会う座標、出会うまで物体が経由する軌道を求めよ。物体間の間隔が最初と同じになる時間はいつか。

１．４　ｘ軸に角度αをなして一定の速さ$v_0$で質点が動く（図１０）。時刻ｔ＝０で之物体の座標値は（$x_0$，$y_0$）。質点の運動方程式と軌道方程式をかけ。

１．５　物体の運動方程式が与えられている。$x=v_x t$、$y=y_0+v_y t$。$v_x$＝２５ｃｍ／ｓ、$y_0$＝０．２ｍ、$v_y$＝１．０ｍ／ｓの時、軌道の式を書き下し、グラフを描け。

１．６　物体の座標と時間の関係が図１１に与えられている。２ｓ、４ｓ、８ｓ後の物体の軌道を求めよ。

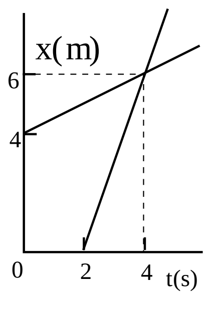


図９

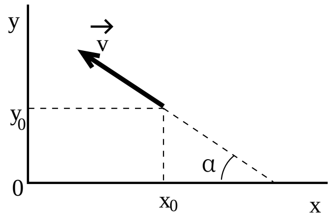


図１０

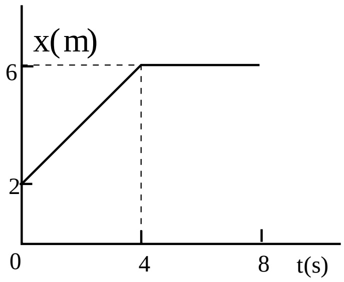


図１１

１．７　図１２に物体の座標と時間の依存性のグラフが示されている。物体が動いているのはどれだけの時間か。速さと経路の時間依存のグラフを作成せよ。

１．８　物体がｔ＝１０ｓで経路ｓ＝１０ｍ動く。時間ｔ１＝２ｓで、物体は経路ｓ１＝６ｍを動き、ｔ２＝３秒間物体は停止していることがわかっている。残りの経路を物体はどれだけの速さで動くか。物体の経路と速さの時間依存のグラフを作成せよ。

１．９　座標軸に投射した物体の速さの時間依存性のグラフが図１３に与えられている。物体の座標及び経路の時間依存のグラフを描け。物体の平均の速さ、及び最初の８秒間における平均の速さを求めよ。

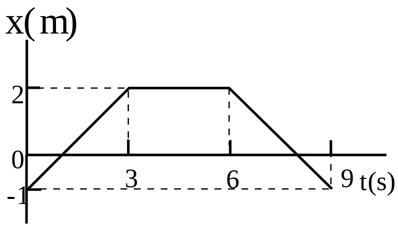


図１２

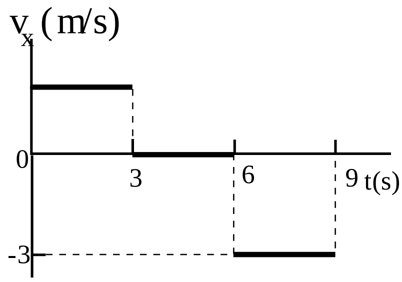


図１３

１．１０　物体を垂直に移動させる。図１４に示している移動のグラフを利用し、７０ｓ間における物体の上昇及び下降の速さ、経路を求めよ。物体の平均速度は幾らとなるか。物体の移動速度の時間の依存をグラフにせよ。

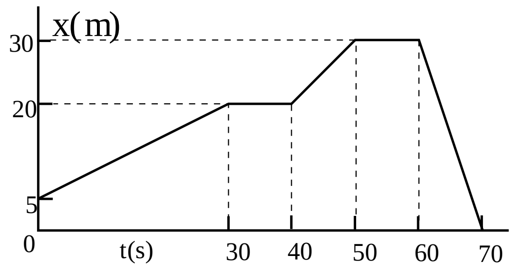


図１４

１．１１　自動車が前半には平均速度$v_1$＝６０ｋｍ／ｈで、後半には$v_2$＝４０ｋｍ／ｈで走った。全経路における自動車の平均速度を求めよ。

１．１２　自動車が前半には平均速度$v_1$＝４０ｋｍ／ｈ、後半には$v_2$＝６０ｋｍ／ｈで動いた。全経路における自動車の平均速度を求めよ。

１．１３　小舟が経路の前半を、経路の後半より２倍の速さで進んだ。全経路での平均速度はｖ＝４ｋｍ／ｈ。前半及び後半での小舟の速さを求めよ。

１．１４　流れの下方に動いている小舟が、上方に動くときより、３分の１の時間を消費した。全経路での平均速度がｖ＝３ｋｍ／ｈとして、小舟の岸に相対的な速度を求めよ。

１．１５　経過時間の最初の半分で、物体は予定方向に対して角度$\alpha_1$＝３０°で速度$v_1$＝３０ｍ／ｓで動き、後半は$\alpha_2$＝１２０°で速度$v_2$＝４０ｍ／ｓで動いた。移動の平均速度を求めよ。

１．１６　距離ｌ＝１２０ｋｍ離れている２点Ａ，Ｂから、同時に２台の自動車が向かい合って動き出した。前者の車の速度は$v_1$＝７０ｋｍ／ｈ、後者の車の速度は$v_2$＝５０ｋｍ／ｈ。２台の車が出会うのはいつで、Ａ点からどれだけの距離であるか求めよ。１台の車に固定した座標系から見ると、もう１台の車は出会うまでにどれだけの距離を走るか。

１．１７　距離ｌ＝３ｋｍ離れている、大通りに沿った２点Ａ，Ｂから同じ方向に、自転車と、歩行者が同時に動き出した。Ａ点から動き出した自転車は速度$v_1$＝１５ｋｍ／ｈ、Ｂ点から動き出した歩行者は速度$v_2$＝５ｋｍ／ｈ。自転車はどれだけの時間で歩行者を追い抜くか。この時、各々はどれだけの距離を進んだか。

１．１８　２つの町から、幹線道路に、２台のバスが出会うように出発した。１台は時刻$\tau_1$＝９時１０分に、もう１台は$\tau_2$＝９時３０分に。前者は速度$v_1$＝４０ｋｍ／ｈ、後者は$v_2$＝６０ｋｍ／ｈ。路線の長さはｌ＝１２０ｋｍ。何時にどこで２台は出会うか。

１．１９　間隔ｌの２点Ａ，Ｂから２つの物体が速度$v_1$，$v_2$で同じ方向動く。その際、Ａ点からの物体が運動始めてから時間$t_0$経った後、Ｂ点からの物体が動き始める。物体はどれだけ時間が経過したとき出会うか。

１．２０　点Ａから自転車が速度$v_1$＝２０ｋｍ／ｈで出発した。時間$t_0$＝６分後、Ａ点から距離ｌ＝１０ｋｍ離れているＢ点から歩行者が出発した。自転車が$t_1$＝１０ｓ間で進む距離を、歩行者は$t_2$＝５０ｓかかる。歩行者と自転車はどこで出会うか。

１．２１　速度$v_1$＝８０ｋｍ／ｈの電車に乗客が乗っている。この電車に向かって、長さｌ＝１ｋｍの貨物列車が速度$v_2$＝４０ｋｍ／ｈで走っている。貨物列車は乗客の脇をどれだけの時間で通り抜けるか。

１．２２　一定速度$v_1$＝４５ｋｍ／ｈの自動車が、同じ方向に走るバスがｔ２＝１５ｓ間に経由する距離を、$t_1$＝１０ｓで走る。これらの相対速度はいくらか。

１．２３　地下鉄のエスカレータが、それに乗って動いていない乗客を$t_1$＝１ｍで持ち上げる。エスカレータが動いていないときには、乗客は$t_2$＝３ｍで登り切る。この時、エスカレータが動いていれば、乗客はどれだけの時間で登り切れるか。

１．２４　距離ｌ＝６０ｋｍ離れている２つの河川の埠頭を汽船が航行する。流れに沿っての場合には、汽船は$t_1$＝３ｈかかり、流れに逆らっての時には、$t_2$＝６ｈかかる。エンジンを切って流れに沿って２つの埠頭間を汽船が航行するとき、どれだけの時間がかかるか。川の流速と水に相対的な汽船の速さを求めよ。

１．２５　川の流れに沿って動いている小舟から、円盤を落とした。それから１５分後に、向きを変え、川を遡り始めた。円盤に追いつくのはどれだけの時間後か。

１．２６　桟橋の脇を筏が流れ過ぎる。埠頭から距離ｌ＝１５ｋｍ離れている下流から、町に向かって、この瞬間にモーターボートが発進する。ボートは町まで時間ｔ＝３／４ｈで到着し、向きを変えて、町からｓ＝９ｋｍのところで筏と出会った。川の流速と水に相対的なボートの速さを求めよ。

１．２７　道路の方向と角度$\alpha$＝３０°をなしている直線に沿って歩行者が速さｖ＝４．２ｋｍ／ｈで歩いた。時間はｔ＝１ｍかかった。道幅はいくらか。

１．２８　ぼーとが速さｖで岸に垂直になるようにしながら川を渡る。流速はｕ。ボートは岸に対していくらの角度で動くことになるか。

１．２９　岸に垂直に動いているボートがｔ＝１ｍ４０ｓ後、下流ｓ＝２５ｍの対岸に到着した。川幅はｌ＝１００ｍ。ボートの速さと流速を求めよ。

１．３０　相互に直交している道に沿ってＡ点から２台の自動車が速度３０ｋｍ／ｈ、４０ｋｍ／ｈで出発した。これらが遠ざかる相対速度はいくらか。

１．３１　速度$v_1$＝１５ｋｍ／ｈで進行中の幅ｂ＝３．６ｍの客車を、客車の進行方向に垂直に飛んでくる弾丸で射撃した。客車の両壁に開いた穴の相対的なズレはｓ＝９ｃｍであった。弾丸の速さは一定であると見なし弾丸の速度を求めよ。

１．３２　速さ$v_1$＝１５ｍ／ｓで真っ直ぐに飛んでいる鳥めがけて、漁師が散弾を撃った。射撃の瞬間に、鳥は漁師との距離が最小ｌ＝３０ｍであったとし、どれだけの先送りの照準ｓとしなければならないか。散弾の速さは$v_2$＝３７５ｍ／ｓ。散弾への重力は無視する。

１．３３　汽車が速度ｖ＝３６ｋｍ／ｈで進む。汽車の運動方向に直角に風が速度ｕ＝１０ｍ／ｓで吹く。汽車の屋根に立ててある小旗のなす角度βを求めよ。

１．３４　速度ｖ＝１８ｋｍ／ｈで、東に汽車は動いている。煙突からの煙は垂直に上がっている。風速と風向を求めよ。

１．３５　速度４２．３ｋｍ／ｈで、南に船が走っている。海に小舟をおろし、船の甲板にいる観測者が、小舟が北に速さ３０ｋｍ／ｈで動くのを観察した。小舟はどれだけの速度で、どの方向に進んでいたのか。

１．３６　岸に対してα＝６０°の角度で、速度ｖ＝２ｋｍ／ｓのボートが動く。川の流速はｕ＝０．５ｍ／ｓ。岸に相対的なボートのは速度を求めよ。

１．３７　雨模様の中、速度ｖ＝３０ｋｍ／ｈで南東方向に進む客車に乗っている乗客が、客車側面の窓を見ると、雨は窓に垂直に落ちている。風速を求めよ。

１．３８　角度βを維持しながら（図１５）、小舟がＡ点からＢ点へ動く。流速はｕ＝２ｍ／ｓ。α＝４５°、β＝３０°の時、岸に相対的な小舟の速度、川に相対的な小舟の速度を求めよ。

１．３９　２つの滑車で荷物を持ち上げる（図１６）。ロープを速さ$v_0$で引っ張ると、荷物の速さはいくらか。

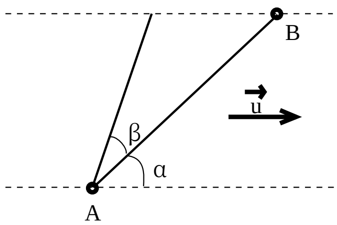


図１５

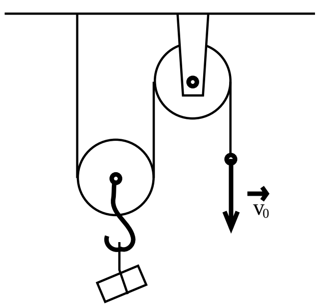


図１６

１．４０　２つの定規が角度αをなしている（図１７）。１本の定規は静止しており、他方の定規は速度ｖで動く。定規の交点Ｏは静止している定規に相対的にどのような速度で動くか。

１．４１　どのようにしたら、風速より早くヨットが進むことができるか。

１．４２　モーターボートが速さｖ＝１０ｋｍ／ｈで岸に垂直に走る。水面と角度α＝３０°をなしているボートから底までの陰はどれだけの速さで動くか。太陽は天頂にあるものとする。

１．４３　軸が継ぎ手Ａ，Ｂにジョイントで接合している（図１８）。Ａ，Ｂはお互いに垂直なレールに沿って移動することができる。継ぎ手Ａが一定の速さ$v_a$で動く。継ぎ手Ｂの速さは角度αのどのような関数となるか。

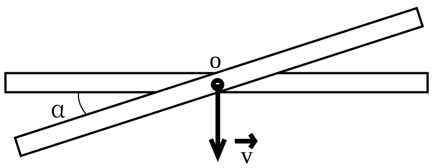


図１７

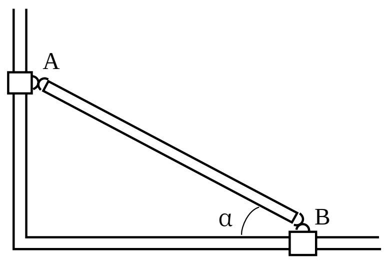


図１８

## 第２節　可変速直線運動

２．１　図１９に示されている速度グラフを持つ物体の運動の特徴を述べよ。

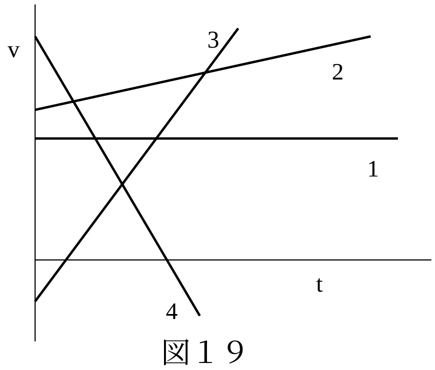


図１９

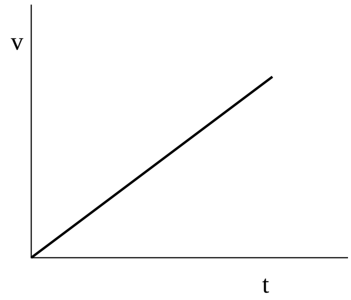


図２０

２．２　図２０に、物体の速度と時間依存が示されている。時間に対する物体の加速度と座標依存をグラフ化せよ。時刻$t_0=0$の時、物体の座標は$x_0=0$。時間軸に対する速度のグラフの傾斜角度のタンジェントは数量的に物体の加速度に等しく、時間に対する加速度のグラフの下の面積は数量的に速度の変化量に等しいことを示せ。

２．３　物体の座標と加速度の時間依存をグラフ化せよ。速度の時間依存は図２１に示されている。時刻$t_0=0$の時、物体の座標は$x_0=0$。ｘ（ｔ）のグラフに従って、グラフ上での接線の傾斜角度のタンジェントは数量的にその時刻における物体の速度に等しく、グラフｖ（ｔ）の下の面積は数量的に座標の変位量に等しいことを示せ。

２．４　物体の座標の時間依存のグラフ（図２２）に従って、運動している物体の加速度、速度及び経路の時間依存をグラフ化せよ。

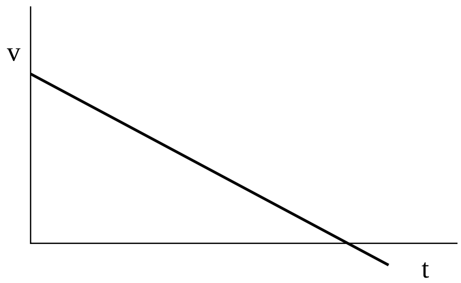


図２１

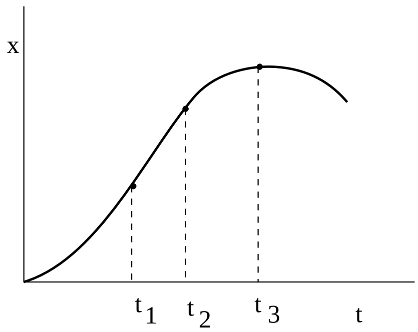


図２２

２．５　物体の速度の時間依存グラフが図２３に示されている。初期座標は$x_0=0$。動いている物体の加速度、座標、経路の時間依存をグラフ化せよ。

２．６　物体の速度の時間依存性がグラフに示されている（図２４）。物体の経路と座標の時間依存をグラフ化せよ。最初の２秒から５秒間における平均速度を求めよ。初期座標値は$x_0=0$。

２．７　加速度のグラフａ（ｔ）（図２５）に従って、$v_x$（ｔ）、ｘ（ｔ）、ｓ（ｔ）のグラフを描け。初期条件は$v_x$（０）＝０，ｘ（０）＝０。

２．８　以下のような初期条件で、$v_x$（ｔ）、ｘ（ｔ）、ｓ（ｔ）のグラフはどのように変化するか（問題２．７を参考)。ａ）ｘ（０）＝ｘ０、$v_x$（０）＝０、　ｂ）ｘ（０）＝０，$v_x$（０）＝０、　ｃ）ｘ（０）＝０，　ｄ）$v_x$（０）＝$-v_0$

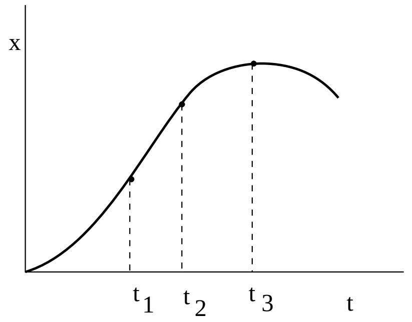


図２２

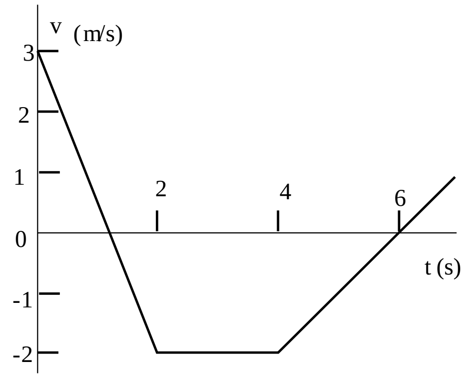


図２４

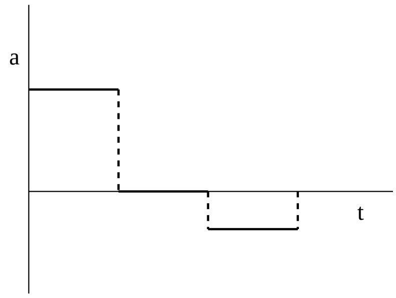


図２５

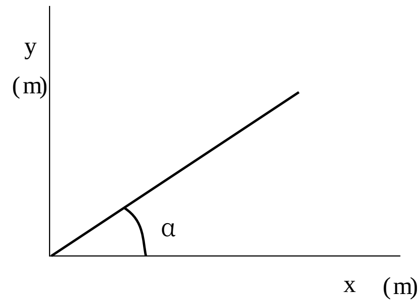


図２６

２．９　物体が直線に沿って加速度ａ＝０．５ｍ／ｓ２で運動する。物体の初速度は$v_0$＝－５ｍ／ｓ、初期座標は$x^0$＝２ｍ。物体の運動方程式、速度の時間依存を記述せよ。停止するまでの時間、停止するまでに動いた距離を求めよ。

２．１０　点の直線運動が式ｘ＝－１＋３ｔ－２ｔ２（ｘはm単位で、ｔはｓ単位）で記述される。時間の始めに、点はどこにいたか。時間とともに速度はどのように変化するか。座標の原点にいつ点がいるか。

２．１１　点が式ｘ＝２－１２ｔ＋２ｔ$^2$に従って運動する（ｘはm、ｔはｓ単位で表現）。座標の時間依存、速度の時間依存、加速度の時間依存をグラフ化せよ。

２．１２　物体の運動の軌跡が図２６に示されている。ｙ軸に沿っての物体の運動方程式は次のように記述される。ａ）ｙ＝$a_y$ｔ$^2$／２。ここで$a_y$＝２ｍ／ｓ$^2$。角度α＝３０°。物体の加速度を求めよ。運動を始めてから、ｔ＝５ｓ後に物体はどれだけの速さを持つか。この時刻における物体の座標はいかほどか。

２．１３　質点の運動が式ｘ＝１２ｔ－２ｔ$^2$（ｘはm単位で、ｔはｓ単位）。時間ｔ１＝１ｓからｔ２＝４ｓの間における運動の平均速度を求めよ。

２．１４　自動車が加速度ａ＝１．５ｍ／ｓ$^2$で動き始め、ある時間経った後、始発点からｓ＝１２ｍの距離に達した。この瞬間での自動車の速さを求めよ。平均速度は幾らとなるか。

２．１５　等速変位運動において、時間間隔τ＝ｔ２－ｔ１での平均速度は時刻ｔ’＝ｔ１＋τ／２における速度に等しいことを証明せよ。

２．１６　$t_0$＝０の時刻で、汽車の速度は$v_0$＝１０ｍ／ｓであった。$t_1$＝５ｓでは$v_1$＝１８ｋｍ／ｈ。汽車の加速度と平均速度を求めよ。

２．１７　Ｃ点（図２７）から、物体　が一定の速度ｖ＝２．５ｍ／ｓで、直線ＣＡに沿って動き始める。同時に、Ｂ点から直線ＢＡに沿って物体　が初速度なしで加速運動し始める。Ａ点で物体同士が出会うとすれば、物体　の加速度はいかほどか。これらの物体の平均速度はどれだけ違うか。どれだけの時刻後に出会うのか。ｂ＝１０ｍである。

２．１８　物体が速度ｖ$_0$でＡ点から動き始め、ある時間経過した後Ｂ点に達する（図２８）。加速度がａならば、物体はどれだけの経路を進むか。ベクトルｖ，ａの方向が図に示されている。ＡＢの間隔はｌ。平均速度を求めよ。

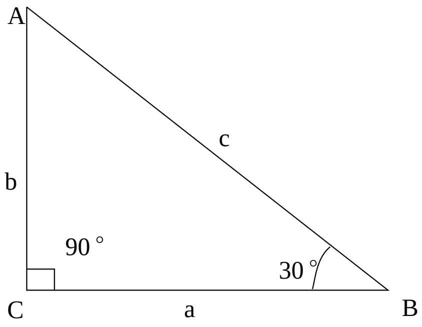


図２７

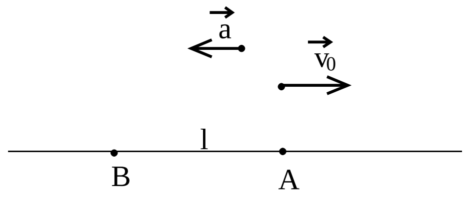


図２８

２．１９　物体が速度ｖ$_0$＝１０ｍ／ｓ、加速度ａ＝－２ｍ／ｓ$^2$で動き始める。時間ｔ$_1$＝６ｓ、ｔ$^2$＝８ｓでどれだけの経路を物体は進むか。

２．２０　等加速度運動する自動車がｔ＝１０ｓ後、速度がｖ＝３６ｋｍ／ｈとなった。加速度を求めよ。自動車はどれだけ進んだか。最後の１秒間で自動車はどれだけ進んだか。

２．２１　物体が運動開始から８秒後に距離ｓ＝３０ｍ進んだとしたら、物体はどれだけの加速度で進んだことになるか。１５秒間での進む距離を求めよ。

２．２２　質点が加速度ａで動く。2つの連続した同じ時間間隔τに進んだ質点の距離の差を求めよ。

２．２３　初速度無しで動き始めた物体が、１秒間で１ｍ進み、次の１秒間で２ｍ進み、次の１秒間で３ｍ進み、次の１秒間で４ｍ進み、以下同型。この物体の運動は等速度運動か？

２．２４　２台の自動車が、同じ地点から、同じ方向に出発する。が、１台目の自動車が出発してから、τ＝２０秒後に、２台目の自動車が出発する。２台の自動車とも、同じ加速度ａ＝０．４ｍ／ｓ$^2$で、等加速度運動をする。２台の自動車の間隔ｓが２４０ｍとなるのは、１台目の自動車が出発してからどれだけの時間後か？

２．２５　動いている列車から、最後尾の車両を切り離す。その後、列車は同じ速さで動き続けるものとする。切り離した時点を原点とする。切り離された車両が停止するまでに、列車がその間に移動する距離と、車両がその間に移動する距離の間にどの様な関係があるか？　車両は等減速運動をするものとする。

２．２６　？

２．２７　2つの駅間隔ｓ＝３．０ｋｍを、電車は平均速度ｖ＝５４ｋｍ／ｈで走行する。この場合、駅を発車と同時に、電車は時間間隔ｔ$_1$＝６０ｓの間加速し、その後、ある時間ｔ$_2$の間等速で走行する。その後、ｔ$_3$＝４０ｓの間減速し、次の駅に停車する。電車の速度の時間依存をグラフで示せ。また、電車の最大速度を求めよ。

２．２８　自由落下する物体は、ｎ番目の１秒間にどれだけの距離を落下するか。

２．２９　高さ２７０ｍから物体が自由落下する。この高さを、上から順に$h_1$，$h_2$，$h_3$の３つに分割する。物体が各々の部分を通過する際の時間は３つの区間で全て同じとする。$h_1$，$h_2$，$h_3$を求めよ。

２．３０　ヘリコプターから、２つの物体を初速度０で落とす。１つを落とした後、τ＝１秒後に、２つ目を落とす。１つ目のぶった一を落とした時刻を原点として、$t_1$＝２ｓ、$t_2$＝４ｓの時の２つの物体間の間隔を求めよ。

２．３１　高度ｈ＝２４０ｍに位置する気球から、気球に対する相対速度を０として、小さく重い物体を落下させる。気球が動いていないとした場合の、物体の落下時間を求めよ。気球が速度$v_0$＝５ｍ／ｓで降下している場合はどうか。逆に、同じ速度$v_0$＝５ｍ／ｓで上昇している場合はどうか。各々の場合において、物体は、気球に対してどれだけの相対加速度で落下するか。

２．３２　ある高さから物体が落下した。最後のｈ＝１９６ｍを落下するのに、τ＝４ｓかかった。物体の全落下時間はいくらか。またどれだけの高さを落下したか。

２．３３　垂直に切り立った崖の上から、石を落とす。石を落とした人は、石を落下させた後、ｔ＝６ｓたって、石が水面に落下した音を聞いた。崖の高さを求めよ。音速$v_s$＝３４０ｍ／ｓとする。

２．３４　時間間隔τをはさんで、同じ高さから、２つの物体を落下させる。物体間の距離がｌとなる時点で、後発の物体が落下してからどれだけの時間を経過しているか。

２．３５　屋根の軸先から雨粒が落下する。その時間間隔はτ＝０．１ｓ。１番目の雨粒が落下してからｔ＝１ｓ経過した時点で、１番目と２番目、２番目と３番目、３番目と４番目の間隔を各々求めよ。

２．３６　２つの物体が、同時に、しかし異なった高さＨ，ｈから落下する。が、同時刻に、地面に達する。低い方に位置している物体の初速度を０とすれば、高い方に位置している物体の初速度はいくらか。

２．３７　地表から垂直上方に投げられた物体に関して、（１）地表に衝突するときの速度は、初速度ｖ０に等しい、（２）落下時間は上昇時間に等しい、ことを証明せよ。

２．３８　初速度$v_0$で物体を垂直上方に投げる。この物体が軌跡の最高点に達したとき、投げ上げた同じ地点から、２番目の物体を同じ初速度$v_0$で垂直上方に投げ上げる。これら２つの物体が出あるのは、どれだけの高さでか。

２．３９　物体を垂直上方に投げ上げる。物体が高さｈに達し、その後再びｈに達するまでの時間間隔は$t_0$である。物体の初速度$v_0$と、物体全運動期間Ｔを求めよ。

２．４０　速度$u_0$で下降している飛行船から、大地に対する相対速度$v_0$で物体を上方に投げ上げる。大地に対して、物体が最高位置に達した瞬間、飛行船と物体の距離ｌを求めよ。ｌが最大値をなるのは、どの様な条件のときか。投げ上げた物体が飛行船と同じ高さとなるまでの時間τを求めよ。

２．４１　？

２．４２　２個の石が、１本の垂直線上にあり、その間隔はｓ＝１０ｍ。上の石を初速度$v_0$＝２０ｍ／ｓで下方に投げ落としたとき、同時に下の石を落下させる。２つの石が衝突するまでの時間を求めよ。

## 第３節　曲線運動

３．１　等速度運動をしている電車の棚から荷物が落下した。車内で見たときの荷物の運動の軌跡はどうなるか。ホームから見たときはどうか。

３．２　電車の窓から落とした荷物が、より早く地面に到達するのは、電車が動いている場合それとも電車が停止している場合の、どちらの場合か。

３．３　物体を水平に、初速度$v_0$で投げる。投げた地点を原点、投げた方向をｘ軸、鉛直下方向にｙ軸をとる。位置関係ｘ（ｔ）、ｙ（ｔ）、速度関係$v_x$（ｔ）、$v_y$（ｔ）、加速度関係$a_x$（ｔ）、$a_y$（ｔ）を、グラフ化せよ。

３．４　物体を水平に、初速度$v_0$で投げる。以下に答えよ。（１）物体の軌跡方程式ｙ＝ｆ（ｘ）、（２）物体の速度のと時間依存性、（３）物体の速度ベクトルと水平方向のなす角度αの時間依存性。

３．５　高さＨ＝１０ｍの崖から水平方向に投げた石が、投げた地点から水平距離ｓ＝１４ｍのところに落下した。石の軌跡方程式を記述せよ。石の初速度を求めよ。

３．６　物体を初速度$v_0$＝３９．２ｍ／ｓで、水平に投げた。ｔ＝３ｓ後における物体の速度を求めよ。

３．７　泳者が、高さＨ＝５ｍの切り立った岸から、助走をつけて初速度$v_0$＝６．７ｍ／ｓで、水平方向に飛び込んだ。泳者が水面に達したとき、速度の水平及び垂直成分のなす角度α、及び速度の大きさを求めよ。

３．８　初速度$v_0$＝１９．６ｍ／ｓで、水平に投げられた物体において、その接線加速度が垂直加速度と等しくなるのまでの時間はいくらか。

３．９　速度$v_0$＝９．８ｍ／ｓで球を水平に投げる。球の垂直加速度が、接線加速度の２倍となる時間と位置を求めよ。

３．１０　速度$v_0$＝２０ｍ／ｓで、がけの上から水平方向に石を投げる。曲率半径が、頂点での曲率半径の８倍となる位置を求めよ。

３．１１　速度$v_0$＝４．９ｍ／ｓで水平に投げた物体の飛行距離が、それを投げた地点の高度に等しくなった。この高さはいくらか。また、物体が地表に落下したときの水平線となす角度はいくらか。

３．１２　高度Ｈ＝１２５ｍを、速度$v_0$＝９０ｋｍ／ｈで水平飛行しているヘリコプターから、荷物を落とした。荷物の速度が、水平方向と４５°の角度をなすときの高度を求めよ。

３．１３　距離ｓ＝５０ｍ離れた的に向かって、水平方向に、弾丸を２発発射した。１番目の弾丸の速度は$v_1$＝３２０ｍ／ｓ、２番目の弾丸のそれは$v_2$＝３５０ｍ／ｓであった。的に開いた弾痕の間隔を求めよ。

３．１４　傾斜角度が４５°のコブでジャンプしたスキーヤーが、コブから距離ｓ＝２９ｍ離れたところに着地した。スキーヤーはジャンプの時どれだけの速度で飛び出したか。

３．１５　木球を、水平初速度$v_0$＝１．７ｍ／ｓで、階段の上から投げる。階段の１段の高さＨ　、及び踏み幅ｂはともに２０ｃｍ。球が初めて階段にぶつかるのは、何段目か。

３．１６　水平と角度αをなし、速度$v_0$で投げられた物体において、$a_x$（ｔ）、$a_y$（ｔ）の関係、$v_x$（ｔ）、$v_y$（ｔ）の関係、ｘ（ｔ）、ｙ（ｙ）の関係をグラフで示せ。物体の初期状態をグラフの原点とせよ。

３．１７　水平と角度αをなし、速度$v_0$で投げ出す。デカルト座標系での物体の運動方程式を記述せよ。物体の軌跡は放物線になることを確認せよ。

３．１８　水平と角度αをなして、物体を初速度$v_0$で投げた。以下に答えよ。１）速度の水平成分と垂直成分の時間依存性、速度の大きさの時間依存性、２）飛行時間３）速度ベクトルと水平とのな

す角度φの時間依存性、４）最大高度、５）飛行距離６）物体の上昇時間は、物体の下降時間に等しいことを確認せよ。

３．１９　水平に対する角度αと９０°－αで、２つの物体を同じ速度で投げ出す。これら物体の最大高度と飛行距離を求めよ。

３．２０　水平と角度α＝６０°をなして、速度$ｖ_0$＝１０ｍ／ｓで物体を投げる。速度ベクトルが水平と角度β＝４５°をなすときの時刻を求めよ。

３．２１　真上に投げ上げた石の初速度は$ｖ_0$＝１０ｍ／ｓ。τ＝０．５ｓ後、石の速度はｖ＝７ｍ／ｓとなった。石はどれだけの高さまで達するか。

３．２２　校庭で、２人の子供がキャッチボールをしている。ボールが２人の間を行き来する時間間隔がｔ＝２ｓをした時、ボールはどれだけの高さまで上がることができるか。

３．２３　投射される物体の到達高さHが、到達距離Ｌの２倍となるようにするためには、物体を水平に対してどれだけの角度αで投射する必要があるか。

３．２４　水平線とある角度αをなして投げ出された石が、ｔ＝４ｓ後、地面に落ちた。運動中における石の最大速度$ｖ_{max}$が、最小速度$ｖ_{min}$の２倍であることが判っているとして、石の到達高度H及び飛行距離Ｌを求めよ。

３．２５　水平線と角度α＝６０°をなして、速度$ｖ_0$＝１９．６ｍ／ｓで、石を投射する。以下の位置における軌跡の曲率半径を求めよ。１）最高点、２）地面に落下した点。

３．２６　水平線と角度α＝６０°をなして、速度$ｖ_0$＝１９．６ｍ／ｓで、石を投射する。投げ出してから０．５ｓ後における石の法線加速度と接線加速度はいくらか。軌跡の法線加速度が最大となるのは石を投げ出してから何秒後か。

３．２７　水平線と角度α＝６０°をなして、速度$ｖ_0$＝３０ｍ／ｓで、石を投射する。ｔ＝２秒後、屋根のてっぺんにあたった。うちの高さHとその位置までの距離Ｌを求めよ。

３．２８　スタントマンがバイクに乗って、堀の端から飛び出す（図２９）。溝を跳び越すためには、飛び出す位置での速度が最小幾らでなければならないか。

３．２９　投射角度α＝４５°で、高さｈ＝１．２ｍのところからボールを投げる。ボールを投げ出す位置からｓ＝４７ｍのところの地面に、高さH＝７．３ｍのネットが張られている。ボールがネットを飛び越えるためには、投射速度は最小いくらでなければならないか。

３．３０　水平との角度α＝３０°、初速度$ｖ_0$＝１０．７ｍ／ｓでサッカーボールを蹴り出す。蹴った位置から距離ｓ＝６ｍのところに、垂直な壁がある。ボールはその壁で弾性衝突をする。ボールを蹴った位置から、ボールが地面に落下するまでの距離を求めよ。

３．３１　傾斜角度α＝３０°の斜面の頂上から、斜面に垂直方向に、初速度$ｖ_0$＝９．８ｍ／ｓでボールを投射する。ボールの飛行時間Ｔを求めよ。ボールは投射位置からどれだけの距離Ｌに落下するか。

３．３２　丘の斜面に沿って上方に、ボールを、水平との角度β＝６０で投射する。投射位置から距離ｓ＝３０ｍの地点にボールは落下した。丘の斜面の傾斜角度α＝３０°。ボールの初速度$ｖ_0$を求めよ。投射地点から着地地点までボールの飛行する時間Ｔを求めよ。

３．３４　２つの物体を、水平線と異なった２つの角度α、β、および異なった初速度ｖｏ１、ｖ０２で、投射する。運動中、それら２つ物体の間の相対速度ｖｒは大きさ及び成分でも保存され続けることを示せ。

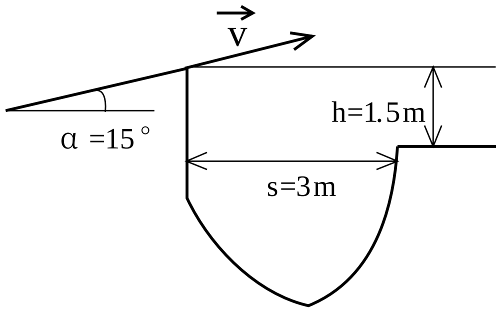


図２９

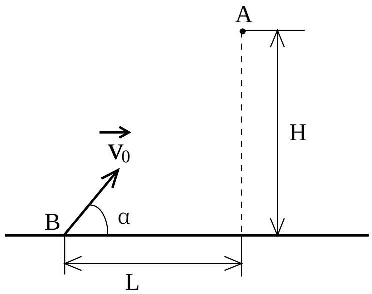


図３０

３．３５　高さＨのＡ点から、物体を自由落下させる。同時に、Ｂ点から水平と角度αをなし、物体を投射し、空中で２つの物体を衝突させたい（図３０）。角度αは、Ｂ点から投射する物体の初速度に依存しないことを示せ。Ａ点とＢ点間の水平距離をｌとする。

３．３６　点が平面上を運動する。その直交座標は式ｘ＝Ａｃｏｓωｔ、ｙ＝Ａｓｉｎωｔである。ここで、Ａ，ωは定数。点の軌跡を求めよ。

３．３７　一定速度$v_0$＝５０ｃｍ／ｓで、円周上を点が運動する。時間Δｔ＝２ｓの間に、速度ベクトルは角度Δφ＝３０°方向を変化させる。法線加速度$a_n$はいくらか。

３．３８　クレムリン宮殿のスパスカヤ塔に取り付けてある大時計の分針の先端は、１分間に３７ｃｍ移動する。分針の長さはいくらか。

３．３９　？分針の長さが、秒針の長さの３倍である時計がある。これら２つの針の先端の線速度（角速度に対応するもの）にはどの様な関係があるか。

３．４０　地球の自転による赤道における加速度はいくらか。この加速度が重力加速度ｇと等しくするためには、地球の角速度を幾らとしなければならないか。

３．４１　サンクトペテルブルグ市（緯度６０°）における、地球の自転による線速度と加速度を求めよ。

３．４２　半径ｒ＝２０ｃｍの円周を、一定の接線加速度$a_\tau$＝５ｃｍ／ｓ２で、点が動き始める。法線加速度が接線加速度に等しくなる時間を求めよ。

３．４３　回転軸が回転をし始め、最初のｔ＝１０ｓ間に、Ｎ＝５０回転をした。軸の回転は等加速度であったとして、角速度ωを求めよ。

３．４４　ある物体が、一定の角加速度ε＝０．０４ラジアン／ｓ２で自転を始めた。物体中の任意の点における加速度が、この点における速度の方向と角度β＝７６°をなすのは回転を始めてからどれだけ時間を経過したときか。

３．４５　円盤が静止状態から、等加速度回転を始めた円盤が１回転した時、円盤の任意の点における速度ベクトルと加速度ベクトルのなす角度はどの様になるか。

３．４６　電車が円形の曲線部分を速度$v_0$＝５４ｋｍ／ｈで通過する。等加速度で進行しながら、時間間隔ｔ＝３０ｓで、距離ｓ＝６００ｍを進んだ。曲率半径はＲ＝１．０ｋｍ。電車が６００ｍ進んだ時点での電車の速度と加速度を求めよ。

３．４７　半径ｒ＝０．２５ｍ、R=０．５ｍの２段滑車（図３１）が、錘を吊すと回転を始めた。錘は一定の加速度ａ＝２．０ｃｍ／ｓ２で落下した。錘がｓ＝１００ｃｍ落下した時点で、点Ｍにおける加速度の大きさと、方向を求めよ。

３．４８　自転車の車輪の半径はR＝４０ｃｍ。車輪がｎ＝１００回転／分で回転するとき、自転車はどれだけの速度で走るか。

３．４９　走行中の自転車の車輪を見たとき、車輪の上側のスポーク各々の区別がつかなくなり、一方、下側のスポークは各々しっかりと識別できる。この現象を説明せよ。

３．５０　半径R＝５０ｃｍの車輪が滑ることなく、平らな道を速度ｖ＝１．０ｍ／ｓで転がっている。垂直方向の直径、及び水平方向の直径端の位置における速度と加速度を求めよ。

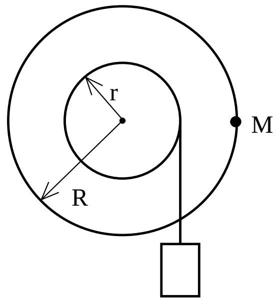

図３１

３．５１　電車の車輪の外側の縁と線路が交差する箇所（図３２中のA点）が、図中の向きに速度ｕ＝５．０ｍ／ｓで動く。ｒ＝５０ｃｍ、R＝５６ｃｍの場合、電車の速度と運動方向を求めよ。

３．５２　長さｌ＝０．５ｍの紐に石を取り付け、子供が石を垂直面内で、１秒間に３回転の速さで回転させている。石の速度が、垂直上方を向いた瞬間に、紐が切れたとしたら、石はどれだけの高さに達するか。紐が切れた高さを原点とする。

３．５３　角速度ω＝２．５ラジアン／ｓで回転するクランクOAは、固定された半径R＝１５ｃｍの車輪に沿って回転する半径ｒ＝５ｃｍの車輪を動かす（図３３）。B点の速度を求めよ。

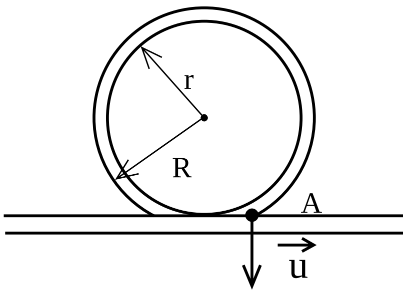

図３２

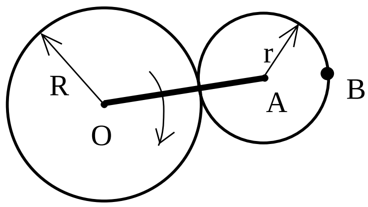

図３３

３．５４　？半径R＝１０ｃｍの円筒形のローラーが、

３.５５　円形で水平なプラットフォームがその中心軸の周りに振動数ｎ＝３０／分で回転している。図３４。速度ｖ＝７．０ｍ／ｓで、AO方向に球を転がす。AOの距離が８．０ｍとなったとき、プラットフォームに相対的な球の速度を求めよ。

３．５６　バイクAは半径OA＝０．５ｋｍの円に沿って動き、バイクBは直線的に動く（図３５）。AB＝２００ｍ。バイクの各々の速度はともにｖ＝６０ｋｍ／時。バイクAに相対的なバイクBの速度を求めよ。

３．５７　半径R＝１．５ｍの飛行機のプロペラが、周波数ｎ＝２０００／分で回転している。着陸するときの飛行機の地表に相対的な速度はｖ＝１６１ｋｍ／時。プロペラの先端の速度はいかほどか。この先端はどの様な軌跡を描くか。

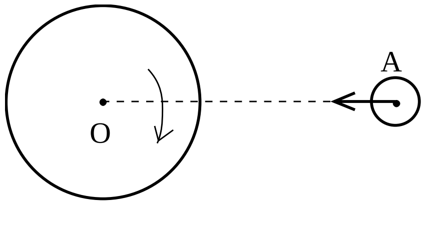


図３４

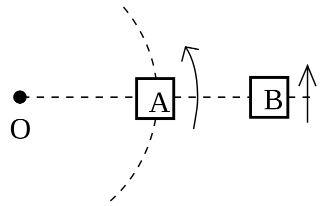


図３５

補足問題

．１　距離ｓ＝３６０ｋｍの２点間を、飛行機はｔ１＝３０分で飛行した。この間中、風が速度ｙ＝１０ｍ／秒、線分ＡＢに角度α＝３０°の方向に吹き続けていた。飛行中における飛行機の方位β１を求めよ。同じ風の条件で、飛行機がＢからＡに飛行するときの時間ｔ２，と及びその時の飛行機の方位β２を求めよ。

．２　川の水に対して速度ｖ＝９ｋｍ／時で動く船が、川岸に垂直に川を渡っている。川の流れは$u_2$＝２．５ｍ／秒。川岸に対してα＝４５°の方向に、風速$u_1$＝３．５ｍ／秒の風が吹いている。船の甲板にたてられている吹き流しは岸に対してどの様な角度となるか。

．３　交差角度α＝３０°をなしている２本の道路の交差点に向かって、各々の道路を、２台の自動車が走っている。１台目の速度は$v_1$＝５４ｋｍ／時、２台目の速度は$v_2$＝２６ｋｍ／時。１台目が交差点を通過した後、ｔ＝１分後、２台目が交差点に達した。交差点通過後、２台の自動車の最小距離$s_{min}$を求めよ。

．４　距離Ｓ＝２０ｍ離れて、２つの物体が同じ高さにある。片方の物体を落下させると同時に、他方の物体を水平線と上向き角度α＝３０°をなして、相手の物体の方向に投射した。２つの物体間の最小距離を求めよ。

．５　一つの物体をある高さから水平に投射する。別の物体は地表から、前者の方向に、上向き角度α＝６０°で投射する。２つの物体を空中で衝突させる。２つの物体は同時に投射する。２つの物体の水平距離ｓ＝１ｍ。前者の物体をどれだけの高さから投射しなければならないか。

．６　速度ｖ１＝１ｍ／秒で、水平に動いている平らな斜面上に、ある高さから、初速度ゼロで球を落とす。距離ｈ＝５ｃｍ落下した後、球は斜面に衝突し、跳ね返り、再び斜面に衝突した。１回目の衝突点と２回目の衝突点の斜面上での距離を求めよ。衝突は弾性的である。斜面の傾斜角度α＝４５°。

．７　物体が図１．３６に従って、加速度運動をする。物体の速度と時間の関係をグラフに描け。物体の初速度$v_0$＝０．

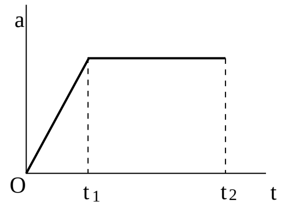


図３６

．８　バックボードから、$s_1$＝１０ｍ離れて立っているバスケットボール選手が、水平に対して上向き角度α＝４５°で、速度$v_0$＝１１ｍ／秒で、ボールを投げる。ボールはバックボードに衝突し、弾性的に跳ね返った。この跳ね返ったボールを受け取るためには、選手は、バックボードからどれだけの距離にいなければならないか。空気抵抗は無視する。

．９　速度$v_0$で走っている自動車の車輪から、泥の塊が飛び立った。車輪の半径はＲ。泥の塊は最高で、道路からどれだけの高さＨまで飛び上がるか。車輪が空回りしている場合に、このＨは変化するか。

# 第２章　動力学

## ４節　直線運動の動力学

４．１　水平飛行している飛行機から落下させた物体は、何故垂直下方向に落下しないのか？

４．２　柄のぐらぐらするハンマーや斧で、手元側の柄の端を、硬いものにこんこんと打つと、柄のぐらぐらが直るのか？

４．３　物体が、慣性系にあるのか、非慣性系にあるのかを、どの様な方法で識別できるか？

４．４　物体に２つの力、$F_1$＝１５Ｎ，$F_2$＝１０Ｎを作用させる（図３７）。ｘ軸方向、ｙ軸方向に作用している合力を求めよ。

４．５　力$F_3$＝１０Ｎはｘ軸と角度α＝３０°をなしている。力$F_1$と$F_2$はｘ軸に垂直である（図３８）。$F_1$＝５Ｎ，ｙ軸方向の合力はゼロであるとき、$F_2$を求めよ。どの様にしたら、ｘ軸方向の合力はゼロとなるか。

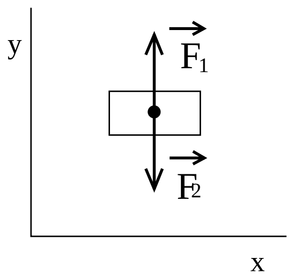

図３７

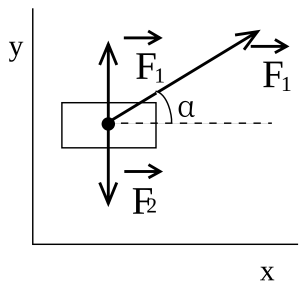

図３８

４．６　水平面上を、質量ｍ＝１０ｋｇの物体が、水平と上向き角度α＝６０°をなしている力Ｆ＝５０Ｎの作用を受けて動く。物体の加速度を求めよ。物体が水平面に及ぼす力はいかほどか。物体と水平面の間の摩擦は無視する。

４．７　加速度０．８ｍ／$s^2$で、上昇しているエレベータの床に、それに乗っている質量７９ｋｇの人はどれだけの力を及ぼすか。下降している場合はどうか。人が床に力を及ぼさないためのエレベータの加速度を求めよ。

４．８　前問４．７において、定速上昇時質量３００ｋｇのエレベータを支えているロープの張力を、（１）加速時、（２）等速時、（３）減速時について求めよ。

４．９　水平と角度α＝３０°をなす滑らかな斜面に、トロッコを置く。高さｈ＝２４５ｃｍから離した後の、トロッコの加速度を求めよ。

４．１０　加速度ａで動いている台車に吊された、錘をつけた糸は、垂直とどれだけの角度をなすか。

４．１１　質量$m_1$＝２００ｇ、ｍ２＝３００ｇの２つの物体が糸で連結され、机の水平で滑らかの面上にある（図３９）。$m_1$に、面に平行に力Ｆ＝１．５Ｎを加えると、物体系はいかほどの加速度で動くか。物体を連結している糸の張力はいかほどか。

４．１２　質量$m_1$＝１ｋｇ、$m_2$＝２ｋｇの２つの物体が、２本の糸で吊されている（図４０）。ｍ２の物体を力Ｆ＝３Ｎで、下に引っ張る。上の糸を焼き切ると、物体はいかほどの加速度で動き始めるか。この時、２つの物体の間の糸の張力はいかほどか。

４．１３　質量Ｍ＝２ｋｇの物体が、滑らかな平面の上に置いてある（図４１）。（１）力Ｆ＝９．８Ｎで糸を引くと、物体はいかほどの加速度で動くか。（２）糸に質量ｍ＝１ｋｇの物体を吊すと、いかほどの加速度で動くか。

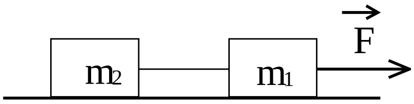

図３９

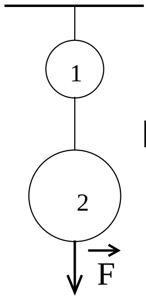

図４０

４．１４　重力測定器にぶら下げた滑車がある。この滑車に渡したコードの両端に、質量$m_1$＝０．１ｋｇ、$m_2$＝０．１５ｋｇの物体を吊す。摩擦は無視、コードと滑車の質量は小さい、コードは伸びない。物体の動く加速度、コードの張力、重力測定器の指示値を求めよ。

４．１５　質量Mの同型の２つの物体が、固定された滑車に糸を渡して吊されている。片方の物体に、質量mの付加物体をぶら下げる。付加物体は、物体にどれだけの力を及ぼすか。

４．１６　傾斜角度α＝３０°の滑らかな斜面上に、質量$m_1$＝３ｋｇの物体があり、伸びない軽い糸で、質量$m_2$＝２ｋｇの物体と連結している（図４２）。物体の加速度ａ、糸の張力Ｔ、滑車の軸に作用する力の合力Ｆを求めよ。

４．１７　図４３に示している系において、糸の張力、物体の加速度を求めよ。摩擦は無視する。

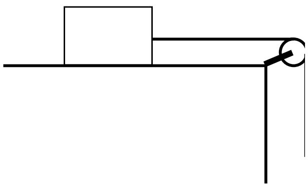
図３９

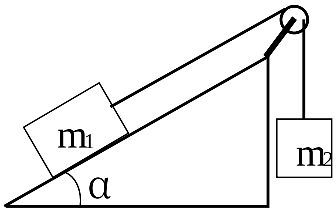

図４２

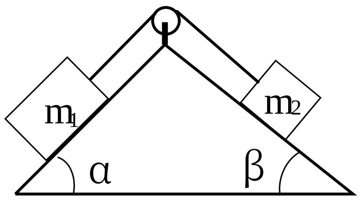

図４３

４．１８　図４４に示している系において、質量$m_1$の加速度$a_1$、質量$m_2$の加速度$a_2$、糸の張力を求めよ。滑車の質量、糸の質量、摩擦は無視する。

４．１９　図４５に示している系において、物体の加速度、糸の張力を求めよ。滑車の質量、糸の質量、摩擦は無視する。

４．２０　図４６に示している系において、物体の加速度を求めよ。物体の質量M＝５ｋｇ，m＝１ｋｇ。滑車の質量、糸の質量、摩擦は無視する。

４．２１　図４７において、台車の質量M＝１ｋｇ、錘$m_1$＝０．４ｋｇ、$m_2$＝０．２ｋｇ。２つの錘が台車に対して不動の状態であるためには、台車に水平方向にどれだけの力を加えればよいか。摩擦は無視する。

４．２２　馬が、車を引いている。３つの物体、馬、車、地表の相互作用を考察する。これらの物体の各々に作用している力を描写せよ。それらの力の間の関係を説明せよ。

４．２３　小さい物体をのせているくさびが水平面上を動く。全系は釣り合いの状態にある物体、くさび、水平面に作用している力を描写せよ。それらの間の関係を説明せよ。

４．２４　自動車はどの様な外力で動くか。

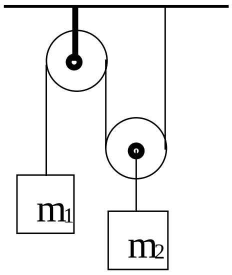


図４４

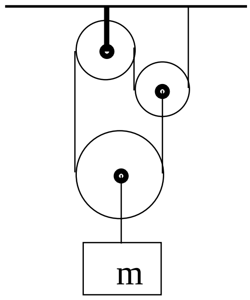


図４５

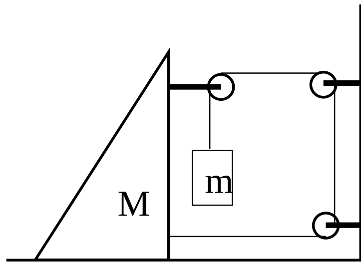


図４６

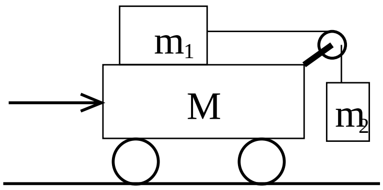


図４７

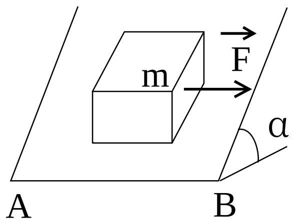


図４８

４．２５　質量m＝１ｋｇの物体が、水平面上にある。摩擦係数はμ＝０．１。物体に水平方向に力Ｆを作用させる。２つの場合における摩擦力を求めよ。（１）Ｆ＝０．５N,（２）Ｆ＝２N。力Ｆの変化に対する摩擦力の変化をグラフで描写せよ。

４．２６　質量m＝２ｋｇの木片が水平面上にある。摩擦係数はμ＝０．２。水平の外力Ｆに対する木片の加速度の依存性をグラフで示せ。

４．２７　質量m＝０．５ｋｇの物体に、水平に力ｆ＝０．２Nを作用させる。反対方向から力Ｆを作用させる。物体と水平面との摩擦係数はμ＝０．１。力Ｆに対する摩擦力の依存性をグラフ化せよ。

４．２８　傾斜角度が０°から９０°まで変化できる斜面上に木片がおいてある。水平に対する斜面の傾斜角度と木片に作用する摩擦力の関係をグラフ化せよ。摩擦係数はμ。どの様な斜面を用いれば、斜面と物体間の摩擦係数を決めることができるか。

４．２９　水平面上にある質量mの物体を、力Ｆ（<ｍｇ）で引っ張る。物体と面との間の摩擦係数はμ。力Ｆと垂線との間の角度αと摩擦力の関係をグラフ化せよ。

４．３０　平面上にある質量m＝１ｋｇの物体に、水平力Ｆ＝３Nを作用させる。物体が滑り始めるためには、水平力Ｆのどれだけを、垂直方向に作用させる必要があるか。摩擦係数はμ＝０．５。

４．３１　質量m＝０．５ｋｇの木片が、水平から上向き角度α＝３０°をなしているざらざらした面上に位置している（図４８）。木片に結びつけた糸を、稜ＡＢに平行でかつ、水平方向に最低どれだけの力で引っ張れば、木片が動き出すか。摩擦係数はμ＝０．７。

４．３２　？車輪を斜面に沿って垂直に転がすと、車輪はまっすぐ進む。斜面に沿って水平を突き離すと、突き出すと？？？？

４．３３　質量m＝５０ｇの磁石が、垂直な鉄製の壁に張り付いている。磁石が等速度で滑り落ちるために、ｆ＝２Nの力を下方向に加えた。磁石を上方向に滑り上げるためにはどれだけの力を、上方向に加える必要があるか。

４．３４　質量m＝３ｋｇの木片にバネを取り付け、水平に置かれている盤の上を、等速度で引っ張る。この時、バネの伸びがｌ＝５ｃｍとすれば、バネの弾性係数は幾らか。摩擦はμ＝０．２５。

４．３５　氷面を滑って、４０秒後に、アイスホッケーのパックが停止した。その初速度は幾らか。摩擦係数はμ＝０．０５。

４．３６　傾斜角度α＝３０°の斜面を滑る物体の加速度を求めよ。摩擦係数はμ＝０．３。

４．３７　質量m＝８ｋｇのそりを、水平と上向き角度α＝３０°をなすロープに、力Ｆ＝１００Ｎを加えて引っ張る。雪との摩擦係数はμ＝０．１。そりの加速度を求めよ。

４．３８　傾斜角度βの斜面を、等速度で滑り落ちる物体は、傾斜角度αの斜面で滑らすと、高さｈをどれだけの時間で滑るか。

４．３９　図４９に示している系で、物体$m_1$と面との摩擦係数はμ＝０．１。$m_1$＝１．５ｋｇ、$m_2$＝０．５ｋｇ、力Ｆ＝１０Ｎ。力Ｆと水平とは角度α＝３０°をなす。

４．４０　水平との傾斜角度α＝３０をなす斜面に沿って、質量M＝５００ｋｇの台車を放つ（図５０）。その後台車に取り付けているロープを引っ張ってブレーキを掛ける。ブレーキを掛ける直前の台車の速度は$ｖ_0$＝２m／秒、ブレーキを掛ける時間長はｔ＝５秒である。台車が停止したときのロープの張力を求めよ。

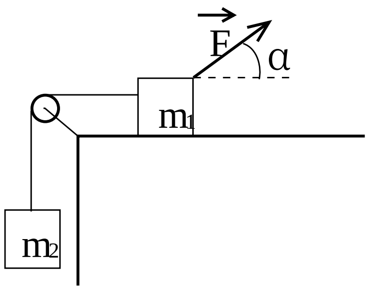


図４９

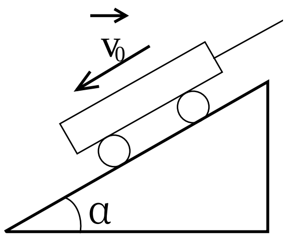


図５０

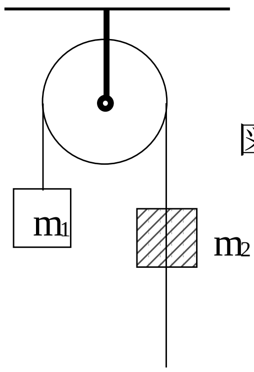


図５１

４．４１　滑車に紐が掛けられ、紐の片方に質量$m_1$の物体を取り付ける（図５１）。紐の他方の端をリング状の質量$m_2$の物体が、紐との間で摩擦を受けながら滑る。質量$m_1$の物体が静止した状態にあるとき、$m_2$の加速度は幾らか。またｍ２と紐との間の摩擦力は幾らか。

４．４２　斜面の上端に滑車があり、それに糸が渡されている（図４２）。糸の片方には、質量$m_1$＝２ｋｇの物体が取り付けられ、物体は斜面上に置かれている。糸の他方の端には、質量$m_2$＝１．１ｋｇの物体が吊されている。斜面は水平と角度α＝３０°をなしている。斜面と物体との間の摩擦係数はμ＝０．１。物体の加速度、糸の張力を求めよ。

４．４３　質量Mの板が、水平と角度αをなす斜面を摩擦無しで滑ることができる。板に乗った質量mの犬が、どの方向にどれだけの加速度で駈ければ、板は斜面を滑らないか。

４．４４　固定滑車にロープが渡され、ロープの片方には質量$m_1$＝６０ｋｇの物体が取り付けられている。他方の端には、質量$m_2$＝６５ｋｇの猿がぶら下がる。最初両方とも、床に位置しているとする。猿はロープを引っ張って、物体を引き上げる。この際、物体と猿との床からの高さは、常に同じ高さを保つとする。物体が床から高さｈ＝１２mとなるまでの時間はいくらか。

４．４５　自動車のエンジンの牽引力は一定であるのに、平らな道路を走る自動車の速度が無限まで大きくならないのは何故か。

４．４６　自動車が加速度$ａ_1$＝２．０m／ｓ２で動き始める。速度が$ｖ_0$＝７０ｋm／時になったとき、加速度を$ａ_2$＝１m／ｓ２とする。エンジンの牽引力は一定であり、抵抗力は速度に比例するものとして、この自動車はどれだけの速度まで出せるか。

５節　曲線運動の動力学

５．１　滑らかで水平な円盤が、垂直軸の周りに等速度で回転している。円盤の表面に、垂直軸に糸で繋がれた１と２の物体がある（図５２）。物体１の質量は物体２の質量の半分である。物体１の軸からの距離は物体２の軸からの距離の２倍である。２本の糸に作用している張力の比を求めよ。

５．２　滑らかで水平な円盤が、垂直軸の周りに周波数ｎ＝４８０／分で回転している。円盤の上には、質量m＝０．１ｋｇの球があり、バネで回転軸に繋がれている。バネの弾性係数はｋ＝１５００Ｎ／m。バネの自然長をｌ０＝２０ｃmとすると、回転時、バネはどれだけ伸びるか。

５．３　円盤が垂直軸の周りに水平に回転している。周波数はｎ＝３０／分。円盤状においた物体が滑らないで居られるときの中心からの最大距離はｌ＝２０ｃm。摩擦係数μを求めよ

５．４　水平と傾斜角度αをなす斜面上に硬貨が置いてある（図５３）。斜面の基底線に平行に硬貨の速度$v_0$を与える。硬貨が動き始める瞬間の軌跡の曲率半径Ｒを求めよ。

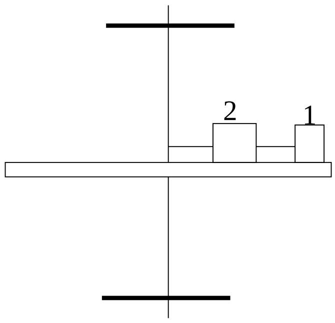

図５２

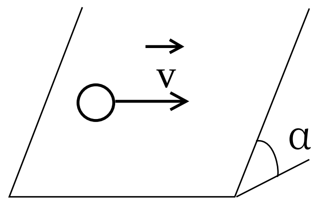

図５３

５．５　質量mの球が長さｌの糸で吊されている。図５４に、球の２種類の動きを図解している。（ａ）水平面内での運動（等速回転）、（ｂ）垂直面内での運動（非等速）。各々の場合において、糸の張力、加速度の大きさとその方向を求めよ。

５．６　図５４のａは円錐振り子である。球の質量m＝１００ｇ、糸の長さｌ＝４０ｃm、傾斜角度α＝６０°。球の角速度ωと糸の張力Ｔを求めよ。

５．７　図５４のｂで、球の質量m、糸の長さｌ。糸が垂線となす角度がαの時、球の速さはｖ。この時の糸の張力Ｔを求めよ。

５．８　糸の長さｌ＝９８ｃmに吊された錘が、水平面内で一定の速さで円運動をしている。糸が垂直となす角度αが６０°の時、錘の回転周期ｔを求めよ。

５．９　長さｌ＝１mの糸に、質量m＝１００ｇの物体が吊された円錐振り子がある。糸が垂直となす角度が$\alpha_1$＝３０°、$\alpha_2$＝６０°の時、各々の場合における物体の受ける加速度の比を求めよ。速度の比はどうなるか。

５．１０　両端を軸受けに支えられ、水平軸が角速度ωで回転している（図５５）。長さｌの２本の糸で質量mの球がこの軸に取り付けられている。糸の張力を求めよ。球に作用する重力は無視する。

５．１１　全質量mのバイクが速度ｖで走行し、橋の中央に達した。次の場合に、橋の中央に及ぼす力を求めよ。摩擦は無視する。（１）水平な橋の場合、（２）上に曲率半径Ｒで飛び出している橋の場合、（３）下に曲率半径Ｒで落ち込んでいる場合。

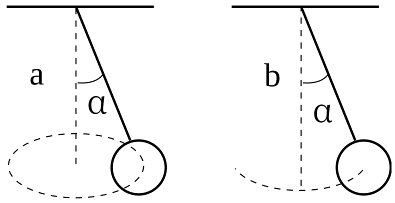


図５４

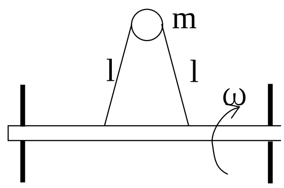


図５５

５．１２上に飛び出している橋と、下に落ち込んでいる橋の中央で、自動車が橋に与える力にはどの様な関係があるか。橋の曲率半径はともに４０ｍとする。自動車の通過速度は３６ｋｍ／時。

５．１３　上に凸となっている曲率半径Ｒ＝９０ｍの橋を、質量ｍ＝２ｔの自動車が速度ｖ＝５４ｋｍ／時で走行する。橋にかかる力がＦ＝５ｋＮとなるのはどの地点か。

５．１４　上に凸となっている曲率半径Ｒ＝４０ｍの橋を、自動車が走行する。橋の最高地点における自動車の水平方向の加速度はどれだけか。この地点での自動車の速度はｖ＝５０．４ｋｍ／時、車輪と橋の間の摩擦係数はμ＝０．６。

５．１５　戦闘機がｖ＝１４４０ｋｍ／時で飛行する。戦闘機が垂直面内を円形軌道で宙返りするとき、パイロットが５倍の重力まで耐える。軌道の曲率半径を求めよ。

５．１６　電車が、曲率半径Ｒ＝７６５ｍのカーブを、ｖ＝７２ｋｍ／時で走行する。外側のレールは内側のレールよりどれだけ高くしておく必要があるか。レールの間隔はｂ＝１．５ｍ。

５．１７　回転半径Ｒ＝９０ｍの軌道に沿って、バイカーは、水平面上で、最大どれだけの速度で走行できるか。タイヤと道路の間の摩擦係数はμ＝０．４。この時、バイクは垂直線からどれだけ傾斜させなければならないか

５．１８　傾斜角度α＝３０°、曲率半径Ｒ＝９０ｍの滑らかなトラックを、バイクライダーはどれだけの速度で走行しなければならないか。もし車輪とトラックの間の摩擦係数をμ＝０．４としたとき、どれだけの速度を出せるか。。

５．１９　軽い糸で吊された質量ｍ＝１００ｇの球が垂線と角度α＝３０°をなし、半径Ｒ＝１０ｃｍの半球表面に接している（図５６）。三角形ＡＢＯは直角三角形。図に垂直方向に球に速度ｖ＝０．５ｍ／秒を与える。球は半球表面を滑り、円軌道を描く。運動中、球が半球に及ぼす力は幾らか。与える速度は幾らならば、この力がゼロとなるか。

５．２０　滑らかな棒が、水平と角度α＝３０°をなして傾きながら、Ｏ点を固定しながら、垂直軸の周りを回転できる（図５７）。棒にはビーズ玉が挟まり、Ｏ点から距離ｌ＝６ｍのところにあるストッパーに乗っている。軸をどれだけの角速度で回転すると、ビーズ玉は飛び出すか。

５．２１　水平と傾斜角度αをなす斜面の上端に物体がある。斜面は垂直軸の周りに角速度ωで回転する。回転軸と物体の間の直線距離はＲ。物体が回転斜面に静止続けているための最小の摩擦係数μを求めよ。

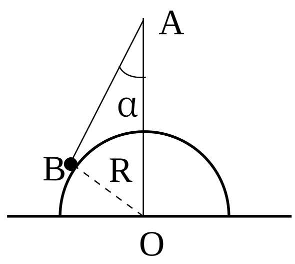


図５６

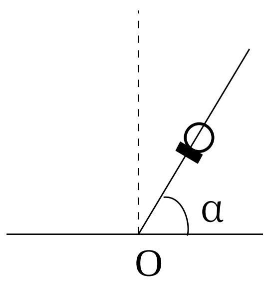


図５７

６節　万有引力の法則

６．１　２つの質点、$m_1$＝１００ｇ、$m_2$＝５００ｇが、距離ｒ＝２０m離れている。２つの間の相互作用力を求めよ。

６．２　直径Ｄ＝１mの２つの鉛の球が、引力のもとで、触れあっている。鉛の密度＝１１．３ｇ／ｃ$m^3$。

６．３　室内にある物体は、お互いに相互引力を及ぼしているはずであるが、接近しないのは何故か。

６．４　万有引力を試験する装置で、質量５ｋｇ、質量１０ｇの２つの鉛玉を、距離７ｃm離してみたら、引力は６．８ｎNであった。このデータをもとに、万有引力定数を求めよ。

６．５　半径Ｒの鉛球の内部に、球形の空洞がある。球形の空洞の球面は鉛球の表面に接している。その接点、球形の空洞の中心、鉛球の中心は一直線上ｌにある。鉛球の質量はM。この鉛球は、鉛球の中心から距離ｄ（＞Ｒ）に位置し、空洞側で及び、直線ｌ上にある質量mの球にどれだけの引力を及ぼすか。

６．６　密度$\rho_0$＝１０００ｋｇ／$m^3$の無限媒質中に、体積$V_1$＝３０ｃ$m^3$、$V_2$＝４０ｃ$m^3$、密度がともにρ＝２０００ｋｇ／$m^3$の２つの球が、距離ｒ＝２０ｃm離れて位置している。球の間の相互作用力を求めよ。

６．７　地表での自由落下の加速度は$g_0$＝９．８m／$s^2$。自由落下の加速度ｇ＝２．４５m／ｓ２となる地表からの高度ｈを求めよ。

６．８　地表での自由落下の加速度が９．８m／$s^2$として判っている。地球の質量Mを求めよ。

６．９　地表からどれだけの高さで、地表での引力の半分となるか。

６．１０　地球上の質量m＝１ｋｇの物体に作用する月の引力はいかほどか。月の質量M＝７．３×１０２２ｋｇ。地球と月の距離Ｒ＝３．８×１$0^8$m。

６．１１　地球の中心までトンネルをあけたとしよう。質量mの物体がそのトンネル内に、地球の中心からの距離ｒに位置するとき、この球に作用する重力は幾らか。

６．１２　物体を地球の衛星とするためには、物体を水平方向にどれだけの速度で投射する必要があるか。

６．１３　赤道上空を飛行する飛行機は、地球の自転による重量の低下分を補填するためには、どの方向にどれだけの速度で飛行する必要があるか。

６．１４　宇宙ロケットを西から東に向けて発射する理由は何か。赤道地域でのロケットの発射は何故もっとも都合がよいのか。

６．１５　極点での重さが、赤道での重さの２倍となる球状惑星の密度を求めよ。この惑星の自転周期はＴ＝２時間４０分。

６．１６　地球の周りの回転周期がＴ＝４時間である人工衛星の角速度と接線速度を求めよ。

６．１７　地球表面に相対的に静止している「静止」衛星とするためには、その衛星は地表からどれだけの高度に打ち上げる必要があるか。

６．１８　質量m＝８ｋｇの物体を垂直上方に投射する。地球とこの物体間の引力相互作用において、物体はどれだけの加速度で動くか。地球はどれだけの加速度で動くか。

６．１９　太陽の周りを周回する惑星の回転周期の２乗は、その惑星の回転軌道半径とどの様な関係

にあるか。

６．２０　海王星の軌道半径は、地球の軌道半径の３０倍である。海王星における１年の長さを、地球の時間を基準として求めよ。

７節　運動量。運動量保存則

７．１　質量m＝７００ｇのボールを蹴って、それに速度ｖ＝１５m／秒の速度を与えた。蹴っている時間をｔ＝０．０２秒として、蹴っているときの平均の力の大きさを求めよ。

７．２　弾丸の質量m＝１０ｇ、重心を飛び出すときの弾丸の速さｖ＝３００m／ｓ、機関銃は１分間にｎ＝３００発発射する。機関銃の発射において、方に作用する反作用力の平均の大きさを求めよ。

７．３　質量m＝２０ｇの同型の球２つが、平面上を同じ速度ｖ＝４m／ｓで動く。（１）一直線上で、衝突するように動く、（２）１つの球の後をもう１つが追いかける、（３）角度α＝１２０°で、向き合って動く。これらの各々の場合において、２つの球の総和運動量は幾らとなるか。

７．４　質量mの物体が、円周を等速度ｖで動く。回転時において、６０°、９０°、１８０°、３６０での運動量の様子を説明せよ。

７．５　質量m＝１０ｇの小球がたかさｈ＝２２．５ｃmから平面に落下する。以下の場合において、平均の衝突力を求めよ。（１）球は柔らかく、面に張り付く、（２）球は硬く、衝突後、高さ$h_1$まで跳ね返る、（３）球はプラスチックであり、衝突後、高さ$h_2$＝１１ｃmまで跳ね返る。全ての場合において、衝突の時間は同じで、ｔ＝０．０３秒。

７．６　質量m、２mの２つの物体が、各々速度２ｖ、ｖで、お互いに垂直をなして動く（図５８)。両方の物体に同じ力を加え、２つの場合（ａ，ｂ）を考える。質量mの方の物体の速度が、図中の点線で示したようになったとき、質量２mの物体の速度の方向と大きさを図中に書き込め。

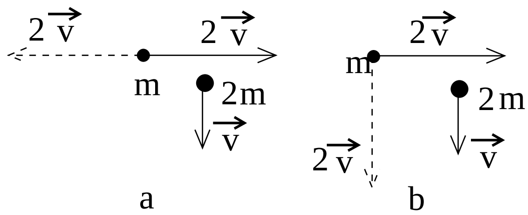


図５８

７．７　質量m＝３ｋｇの物体が、速度ｖ＝５m／ｓで平面上を動く。運動量を求めよ。

７．８　問題４．４４の条件で、運動開始からｔ＝１秒後における物体と猿の系の持つ運動量を求めよ。

７．９　消防士が、火に向けてホースのノズルから水を掛ける。水の流速をｖ＝１６m／ｓ、ノズルの断面積をＳ＝５ｃm２。消防士がノズルを支えなければならない力を求めよ。

７．１０　質量$m_1$＝１００ｇの物体が完全に滑らかな平面を、速度ｖ＝３m／ｓで動く。途中、質量$m_2$＝２００ｇの静止した物体と出会う。衝突後、これらは一体となった。速度を求めよ。衝突時に物体に作用した力を説明せよ。内力としてはどの様な力が作用しているか。外力としてはどの様な力が作用しているか。

７．１１　２つの物体がともに速度ｖ＝３m／ｓで動いて、正面衝突をした。衝突後一体となり、速度ｕ＝１．５m／ｓで動いた。２つの物体の質量の関係を求めよ。摩擦は無視する。

７．１２　砂を積んだ手押し車が水平速度$v_1$＝１．０m／sで動いている。手押し車に向かって、水平速度$v_2$＝７．０m／sを持った質量m＝２kgの球が手押し車の砂に衝突し、めり込んだ。手押し車はどの要項にどれだけの速度で動き続けるか。砂をのせた手押し車の質量はM＝１０kg。

７．１３　滑らかな水平面上を、砂の入った箱（全質量M＝９kg）が、速度v＝６m／sで動いている。高度１０mから初速度無しで落下した質量m＝１kgの錘が、砂に命中した。衝突後、錘と一体となった箱の速度を求めよ。

７．１４　こりの上に配置した銃は、弾丸の水平発射後、どれだけの速度vで動くか。弾の入った銃の質量はM＝７０kg、弾丸の質量m＝１０g、弾丸の初速度$v_0$＝７００m／s。

７．１５　問題７．１４を用い、２回目の発射を、以下のようにした場合、銃はどの様な速度で動くか。（１）同じ方向に射撃する、（２）２回目の射撃は、１回目の射撃方向と垂直の方向に行う。

７．１６　質量M＝２０tの無蓋車が速度$v_1$＝９０km／時で動いている。無蓋車上に取り付けた大砲から、大砲に相対的に速度$v_2$＝７００m／sで、砲弾を撃ち出す。射撃後の無蓋車の速度を求めよ。（１）射撃は無蓋車の運動方向に行う、（２）射撃は、無蓋車の運動方向と反対方向に向けて行う。

７．１７　大砲から、水平上方向角度α＝４０°方向に弾丸を撃ち出す。弾丸の質量m＝１０kg、初速度$v_0$＝２００m／s。大砲の質量をM＝５００kgとすると、大砲は射撃後、どれだけの速度で動き出すか。摩擦は無視する。

７．１８　質量M＝３００gの物体が、高度H＝１０mから自由落下する。高度H／２で、速度$v_0$＝４００m／sで水平に飛んできた質量m＝１０gの弾丸が、物体に命中し、めり込んだ。一体後の、物体の速度の大きさ、この速度ベクトルの水平となす角度を求めよ。

７．１９　質量mの同型の３隻の船が、速度vで縦列進行をしている。中間の船から、前と後の船にめがけて、同時に同じ質量$m_1$の物体を、自分の船に対して速度uで投射した。物体は水平に動いて、他の船が受け取るものとする。受け取り完了後、各船の速度$v_1$，$v_2$，$v_3$を求めよ。

７．２０　弾丸が、飛行中に、その最高点で、同じ質量の２つの部分に分裂した。破裂後、片方はそれまでの軌道に沿って、発射した銃のところまで戻ってきた。他方はどこへ落下したか。空気抵抗は無視する。

７．２１　弾丸が飛翔中の最高点H＝１５．９mで２つの同じ部分に破裂した。破裂してt＝３秒後、、片方が、爆発した瞬間の位置の真下の地表に落下した。この落下位置は、弾丸を発射した地点から距離l＝６３６mであった。他方は、破裂した瞬間、どれだけの速度vで水平とどれだけの角度αをなして飛び出したか。空気抵抗は無視する。

７．２２　水平と角度αをなす斜面に沿って、砂の入って質量Mの箱が摩擦無しで滑り出した。箱が長さlだけ滑ったとき、水平に飛んできた質量mの物体が砂に命中して、めり込んだ。この瞬間箱は止まった。飛び込んだ物体の速度を求めよ。

７．２３　傾斜角α＝３０°の摩擦のある斜面を、砂の入った質量Mの箱が、速度v＝１．０m／sで真下に向かって滑っている。水平に飛んできた質量m＝１０gの弾丸が、箱に命中し、その瞬間箱は止まった。弾丸の速度を求めよ。

７．２４　体重m＝７０kgの人が、湖に浮かんでいるボートの船尾にいる。ボートの長さはl＝５m、質量はM＝２８０kg。人がボートの船首に向かって歩く。湖の底に相対的に、人はどれだけの距離を歩くことになるか。水の抵抗は無視する。

７．２５　角度４５°をなすくさびの高さH＝２０cmの最上部から、質量m＝０．５kgの物体が母線に沿って滑り始めた。くさびは滑らかな平面上にある。物体がくさびの最下部に達したとき、その間にくさびはどれだけの距離を移動するか。

７．２６　？？？高度Ｈ＝１０ｍの空中に浮かんでいる質量Ｍ＝３５０ｋｇの気球から、ロープ製の梯子で、体重ｍ＝７０ｋｇの乗員が降りることを試みた。梯子を下りて、最後の一歩が地表に触れるようにするためには、梯子の長さは最低で幾らでなければならないか。地上に

８節　仕事。仕事率。エネルギー。エネルギー保存則
８．１　図５９の各々において、物体が距離ｓ＝５ｍ移動したとすれば、力Ｆのなした仕事は幾らか。角度α＝３０°。

８．２　質量ｍ＝２ｋｇの物体が、力Ｆの作用のもとで、平面上を等速で動く。力Ｆは水平と角度α＝６０°の方向を向いている。物体と平面間の摩擦係数はμ＝０．２。物体が距離ｓ＝１．０ｍ動いたとして、その間に、重力のなした仕事、摩擦力のなした仕事、力Ｆのなした仕事、抗力のなした仕事を求めよ。

８．３　質量３００ｋｇのエレベータが１０ｍ上昇する。エレベータを吊しているワイヤーの張力はどれだけの仕事をするか。重力はどれだけの仕事をするか。

８．４　モーターボートが川の流れに逆らって走る。ボートの推力は２ｋＮ。ボートは岸に相対的に静止している。川の流れは５ｍ／秒。エンジンの推力は仕事をしているのか。しているとすれば、５秒間におけるこの仕事は幾らか。エンジンの仕事率は幾らか。

８．５　物体に作用する力ｆとその物体の位置ｘの関係が図６０に示している。物体が５ｃｍ、１０ｃｍ移動したときまでに、力ｆがなした仕事を求めよ。

８．６　質量ｍ＝３ｋｇ、長さｌ＝１ｍの板が、異なった材質でできている２枚の平板（右側を１，左側を２）の接合面から距離ｘ離れて位置している（図６１）。以下の場合に、右の平板に完全に移動しきるため、与えなければならない最低の仕事量を求めよ。（１）ｘ＝０，μ１＝μ２＝０．１、（２）ｘ＝１０ｃｍ，μ１＝０，μ２＝０．１、（３）ｘ＝１０ｃｍ，μ１＝０．１、μ２＝０．２。

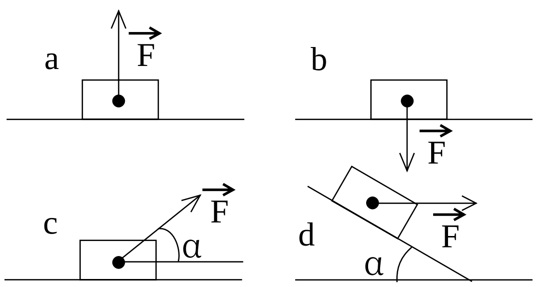


図５９

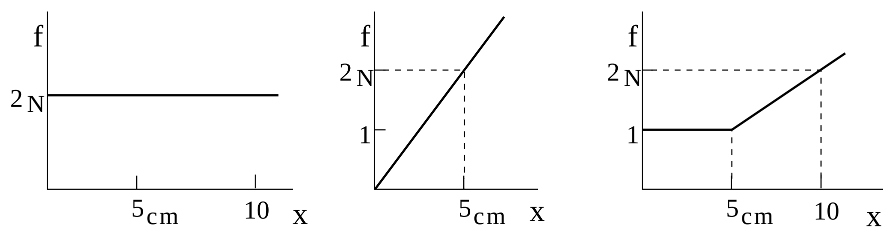


図６０

８．７　平面上に質量ｍ＝１００ｇの物体が、弾性定数ｋ＝１００Ｎ／ｍのバネから距離ｘ離れて位置している（図６２）。物体と平板間の摩擦係数はμ。（１）ｘ＝０，μ＝０，（２）ｘ＝１ｃｍ、μ

＝０．１の各々の場合において、$x_0$＝３ｃｍまで物体を移動させるためには、どれだけの仕事をしなければならないか。

８．８　電車の緩衝器のバネを$l_1$＝５ｃｍ縮めるためにはどれだけの仕事が必要か。バネを$l_2$＝１ｃｍ縮めるのに、力Ｆ＝３０ｋＮが必要である。

８．９　地球の中心までトンネルを造ったとしよう。地球の中心から地表まで、質量ｍ＝１ｋｇの物体を引き出すためには、どれだけの仕事が必要か。

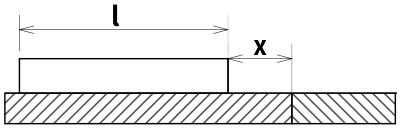


図６１

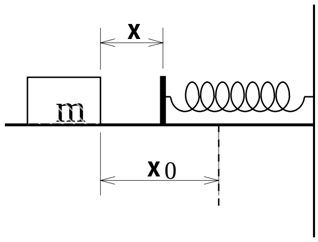


図６２

８．１０　一定の力で物体に対して仕事をする。図６３に、その時の仕事と時間の関係がグラフ化している。１，２の各々の場合において、物体の運動の特徴はどの様なものか。各々の場合における仕事率と時間の関係をグラフで示せ。

８．１１　図６４に、力のなす仕事の時間依存が示されている。仕事率及び物体の速度の時間依存をグラフで示せ。

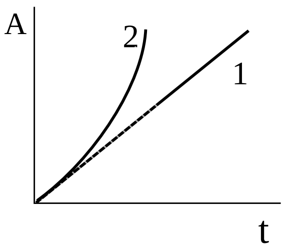


図６３

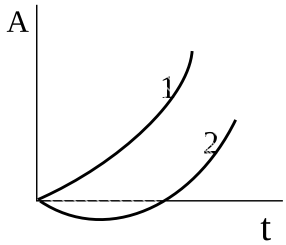


図６４

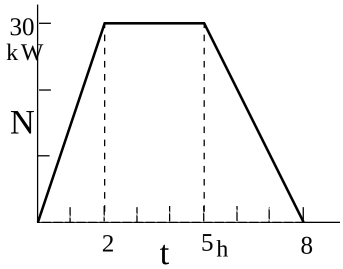


図６５

８．１２　自動車のエンジン試験で、その仕事率の時間依存性のグラフが得られた（図６５）。グラフから、試験中にエンジンがなした仕事量を求めよ。

８．１３　質量Ｍ＝１ｔの自動車が、等加速度で動き出し、ｔ＝５秒間で、ｓ＝５０ｍを動いた。自動車の出した仕事率を求めよ。

８．１４　２台の自動車が同時に、等加速度で動き出した。自動車の質量は同じ。同じ時間長で、１台目の自動車が２台目の自動車より２倍大きい速度に達したとすれば、１台目の自動車は２台目の自動車よりどれだけエンジンの仕事率が大きいか。摩擦は無視する。

８．１５　質量ｍの弾丸は、速度ｖ０で砲身より飛び出す。砲身の長さはｌ（火薬のガス圧は弾丸が砲身内を動いている間は一定とみなす）。大砲の射撃時における平均の仕事率を求めよ。

８．１６　電車のモーターは、速度ｖ＝７２ｋｍ／時で走っている間、仕事率Ｎ＝８００ｋＷを消費する。レールとの摩擦係数μ＝０．８モーターの牽引力Ｆを求めよ。

８．１７　半径Ｒのフライホイールが、周波数ｎで回転し、ベルトを経由して、ギアに仕事率Ｎを伝達している。ベルトの張力Ｔを求めよ。

８．１８　一定の水平力Ｆ＝１０Ｎを作用させて、質量m＝５ｋｇの物体を動かす。物体と平面との間の摩擦係数はμ＝０．１。物体が距離ｓ＝１０m進んだしたとき、摩擦のなした仕事とＦのなした仕事を求めよ。

８．１９　自動車が、一定速度で走るときより、加速して走っている間の方が大量のガソリンを消費する理由を説明せよ。

８．２０　水平に速度$ｖ_1$＝３０ｋm／時で走っている自動車が、ブレーキを掛けて停止するための距離は１ｓ＝７．２m。走行速度が$ｖ_2$＝５０ｋm／時の場合には、ブレーキ距離は幾らとなるか。

８．２１　質量m＝１０ｋｇの物体に力Ｆ＝５Ｎを作用させる。動き始めてからｔ＝２秒後の物体の運動エネルギーを求めよ。摩擦は無視する。

８．２２　質量M＝１．５ｔの自動車が、以下の場合になるために、どれだけの仕事をしなければならないか。（１）速度を０から３５ｋm／時まで増加させる。（２）３６ｋm／時から７２ｋm／時まで増加させる。摩擦は無視する。

８．２３　質量m＝１００ｇの金属球が、平面上を、水平で半径Ｒ＝５０ｃmの円周上を、振動数ｎ＝３／秒で等速運動をしている。振動数を５／秒まで増加するためにはどれだけの仕事が必要か。

８．２４　地表にある物体を、地表近傍の円周軌道に打ち上げて、人工衛星とするためには、どれだけの仕事が必要か。空気抵抗は無視する。

８．２５　？？？運動の最後の４分の１秒間に、速度２０m／秒で、水平に投射された、質量１ｋｇの物体の持つ運動エネルギーを求めよ。

８．２６　速度ｖ＝５m／秒で、滑らないで動く車輪の運動エネルギーを求めよ。車輪の質量m＝２ｋｇは車輪のリム部分に集中しているものとする。

８．２７　垂直上方に投射された物体が、手から離れた後、４秒して手元に落ちてきた。物体の質量m＝２００ｇ。手元での運動エネルギー、最高点での位置エネルギーを求めよ。

８．２８　傾斜角度α＝４５°の斜面を、質量５００ｋｇのケーブルカーが登る。車体とれ０留との間の摩擦係数μ＝０．１。ケーブルカーがｈ＝１０m登るために必要な仕事を求めよ。

８．２９　速度１０ｋm／時で水平に走行しているトロッコが、上り坂に達した。トロッコはどれだけの高さまで達するか。摩擦は無視する。

８．３０　投げ出す瞬間に物体の持っている運動エネルギーは２００Ｊ。物体の質量８００ｇ。物体は地表面からどれだけの高さまで達するか。

８．３１　長さｌの糸に球が吊されている。支点の高さまで球が達するためには、最下点にある球に水平方向のどれだけの速度を与える必要があるか。

８．３２　弾性定数ｋ＝１００ｋＮ／m，質量m＝４００ｇのバネが、高さｈ＝５mから、地表に落下した。バネの軸は垂直方向に常に向いているとして、衝突によって、バネはどれだけ縮んだか。

８．３３　物体を初速度$ｖ_0$で、水平方向にある角度で投射する。力学的エネルギーの保存法則を利用して、高さｈでの物体の速度を求めよ。

８．３４　物体を初速度$ｖ_0$＝２０m／秒で、垂直上方向に投射する。投射した位置からどれだけの高さで、物体の運動エネルギーは位置エネルギーと等しくなるか。

８．３５　糸の錘を吊るし、角度α傾けて、放つ。支点の真下、糸の長さの中間に釘があり、糸がそ

れに引っかかった。糸はどれだけの角度βまで傾くか。

８．３６　高度３ｍから球を落下させたら、床から２ｍの高さまで跳ね上がった。力学的エネルギーはどれだけ減少したか。これはエネルギー保存則と合致するのか。この現象では、力学的エネルギーはどの様なエネルギーに変化したのか。

８．３７　質量ｍ＝１００ｇの物体を、高さｈ＝２０ｍから速度ｖ$_1$＝１０ｍ／秒で、垂直下方向に投げる。地面にｖ$_2$＝２０ｍ／秒で落下した。空気抵抗に打ち勝つためになした仕事を求めよ。

８．３８　流れの断面積Ｓ、流れの速さがｖの川の先に、高さＨの垂直な滝がある。滝の仕事率を求めよ。

８．３９　水力発電機の有効仕事率を求めよ。効率計数η＝０．８。水流はｖ$_1$＝３ｍ／ｓで発電機に入り、高さでｈ＝１．５ｍ低い出口からｖ$_2$＝１ｍ／ｓで出てくる。水量はＱ＝０．３ｍ３／秒。

８．４０　仕事率Ｎ＝７３．５×１０６Ｗの水力発電所があり、その効率はη＝０．７５である。水量をＱ＝１０００ｍ３／秒。水の落差を求めよ。

８．４１　直径ｄ＝１８ｍの円形断面積を持ち、速度ｖ＝１２ｍ／ｓで流れる空気流の仕事率を求めよ。空気は通常の条件にある。

８．４２　高さｈ＝２０ｍ、傾斜角度α＝４５°の斜面から物体が滑り落ちる。物体が下に達したときの速度ｖ＝６ｍ／秒であった。物体と斜面の間の摩擦係数を求めよ。

８．４３　？？？

８．４４　丘の頂上から物体が滑り、その頂上を角度α＝６°で見込む位置で停止した（図６６）。全経路でまさつけいすうがおなじとして、この摩擦係数μを求めよ。

８．４５　球を、（１）長さｌの軽い糸に吊す、（２）長さｌの重さのない棒に取り付ける。両方の場合で、糸、棒の一端を固定しておき、球を垂直面内で回転させたい。各々において、球が最下点に静止してある状態の時、球に与える水平方向の最低初速度をいくつにしなければならないか。

８．４６　傾斜角αの斜面をリングが滑ることなく母線に沿って下るときの加速度を求めよ。リングの質量はＭ、半径Ｒ。

８．４７　小さい物体が斜面を滑り、半径Ｒ＝２０ｃｍのループを通過する（図６７）。ループ途中で落下することなく、物体がループを完走するために、物体を最低どれだけの高さから放つ必要があるか。摩擦は無視する。

８．４８　小さい物体が、球の頂上から滑り始めた。球の半径はＲ。物体は球のどの位置でその表面から離れるか。摩擦は無視する。

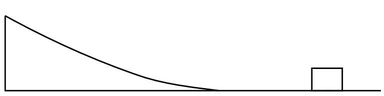

図６６

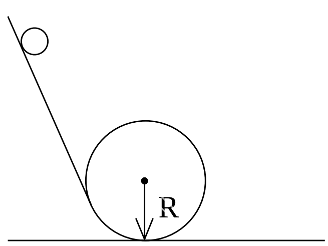


図６７

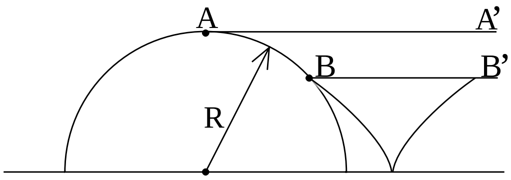


図６８

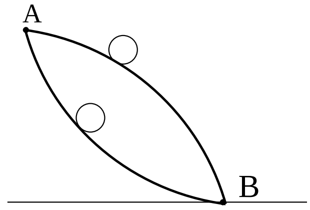


図６４

８．４９　滑らかな半球（半径Ｒ）の頂上Ａから、初速度無しで小さい球が滑り出した（図６８）。Ｂ点で、小さい球は表面を離れ、滑らかな水平な床で、完全弾性衝突をした。床で跳ね返った後、床からどれだけの高さまで跳ね上がるか。摩擦は無視する。

８．５０　物体がＡ点からＢ点に滑り落ちる（図６９）。その滑る経路は２つある。１つは中間が出っ張った経路、もう一つは中間が引っ込んだ経路である。両方の経路で摩擦係数は同じである。どちらの経路通過するとＢ点での物体の速度が大きくなるか。

９節　力学における保存則

９．１　水平面上にあるくさびから、物体が摩擦無しで滑り落ちる事象を２つの場合で考察する。１つの場合は、くさびが固定されている場合、２つの場合はくさびも平面との間に摩擦がなく、滑る場合である。両方の場合において、物体を同じ高さから滑らせたとすれば、物体がくさびを滑りきった地点で､。両方での物体の速度は同じか。

９．２　前門の９．１の条件下で、両方の場合において、くさびを滑り切ったときの物体の最終速度が同じとすれば、物体を離すべき高さの値は、前者は後者の何倍か。物体の質量m＝２ｋｇ、くさびの質量M＝１０ｋｇ。くさびの傾斜は水平面とスムーズにつながっている（図７０）。

９．３　質量m＝５００ｇの物体が、水平で滑らかな水平面を速度$ｖ_0$＝３m／ｓで動き、質量M＝７．５ｋｇの静止しているが、固定されていないくさびを登る（図７１）。物体はくさびをどれだけ高く登るか。その後、物体はくさびをどれだけの速度で滑り落ちるか。

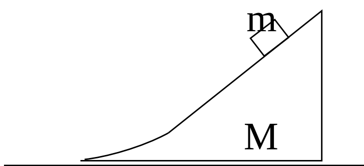


図７０

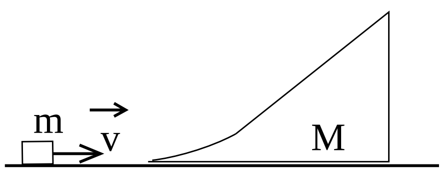


図７１

９．４　トロッコの上に人が乗っている。水平方向に速度ｖ＝５m／秒で質量m＝８ｋｇの石を水平に投げた。人の乗ったトロッコの質量はM＝１６０ｋｇ。人はどれだけの仕事をしたか。仕事の質量Mに関する依存性を説明せよ。

９．５　質量M＝２．８ｋｇの銃が、２本の平行な糸で水平に吊されている（図７２）。射撃をしたら、反動で、銃はｈ＝１９．６ｃmだけ持ち上がった。弾丸の質量m＝９．８ｇ。飛び出した弾丸の速度を求めよ。

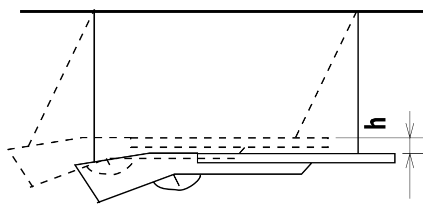


図７２

９．６　振り子を利用して弾丸の速度を調べる。垂直に吊されている振り子の錘に、水へに飛んできた弾丸が突き刺さり、振り子は角度α＝１５°傾いた。糸の長さｌ＝４m。弾丸の質量m＝２０ｇ、振り子の錘の質量M＝５ｋｇ。

９．７　水平速度ｖで動いている質量Mのトロッコに、トロッコの直ぐ上から、質量m煉瓦を落とす。トロッコの持っているエネルギーの変化を求めよ。

９．８　２つの物体Ａ、Ｂがある。弾性衝突前には、Ａの速度は$ｖ_1$＝３ｍ／秒であったが、衝突後$ｕ_1$＝２ｍ／秒となった。衝突後の物体Ｂの速度を求めよ。。

９．９　２つの物体１，２が水平な一直線上を近づくように動いている。衝突して一体化した。$m_1$＝０．５ｋｇ、$m_2$＝０．９ｋｇ、$ｖ_1$＝５０ｃm／秒、$ｖ_2$＝２０ｃm／秒。衝突前後におけるエネルギーを比較せよ。前後におけるエネルギー変化の理由を説明せよ。

９．１０　質量$m_1$＝１ｋｇ、$m_2$＝２ｋｇの２つの物体が、水平直線に沿って、速度$ｖ_1$＝７ｍ／秒、$ｖ_2$＝１ｍ／秒で、同じ方向に運動している。弾性衝突後の２つの物体の各々の速度を求めよ。

９．１１　平らな平面上に２つの物体がある。１つの質量は$m_1$，他方の質量は$m_2$で静止している。前者が速度$ｖ_1$で、静止している側に完全弾性衝突をした。衝突後の各々の速度$ｕ_1$、$ｕ_2$を求めよ。両者の質量の大小で、動いてきた側の衝突後の速度の方向はどうなるか。

９．１２小球が自由落下を始め、距離ｌ落下した後、垂直上方に速度ｕで移動している重い水平な板に弾性衝突した。衝突後、小球はどれだけの高さに跳ね上がるか。

９．１３　速度ｖ＝１０ｍ／秒で動いている質量m＝１００ｇの球が、面と弾性衝突をする。球の速度の方向と面のなす角度αが（１）９０°、（２）２０°の場合について、球の運動量の変化量と弾性変形に伴う可能な最大エネルギーを求めよ。

９．１４　？？？固定壁に、球が速度ｖ＝１０ｍ／ｓ、衝突角度α＝４５で、上から飛んできて衝突する。弾性衝突時間長はτ＝５０ｍｓ。球の反射角度を求めよ。で

９．１５　動いてきた物体が、静止している物体との完全被弾製衝突後、その速度が４分の１となった。内部エネルギーに転換したエネルギー分はどれだけか。

９．１６　同じ長さの糸に質量$m_1$，$m_2$の物体が別々に吊された振り子があり、錘部分は接触している。前者の方の球を小さい角度α傾けてから離した。衝突後各々の振り子は、最大どれだけの角度まで傾斜するか。衝突は弾性的。

９．１７　前者の問題９．１６で、衝突が非弾性の時は、傾斜角度βは幾らとなるか。

９．１８　質量$m_1$，$m_2$の２つの弾性球が、水平な直線上を、速度$ｖ_1$，$ｖ_2$で動く。衝突して変形した。運動エネルギーの一部が変形により内部エネルギーに転化した。その後、変形は元に戻っていき、蓄えられていた内部エネルギーは運動エネルギーに転化する。変形による内部エネルギーの最大値を求めよ。

９．１９　半径Ｒの２つの同じ球が水平面上にある。１つは静止している。他方が動いてきて、静止している球に衝突する。衝突点が、球の中心同士を結ぶ直線上にないとき（正面衝突ではない）には、衝突後の２つの球の速度の方向は、お互いに９０°をなすことを示せ。

補足問題

．１　図７３において、物体の質量は各々ｍ１，ｍ２，ｍ３。摩擦、滑車と糸の質量は無視する。物体ｍ１の加速度を求めよ。

．２　机の上に、質量M＝１．１ｋｇの板がおいてあり、板の上に質量m＝１．９ｋｇの錘が乗っ

ている。板にどれほどの力Ｆを加えれば、机と錘の間から板を抜け出せるか。板と錘の間の摩擦係数$\mu_1$＝０．２３，板と机の間の摩擦係数は$\mu_2$＝０．５２。

．３　質量ｍ＝２ｋｇの物体が、傾斜角度α＝３０°の斜面にあり、この物体に斜面上方向に力Ｆ＝１２．５Ｎを作用させる（図７４）。物体と斜面の間の摩擦係数μ＝０．２。物体の加速度ａ、と摩擦力Ｔを求めよ。

．４　両端に質量$m_1$，$m_2$の小さい球が固定された硬くて質量の小さい軸が、球形の空洞内に水平と角度α＜π／２をなすよう保持する。手を離すと、軸は垂直面内で、両球を空洞内面に触れさせながら動く。軸が水平となったとき、軸は圧縮力を受けるかそれとも張力を受けるか。軸の長さはは球の半径に等しい。摩擦はない。

．５　？？？半径Ｒの半球内がある。半球の片方は、完全に滑らかであり、他方の半分はざらざらしている（図７５）。半球の左端から物体が。物体とそれとの間の摩擦係数はμ＝０．１５。

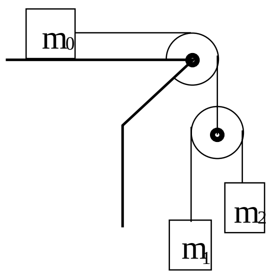


図７３

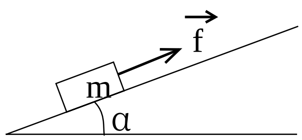


図７４

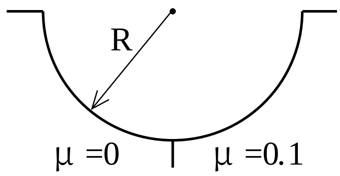


図７５

．６　滑る床に仰角α＝４５°で取り付けた静止している玩具の銃から、質量ｍ＝５０ｇの弾を速度$v_0$＝５ｍ／ｓで発射した。弾は水平に対して何度の角度で飛び出すか。質量Ｍ＝１５０ｇの銃はどれだけの速度で、反動するか。

．７　滑らかで平らな床を滑っている質量ｍ＝２ｋｇの経路中に、高さＨ＝２ｍの固定されていない高台がある。高台の形状は図７６に示している。物体は高台を登る。高台で停止するための物体の最小速度は幾らか。高台の質量はＭ＝１０ｋｇ。高台上での物体、高台と床の間には摩擦はない。

．８　滑らかで水平な机の上にある質量$m_1$の物体に、天井に取り付けた重さの無視できる滑車を経由して、紐を取り付ける。紐のぶら下がっている部分に、質量$m_2$の猿がしがみつき、一定の高さを維持するように紐を引っ張り続ける。猿の出せる仕事率がＰである時、猿はどれだけの時間の間やり続けられるか。

．９　質量Ｍ＝１００ｋｇの宇宙飛行士が、小惑星のの表面にいる。小惑星の形状は半径Ｒ＝１ｋｍの球状。宇宙飛行士は手に質量ｍ＝１ｋｇの石を持っている。自身が小惑星の衛星となってしまうという危険を起こさない条件のもとで､宇宙飛行士は石を水平に最大どれだけの速度で投射できるか。小惑星の密度ρ＝５ｇ／ｃｍ３。

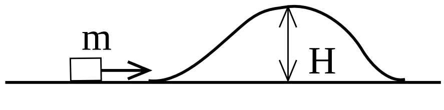


図７６

# 第３章　静力学

## １０節　質点の釣り合い

１０．１　図７７に、静止している物体の５つの状態が示されている。（ａ）物体は水平面上で静止している、（ｂ）物体が斜面上で静止している、（ｃ）物体は糸で吊されている、（ｄ）物体は２本の糸で吊されている，（ｅ）物体は腕木の先で吊されている。各々の場合について、物体に作用している力を図示せよ。各々の力の起源を説明せよ。

１０．２　２台の秤に、質量ｍ＝１ｋｇの物体が吊されている（図７８）。各々の秤の指示値はどうなるか。下の秤の質量は考慮しない。

１０．３　質量２ｋｇの錘が、秤に吊されている。錘を下の方向に、力１０Ｎで引っ張る。秤の指示値はどうなるか。

１０．４　平面に、質量$m_1$＝５ｋｇの錘があり、滑車に渡したロープに結びついている（図７９）。ロープの他方には質量$m_2$＝２ｋｇの錘が吊されている。ロープの張力Ｔ、質量$m_1$の錘が床を押している力Ｆを求めよ。

１０．５　図８０において、ロープの張力Ｔ，錘が斜面を押している力Ｆ、錘と斜面の間の摩擦力ｆを求めよ。$m_1$＝２ｋｇ、$m_2$＝１ｋｇ、$\alpha_1$＝３０°、$\alpha_2$＝９０°。

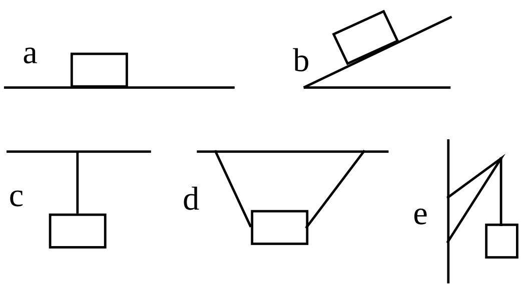

図７７

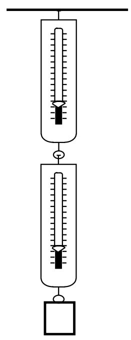
図７８

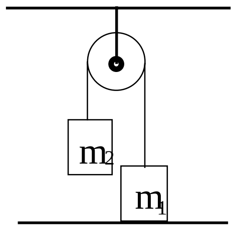

図７９

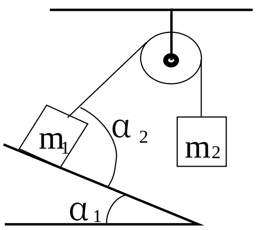

図８０

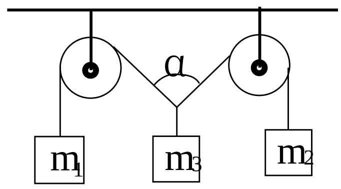

図８１

１０．６　２つの滑車に渡した糸の両端に、錘$m_1$＝６０ｆ，$m_2$＝８０ｇを吊す（図８１）。３つ目の錘$m_3$を中間に吊るし、糸のなす角度が９０°となった。$m_3$を求めよ。

１０．７　図８１で、$m_1$＝$m_2$＝ｍ＝５ｋｇとする。角度αが１２０°で安定するためには、$m_3$は幾らでなければならないか。

１０．８　ロープに吊された質量１５ｋｇの錘が、錘に水平方向に作用する力Ｆにより、垂直と４５°の角度をなして傾いている。この力と、ロープの張力を求めよ。

１０．９　質量ｍ＝２０ｋｇの錘を吊したロープが、錘に水平方向に作用する力Ｆ＝１４７Ｎにより、水平から傾いている。垂線に対するロープの傾斜角度とロープの張力を求めよ。

１０．１０　質量１０ｋｇの錘が腕木ＡＢＣに吊されている（図８２）。角度α＝６０°。辺ＡＢ、辺ＢＣに作用している力を求めよ。

１０．１１　図８２で、ＡＢを引っ張る力Ｆが９０Ｎのとき、錘の重さは幾らか。αは４５°である。

１０．１２　質量２０ｋｇの街路灯が、壁に固定された２本の棒で吊されている（図８３）。ＡＢ＝６０ｃｍ，ＡＣ＝９０ｃｍ，ＢＣ＝１２０ｃｍ。棒に作用している力を求めよ。

１０．１３　２つの滑車に渡した糸の両端に、質量$m_1$，$m_2$の錘を吊す（図８４）。滑車の間の糸に質量１５０ｇの錘を吊すと、角度ＡＢＣ＝３０°、角度ＢＡＣ＝角度ＢＣＡとなった。$m_1$，$m_2$の値を求めよ。

１０．１４　水平アンテナ線（ＢＣ）が、マストに取り付けられ、アンテナ線はマストに力７５０Ｎを及ぼしている（図８５）。マストが倒れずに、マストの基部に作用する力が１ｋＮとするためには、張り綱（ＡＢ）を水平に対して何度の角度としてとるつける必要があるか。

１０．１５　質量６０ｋｇの錘が、２本のロープで吊されている（図８６）。角度ＡＣＢ＝１２０°。角度ＯＢＣ＝９０°。ロープに作用している力を求めよ。

１０．１６　ロープが片方をＡ点でフックに固定され、固定滑車Ｃに渡されている（図８７）。ロープのＤ点に質量２０ｋｇの錘を吊す、がＤ点の位置は固定である。ＡＤ部分の張力がＣＤ部分の張力の２倍となるようにしたい。Ｃ側のロープに吊すおもりの質量ｍを幾らすすべきか。角度ＡＤＣ＝９０°。

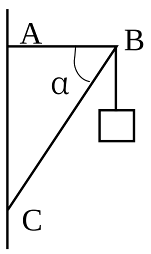

図８２

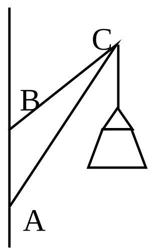

図８３

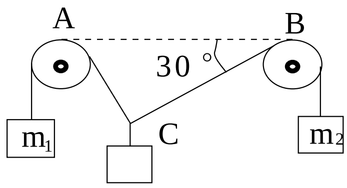

図８４

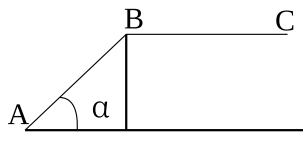

図８５

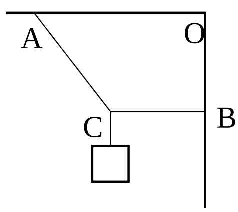

図８６

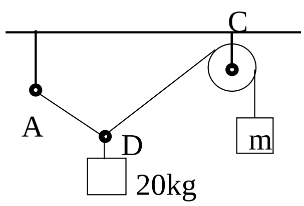

図８７

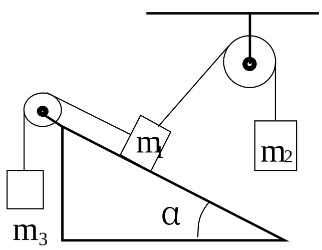

図８８

１０．１７　垂直な壁に、板を押し当てる。板に水平な力Ｆを加えて、板が壁からずり落ちないようにしたい。必要な最小な力は幾らか。板の質量Ｍ＝５ｋｇ、壁と板の摩擦係数μ＝０．１。

１０．１８　質量Ｍ＝１０ｋｇの信号が、幅ｌの道路の中間にロープで吊り下がっている。ロープの張力をＴ＝５００Ｎとしたい。信号の取り付け点が、高さｈ＝５ｍのあるとして、ロープの取付の高さを求めよ。

１０．１９　ロープがたわんで曲がらないように、ロープを水平にピンと張ることができるか。

１０．２０　弾性定数$k_1$，$k_2$の２つのバネがを（１）直列に接続する、（２）並列に接続する。各々の場合の合成弾性定数を求めよ。

１０．２１　水平と角度α＝３０°をなす斜面上に質量$m_1$＝２ｋｇの物体があり、滑車に渡した糸で、質量$m_2$の物体と連結し、$m_1$は安定に静止している（図４２）。摩擦はない。$m_2$の値、滑車の

軸に作用している力を求めよ。

１０．２２　質量$m_1$，$m_2$，$m_3$の物体系があり、安定している（図８８）。$m_3$の大きさ、$m_1$が斜面に及ぼしている力を求めよ。斜面の角度はα、摩擦は無視する。、

## １１節　剛体の釣り合い

１１．１　棒の両端に、２つの力$F_1$＝１０N、$F_2$＝２０Nを平行に、同じ向きに、棒の軸に垂直方向に作用させる。棒の長さはｌ＝１．２m。棒が平衡状態にあるためには、棒のどの位置にどれだけの力を作用させる必要があるか。

１１．２　棒の両端に、２つの力$F_1$＝１５N、$F_2$＝６０Nを反平行に、棒の軸に垂直方向に作用させる。棒の長さはｌ＝９０ｃm。棒が平衡状態にあるためには、棒のどの位置にどれだけの力を作用させる必要があるか。

１１．３　長さｌ＝１２０ｃmの棒に、同じ方向の３つの力を平行に作用させる。左端に、$F_1$＝３０N、中央に$F_2$＝８０N，右端に$F_3$＝９０N。これらの力の合力と、その作用点を求めよ。

１１．４　２つの反平行力$F_1$，$F_2$のうちの、大きい方が$F_1$＝３０N。合力Ｆの作用点に対する２つの分力$F_1$，$F_2$の作用点間隔の比が０．４。小さい方の力$F_2$と、合力$F_3$を求めよ。

１１．５　水面に木板が浮かんでいる。この板に、２つの水平力を作用させる。板は回転中心はどこか。

１１．６　質量M＝１ｔの自動車が長さＬ＝１０mの水平な橋を通過する。自動車が橋の端からｌ＝１mにある時、橋の両端にかかる力を求めよ。一方の橋にかかる力と、その橋と自動車の距離の関係をグラフで示せ。

１１．７　質量M＝１２００ｋｇの土管が地面上にある。クレーンで一端を持ち上げる時、どれだけの力が必要か。その時、他端は地面にどれだけの力を及ぼすか。

１１．８　質量M＝１．３５ｔの自動車の車軸長（前輪と後輪の距離）Ｌ＝３．０５m。車の重心は前輪軸の後方ｌ＝１．７８mにある。前輪及び後輪に作用する地面からの反作用力の各々を求めよ。

１１．９　長さｌ＝１０ｃmの棒が、両端につけられた２つのバネで、天井から水平に吊されている。バネの弾性定数は$k_1$＝９８N／ｃm，$k_2$（＝３×$k_1$）。バネは平行となっている。棒に錘をぶら下げ、水平状態のまま、Δｈ＝１ｃmだけ、下降した状態としたい。取り付ける錘の、棒の中心からの距離、及びおもりの質量を求めよ。棒の質量は無視する。

１１．１０　長さｌ＝４m、質量M＝３０ｋｇの板の両端に、質量$m_1$＝３０ｋｇ、$m_2$＝４０ｋｇの２人の子供が乗った。板のどの位置に支点を置けば、釣り合いを保てるか。

１１．１１　斜面を、高さｈ＝３m、距離ｌ＝５mだけ、質量m＝２００ｋｇの物体を、力Ｆ＝１．５ｋNを斜面に平行に加えて、引き上げる。斜面の効率（？？？）を求めよ。摩擦がない場合には、得した力はどれだけか。

１１．１２　棒の一端は、Ｃ点にジョイントで取り付けられ、他端はＡ点でロープに取り付けられている（図８９）。ロープは２つの定滑車と動滑車に渡され、梁に固定されている。軸のＡ点からｌ＝０．６mの位置に、力Ｆ＝７５Nを垂直下方向に作用させ、釣り合いを保つために、動滑車に質量m＝１０．２５ｋｇの錘をつけた。軸ＡＣの長さＬとＣ点に作用する力ｆを求めよ。

１１．１３　ジャッキが１回転して上昇する高さｈ＝０．５ｃm、てこの長さｌ＝３０ｃm。てこを１度下げることで、ジャッキは１回転する。てこに作用させる力Ｆ＝１２０N。ジャッキの効率η＝４５%。ジャッキはどれだけの力を出せるか。

１１．１４　てこ式のウインチを使用して、質量M＝２．１ｔの荷物を持ち上げる。てこの長さｌ＝５０ｃm。荷物をｈ＝１５ｃm上げるために、てこを１０往復した。てこに加えた力の大きさを求めよ。摩擦は無視する。

１１．１５　作動ウインチ（？？？）で、質量M＝５０ｋｇの荷物を一定の高さに維持しておきたい（図９０）。腕の長さｌ＝９８ｃm、ウインチの大きいシリンダ半径$r_1$＝２０ｃm、小さい方のシリンダ半径$r_2$＝１０ｃm

１１．１６　丸太に打ち込んだくさびが、それから抜け出さないためには、どれだけの摩擦係数が必要か。くさびの頂角α＝３０°。

１１．１７　釣り合い状態にある物体において、次の２つの条件が必要充分である。物体に作用している力の合力がゼロ、これらの力のモーメントの和がゼロ。これら２つの条件の片方だけが満たされる例について、例示せよ。

１１．１８　正三角形状の平らな物体に、２つの等しい力$F_1$＝$F_2$＝１０Nが作用する。力は頂点から辺に沿って、図９１のａ）からｄ）のように、作用する。物体が平衡状態にあるためには、３つ目の力$F_3$をどの様に加える必要があるか。各場合について、$F_3$を書き入れよ。

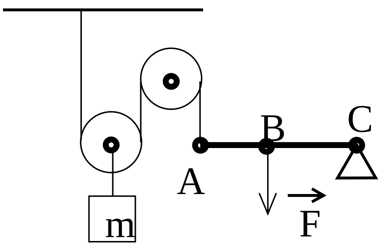


図８９

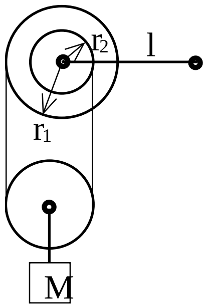


図９０

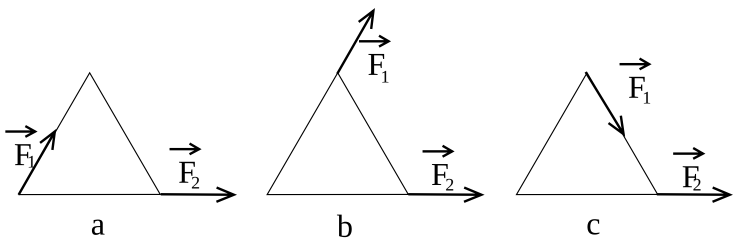


図９１

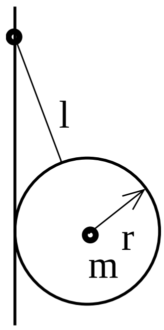


図９２

１１．１９　滑らかな垂直の壁に、長さｌの糸で、質量mの球が吊されている（図９２）。糸の張力T、球が壁を押す力ｆは幾らか。球の半径はR，摩擦は無視する。

１１．２０　２辺ａ＝４２ｃm、ｂ＝２４ｃmの平行六面体の木片が、糸で完全に滑らかな壁に吊されている（図９３）。糸の一端は木片の上に、壁から距離ｌ＝１２ｃmのところに固定されている。他端は壁に固定されている。木片は、壁側の面を、全面壁に触れされているとして、糸の長さLを求めよ。

１１．２１　質量m＝４．９ｋｇの球が、水平と角度α＝３５°をなす滑らかな板と、水平と角度β＝２０°をなす滑らかな板の２枚で支えられている。球が各面に与えている力を求めよ。問題を２つの方法で解け、（１）力の分解、（２）力のモーメント。

１１．２２　質量M、長さｌの梯子が、角度αで、滑らかな垂直壁に立てかけている。梯子の重心は床から高さｈのところにある。梯子の中央に、水平方向に力Fを加えて、引っ張る。梯子の上端が、

壁から離れるために必要な、最低の力Ｆを求めよ。床と梯子との間の摩擦我は充分に大きく、柱の下端は滑らないものとする。

１１．２３　梯子を垂直で滑らかな壁に寄り掛けるとき、水平に対して最低どれだけの角度まで滑らせないでおけるか。梯子と床との間の摩擦係数はμ＝０．４。

１１．２４　質量m＝５ｋｇの棒ＡＢが、不動点Ａにジョイントで取り付けられ、垂直面内で回転できる（図９４）。Ｂ端は滑車Ｃに渡したいとに結びつけられている。滑車には錘$m_1$＝２．５ｋｇが吊されている。滑車Ｃの軸とジョイントＡは同じ垂直線上にある。ＡＣ＝ＡＢ。系が釣り合っているとき、角度αは幾らか。軸のＡ部分にはどの様な力がかかっているか。この力の方向はどの様な向きか。

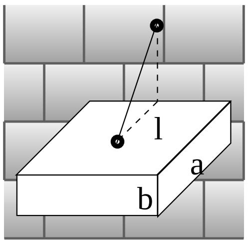


図９３

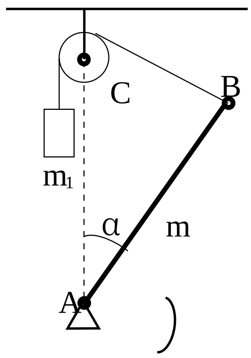


図９４

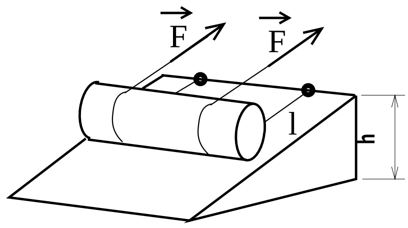


図９５

１１．２５　地面の上に、円柱状の同じ２本の丸太が、密接しておいてある。。これらの上の真ん中に、同じ丸太をのせる。地面においてある丸太は、地面を滑らないもの（回転はする）として、３本の間の摩擦係数μが幾らであれば、３本は崩れないか。

１１．２６　半径Ｒ、質量mの車輪を、段差ｈのステップに置く。段差を乗り越えるように、車輪の軸に水平力Ｆを作用させる。乗り越えるための最小力を求めよ。摩擦は無視する。

１１．２７　水平面上にある質量Mの立方体の上辺に水平力を加え、立方体を辺を回転中心としてひっくり返す。そのために必要な立方体と面の間の摩擦係数を求めよ。。

１１．２８　貨車を容易に動かせるのはどちらの方法か。貨車本体に力を加える、車輪の枠の上端に力を加える。

１１．２９　自動車に急ブレーキを掛けると、車体の前部が沈下する。何故か。

１１．３０　重い木材を、斜面に沿って、２本の平行ロープを使用して引き上げる（図９５）。２本のロープの片方は図に示しているように、斜面の上部で固定している。丸太の質量M＝４００ｋｇ。引き上げる高さｈ＝１m、距離ｌ＝２m。ロープの各々のどれだけの力Ｆを作用する必要があるか。問題を２つの方法で解いてみよ。

１１．３１　質量M，長さＬの一様な軸がある。重心の位置を１０ｃm移動させるためには、軸の端からどれだけを切り取ればよいか。

１１．３２　軸の長さｌ＝５０ｃm、質量M＝２ｋｇの軸と、両端に半径$R_1$＝３ｃm，質量$m_1$＝１．５ｋｇ、半径$R_2$＝６ｃm、質量$m_2$＝１２ｋｇの球がついたバーベルがある。このバーベルの重心位置を求めよ

１１．３３　同じ体積のアルミニューム球と鉛球を表面で接着した。重心位置を求めよ。

１１．３４　ぶら下げた縄の輪に、掛け入れた木の枝が、釣り合っている。片方は他方より細い。輪

と接触しているところで木の枝を切断する。どちらが重いか。細い方か、それとも太い方か。

１１．３５　長さ１ｍの物差しを、机の端から４分の１だけだし、身を乗り出した部分の先端に、質量$m_1$＝２５０ｇの錘を吊すと、物差しは机の端部分だけに力を及ぼす。物差しの質量は幾らか。身を乗り出した部分の先端に、質量$m_2$＝１２５ｇの錘を吊した場合には、物差しのどれだけの部分を机の端から乗り出させることができるか（それ以下ならば、状態を維持しているが、それ以上では物差しは机から落下する）。

１１．３６　図９６に示している厚さの一様な板きれの重心を求めよ。

１１．３７　図９７に示している厚さの一様な板きれの重心を求めよ。

１１．３８　図９８に示している厚さの一様な板きれの重心を、定規と鉛筆で作図して求めよ。

１１．３９　厚さの一様な三角形の重心は、二本の中線の交点に一致することを証明せよ。

１１．４０　図９９に示している厚さの一様な図形の重心を、定規と鉛筆で作図して求めよ。

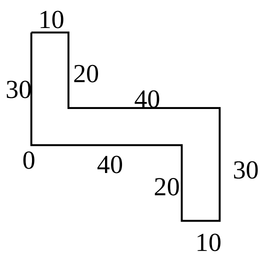


図９６

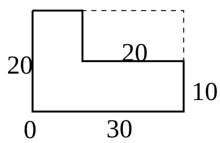


図９７

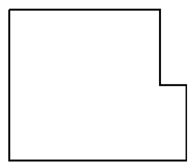

図９８

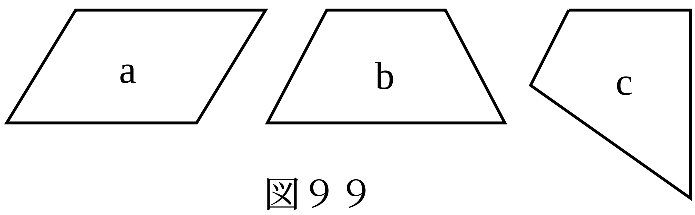


図９９

１１．４１　厚さの一様な半径Ｒ＝９ｃｍの円から、円周に接触するように、半径がＲの半分の円を切り抜く。得られた穴あきの円盤の重心を求めよ。

１１．４２　厚さの一様な半径Ｒの円から、正方形の対角線が円の半径に一致するように、かつ対角線の長さが円の半径に一致するように、正方形を切り抜く。得られた穴あきの円盤の重心を求めよ。

１１．４３　一辺ａの一様な厚さの正方形から、図１００のように切り出す。（ａ）一辺ａ／２の正方形、（ｂ）直径ａ／２の円。得られた図形の重心を求めよ。

１１．４４　図１０１に示しているように、一辺ａの立方体の稜から、一辺ａ／２の立方体を切り出した立方体の重心を求めよ。

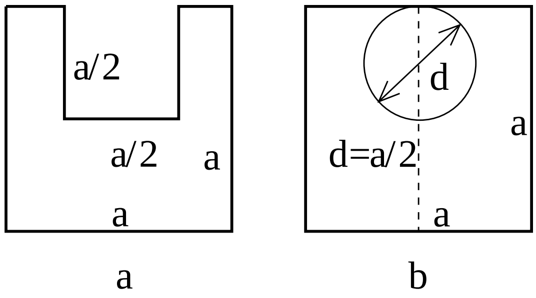


図１００

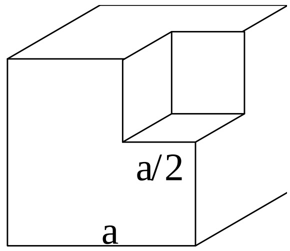


図１０１

１１．４５　高さが底の直径より３倍長い円柱が、長さ６０ｃｍの板の上の中央に乗っている。板の一端をどれだけの高さまで持ち上げても、円柱は倒れないか。円柱は滑らないものとする。

１１．４６　高さｈ＝８ｃｍ、直径Ｄ＝６ｃｍの円柱が、板の上の中央に乗っている。板の一端をゆっくりと持ち上げる。板と円柱の間の摩擦係数はμ＝０．３。円柱が動かない最大の板の傾斜角度α を求めよ。

１１．４７　大きさが２８ｃｍ×１４ｃｍ×７ｃｍのレンガがある。水平面上への置き方は３とおりある。各々の場合で、水平面と重心との距離を求めよ。どの状態が一番安定か。その理由は何か。

１１．４８　？？？　図１０２で示している円錐台がある。水平台においたとき、どの状態が一番安定か。

１１．４９　長さＬ＝７ｍ，質量Ｍ＝１４０ｋｇの電柱を、水平状態から垂直状態とする。この際どれだけの仕事が必要か。

１１．５０　平面上にある一辺ａ＝１ｍ、質量ｍ＝２００ｋｇの立方体を、辺を支点として９０°回転させるのにどれだけの仕事が必要か。

１１．５１　水平面上にある一辺ａ＝１ｍの中空の立方体に、ちょうど半分まで水が入っている。立方体の質量は水の質量と比較して無視できる。辺を支点として９０°回転させるのにどれだけの仕事が必要か。

１１．５２　辺の長さａ＝１７ｃｍの三角柱が滑らかな平面上に置かれている（図１０３）。平面の右側に、三角柱の辺に平行に障害の出っ張りがある。三角柱を右に動かして、出っ張りで転けさせるためには、三角柱に与えるべき最小速度ｖを求めよ。

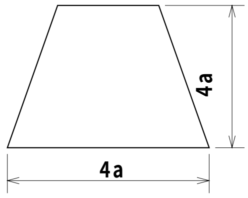


図１０２

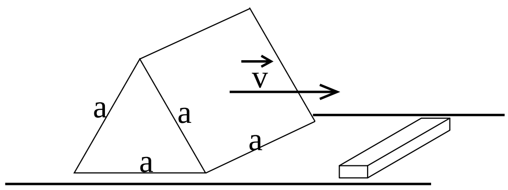


図１０３

１２節　液体と気体

１２．１　面積Ｓ＝２００ｃｍ$^2$で、液体の入った円筒容器に質量ｍ＝１ｋｇのピストンがしっかりと填っている。以下の場合において、ピストンが液体に加える圧力 P を求めよ。（１）重しがないとき、（２）質量Ｍ＝５ｋｇの重しがピストンに乗っているとき、（３）ピストンに角度α＝３０°の方向に、力Ｆ＝２００Ｎを加えたとき。液体を気体に換えた場合には、各々の結果はどうなるか。

１２．２　容器の内圧が１０ＭＰａ（パスカル）の時、直径８０ mm の安全弁には、どれだけの力 F がかかっているか。

１２．３　質量の無視できる液体が、底面積 S の円筒容器に入っており、軽いピストンがしっかりと挟まっている。ピストンに法線から角度α＝６０°方向から F を加える。ピストンから液体内部のある点までの距離をｘ、その点での液体の圧力をＰとする。ｘ－Ｐの関係をグラフ化せよ。同じ力Ｆをピストン面に垂直に加えたときはどうか。

１２．４　机の上に、水の入った容器がある。水面からの深さをｘ、その点での圧力をＰとする。ｘ－Ｐの関係をグラフ化せよ。気圧が高くなると、グラフはどの様に変化するか。気圧が低くなると、どうなるか。

１２．５　容器の底を押す液体の圧力による力が、液体にかかっている重力より大きくなるのは、容器がどの様な形状をしているときか。小さくなる場合はどうか。等しい場合はどうか。

１２．６　ガス供給塔と給水塔の形状の相違は、何によるのか。

１２．７　水平面においた一辺ａの中空の立方体に、上まで水を満たす。立方体の各辺に作用している圧力を求めよ。

１２．８　パスカルの実験の一つ。丈夫な木の樽の蓋に、小さい穴を空け、そこに垂直に長いパイプを差し込む。このパイプから、樽に水を注ぎ込む。樽が水で完全に満たされ、パイプ内の水面の高さが、樽の底から４ｍとなったとき、水の圧力で樽が破裂した。この瞬間に樽の底に作用していた力Ｆを求めよ。樽の底の面積は０．２$m^2$。

１２．９　前問に引き続く。パイプ内の水面の高さが樽の底から２ｍとなった時点で、パイプ内にピストンを差し入れる。ピストンはパイプ内壁に密に接触している。前問で得られた樽の破裂を起こさせるためには、ピストンの上にどれだけの力を加えればよいか。パイプの面積は、樽の底の１００分の１。

１２．１０　水圧プレスについて。小さい方のピストンに力ｆ＝１００Ｎを加えれば、どれだけの圧力Ｐを得ることができるか。小さい方のピストン断面積$S_1$＝５ｃｍ２、大きい方$S_2$＝５００ｃｍ２。効率計数η＝０．８。

１２．１１　油圧プレスの小さい方のピストンが、ｈ＝０．２m動くとき、大きい方のピストンはＨ＝１ｃm動く。小さい方のピストンに力ｆ＝５００Ｎを加えたとき、大きい方のピストンに挟んだ物体にはどれだけの力Ｆが作用するか。効率計数はη＝０．９５。

１２．１２　油圧プレスで、質量m＝２ｔの物体を持ち上げるのに、仕事Ａ＝４００Ｊをようする。この時、小さい方のピストンを、ｎ＝１０回プレスした。１回のプレス距離はｈ＝１０ｃm。大きい方のピストンの面積は、小さい方の何倍か。効率計数はη＝０．９。

１２．１３　中央で異なる内径のパイプが連結したＵ字型パイプがある。左側のパイプの内面積は$S_1$＝８ｃ$m^2$，右側のパイプの内面積は$S_2$（＜$S_1$）。最初パイプに水銀を注入する。続いて、左側のパイプから質量m＝２７２ｇの水を注ぎ入れた。水銀は右側のパイプをどれだけ登るか。

１２．１４　水銀の入ったＵ字型連結管がある。片方に液柱高ｈ１だけ油（密度$\rho_1$）を注ぎ、他方には液柱高ｈ２だけ水（密度$\rho_2$）を注いだ。両側の水銀液面差を求めよ。

１２．１５　水（密度$\rho_1$）の入った容器に、断面積Ｓ＝２ｃ$m^2$のパイプを垂直に差し入れる。パイプに質量m＝７２ｇの油（密度$\rho_2$）を注ぐ。水と油の液面差を求めよ。

１２．１６　水銀気圧計は、片方に水銀が入り、他方に空気が入った連結管と見なせる。大気の密度が高度に依存しないで一定値とした場合、地表で１気圧の時の大気の厚さを求めよ。

１２．１７　地球の周りの大気の総質量を求めよ。

１２．１８　水銀気圧計の代わりに、水気圧計を使用したならば、１気圧のもとで、水柱の高さは幾らとなるか。

１２．１９　水面から１５ｍの高さにある崖の上に設置したポンプで、川から水を汲み上げることができるか。

１２．２０　長い気圧計管が、水平と角度α＝３０°をなして、栓をしておいてある。水銀溜から自身に平行に管を引き抜くと、栓にどれだけの圧力がかかるか。管を垂直においた場合にはどうか。管の内径はＲ＝６mm。

１２．２１　水の入った容器に、木片を投げ入れる。水は容器から漏れ出ないとして、木片を投げ入れたことで、容器の底と側壁の圧力に変化があったか。

１２．２２　？？脱着式の底を持った円錐台形状をした容器に水を２００ｇ入れと、底が外れる。この容器を水に浮かべる。底に質量２００ｇの錘をのせると底が抜けるか。油を２００ｇそそぐとどうか。水銀２００ｇではどうか。

１２．２３　パイプの内壁にしっかりと密着しているピストンは、軸でパイプ内を移動できる。パイプの最下部にピストンを位置させ、水銀の入った容器に垂直に沈めていく。ピストンは上昇し始める。ピストンが高さｈ＝１０ｃｍだけ上昇するまでになされた仕事は幾らか。大気圧は１気圧である。ピストンの面積Ｓ＝１ｃ$ｍ^2$。摩擦は無視する。

１２．２４　？？？

１２．２５　木製の立方体を容器の底に密着して（しかし、接着はしていない）置く。容器に水を注ぐと立方体は浮き上がるか。

１２．２６　質量ｍ＝７６ｇ、底面積Ｓ＝３８ｃ$ｍ^2$，高さ６ｃｍのブリキ製の直方体の箱を水に浮かべる。水に出ている部分の高さを求めよ。

１２．２７　自身の体積の３／４部分を沈めている木ぎれが水に浮かんでいる。木の密度を求めよ。

１２．２８　硫酸銅結晶の塊があり、空気中での重さは$Ｐ_1$＝１００mN，油の中では$Ｐ_2$＝７０mN。硫酸銅の密度を求めよ。硫酸銅は油には溶けない。

１２．２９　アセトンの密度を決めるため、半田付けで作った金属円筒（高さｈ＝１０ｃｍ、直径Ｄ＝７ｃｍ）を水とアセトンに入れて重さを測った。メモリの差はΔＰ＝０．７５N。アセトンの密度を求めよ。

１２．３０　質量ｍ＝７５ｋｇの人を乗せて、水面に浮かんでいられる厚さｈ＝４０ｃｍの氷の最小の面積を求めよ。

１２．３１　鉛から鋳造した中空の球を水に浮かべる。ちょうど半分沈んだ。球の質量をｍ＝５ｋｇ。球の体積Ｖを求めよ。

１２．３２　密度$ρ_1$の材料から作った内半径Ｒ１、外半径Ｒ２の密度$ρ_2$の液体に入れる。球が液体中で、浮かびも沈みもしないで、安定していられるためには、球の内部に密度ρが幾らの物質を密に入れればよいか。

１２．３３　糸の一端は底に固定され、他端はコルク製の浮きに結びつけれれている。浮きの全体積のｎ＝７５％だけ、水に沈んでいる。浮きの質量はｍ＝２ｋｇ。糸にかかっている張力を求めよ。

１２．３４　ある材料からできている細い一様な棒が、その上端をジョイントで固定されている。棒

の下部分は水面に対して傾斜し、棒のちょうど半分が水に入って、平衡状態となっている。材料の密度を求めよ。材料は何か。

１２．３５　２つの同型、同じ重さの気球がある。１つは伸び縮みするゴムで、もう一つはゴム引きの布でできている。両気球に同じ両水素ガスを充填する。舫を解くと、どちらが早く上昇するか。理由は何か。

１２．３６　秤皿に、水の入ったコップが乗って、釣り合っている。糸で吊した錘をゆっくりコップの水の中に沈めると、釣り合い状態は壊れるか（秤のメモリは動くか）。

１２．３７　容器内に回転対称物体が沈んでいる（図１０４）。液体は物体の下面下には浸透しないとする。容器の水面の高さｈに対する物体の浮力Ｆの関係をグラフ化せよ。

１２．３８　水の入った容器の底面は、水平と角度α＝３０°をなす斜面となっている（図１０５）。斜面には、長さ$h_1$＝３．４ｃｍ、１辺ａ＝２ｃｍの直角プリズムが乗っている。プリズムから水面までの距離はH＝７ｃｍ。プリズムが斜面に与える力を求めよ。

１２．３９　ダムの底に、キノコ形状の物体を設置する（図１０６）。ダムの深さはH。構造物はダムの底にどれだけの力を及ぼすか。水の密度は$\rho_0$。構造物の密度は２$\rho_0$。

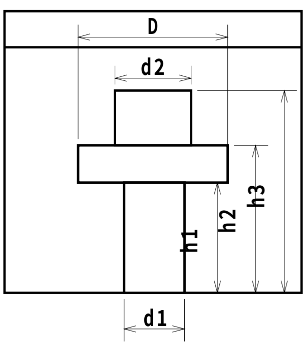


図１０４

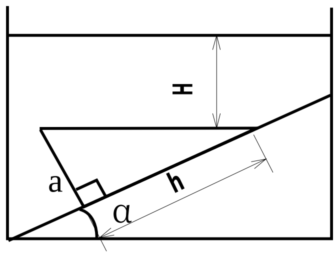


図１０５

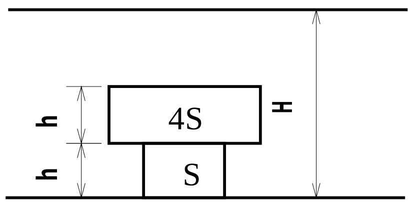


図１０６

１２．４０　一辺ａ＝５ｃｍの立方体が、油と水の境界面のところに浮かんでいる。立方体の上面は油の表面より$h_1$＝２．５ｃｍ下にある。立方体に底面は境界面より$h_2$＝１ｃｍ下にある。立方体の密度を求めよ。立方体の上面、下面に作用している圧力を求めよ。油を注ぎ足すと、立方体の沈んでいる状態に変化が起こるか。

１２．４１　木片を水に浮かべる。水の上に油を注ぐと、木片の沈んでいる状態に変化が起こるか。

１２．４２　鉄製の立方体が、水銀に浮かんでいる。水銀の上に、水を注ぎ、立方体が完全に水に沈ませた。水の層の厚さｈを求めよ。立方体の一辺はａ＝１０ｃｍ。立方体の底面に作用している圧力を求めよ。

１２．４３　断面積Ｓ＝０．５$m^2$，厚さH＝４０ｃｍの氷が水に浮かんでいる。氷を水に完全に沈めるためには、どれだけの仕事をしなければならないか。

１２．４４　質量m＝２ｋｇ、体積Ｖ＝０．００１$m^3$の物体が、湖の深さｈ＝５mのところに沈んでいる。この物体を水面上H＝５mまで持ち上げるためには、どれだけの仕事が必要か。この仕事は物体のポテンシャルエネルギーの変化量と等しいか。結果を説明せよ。

補足問題

．１　平らな半球の内側に、質量$m_1$の物体がおいてある。球の縁にある滑車に渡した糸で、質量$m_2$の錘と転結している（図１０７）。$m_1$の物体が水平となす角度がαの時、$m_1$と$m_2$の関係を求めよ。α＝６０ならば、その関係はどうなるか。

．２　滑らかな半球内に、軸があり、その両端に質量$m_1$＝０．２ｋｇ，$m_2$＝０．４ｋｇの質点が付いている（図１０８）。軸の長さは半球の半径に等しい。軸が半球内で安定しているとき、軸の水平とのなす角度αを求めよ。

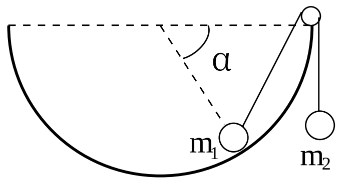


図１０７

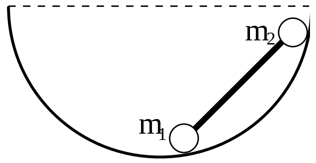


図１０８

．３　図１０９を見よ。両側の２つの垂直壁の間隔はｌ＝２ｍ、両壁の間に、重さのない板を挟み入れる。板と壁との間の摩擦係数はμ＝０．４。落下することなく安定して挟まっていられる板の最小の長さを求めよ。

．４　図１１０を見よ。軸ＡＢはジョイントでＡ点に取り付けられ、Ｂ点は台車に触れている。軸の質量はｍ、軸と代書の間の摩擦係数はμ軸が垂直となす角度はα。この状態で、台車を動かすためには、台車に加えるべき水平な最小の力Ｆを求めよ。

．５　重い板が、一端を、床と壁の境に、床と角度αをなしている。他端にはロープが結ばれている。板とロープのなす角度がβ＝９０°のとき、ロープの張力Ｔを求めよ。βが一定値に保たれる条件下で、張力Ｔはαの増加とともにどの様に変化するか。床と壁の境で板が受けている力の合力の方向と壁との間の角度γとすると、この角度はαにどの様に依存するか。

．６　半径Ｒの円柱に、その中心軸から距離Ｒ／２のところを中心として、半径Ｒ／２の穴を空けた（図１１１）。このように加工した円柱を、板の上に置き、板をゆっくりと傾ける。円柱が板の上で動かないでいれる最大角度αを求めよ。板と円柱の間の摩擦係数はμ＝０．２。

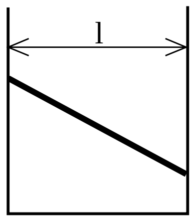


図１０９

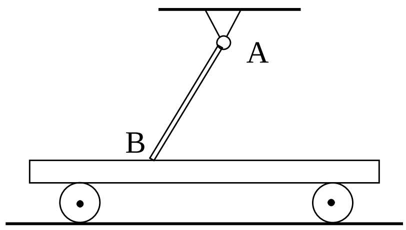


図１１０

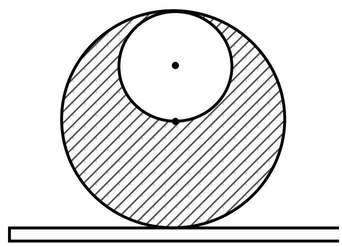

図１１１

．７　２本の糸で、不均一な棒を天井より吊す（図１１２）。棒の重心を作図で求めよ。

．８　天井に、ある距離離して２本の糸を吊す。垂れ下がった糸の端に、質量ｍ＝１ｋｇの棒の両端を固定する。この時、１本の糸が棒となす角度が９０°をなすようにすると、棒は水平と角度α＝３０°をなす。糸の張力を求めよ。

．９　底面積Ｓ＝０．０２$\mathrm{m}^2$の円筒容器内の水は、質量ｍ＝１ｋｇのピストンで、しっかりと閉じこめられている（図１１３）。ピストンの上に、テコの棒を取り付ける。テコに、力Ｆ＝１０Ｎを作用させる。$l_1$＝１０ｃｍ、$l_2$＝２０ｃｍ、ｈ＝１０ｃｍとして、水が容器の底面に加える圧力を求めよ。

．１０　容器の底にある面積Ｓの円形穴を、基底の面積が４Ｓである円錐形の栓で閉じる。容器に密度$\rho_0$の液体を注いでいって、途中で栓が浮き上がることのできる栓の材質の密度ρの最大値を求

めよ。

．１１　底の傾斜した水の入った容器に、一辺ａ＝１０ｃｍの立方体がおいてある（図１１４）。底の傾斜角度はα＝３０°。立方体が底に加える圧力Ｐ、立方体と底との間の摩擦力Ｆを求めよ。底と立方体の底面との間には水は入り込まない。立方体の稜から水面までの距離はｈ＝５０ｃｍ。

．１２　水の入った容器に、底から半径ｒのパイプが突き立っている（図１１５）。パイプの口は半径Ｒ＝４ｒ、厚さｈ＝5mmのアルミニューム円板の端を載せ、水圧の圧力で閉じられている。容器の底に小さな穴を空け、そこから水を流し出す。円盤が独りでに開くようになるのは円板上の水深Ｈが幾らになったときか。

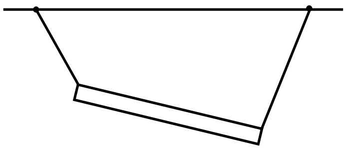

図１１２

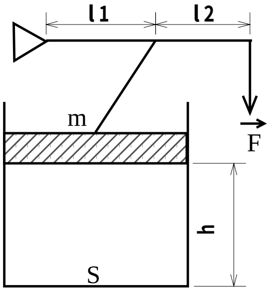


図１１３

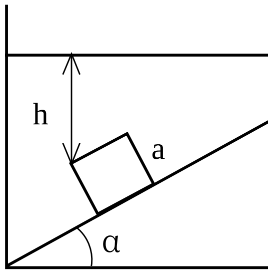


図１１４

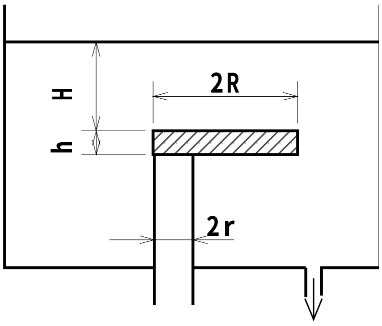


図１１５

## 第４章　力学的振動と波

### １３節　調和振動運動の運動学

１３．１　振幅Ａ＝５ｃｍ、周期Ｔ＝０．５ｓの調和振動方程式を記述せよ。

１３．２　振幅Ａ＝４ｃｍ, 周波数ν＝５０Ｈｚの調和振動方程式を記述せよ。

１３．３　２つの物体が、同じ振動数で振動している。以下の場合における物体の変位（ｙ軸方向）と時間（ｘ軸方向）の関係をグラフで示せ。（１）同位相で振動する、（２）位相角がπ／４ずれている、（３）位相角がπずれている。

１３．４　周期Ｔで調和振動している物体において、物体が中心位置から端の位置まで移動する時間は幾らか。

１３．５　振幅が２ｃｍ、周期がＴの振り子がある。錘が釣り合いの位置から１ｃｍ以内にいる時間は幾らか。

１３．６　円周に沿って点が動く。その運動を、ｘ軸に投射した点は調和振動を示す（図１１６）。点の座標値ｘ（ｔ）、ｘ軸上での速度ｖ（ｔ）、ｘ軸上での加速度ａ（ｔ）の時間変化の様子をグラフ（横軸をｔとする）で示せ。ｔ＝０で、ｘ＝０とする。

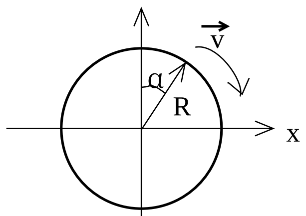

図１１６

１３．７　ｔ＝０の時、ｘ＝Ｒとして、前問を解け。座標と速度の間の位相差、座標と加速度の間の位相差、速度と加速度の間の位相差を求めよ。

１３．８　質点が、ｘ＝Ａｃｏｓ（ωｔ－π／４）に従って振動する。変位ｘ、速度ｖ、加速度ａの時間依存をグラフ化せよ。

１３．９　バネに付いた錘が、振幅Ａ＝２ｃｍで、直線に沿って振動する。振動周期はＴ＝２ｓ。時刻ｔ＝０の時には、錘は平衡点にいた。ｔ＝０．２５ｓでの錘の速度ｖと加速度ａを求めよ。

１３．１０　前問の条件の下で、錘が平衡点から最大まで変位した点の間における平均速度を求めよ。

１３．１１　質点が、ある直線に沿って、周期Ｔ＝０．６ｓ、振幅Ａ＝１０ｃｍの調和振動を行う。（１）質点が、端からＡ／２の距離を動く間での質点の平均速度を求めよ。（２）質点が、平衡点からＡ／２の距離を動く間での質点の平均速度を求めよ。

１３．１２　粒子が、ｘ軸に沿って、平衡点$x_2$＝０を中心として調和振動を行う。角振動数はω＝４ラジアン／ｓ。粒子が平衡位置を通過した後、どれだけの時間に位置ｘ＝２５ｃｍで速度ｖ＝１００ｃｍ／ｓとなるか。

### １４節　調和振動運動の動力学

１４．１　長さｌの糸に、質量ｍの錘を吊す（＝単振り子）。錘を平衡状態から傾け、放つ。錘に作用している力を作図せよ。錘の振動周期がその質量に依存しない理由を説明せよ。この振り子の周期を求めよ。

１４．２　滑らかな机の上に、質量ｍの錘があり、弾性定数ｋのバネの端に結びつけられている（＝バネ振り子）。錘を平衡状態からずらす。錘の作用している力を作図せよ。錘の振動周期を求めよ。

１４．３　前問のバネ振り子を、垂直にして振動させても、振動周期に変化がないことを説明せよ。

１４．４　振り子を水の中に入れて、振動させると、その周期は変化するか。水中での摩擦などは無視する。単振り子とバネ振り子の両方について考察せよ。

１４．５　サンクトペテルブルグ市のイサーク寺院には、長さ９８ｍの振り子が天井から吊されている。錘が一往復する時間は幾らか。

１４．６　自由落下の加速度（＝重力加速度）を測定するため、長さｌ＝９０．７ｃｍの糸、直径ｄ＝４０ ㎜ の金属球から単振り子を作った。振り子がｎ＝１００往復した時間は、ｔ＝１９３ｓであった。これらのデータから、自由落下の加速度を算出せよ。

１４．７　地表から高度ｈ＝１０ｋｍにある単振り子の周期が、地表での振り子の周期と同じとなるためには、振り子の糸の長さをどれだけ短くする必要があるか。

１４．８　高度ｈ＝５０００ｍの山小屋にある振り子式掛け時計は、平地と比較すると、１昼夜に何秒遅れるか。

１４．９　停止しているエレベータ内に振り子を吊す。その周期は$Ｔ_1$＝１．０秒。この振り子の周期を$Ｔ_2$＝１．１秒とするためには、エレベータを、どの方向に、どれだけの加速度で動かす必要があるか。

１４．１０　加速度ａで動いている電車内に吊した糸の長さｌの振り子の周期を求めよ。

１４．１１　内半径Ｒの滑らかな球面内を小さい物体が滑る。物体の振動振幅は充分に小さいものとして、物体の振動周期を求めよ。摩擦は完全にないものとする。

１４．１２　長さｌ＝１．０ｍの糸に吊した錘を、釣り合い状態から少し傾けて放つ。振り子の支点から垂直真下の、糸の中間点に、釘が打ち付けてある。錘が、手を離した位置までに戻るのにどれだけの時間がかかるか。

１４．１３　図１１７のａに示している系の垂直振動周期、ｂに示している系の水平振動周期を求めよ。バネの弾性定数は$ｋ_1$，$ｋ_2$。摩擦は無視する。

１４．１４　水に浮かべた液体比重計（釣りの細長い浮きと似ている）の垂直振動周期を求めよ。液体比重計の質量ｍ＝５０ｇ、パイプ半径ｒ＝５ ㎜。水の抵抗は無視する。

１４．１５　長さｌの糸で、質量ｍの錘を吊す。垂直状態からの最大傾き角度がαのである。その状態での振り子の持っているエネルギーを求めよ。

１４．１６　糸の長さがｌ、おもりの質量がｍの単振り子が、振幅Ａで振動する。振り子の持つエネルギーを求めよ。

１４．１７　単振り子が平衡点の周りで微少振動をしている。摩擦はない。ポテンシャルエネルギーは時間に依存してどの様に変化するか。運動エネルギーはどうか。全エネルギーはどうか。これらの関係をグラフでも示せ。

１４．１８　垂直状態のバネに錘を取り付け、平衡状態までゆっくりと落とす。そうしたら、バネは長さｘ０だけ伸びた。バネが伸びていない状態として、錘を放つと、バネは振動する。バネは最大どれだけ伸びるか。錘の最大速度は幾らか。錘の運動はどの様な軌跡を描くか。バネの質量は無視する。

１４．１９　質量ｍの物体をバネ秤の受け皿の上に落下させる（図１１８）。受け皿とバネの質量は小さく、バネ定数はｋ。錘は受け皿の張り付くとする。一体となった物体と受け皿は単振動を行う。物体の振動の振幅Ａ、物体のエネルギーＥを求めよ。

１４．２０　水平状態にあるバネに、質量Ｍ＝１０ｋｇの物体を取り付け、完全に滑らかな机の上に置く。バネの軸方向に飛んできた質量ｍ＝１０ｇの弾丸をこの物体に打ち込む。弾丸を取り込んだ物体は振幅Ａ＝１０ｃｍの単振動を始めた。振動周期Ｔを求めよ。

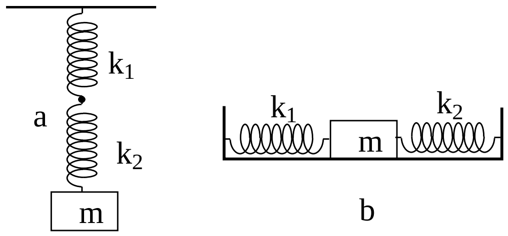


図１１７

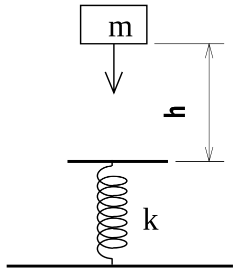


図１１８

１４．２１　凸凹道を走行中、車が激しく上下振動する場合がある。この現象を説明せよ。

１４．２２　重いブランコを、小さい力を加えることで、大きく振動させることができるか。

１４．２３　線路のレールの継ぎ目間隔がＬ＝１２．５m上を走行する電車内に吊した長さｌ＝１１ｃｍの単振り子が、特に大きく振動した。電車の速度は幾らか。

１５節　波。音

１５．１　大砲が火を噴いたのを確認してから、τ＝３０秒後、発射音が聞こえた。大砲と観測者の距離はｌ＝１０ｋｍ。空気中の音の伝搬速度を求めよ。

１５．２　稲光に気が付いてから、τ＝１２秒後、雷鳴を聞いた。雷雲までの距離を求めよ。

１５．３　水中での音速を以下の方法で決定する。大きな湖の水面に、２台の船が距離ｌ＝１４ｋｍ離れている。１台の船には、水中に音信号を、空気中に光信号を、同時に発射する装置が積んである。もう１台の船上には、両方の信号を受信する観測者が乗っている。光を受信してから、τ＝１０秒後、音信号を受信した。水中の音速を求めよ。

１５．４　普通の聴覚を持った人の聞ける最低周波数の音はν＝１６Ｈｚ。空気中での波長λは幾らか。

１５．５　振動数ν＝２００Ｈｚの発振器から水中に発振された音波の波長λを求めよ。水中での音速はｖ＝１４５０m／秒。

１５．６　空中から水中に伝搬する音波の波長は何倍変化するか。空中での音速$ｖ_a$＝３４０m／秒、水中での音速$ｖ_w$＝１４５０m／秒。

１５．７　振動数νも音波が、１番目の媒質中で波長$λ_1$，２番目の媒質中で波長$λ_2$。$λ_1$＝２×$λ_2$ならば、１番目の媒質から２番目の媒質に音波が伝搬するとき、その速度はどの様に変化するか。

１５．８　（１）気体、（２）液体、（３）固体、を伝搬できる波は縦波か、それとも横波か。

１５．９　バイオリンの弓で、弦に発生する波は縦波かそれとも横波か。弦で空気中に発生する波はどうか。

１５．１０　空気中を振動数ν＝２ｋＨｚ，振幅Ａ＝１．７μm、速度ｖ＝３４０m／秒で空気中を伝搬する平面波の波動方程式を記述せよ。

１５．１１媒質中を伝搬する平面波の波動方程式を記述せよ。媒質中の点は振動数ν＝１．５ｋＨｚで振動する。その振動数の波長はλ＝１５ｃｍ。媒質中の点の平衡位置からの最大変位は、波の波長より、ｎ＝２００倍短い。

１５．１２　一様な弾性媒質中を、平面波が、ｙ＝Ａｃｏｓ（ωｔ－ｋｘ）で伝搬する。ｔ＝０時刻

におけるｘに対するｙと$v_y$（＝ｙの変位速度）の依存性をグラフで示せ。

１５．１３　進行平面波の方程式はｙ＝６０ｃｏｓ（１８００ｔ－５．３ｘ)。ここで、ｙは変位（μm)、ｔは時間（秒)、ｘは距離（m)。波長に対する媒質中の点の変位の大きさの関係を見いだせ。

１５．１４　水中での音速ｖ＝１４５０m／ｓ。それを伝搬する音波の振動数をν＝７２５Ｈｚ。位相がπだけずれている２点間の最小距離を求めよ。

１５．１５速度ｖ＝３６０m／ｓ、振動数ν＝４５０Ｈｚで波が伝搬する。距離Δｘ＝２０ｃm離れている２点での位相差θを求めよ。

１５．１６　万力に挟みつけてある音叉と、共鳴箱に取り付けてある音叉では、どちらが大きく鳴り響くか。理由は何故か。

１５．１７　通常の室内では、六面で音は反射するのであるが、こだまは全く観測されない。理由は何故か。

１５．１８　可聴音の強度は、音源からの距離の逆２乗に比例して減衰する。教室内で、５列目に座っている生徒の先生からの距離は、先生と１列目に座っている生徒の距離と比べると、２倍以上遠い。しかし、５列目の生徒は１列目の生徒とほぼ同じ程度で、先生の声が聞ける。何故か。

補足問題

．１　調和振動している質点が、ある時刻に、変位ｘ＝０．０４m、速度ｖ＝０．０５０m／秒、加速度ａ＝０．８０m／$s^2$であった。以下を求めよ。（１）質点の振幅と周期、（２）位相角度。

．２　質量mの物体が、質量Mの物体の上に乗り、弾性定数ｋのバネで取り付けられている（図１１９)。バネを縮めて放つ。物体系の振動周期を求めよ。摩擦はない。

．３　図１２０に示しているように、一様な板を、高速で回転するローラー２台に押しつける。ローラーの距離はｌ、板とローラーの間の摩擦係数はμ＝０．１８。板が、単振動を行うことを説明せよ。その周期Ｔを求めよ。

．４　地球の回転軸に沿って、トンネルを開けたとしよう。地球を一様な球とみなし、空気の抵抗は無視する。（１）トンネルに落下した物体の運動を求めよ。（２）トンネルに落とした物体が、他方の出口までにかかる時間を求めよ。（３）物体の地球の中心位置での速度を求めよ。

．５　台車の下部に、振り子を取り付ける。台車が加速度ａで、動き始めた。振り子の糸は垂直線とどれだけの角度をなすか。

．６　錘Ｄを、糸ＤＢを使い、バネＢＣに吊す（図１２１)。錘の質量m＝０．１０ｋｇ、バネ定数ｋ＝１６００Ｎ／m。錘の振動が調和振動であるためには、振動の振幅は幾ら以下でなければならないか。

．７　バネ振り子を振動させる。錘の運動エネルギーがバネのポテンシャルエネルギーと等しくなるのはいつか。

．８　平面進行波が、式ｙ＝０．０５ｓｉｎ（１９８０ｔ－６ｘ）で表されている。ここで、ｙ－変位量（ｃm)、ｔ－時間（秒)、ｘ－波が伝搬する軸に沿っての距離（m)。間隔Δｘ＝３５ｃmの２点間での振動の位相差θを求めよ。

．９　レコード盤の回転速度が、$n_1$＝３３回転／分で指定されているレコード盤に記録されている第３オクターブでの音「ド」（振動数ν１＝２６１Ｈｚ）は、回転速度が$n_2$＝４５回転／分となったときには、周波数はどうなるか。

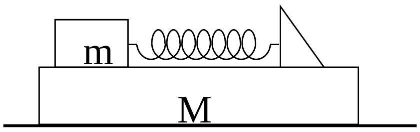


図１１９

図１２０

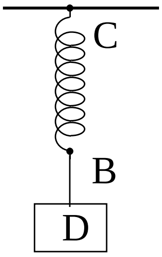


図１２１

## 第２部　分子物理

## 第５章　物質構造の分子運動論

### １６節　分子の質量と大きさ

１６．１　質量ｍ＝２００ｇのリンゴは水素原子の質量の何倍か。

１６．２　水分子の質量を計算せよ。

１６．３　同じ容量のコップに入っている水と水銀では、どちらの方が分子数が多いか。

１６．４　深さｈ＝２０ｍ、面積Ｓ＝１０ｋｍ$^2$の湖に、質量ｍ＝０．０１０ｇの食塩を投げ込む。食塩は湖に一様に溶け込んだとして、湖から汲みだしたＶ＝２．０ｃｍ$^3$の体積の水の中に、食塩の分子はどれだけ入っているか。

１６．５　鉄について算出せよ。（１）体積Ｖ＝１．０ｃｍ$^3$中の原子数、（２）隣接する原子の中心間距離。

１６．６　常圧の気体に関して算出せよ。（１）体積Ｖ＝１．０ｃｍ$^3$中の分子数、（２）隣接する分子の中心間距離。

１６．７　常圧下の分子気体の濃度を求めよ。

１６．８　常圧下の炭酸ガスの密度を求めよ。

１６．９　水１．０ｋｇは何モルか。

１６．１０　原子数Ｎ＝１．０×１０$^{22}$からなるダイヤモンドの体積は幾らか。

１６．１１　体積１．０ mm$^3$の石油１滴を、水面に垂らすと、油は３．０ｍ$^2$の面積まで広がることが知られている。これより、石油粒子の最小の大きさを求めよ。

１６．１２　金塊中の隣接する原子の中心間隔は、２．９×１０－１０ｍ。厚さ０．１０μｍの金箔中にはどれだけの金原子があるか。

１６．１３　水分子の体積は V=１．１×１０$^{-23}$ｃｍ$^3$。実際の水の体積のうち、何％を水分子が占めているか。

１６．１４　酸素分子の直径はｄ＝３．０×１０$^{-8}$ｃｍ。酸素分子を質量ｍ＝１．０ｍｇ取り出し、１個ずつ繋げて鎖にしたら、その長さは幾らとなるか。この長さは、地球と月の間の距離の何倍となるか。

### １７節　分子の運動。分子の相互作用

１７．１　通常の条件下では、気体分子の運動速度は１秒間当たり数百ｍである。それにもかかわらず、気体の拡散が比較的ゆっくりと進行するのは何故か。

１７．２　体積Ｖ＝１０ｃｍ$^3$の白熱真空電球に極わずかの隙間ができ、そこから１秒間にｚ＝１０６個の空気分子がしみ込んでいる。電球内が常圧になるまでにどれだけの時間がかかるか。空気分子のしみ込む速さは一定とする。ランプ外の温度はｔ＝０℃とする。

１７．３　ブラウン運動は小さい粒子ほど顕著であり、大きな粒子になるほど見えなくなるのは何故か。

１７．４温度の上昇とともに、拡散速度が大きくなるのは何故か。

１７．５　コップに入った質量ｍ＝１００ｇの水が、ｔ＝１０昼夜で蒸発しきった。１秒間当たり、

コップから平均としてどれだけの水分子が飛び立ったか。

１７．６　原子気体における熱運動とはどの様なものか。結晶中の原子ではどうか。

１７．７　分子運動論の観点から、氷、水、水蒸気の間の相違を述べよ。

１７．８　壊れたコップの破片を集めて、もとのコップに完全に復元できない理由を説明せよ。

１７．９　１００℃の水と、１００℃の水蒸気、ともに同量とした場合、どちらの方が内部エネルギーが大きいか。

１７．１０　分子間に働いている引力が、突然消滅したと仮定した場合、気体の入った容器内の圧力はどの様に変化するか。

## １８節　固体と液体の熱膨張

１８．１　物体の温度が変化すると、その物体の体積が変化するのは何故か。線膨張率、体積膨張率は温度に依存するか。

１８．２　長さｌ＝３０ｃｍ、温度０°の鉄板を、ΔＴ＝１０℃加熱する。長さｌ＝３０ｃｍ、温度１０℃の鉄棒を、ΔＴ＝１０℃加熱する。各々どれだけ膨張するか。

１８．３　異なった材料からできた長さ$l_1$、$l_2$の２本の棒が、任意の温度において、その長さの差が温度によらず一定であるための関係を求めよ。前者の棒の線膨張率は$\alpha_1$，後者は$\alpha_2$。

１８．４　材料から内部応力を取り除くために、材料を非常にゆっくりと冷ますのは何故か。

１８．５　金属輪と、切り掻き角度φで切り掻きのある円板を加熱する（図１２２）。金属輪の内直径は変化するか。円板の開き角度φは変化するか。

１８．６　普通のガラス瓶を火に入れると割れるが、金属鍋は加熱すると溶けるのは何故か。ビーカーなどの化学機器が、石英で作られるのは何故か。

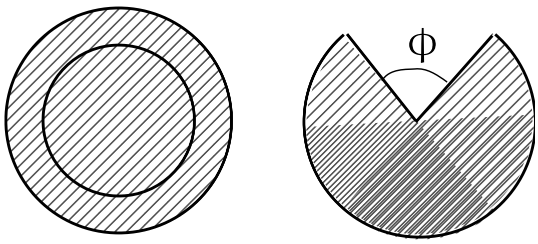

図１２２

１８．７　１０℃にあるレールが、１０℃温度が上がると、どれだけの膨張力が発生するか。

１８．８　長さｌ＝３．０m、断面積Ｓ＝１．０ mm$^2$の鉄線が、２つの壁の間にピンと張られている。鉄線の温度をΔ T=３０ K 下げると、どれだけの張力が発生するか。鉄線の内部エネルギーはどの様に変化するか。

１８．９　体膨張率βは線膨張率αの３倍であることを示せ。

１８．１０　温度２０°の面積 S0=０．３０ｍ２の銅板を６００℃まで加熱した。面積はどれだけ大きくなるか。

１８．１１　温度ｔ＝０℃で、アルミニューム棒の長さはｌ＝５０ｃｍ、鉄棒はΔｌ＝０．５０ mm それより長い。両棒の断面積は同じである。何度ｔ１とすれば、両棒の長さは同じとなるか。何度ｔ２とすれば、両棒の体積は同じとなるか。

１８．１２　体積$V_0$＝１０リットルの鉄製容器に、５℃の灯油を満杯入れた。２０℃の室内に容器を移すと、どれだけの灯油が流れ出すか。容器の膨張は無視する。

１８．１３　前問において、容器の膨張を考慮すると、結果はどうなるか。

１８．１４　温度１００℃における水銀の密度を求めよ。

１８．１５　０℃のガソリンの重さ$W_1$＝８８Ｎ。これと同じ体積の６０℃でのガソリンの重さが$W_2$＝８３Ｎ。ガソリンの体積膨張率を求めよ。

１８．１６　U 字管があり、液体が入り左右の管の温度差はΔ T。片方の管中の液体の高さは$h_1$, 他方は$h_2$。液体の体積膨張率を求めよ。液体の体積膨張率を測定するのに、この方法の都合の良い点はどこにあるか。

１８．１７　温度$t_1$＝１℃、$t_2$＝７℃の同じ質量の水を混合した。温度が一様になったとき、液体の全体積に変化があるか。

１８．１８　極寒になっても、湖が底まで凍らないのは何故か。

１８．１９　厚さがｄ＝０．１ mm の同じ形状の鉄板と亜鉛板からできているバイメタルがある。バイメタルがまっすぐの状態にあったときから温度Δ T=１０ K だけ温度を上昇させた。板の曲率半径を求めよ。

１８．２０　質量m＝５０ｇのアルミニューム球を糸で吊るし、灯油の中に沈める。系の温度をΔＴ＝５０Ｋ上昇させれば、糸の張力にどれだけの変化があるか。

## 第６章　気体の性質

### １９節　気体の分子運動論

１９．１　大気中の分子、酸素と窒素のどちらの方がより早く飛び回っているか。

１９．２　温度２７℃におけるヘリウム原子の平均２乗速度を求めよ。

１９．３　理想気体を温度ΔＴ＝１５０Ｋだけ上昇させたら、気体分子の平均２乗速度がｖ１＝４００ｍ／ｓからｖ２＝５００ｍ／ｓまで増加した。この気体を何度上昇させたら、分子の平均２乗速度がｕ１＝５００ｍ／ｓからｕ２＝６００ｍ／ｓまで増加させることができるか。

１９．４　常圧で、温度ｔ＝２３℃の理想気体の分子濃度を求めよ。容積Ｖ＝２００ｍｌのフラスコ中の分子数は幾らか。

１９．５　窒素分子が同じ数入っている２つの同型の容器が栓で連結している。片方の容器内の分子の平均２乗速度は$v_1$＝４００ｍ／ｓ、他方のは$v_2$＝５００ｍ／ｓ。栓を開けて２つの気体を混合させると平均２乗速度は幾らとなるか。

１９．６　閉じた容器に理想気体が入っている。気体分子の平均２乗速度を２０％だけ上昇させると、容器内の圧力はどうなるか。

１９．７　体積Ｖ＝２リットルを占める単原子気体の圧力は幾らか。内部エネルギーはＵ＝３００Ｊである。

１９．８　炭酸ガス分子の平均２乗速度ｖ＝７２０ｋｍ／時は、どれだけの温度に対応するか。

１９．９　地球大気中に水素分子がほとんどないのは何故か。月に大気がないのは何故か。

１９．１０　体積Ｖ＝１．０リットルの容器中には酸素分子はどれだけ入っているか。酸素気体の温度はｔ＝１５０℃、圧力はｐ＝０．１３２ｈＰである。

１９．１１　常圧下で、酸素気体中の酸素分子の平均自由行程はλ＝６５ｎｍである。１個の酸素分子は１秒間に何回衝突するか。

１９．１２　単原子気体の入っている容器が速度ｖで動いていて、突然に停止する。容器内の分子の平均２乗速度はどれほど増加するか。

１９．１３　単原子気体１０モルの内部エネルギーは、ΔＴ＝１００Ｋの加熱により、どれだけ増加するか。

## ２０節　気体の法則。理想気体の状態方程式

２０．１　圧力８３ｋＰ、温度１２７℃の理想気体０．２５モルの体積は幾らか。

２０．２　温度７７℃、圧力０．２０ＭＰの酸素は体積１０リットルを占める。質量は幾らか。

２０．３　容積１２リットルの容器に、温度２７℃、圧力１．８５ｋＰの気体が２５ｇ入っている。この気体は何か。

２０．４　容器からある量の気体が流れ出し、容器内の圧力が４０％減少し、温度は１０％減少した。どれだけの量の気体が流れ出したか。

２０．５　等温、等圧、等積過程において、理想気体の密度の温度依存性をグラフ化せよ。

２０．６　図１２３に、同じ質量の気体の２つの等温曲線が描かれている。気体が同じものとしたら、どこに相違があるか。それらの温度が同じとしたら、気体にどの様な相違があるか。

２０．７　気体の圧力Ｐとの温度Ｔの依存性を示すグラフに、以下の場合には、どの様な違いがあるか。（１）同じ物質でかつ同じ質量の気体を、体積の異なる容器内で加熱する場合、（２）同じ物質だが、質量が異なる２つの気体を、同じ体積の容器内で、等積で加熱する場合。

２０．８　図１２４に、或る気体の２つの等圧線が描写されている。等圧線の傾きと横軸のなす角度$\alpha_1$と$\alpha_2$が等しい場合には、気体の圧力にはどの様な関係があるか。

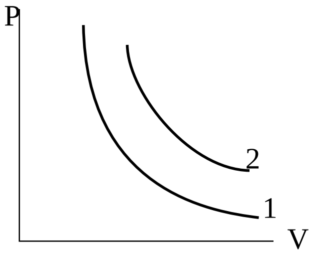


図１２３

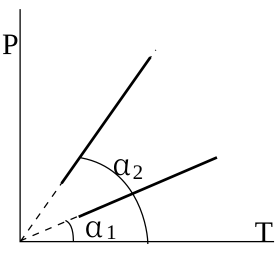


図１２４

２０．９　図１２５のグラフに従って、理想気体の体積が状態１から状態２への変位に伴って、どの様に変化したか説明せよ。

２０．１０　等温下での気体の膨張において、図１２６に示している圧力ｐと体積Ｖの関係が得られた。気体に何が起こっているか。

２０．１１　図１２７に従って、理想気体の圧力が、状態１から状態２への変異において、どの様に変化するか。

２０．１２　等圧加熱において、図１２８に示している体積Ｖと温度Ｔの関係が得られた。気体に何が起こったのか。

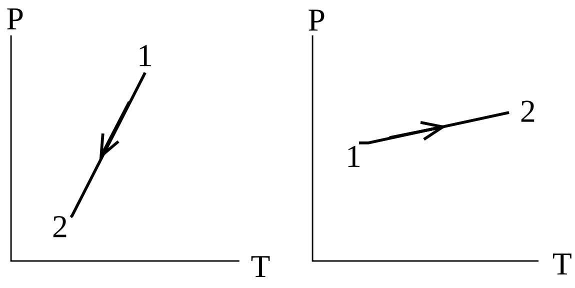


図１２５

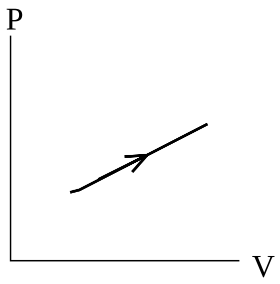


図１２６

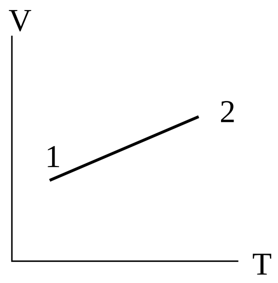


図１２７

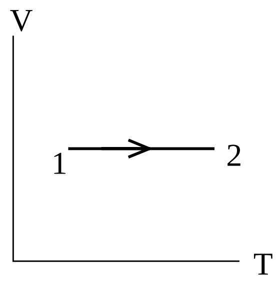


図１２８

２０．１３　図１２９に、気体の２つの状態におけるパラメータ関係が示してある。状態１から状態２への変異を、（１）等圧かつ等温で、（２）等温かつ等積で、（３）等圧かつ等積で、行った。各々の場合においての圧力Ｐと温度Ｔの関係グラフを作図せよ。

２０．１４　図１３０に、閉サイクルが記述されている。このグラフから、（Ｐ，Ｔ）グラフ及び（Ｖ、Ｔ）グラフを作成せよ。

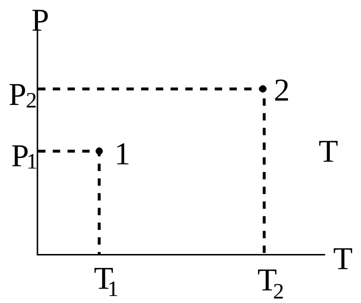


図１２９

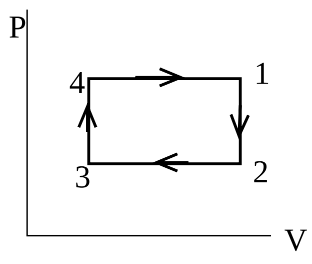


図１３０

２０．１５　図１３１に、等積変化、等圧変化、等温変化からなる閉サイクルが記述されている。このサイクルの（Ｐ，Ｔ）グラフ、（Ｖ，Ｔ）グラフを作図せよ。

２０．１６　図１３２に示している（Ｐ，Ｔ）サイクルを、（Ｖ，Ｔ）および（Ｐ，Ｖ）サイクルで描写せよ。

２０．１７　図１３３に閉サイクルが描写されている。この図を、（Ｐ，Ｔ）及び（Ｐ，Ｖ）でグラフ化せよ。

２０．１８　図１３４に示しているグラフに従って、理想気体の温度変化がどの様になっているかを説明せよ。

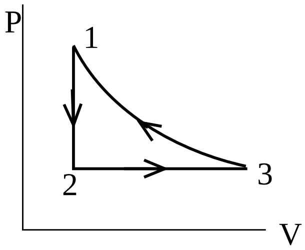


図１３１

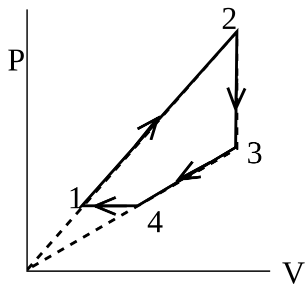


図１３２

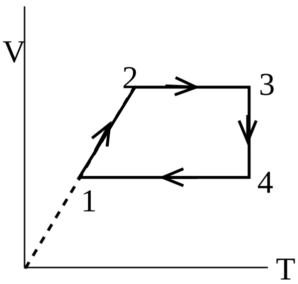


図１３３

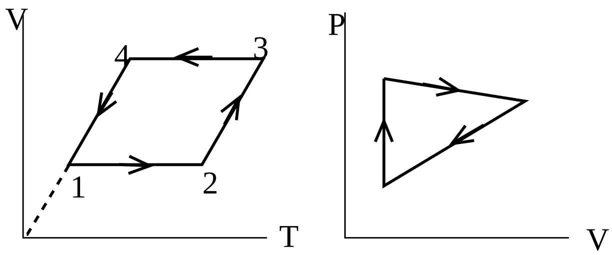


図１３４

２０．１９　一端が閉じたパイプの中に、空気柱が長さＨ＝２０ｃｍの水銀柱で閉じられている。パイプの開放端を真下とすると、空気柱の長さはｈ＝１０ｃｍ。パイプを水平に対して角度α＝３０°として傾斜すると、空気柱の長さは$h_2$＝８．４６ｃｍとなった。大気圧を求めよ。

２０．２０　長さＬ＝１０ｃｍのガラス管を、１／３だけ水銀中に垂直に沈める。その後、上端の開口部を指で押さえて、静かにガラス管を引き上げる。この時のガラス管中の水銀中の高さを求めよ。水銀気圧計中の水銀中の高さはＨ＝７５ｃｍであった。

２０．２１　片方の閉じたガラス管を、水銀槽に垂直に差し入れる。管中の水銀中の高さは$h_1$＝４０ ㎜、その上の空気柱の長さは$h_2$＝１９ｃｍ。管中の水銀中のレベルを水銀槽のレベルと一致させるためには、管をどれだけ押し沈めればよいか。外気圧は、水銀気圧計でＨ＝７６ｃｍ。

２０．２２　体積 V=０．５リットルの電球を圧力ｐ＝７６ｋ P まで窒素ガスで満たす。水中にＨ＝１．４m沈めて、電球の端を引きちぎると、どれだけの水が電球内に入るか。大気圧は常圧である。

２０．２３　コンプレッサーは毎秒毎に、大気から４．０リットルの空気を吸い込み、容積１２０リットルの気球に吐き出す。気球内の圧力が大気圧の９倍となるにはどれだけの時間がかかるか。気球の初期気圧は大気圧に等しい。

２０．２４　容積$V_1$＝０．５リットルのポンプで、容積$V_2$＝５．０リットルのフラスコ内の空気を常圧からｐ＝５０Ｐａまで排気するためには、ポンプを何往復する必要があるか。

２０．２５　開放容器内の空気を$T_1$＝４００Ｋまでゆっくりと加熱し、その後、容器を密閉し、$T_2$＝２８０Ｋまで冷却する。容器内の気圧はどれだけ変化するか。

２０．２６　温度$T_1$＝１７℃の室内にある気体の入った気球内の気圧計が、$p_1$＝３５０ｋＰａを示している。室外の気圧は$p_2$＝３００ｋＰａ。大気圧が常圧とすれば、室外の空気温度は幾らか。

２０．２７　自動車のタイヤの内圧は温度$t_1$＝１７℃で、$p_1$＝５．０気圧。走行時、タイヤの温度が$t_2$＝５７℃まで上昇するとすれば、タイヤの道路との接触面積は何倍小さくなっているか。大気

圧は常圧。タイヤの容積の変化は無視する。

２０．２８　室外の温度－３℃、室内の温度＋２７℃。気球を室外から室内に入れると、体積は何倍となるか。

２０．２９　気体を一定圧力のもとで、$\Delta$Ｔ＝１０Ｋだけ加熱すると、体積はｎ＝０．０３０倍だけ増加した。気体の初期温度を求めよ。

２０．３０　定常条件の下で、酸素の密度が窒素の密度と同じとするためには、大気圧下において酸素を何度まで加熱する必要があるか。

２０．３１　部屋の容積はＶ＝６０$m^3$。室温が$t_1$＝１０℃から$t_2$＝２０℃まで上昇すると、室内からどれだけの空気が排出されるか。気圧は常圧。

２０．３２　両端の閉じた垂直の円筒内部にピストンが入っており、摩擦無しで円筒内部を滑ることができる。ピストンの片側には質量$m_1$＝３．０ｇの水素が、他方側には質量$m_2$＝２３ｇの窒素が入っている。水素ガスは円筒体積のどれだけの部分を占めているか。

２０．３３　容積Ｖ＝１０リットルの鉄製気球内を水素で満たし、温度Ｔ＝２９０Ｋなるまで圧縮する。気球の耐圧がｐ＝５０ＭＰａとすれば、気球内にどれだけの水素を入れれるか。

２０．３４　質量$m_N$＝１．０ｋｇの窒素気体の入っている気球が、実験中に、$T_1$＝６３０Ｋで破裂した。$T_2$＝２７０Ｋの水素ならば何ｇ、この気球に詰められるか。

２０．３５　Ｕ字管中の空気柱の高さｌ＝３０ｃｍ、水銀中の高さｈ＝１４ｃｍ（図１３４）。空気の温度は$t_1$＝２７℃、大気圧は水銀柱でＨ＝７６ｃｍ．大気圧はそのままで、温度が$t_2$＝１２℃まで低下したとすれば、水銀柱の変化はどれだけとなるか。

２０．３６　Ｔ＝２９０Ｋの気体の入った２つの同型の容器が、直径ｄ＝４．０ mm の水平なパイプで連結している。パイプの中間には水銀液滴が詰まっている。２つの容器とパイプの容積は合計でで
Ｖ＝０．４リットル。容器の片方の温度を
$\Delta$Ｔ＝１．０Ｋ上昇させ、他方の容器を同じ温度だけ下降させると、液滴はどう移動するか。容器、パイプの熱膨張は無視する。

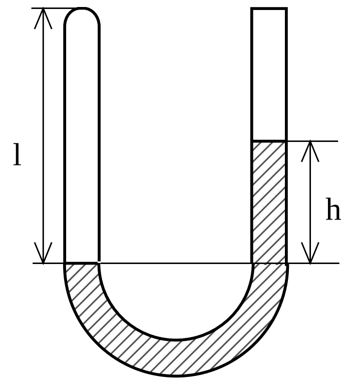

図１３５

２０．３７　同じ気体で、同じ質量の入った２つの容器が、栓付きの管で連結し、栓は閉じている。片方の容器内の圧力は$p_1$＝１．０×１０$^5$ Pa、他方は$p_2$＝３．０×１０$^5$ Pa。温度は同じである。栓を開けると、気圧はどうなるか。

２０．３８　容積 V=１．０リットルの容器に、質量$m_O$＝２．０ｇの酸素と、質量$m_N$＝４．０ｇの窒素を入れる。温度Ｔ＝２７３Ｋで、混合気体の圧力はいかほどか。

２０．３９　容積Ｖ＝１．５リットルの容器に、酸素と二酸化炭素の混合気体が入っている。温度はＴ＝３００Ｋ、圧力はｐ＝２．０ＭＰａ。気体の各々の質量を求めよ。

２０．４０　閉じた容器内に、空気と質量ｍ＝１．０ｇの水滴が入っている。容器の容量はＶ＝７５リットル、圧力は$p_1$＝１２ｋＰａ、温度は２９０Ｋ。水滴が蒸発してしまうと、容器内の圧力は幾らとなるか。

２０．４１　大気圧の空気中には、質量比で、窒素は$n_N$＝０．７６、酸素は$n_O$＝０．２４、存在する（他の気体成分は無視する）。空気の平均分子量を求めよ。

２１節　蒸気の性質。湿度

２１．１　ピストンの付いたシリンダー内に蒸気が入っている。蒸気が完全に液化するまで、ゆっくりと圧縮する。（Ｐ、Ｖ）のグラフを示せ。

２１．２　理想気体中における分子の振る舞いと、圧縮により飽和している蒸気中の分子の振る舞いを比較せよ。

２１．３　ピストン付きのシリンダー内に、温度３０℃の水蒸気が３．０ｇ入っている。気体を等温的に圧縮する。体積が幾らになると、結露をし始めるか。

２１．４　容積５０リットルの気球に、温度１７℃の水蒸気が０．３０ｇ入っている。温度を幾らとすれば、水蒸気は飽和するか。

２１．５　片方の閉じたパイプに水を入れ、開放端を水の入った容器に沈める。全体を１００℃までゆっくりと加熱する。パイプ内の水はどうなるか。

２１．６　１００℃における水の飽和蒸気の密度は幾らか。

２１．　７２０℃における水の密度は、その温度における飽和蒸気の密度よりどれだけ大きいか。

２１．８　ピストン付きのシリンダー内に、質量$m_1$＝３５ｇの水と質量$m_2$＝２５ｍｇの水蒸気が入っている。蒸気を等温的に膨張させる。シリンダー内の水が完全に蒸発するとき、シリンダーの体積は幾らとなっているか。

２１．９　ピストン付きのシリンダー内に、温度ｔ＝１００℃、圧力$p_1$＝４０ｋＰａの水蒸気が入っている。シリンダー内の体積を等温的に５分の１にすると、蒸気圧は幾らとなるか。

２１．１０　容量０．５０リットルの完全に乾燥している容器内に室温下（２０℃）で、水蒸気をゆっくりと入れる。容器内の圧力が１００ｋＰａとなるためには、どれだけの水蒸気を入れなければならないか。

２１．１１　水銀気圧計の管中に僅かな水滴を入れ、蒸発させる。大気の温度が２１℃であれば、水銀面はどれだけ低下するか。

２１．１２　両端の閉じたU字管中の肘の部分に水が入っている。両側の腕の部分に、空気が入っているのかを知る方法を述べよ。

２１．１３　容積Ｖ＝１０リットルの容器中に、温度ｔ１＝０℃、圧力$p_1$＝０．１０ＭＰａの乾燥空気が入っている。これに質量m＝２．０ｇの水を注入し、温度$t_2$＝１００℃まで加熱したら、容器内の圧力は幾らとなるか。

２１．１４　容積Ｖ＝１０リットルの容器を、圧力$p_1$＝０．１０ＭＰａ、温度$t_1$＝１０℃の乾燥空気で満たす。容器内にm＝１０ｇの水を注入し、温度$t_2$＝１００℃まで加熱したら、容器内の圧力は幾らとなるか。

２１．１５　両端が閉じている体積Ｖ＝２．０リットルの円筒容器の内部に、自由に動ける軽くて薄いピストンが付いている。ピストンの下を、質量$m_w$＝０．０９０ｇの水で満たし、ピストンの上を$m_O$＝０．１６ｇの酸素で満たす。温度ｔ＝１００℃での円筒容器中でのピストンの安定位置を求めよ。

２１．１６　空気の温度$t_1$＝３８℃、絶対湿度は$\rho_1$＝２５ｇ／$m^3$である。空気の温度がｔ２＝１０℃まで低下したら、この空気の絶対湿度は幾らとなるか。

２１．１７　体積Ｖ＝７００リットルの気球を、温度ｔ＝２４℃の空気で充填したら、空気の相対湿度は幾らとなるか。但し、この体積を完全飽和蒸気で満たすためには質量ｍ＝６．２ｇの水を蒸発させる必要である。

２１．１８　容量Ｖ＝１００リットルの容器中に、温度ｔ＝２９℃、相対湿度$ｆ_{1}$＝８．３％の空気が入っている。容器中に、質量ｍ＝１５ｍｇの水を入れると、相対湿度は幾らとなるか。

２１．１９　絶対湿度が増大するのにもかかわらず、相対湿度が小さくなるのはどの様な条件でか。

２１．２０　冷たい秋雨が、一日中、しとしと降っている。室内一杯に洗濯した下着が吊されている。小窓を開ければ、下着の乾きが早くなるか。

２１．２１　室内は、温度は$ｔ_{1}$＝２５℃、相対湿度は$ｆ_{1}$＝１２％である。室温がゆっくりと$ｔ_{2}$＝１４℃まで下がると、相対湿度はどうなるか。

２１．２２　夕方、温度$ｔ_{1}$＝１４℃での空気の相対湿度は$ｆ_{1}$＝８０％であった。夜になると温度は$ｔ_{2}$＝６°まで低下し、露が降りた。体積Ｖ＝１．０$ｍ^{3}$の空気中のどれだけの水蒸気が凝縮したか。

２１．２３　隣り合っている面積$Ｓ_{1}$＝１５$ｍ^{2}$、相対湿度$ｆ_{1}$＝６０％の部屋と、$Ｓ_{2}$＝１０$ｍ^{2}$、相対湿度$ｆ_{2}$＝５０％の部屋の間の扉を開けると、空気の相対湿度はどうなるか。室温は同じとする。

補足問題

．１　器壁が薄い長さ１１４ｃｍ、一端は閉じられ、他端には栓がしっかりと填り込んでいるパイプ中に、大気圧の２／３だけの気圧の窒素が入っている。パイプを栓をした側を下として垂直にし、水銀の入った容器に深さ３８ｃｍまで沈める。栓を抜いたとき、パイプ中の水銀面と容器の水銀面の高度差を求めよ。大気圧は常圧である。

．２　同じ容積の２つの容器を、細いパイプで連結する。片側の容器の温度を一定に保ち、他方の容器の温度を１．５倍上昇させると、どれだけの気体が移動するか。容器内の圧力は何倍となるか

．３　図１３６に（Ｐ，Ｖ）座標系での閉サイクルが描写されている。このサイクルを（Ｖ，Ｔ）座標系、（Ｐ，Ｔ）座標系で描写せよ。

．４　理想気体１モルを状態１から状態２へ変化させる（図１３７）。$Ｐ_{0}$＝７４７．９ＭＰａ、$Ｖ_{0}$＝２０リットルとして、気体の最大温度を求めよ。

．５　一端が閉じた長さｌ＝６０ｃｍのパイプを、開放端を下にして垂直に水銀中に沈める。パイプをどれだけの深さまで沈めると結露が起こるか。パイプの温度は不変とする。大気圧は常圧。空気の湿度はｆ＝８０％。

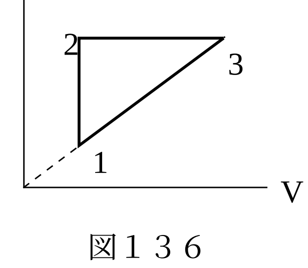


図１３６

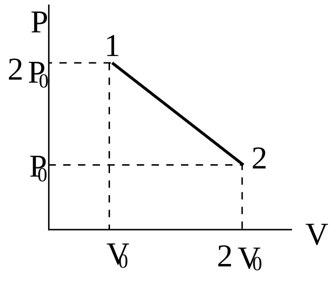


図１３７

第５章　熱と仕事

２２節　熱交換による内部エネルギーの変化

２２．１　質量１．０ｋｇの鉛の塊と、質量５００ｇの鉄の塊では、どちらの方が熱量量が大きいか。

２２．２　同じ体積の鉄、鉛、アルミニューム塊がある。熱容量が最も大きいのはどれか。最も小さいのはどれか。

２２．３　図１３８に２つの物体の伝達熱量に対する温度依存性のグラフが示されている。どちらの方が熱容量が大きいか。

２２．４　伝達する熱量に対する温度依存性を示している図１３８に従って以下を定めよ。（１）物体の質量が等しいとすれば、比熱が大きいのどちらか。（２）比熱が等しいとすれば、どちらの方が質量が大きいか。

２２．５　熱湯をアルミニューム製のコップに注ぐ。熱湯とコップの質量は同じである。水が下がった温度分だけ、コップの温度が上がるか？　熱湯を同じ質量でできている鉄製のコップに注いだ場合では、どうか。周りへの熱の放散は無視する。

２２．６　暖まっている金属製物体を液体の入っている容器に沈めた。図１３９に、物体の温度と容器中の液体の温度の時間依存性がグラフで示している。金属製物体の熱容量と、液体の入った容器の熱容量にはどれだけの違いがあるか。

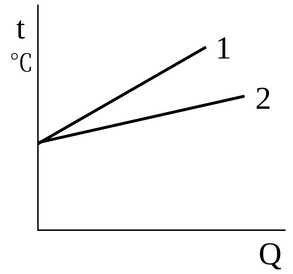


図１３８

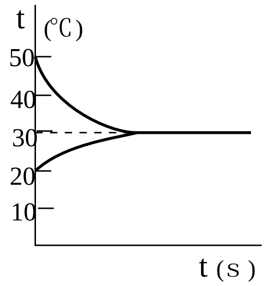


図１３９

２２．７　８０℃の水２リットルを、６０°まで冷却するのに、１０℃の水を付け足す。１０℃の水はどれだけ必要か。

２２．８　風呂の準備をする。$t_1$＝１１℃の冷たい水に、$t_2$＝６６℃の熱水を混ぜる。$t_3$＝３６℃、Ｖ＝１１０リットルの風呂とするには、冷水と熱水を各々幾ら混ぜ合わせればよいか。

２２．９　温度$t_1$＝１５℃、質量$m_1$＝０．１２ｋｇのガラスコップに、温度$t_2$＝１００℃、質量$m_2$＝０．２ｋｇの熱湯をコップ中の水温は幾らとなるか。

２２．１０　質量$m_1$＝１００ｇのガラスコップに、$m_2$＝２００ｇの水を注ぐ。全体の温度は$t_1$＝７５℃となった。これに、質量$m_3$＝８０ｇ、温度$t_2$＝１５℃の銀製のさじを入れると温度は幾らとなるか。

２２．１１　質量$m_1$，$m_2$、比熱$c_1$，$c_2$，初期温度$T_1$，$T_2$（＜$T_1$）の２種の液体を混合すると、温度が$T_0$となる。これらのパラメータの間の関係式を求めよ。容器の熱容量は無視する。

２２．１２　温度$T_K$＝２７８Ｋ、質量$m_K$＝７５ｇの熱量計に、温度$T_L$＝２９３Ｋ、質量$m_L$＝３２ｇの液体を注いだ。熱量計が温度$T_1$＝２８８Ｋとなったとき、温度$T_{Cu}$＝２８１Ｋ、質量$m_{Cu}$＝４００ｇの銅の塊を熱量計に入れた。その後、熱量計の温度は$T_2$＝２８５Ｋとなった。熱量計の熱容量と液体の熱容量を求めよ。周りとの熱交換は無視する。

２２．１３　－５０℃の氷１ｋｇに、５２０ｋＪの熱を加えた。氷の温度と熱の流入時間の関係をグラフに描写せよ。

２２．１４　全体の熱容量がＣ＝１．５ｋＪ／Ｋ、温度$t_1$＝２０℃の水の入った容器に、温度$t_2$＝

$-8$℃、質量$m_1$＝５６ｇの氷を入れた。全体の温度は幾らとなるか。

２２．１５　全体の熱容量がＣ＝１．７ｋＪ／Ｋ、温度$t_1$＝２０℃の水の入った容器に、温度$t_2$＝$-8$℃、質量$m_1$＝１００ｇの氷を入れた。全体の温度は幾らとなるか。

２２．１６　温度$t_1$＝５℃、質量$m_2$＝５０ｇの水の入った質量$m_1$＝１００ｇの銅製の熱量計に、温度$t_2$＝－３０℃、質量$m_3$＝３００ｇの氷を入れた。平衡温度を求めよ。

２２．１７　質量$m_1$＝５．０ｋｇの氷と質量$m_2$＝１５ｋｇからなる温度ｔ＝０℃の混合物を、温度$t_2$＝１００℃の水蒸気で、$t_1$＝８０℃まで加熱したい。必要な水蒸気の量を求めよ。

２２．１８　０℃の水が少量入っている容器から、急速に空気を吐き出せば、水を氷とさせることができる。入っている水のどれだけの部分が氷となるか。０℃における水蒸気の比熱はｒ＝２．３ＭＪ／ｋｇである。

２２．１９　アルコールランプで、質量$m_1$＝１００ｇの水を$t_1$＝１６℃から$t_2$＝７１℃まで加熱した。この過程で、質量$m_2$＝１０ｇのアルコールが燃焼した。装置の効率計数$\eta$を求めよ。

２２．２０　？？ガスコンロで、アルミニューム製鍋（質量$m_1$＝４００ｇ）に入っている体積Ｖ＝２．０リットルの水を、$t_1$＝１５℃～ｔ２＝７５℃まで加熱するため、質量$m_2$＝３０ｇの燃焼ガスを消費した。ガスコンロの効率計数$\eta$を求めよ。なを、容器の加熱に消費された熱は１００％有効とみなす。水の加熱に消費された熱だけを有効とみなせば、結果はどうなるか。

２２．２１　呼子付きのヤカンに質量$m_1$＝１．０ｋｇの水を入れ、Ｐ＝９００Ｗの電熱器にかけた。$\tau_1$＝７．０分後、呼び子が鳴った。その後、$\tau_2$＝２分経過した後、ヤカンにどれだけの水が残っているか。電熱器の効率はいかほどか。初期温度はｔ＝２０℃とする。

２２．２２　断面積Ｓ＝２０$cm^2$の鉄製の梁がある。この梁が$\Delta l$＝６．０ mm だけ伸びるためにはどれだけの熱量を与える必要があるか。

２２．２３　銅でできた球がある。体積が$\Delta V$=１０$cm^3$増加させるためには、どれだけの熱量を与える必要があるか。

２２．２４　面積が同じであるが、厚さ$h_1$＝４．０ mm、$h_2$＝６．０ mm、温度が各々$t_1$＝２０℃、$t_2$＝２００℃の２枚の銅板がある。これらをぴったり重ね合わせる。合板の厚さを求めよ。

## ２３節　熱過程における内部エネルギーの変化

２３．１　速さｖ＝３６ｋｍ／ｈで走っている質量ｍ＝１．０ｔの自動車が、信号の前で急ブレーキをかけて停止した。ブレーキ中にどれだけの熱量が発生したか。

２３．２　温度０℃で質量５．０ｋｇの２枚の氷をお互いに摩擦して溶かすためには、どれだけの仕事が必要か。

２３．３　廊下の床に、同じ高さから、同じ質量の３つの球が落下する。１つは銅製、２つ目は鋼鉄製、３つ目は鉄製。（１）どの球が一番温度が上昇するか。（２）鉄製球と鋼鉄製球のどちらが早く温度が上昇するか。

２３．４　速さ$v_1$＝５００ｍ／ｓで飛行する鉛弾が壁を突き抜けた。壁を通り抜けた後の弾丸の速さが$v_2$＝４００ｍ／ｓとすれば、弾丸はどれだけ温度が上昇したか。弾丸の加熱には放出熱量のｎ＝５０％が使われるものとみなす。

２３．５　高度差ｈ＝１０ｍの滝の滝壺では、水温はどれだけ上昇するか。力学的エネルギーの$\eta$＝５０％が水の加熱に消費されるものとする。

２３．６　速さｖ＝３６ｋｍ／ｈで走行中の列車が急ブレーキをかけた。タンク車中の液体の温度の上昇を求めよ。石油、水、アルコール、硫酸。

２３．７　馬を利用した大砲の砲身の中繰りにおいて、砲身を入れた炉から、容積Ｖ＝１０リットルの水が水蒸気として蒸発した。水の最低温度はｔ＝２０℃、τ＝６分間で質量m＝２００ｇの水が蒸気となった。この過程で発生した全熱量のη＝８０％が水の加熱と蒸発に消費されたものとすれば、中ぐり過程においてどれだけの馬力が出力されていたか。

２３．８　衝突した際に、鉛の弾丸が溶け出すためには、弾丸はどれだけの速さで衝突しなければならないか。弾丸の初期温度は２７℃。衝突において発生した熱量は全て弾丸に伝わるものとみなす。

２３．９　質量m＝２５ｇの銅の塊に、質量M＝１０００ｋｇのハンマーが落下したとき、銅が完全に溶けるためにはハンマーはどれだけの高さから落下しなければならないか。過程で発生した熱量のη＝５０％が銅に伝わるものとする。銅の初期温度はｔ＝２３℃。

２３．１０　平らな水平面上にある箱を弾丸が貫いた。弾丸の質量m＝１０ｇ、箱の質量M＝５００ｇ、弾丸は速さ$v_1$＝１０００m／ｓで箱に飛んでくる。箱から$v_2$＝ｖ１／４で飛び去る。弾丸が箱を通過中にどれだけの熱量を発生するか。過程で弾丸は全て水平に飛んでいるものとする。

２３．１１　質量m＝１０ｇの鉛の弾丸が速さｖ＝１００m／ｓで水平に飛行し、長い糸で吊された質量M＝１．０ｋｇの木片に衝突する。衝突において発生した熱量のη＝７０％が弾丸の加熱に消費されるものとすれば、弾丸は何度加熱されるか。

２３．１２　カービン銃の発射において、どれだけの火薬の量が燃焼するか。弾丸の質量はm＝１０ｇ、弾丸が銃口を飛び出すときの速さはｖ＝７００m／ｓ、エネルギー効率はη＝３０％。

２３．１３　距離ｓ＝１．０ｋmを速さｖ＝６０ｋm／ｈで走行する車の燃料消費量を求めよ。エンジンの出力はＰ＝１７ｋW、エネルギー効率はη＝３０％。

２３．１４　距離Ｓ＝５０ｋmを走行するのに、ガソリンm＝５．６７ｋｇを消費する車がある。走行速度はｖ＝９０ｋm／ｈ、エネルギー効率はη＝２２％ととして、エンジンの出力Ｐを求めよ。

２３．１５　質量M＝１．０ｔの自動車が、平地走行と比較して、長さｌ＝１００m当たり高さｈ＝3mの坂道を距離ｓ＝１．０ｋmを登坂する際に要する燃料は何倍となるか。エネルギー効率はη＝３０％。車の速さは両方で同じとする。

２３．１６　自動車が速さ$v_1$＝７２ｋm／ｈで走行する際、距離ｓ＝１．０ｋm当たり質量$m_1$＝８０ｇのガソリンを消費する。速さ$v_2$＝９０ｋm／ｈで走行したならば、それだけのガソリンを消費するか。この時自動車はどれだけの馬力を出しているか。抵抗は速さに比例しているものとする。エネルギー効率はη＝２８％。

## ２４節　気体への初等熱力学の適用

２４．１　自身の体積を変化させることなく、気体は周りの媒質とエネルギーを交換することができるか。

２４．２　気球に入っている質量m＝４０ｇのヘリウムをΔＴ＝２０Kだけ加熱するのに必要な熱量はどれだけか。ヘリウムの比熱は幾らか。

２４．３　容積Ｖ＝２０リットルの容器に閉じこめられている定常状態のネオンをΔＴ＝９１Kだけ冷却した。気体の内部エネルギーの変化量と気体から放出された熱量を求めよ。

２４．４　容積Ｖ＝２．０リットルの容器に、圧力$p_1$＝１．０MPａのクリプトンが入っている。容器の器壁は圧力$p_2$＝２．０MPａまで耐えることができる。気体のどれだけの熱量を与えることができるか。

２４．５　容積Ｖ＝５０リットルの気球に温度$T_1$＝２９０Ｋ、圧力$p_1$＝５００ｋＰａの気体が入っている。熱量Ｑ＝５．０ｋＪを与えると、気体の温度と圧力は幾らとなるか。

２４．６　１原子分子気体１モルを一定体積のもとで温度Ｔ＝２８０Ｋまで加熱する。気体の圧力がｎ＝３倍となったとすれば、どれだけの熱量を気体に与えたか。

２４．７　気体の温度を上昇させることなく、気体に熱を与えることができるか。

２４．８　酸素気体の等温膨張において、仕事量Wを与えた。この過程で、気体はどれだけの熱量を獲得したか。

２４．９　ピストンの付いたシリンダー内の気体が、図１４０に示しているように状態を変化させる。気体の温度はどう変化したか。気体はどれだけの仕事をなしたか。

２４．１０　図１４１中で、状態１から状態３への変位で気体のなす仕事を求めよ。

２４．１１　図１４２のａとｂで、状態１から状態４への変位で、気体がなす仕事を求めよ。

２４．１２　一定圧力下でヘリウムを加熱する。この過程で、２０ｋＪの熱量がヘリウムに与えられた。ヘリウムの内部エネルギーの変化量と、ヘリウムによってなされた仕事量を求めよ。

２４．１３　質量m＝１．０ｇのクリプトンを、一定圧力下でΔＴ＝１００Ｋだけ加熱する。気体はどれだけの熱量を獲得したか。

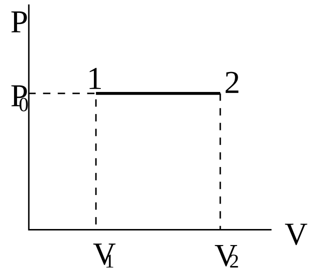

図１４０

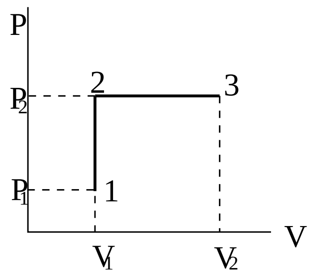

図１４１

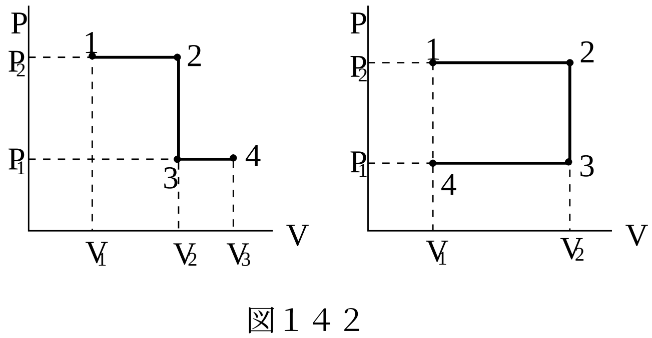

図１４２

２４．１４　ピストンの付いた垂直状態にあるシリンダー内に、温度$T_1$＝２９９Ｋ、体積Ｖ＝２．０リットルの気体が入っている。気体をΔＴ＝１００Ｋだけ加熱したとき、気体の膨張のなす仕事を求めよ。ピストンの質量はm＝１０ｋｇ、その面積はＳ＝５０ｃm$^2$、圧力は大気圧である。

２４．１５　m＝１．０ｋｇの水が温度Ｔ＝３７３Ｋで水蒸気になるとき、どれだけの仕事がなされるか。どれだけのエネルギーで、分子間の結合が壊れるか。

２４．１６　面積Ｓ＝１．０ｄｍ$^2$のピストンの付いたシリンダー内に、１モルの空気が入っている。滑車を経由して質量Ｍ＝５５ｇの錘をピストンに取り付ける。シリンダーをΔＴ＝１００ｋだけ冷却する。錘はどれだけ上昇するか。気圧は常圧。

２４．１７　温度Ｔ＝３２０Ｋ、質量ｍ＝０．３ｋｇの酸素を等積のまま冷却した。その結果、圧力はｎ＝３倍小さくなった。その後、気体を等圧のまま膨張させ、気体の温度を最初の温度に等しくした。気体はどれだけの仕事をなしたか。気体の内部エネルギーはどれだけ変化したか。

２４．１８　図１４３に示している等積、等温、等圧からなるサイクル過程において、気体と媒質間のエネルギー交換について考察せよ。

２４．１９　図１４４に示している２つの等温過程、２つの断熱過程からなるサイクル過程において、気体と媒質間のエネルギー交換について考察せよ。

２４．２０　サイクル過程の結果、気体は仕事Ｗ＝１００Ｊをなし、低温側に熱量Ｑ＝４００Ｊを放出した。サイクロの有効効率を求めよ。

２４．２１　１原子分子気体１モルが、２つの等積過程、２つの等圧過程のサイクルをなす。この過程で、最大圧力は最低圧力の$n_1$＝２倍、最大体積は最小体積の$n_2$＝３倍となった。サイクルの効率計数を求めよ。

２４．２２　図１４５に示している２つの断熱過程、２つの等積過程からなるサイクルの効率を求めよ。気体は理想気体であり、断熱膨張過程において$T_2$＝０．７５$T_1$、断熱圧縮過程において$T_3$＝０．７５$T_4$が成り立っている。

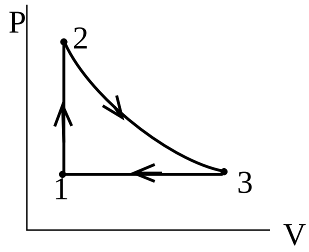


図１４３

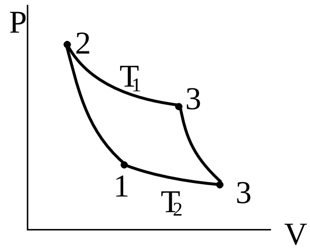


図１４４

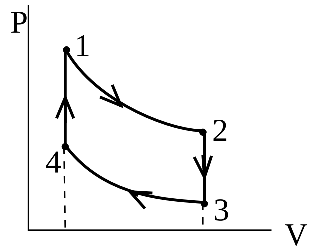


図１４５

２４．２３　気体がカルノーサイクルをなす。高熱源の温度は定熱源の温度より３倍高い。低温源に放出される熱量の割合を求めよ。

２４．２４　カルノーサイクルを行う気体が、高熱源からの熱量のη＝７０％を低熱源に放出する。高熱源の温度は$T_h$＝４３０Ｋ。低熱源の温度を求めよ。

２４．２５　気体がカルノーサイクルを行う。低熱源の温度は$T_1$＝２８０Ｋ、高熱源の温度は$T_2$＝３８０Ｋ。高熱源の温度をΔＴ＝２００Ｋだけ上昇させると、サイクルの効率は何倍となるか。

２４．２６　蒸気タービンで、仕事Ｗ＝１．４ｋＷ・ｈをなすとき、質量ｍ＝０．４５ｋｇのディーゼル燃料を消費する。その燃焼において、熱を放出する。タービンに入射する蒸気の温度は$T_h$＝５２０Ｋ、低熱源の温度は$T_l$＝３００Ｋ。このタービンの効率を、同型の理想熱機関との効率と比較せよ。

２４．２７　エンジンは時間τ＝１．０ｈ当たり、質量ｍ＝５．０ｋｇのガソリンを消費する。エンジンの最大有効仕事率を求めよ。エンジンのシリンダ中での気体の温度は$T_1$＝１２００Ｋ。使用済み気体の温度は$T_2$＝３７０Ｋ。

補足問題

．１　－５℃にある過冷却水は、熱力学的には０℃と同じ状態にある。水のどれだけの量が氷となるか。水の比熱は温度に依存しないものとみなす。

．２　水平に速さｖ＝１００ｍ／ｓで飛行している質量ｍ＝ｇの鉛の弾丸が滑らかな水平面上に静止している鉛の錘に打ち当たる。衝突前の弾丸の温度が $t_1$＝２３０℃、錘の温度が $t_2$＝２０℃として、衝突後、一体となった温度を求めよ。

．３　仕事率Ｐ＝２００Ｗの冷蔵庫に、温度ｔ＝２０℃、質量ｍ＝２ｋｇの水を入れた。τ＝３０分後、水全部が氷となった。この過程で、室内にどれだけの熱量が放出されたか。

．４　理想気体１モルが状態１から状態２へ変位する（図１４６）。加熱において気体はどれだけの熱量を獲得するか。冷却においてはどうか。但し、$p_0$＝７６０ｈＰａ、$V_0$＝２０リットル。

．５　図１４７に示されている理想気体である作業物質のサイクル効率を求めよ。ただし、$p_2$＝２$p_1$、$V_2$＝４$V_1$。

．６　作業物質が理想気体である熱機関が、図１４８に示しているサイクルを行う。この期間の効率を求めよ。ただし、$p_2$＝２$p_1$、$V_2$＝４$V_1$。

．７　ピストンの付いた熱絶縁性容器の中に、温度ｔ＝１００℃で、体積Ｖ＝１．０リットルの水と、質量ｍ＝３．０ｇの飽和水蒸気が入っている。ピストンを動かし、水蒸気の体積をゼロとする。ピストンを動かすにおいて使われた仕事量を求めよ。水は何度加熱されたか。

．８　容積Ｖ＝１０リットルの断熱性容器の中に温度ｔ＝８９℃、質量ｍ＝５．８５ｇの過冷却水蒸気が入っている。このような状態は安定でないので、水蒸気は凝縮をし始め、常圧で容器内の釣合が達成される。水蒸気の比熱を求めよ。水の蒸発熱はｒ＝２２．６×１０５Ｊ／ｋｇとする。

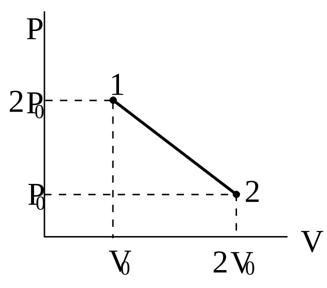


図１４６

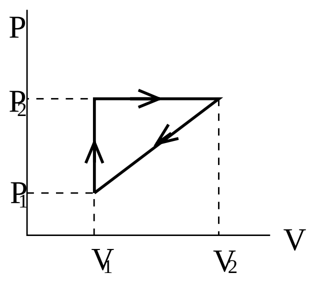


図１４７

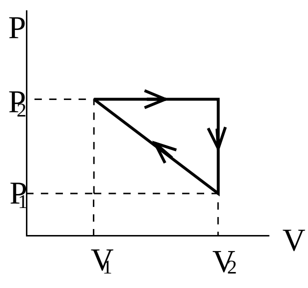


図１４８

第３部　電気

第８章　静電気学

２５節　電荷。クーロンの法則

２５．１　クーロンの捻り秤の球を帯電させる（図１４９）。これにより、針が平衡位置から角度$\alpha_1$＝１０°傾いた。傾きが$\alpha_2$＝７°まで小さくなるためには、捻りの上のマクロメータを何度回転すればよいか。

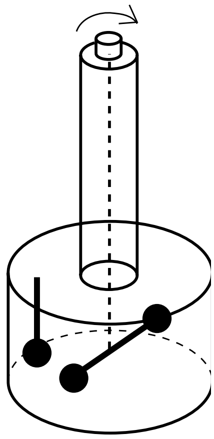

図１４９

２５．２　質量ｍ＝１ｋｇの銅片内の電子の全荷電量を求めよ。

２５．３　絶縁された導体球に正電荷を与える。この時その質量は変化するか。

２５．４　２つの電子の静電相互作用力と重力相互作用力を比較せよ。

２５．５　荷電の相互作用の電気力が重力の引力の作用力と等しくなるためには、月と地球に等しい正電荷をどれだけ配当しなければならないか。

２５．６　２つの同型の水滴に、１個ずつ余分な電子があり、水滴の静電反発力がそれらの相互引力と釣り合っている。水滴の半径はいくらか。

２５．７　２つの小球の各々が＋に帯電し、全電荷量はｑ＝５×$10^{-5}$Ｃである。それらは間隔ｒ＝２ｍ離れて、力Ｆ＝１Ｎで反発しているとすれば、この電荷量はどのように配分されているか。

２５．８　２つの荷電$q_1$＝１．７ｎＣ、$q_2$＝－２．５ｎＣがｒ＝３．２ｃｍ離れている。荷電$q_2$が力の作用を受けないためには、$q_3$＝３．４ｎＣの荷電をどこにおけばよいか。

２５．９　正に帯電している２つの自由に動ける荷電４ｑ、ｑがあり、お互いの距離はａである。どのような荷電をどこにおけば、これらのシステムは釣合の状態にあるか。

２５．１０　一辺ａ＝３ｃｍの正三角形の頂点に３つの同じ荷電ｑ＝１．７ｎＣがある。お互いにどのような力を受けているか。

２５．１１　１０μＣずつを持った３つの同じ荷電が正三角形の３つの頂点にある。全系が釣合の状態にあるためには、どこにどのような荷電をおく必要があるか。

２５．１２　正方形の角に４つの同じ荷電ｑが配置されている。全系が釣合の状態にあるためには、正方形の中心にどれだけの反対符号荷電をおくべきか。

２５．１３　糸に質量ｍ＝９．８ｇの球を吊し、荷電量ｑ＝１μＣを与える。その下に、同じ量帯電している球を近づけると、糸の張力は４分の１となる。球間の距離を求めよ。

２５．１４　帯電している小球を同じ形状の帯電していない小球に接触させた。その後、ｒ＝９ｃｍはなしておくと、球はＦ＝０．２５ｍＮの力で反発した。球の最初の荷電量はいくらか。

２５．１５　フックに取り付けられている長い絶縁糸に２つの小さい導体球が吊されている。球に同じだけ帯電させると、ｒ＝５ｃｍ離れた。球の一つを放電させると、どうなるか。

２５．１６　真空中にある２つの荷電が、間隔$r_1$＝２７ｃｍ離れて相互作用している力は、水中で$r_2$＝３ｃｍ離れているときと同じであった。水の比誘電率を求めよ。

２５．１７　同じ長さの糸に吊されている２つの帯電球を灯油に沈める。空気中と灯油中で糸の分離角度が同じであるためには、球の材料の密度は幾らでなければならないか。

２５．１８　質量m、荷電量ｑの球が、長さｌの糸に吊され、、同じ量だけ帯電していが、静止している荷電の周りを回転する。糸の方向と垂直線との角度はα。球の等速回転の角速度、糸の張力を求めよ。

２６節　電場。電圧。電場の力の仕事。ポテンシャル
２６．１　電気力線が交わらない理由を説明せよ。

２６．２　次の場合において２つの荷電間の電気力線を描け。ａ）ｑとーｑ、ｂ）ｑとー２ｑ。

２６．３　荷電ｑ＝１ｎＣで形成される電界の電位と荷電までの距離依存性をグラフ化せよ。

２６．４　２つの荷電$q_1$＝０．２７μＣ、$q_2$＝０．１７μＣが距離ｌ＝２０ｃm離れてある。荷電を結ぶ直線上のどこの点において、電位がゼロとなるか。

２６．５　Ａ点での、点電荷による電位は、$E_A$＝３６Ｖ／m、Ｃ点では$E_C$＝９．０Ｖ／m（図１５０)。点ＡとＣの中間に位置する点Oでの電位を求めよ。

２６．６　２つの荷電がｘ軸上にある。１つの荷電は１．２５ｎＣで、点$x_1$＝３．０ｃmの所にあり、もう１つはー１．２５ｎＣで、点$x_2$＝ー３．０ｃmにある。点（０，０)、（０，３．０)、（０，ー３．０）での電位の大きさと方向を求めよ。

２６．７　ｘ軸上におかれた２つの荷電で電界ができている。１つは＋ｅで、点ｘ＝１．０ｃmの所にあり、もう１つはー４ｅで、点ｘ＝ー２．０ｃmの所にある。ゼロ電位の点の座標を求めよ。そのような点はいくつあるか。

２６．８　各々１．５ｎＣを持つ２つの同型の荷電がｘｙ面にある。１つの荷電は点ｘ＝３．０ｃm、ｙ＝０ｃmに、もう１つはｘ＝０ｃm、ｙ＝２．０ｃmにある。点（３．０，２．０）における電位の大きさと方向を求めよ。）

２６．９　ｑ＝４０μＣの４つの同じ荷電が１辺ａ＝２mの正方形の頂点に位置している。正方形の中心から対角線の方向に２ａの距離での電位はいくらか。

２６．１０　電気モーメントｒ＝２．０×$１０^{-12}$Ｃ・mの点双極子で作られる電位を、双極子の軸に垂直で、双極子の中心からｄ＝１０ｃm、で求めよ。

２６．１１　双極子の荷電間隔がｌ＝１．０μm。これらの荷電からｄ＝２ｃm離れた点での電位がＥ０＝１．８Ｖ／mのとき、荷電の量を求めよ。

２６．１２　電場が点電荷で作られている。点ＡとＣでのポテンシャルが$\phi_A$＝１５Ｖ、$\phi_C$＝５．０Ｖ（図１５０)。点ＡとＣの中間点Oにおけるポテンシャルを求めよ。

２６．１３　１．０ｎＣづつ帯電したいる２つの同型の荷電がある間隔離れている。荷電の各々から９ｃm離れた点におけるポテンシャルを求めよ。荷電の存在している空間全体が灯油で満たされているとすれば、このポテンシャルはどのように変化するか。

２６．１４　半径$r_0$＝９ｃmの球の表面に、正の荷電ｑ＝０．１ｎＣが一様に分布している。球の中心と球からｒ＝９０ｃmの距離での電位とポテンシャルを求めよ。

２６．１５　半径Ｒの球が表面密度σで一様に帯電している。電位とポテンシャルを、球の中心からの距離の関数として求めよ。関数Ｅ（ｒ)、φ（ｒ）を作図せよ。

２６．１６　大小２つの球が面密度σで一様に帯電している。球の電位は同じであろうか。

２６．１７　直径ｄ＝１８ｃmの金属球がポテンシャルφ＝３００Ｖまで帯電している。球の表面に

荷電がどのような密度で分布しているか。

２６．１８　真球が一様に帯電している。球の中心のポテンシャルは$\phi_1$＝１２０Ｖ、中心から距離ｒ＝３６ｃmの点では$\phi_2$＝２０Ｖ。球の半径はいくらか。

２６．１９　２つの一様に帯電した同心球で電場が作られている（図１５１）。点Ｏ，Ａ，Ｃでの電界強度を求めよ。内球の荷電量は$q_1$＝０．１μＣ、外球の荷電量は$q_2$＝－０．６μＣ、中心から点Ａまでの距離は$r_1$＝２０ｃm、点Ｃまでの距離は$r_2$＝５０ｃm。

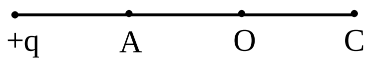


図１５０

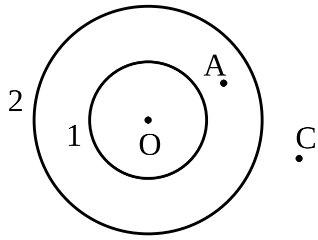


図１５１

２６．２０　２つの一様に帯電した同心球で電場が作られている。中心における電位、中心から距離$r_1$＝２０ｃm、$r_2$＝５０ｃm離れている点における電位を求めよ。球の荷電量は各々$q_1$＝１．０ｎＣ、$q_2$＝－１．０ｎＣ、球の半径は$R_1$＝１０ｃm、$R_2$＝３０ｃm。

２６．２１　半径Ｒ、２Ｒの２つの同心の導体球が$q_1$＝０．１μＣ、$q_2$＝０．２μＣの同じ符号の荷電で帯電している。球の各々から等しい距離において電位は$\phi$＝３ｋＶ。Ｒを求めよ。

２６．２２　半径Ｒの球が体積密度ρの電気で一様に帯電している。球の中心からの距離の関数として、電界強度を求めよ。Ｅ（ｒ）の関数のグラフを描け。

２６．２３　半径Ｒ＝５ｃmのエボナイト製の一様な球が、体積密度ρ＝１０ｎＣ／$m^3$で一様に分布した荷電を持っている。球の中心から距離が$r_1$＝３ｃm、$r_2$＝５ｃm、$r_3$＝１０ｃmにある点での電界強度を求めよ。Ｅ（ｒ）をグラフに描け。

２６．２４　２枚の無限に平行な板が表面密度$\sigma_1$＝１ｎＣ／$m^2$、$\sigma_2$＝－３ｎＣ／$m^2$で一様に帯電している。電界強度を求めよ。（１）板の間。（２）板の外側。板に垂直な線に沿って、電界強度の変化をグラフで描け。

２６．２５　２６．２４の問題を、$\sigma_1$＝$\sigma_2$＝２．６５μＣ／$m^2$として解け。

２６．２６　荷電４ｎＣから距離１６ｃm、２０ｃm離れている２点間のポテンシャル差を求めよ。

２６．２７　各々１μＣの２つの荷電が距離５０ｃm離れている。それらを５ｃmまで近づけるためには、どれだけの仕事をしなければならないか。

２６．２８　荷電０．１５μＣと３ｎＣが距離１０ｃm離れている。前者と反発している後者の荷電を距離１０mだけ前者から遠ざけるとき、場の力はどれだけの仕事をなすか。

２６．２９　荷電$q_1$＝０．１μＣ、$q_2$＝１ｎＣが距離ｒ＝１０ｃm離れている。これらの系のポテンシャルエネルギーはいくらか。

２６．３０　２つの電子が電気反発力の作用のもとで動いている。最初の時、電子が距離ｒ＝１ｃm離れており、それらの速度がゼロであったとき、それらが無限に離れたとき、電子の速さはいくらか。

２６．３１　２つの電子が無限に離れ、同じ速さｖ＝１ｋm／ｓで、向かい合って動き始める。電子はどれだけ最小の距離まで近づくか。

２６．３２　荷電$q_1$＝０．１５μＣを与えた質量m＝１ｇの小球を、荷電$q_2$＝０．３μＣで帯電している球に、遠方から速さｖ＝１m／ｓで投げ込む。球の最小半径が幾らの時、小球はその表面に達するか。

２６．３３　荷電ｑ、－２ｑ、３ｑが１辺ａの正三角形の頂点に配置されている。この系のポテンシャルエネルギーがいくらか。

２６．３４　問題２６．３０で議論した電子が２つではなく３つ、４つとした場合では、電子はどれだけの速さを獲得するか。

２６．３５　ポテンシャル４５０Ｖの点から電子が速さ１９０m／ｓで飛び出す。ポテンシャル４７５Ｖの点で電子はどれだけの速さを持っているか。

２６．３６　２価にイオン化し、静止しているヘリウムの原子核に向かって飛んで来ている陽子が、電界強度Ｅ＝１０ｋＶ／mのある点で、速度がｖ＝１ｋm／ｓである。陽子は原子核にどれだけの距離まで近づけるか。

２６．３７　速さ$v_0$＝１．６ｋm／ｓで水平に飛んでいる電子が、電界強度がＥ＝９０Ｖ／mで垂直上方向を向いている一様電界に飛び込む。１ｎｓ後、電子の速さと方向はどうなるか。

２６．３８　電界強度Ｅ＝１２０Ｖ／mの一様電界の力線方向に沿って電子が動く。電子の初期速度が$v$＝１．０×$10^6$m／ｓならば、完全に停止するまで電子はどれだけの距離飛行するか。その運動時間はいかほどか。

２６．３９　質量m＝１０ｎｇのゴミが電位差U＝６ｋＶの差がある電極板の間の電界中で静止している。電極間隔はｄ＝６ｃm。ゴミの荷電量はいくらか。Ｎ＝４０００個の電子分の荷電量をゴミが失ったとして、まだ釣合の状態にあるためには極板にどれだけの電界強度を付加しなければならないか。

## ２７節　電界中の導体と誘電体

２７．１　図１５２において、導体Ａの全荷電量を、導体Ｃにどのようにして伝達できるか。

２７．２　２つの完全に絶縁された導体に、大きさと荷電の符号が同じ荷電をどのようにして得ることができるか。

２７．３　荷電をすでに持っており、大きさがそれに等しい別の荷電をどのようにして得ることができるか。

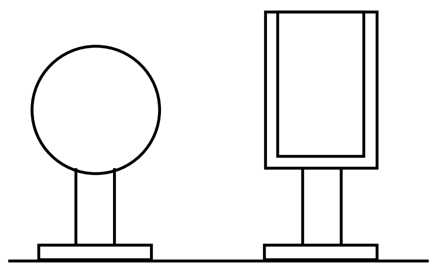

図１５２

２７．４　２つの異なった符号に帯電している金属球は、同符号に帯電したときより、大きな力でお互いに相互作用するか。

２７．５　２つの同符号に帯電している導体が引き合うことは可能か。

２７．６　正に帯電している物体が、糸に吊されている球状導体を引きつける。球は負に帯電した、とこのことから結論できるか。

２７．７　正に帯電したガラス棒が糸に吊されている物体を突き放す。物体は正に帯電していると，このことからいえるか。

２７．８　等しいが、異符号の荷電がある距離離れて配置している。２つの荷電を絶縁された薄い膜で、等ポテンシャル面に一致するように囲むと、荷電に作用している力、電界強度はどのように変化

するか。

２７．９　小さい穴の開いている中空金属球Ａを正に帯電させる。この球の内壁には荷電は存在しないことはよく知られている。金属球Ｃを導線でもって球Ａの内壁と連結すれば、Ｃは帯電するか。

２７．１０　絹糸に吊されている帯電していない金属球を、電界強度Ｅの一様な電界中におく。球の内側の点では電界強度はどうなるか。帯電している球の場合では事情は異なるか。

２７．１１　負電荷の場の中に、中空金属球をおく。場はどうなるか。図を用いて説明せよ。

２７．１２　正電荷が中空で球状の導体内にある。電気力線を用いて、導体内外の場を表記せよ。

２７．１３　同じ量に帯電している金属球の電位が２０Ｖと３０Ｖである。これらを導線で連結すると、これらの電位はどうなるか。球間の距離はそれらの半径に比較して大きい。

２７．１４　２枚の平行金属板が少し離れて配置されている。一枚目に正の荷電Ｑを与えると、二枚目にはどのような荷電が誘起されるか。

２７．１５　帯電した金属板が電界中にある。結果としての場が図１５３に示されている。板の荷電量はｑ。板の左側の電界強度は$E_1$，右では$E_2$。板にどのような力が作用するか。

２７．１６　荷電ｑ＝１．０×１０$^{-8}$Ｃを持った小球が、接地された平らな金属の壁からｒ＝３ｃｍの距離にある。これらはどのような力で相互作用をするか。

２７．１７　無限の導体板から$r_1$＝ｃｍの所に、荷電ｑ＝１．０×１０$^{-9}$Ｃがある。板から距離ｒ１だけ、荷電から距離$r_2$だけ離れている点での場の電位を求めよ。

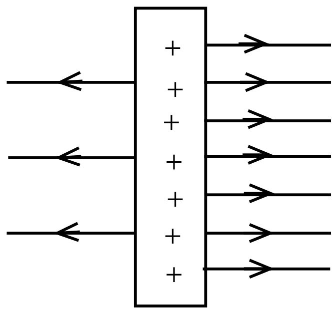


図１５３

２７．１８　垂直平面内におかれた金属板が大地と接触している。板から距離ｒ＝１０ｃｍの所に、長さＩ＝１２ｃｍの糸で吊された質量ｍ＝０．１０ｇの球がある。球に荷電ｑを与えると、球は板に引き寄せられ、糸は垂直線から角度α＝３０°だけ傾く。球の荷電量を求めよ。

２７．１９　小球が導体平板の上に、絶縁性のゴム糸で吊されている。球に荷電ｑ＝１．４μＣを与えると、球はΔｒ＝１０ｃｍだけ低くなり、板までの距離はｒ＝１０ｃｍとなる。糸の弾性定数を求めよ。

２７．２０　２枚の平行金属板が力Ｆで引き合うように帯電させる。これらの板の間に誘電体の板を入れると、この力は変化するか。

２７．２１　パラフィン製球が空気中では帯電した金属球に引きつけられるが、水中でははねつけられる。なぜか。

２７．２２　帯電した金属球を、熱い球状の誘電層で囲む。誘電体の内外の電界の力線を描け。

２７．２３　金属球の半径はＲ＝５ｃｍ、それを囲んでいる球状のエボナイト層の厚さはｄ＝５ｃｍ。球の荷電量はｑ＝６ｎＣ。球の中心から$r_1$＝６ｃｍ、$r_2$＝１２ｃｍの所の点での電界強度を計算せよ。距離と電界強度の関係をグラフにせよ。

２７．２４　表面密度σ＝２ｎＣ／ｍ$^2$で一様に分布した荷電を持つ半径Ｒ＝５ｃｍの金属球を灯油の中に沈める。金属と誘電体の境界に発生した誘電荷電の大きさと符号を求めよ。

２７．２５　２枚の垂直な板を、それらの間の電位差がΔφ＝４００Ｖとなるように、帯電させる。板を油の中に沈める。油の層の厚さがｄ＝２ｍｍならば、束縛荷電の表面電荷密度はいくらか。

２８節　電気容量。コンデンサ
２８．１　大小２つの金属球が同じ電気量で帯電している。球の電位は同じか。球を導線で連結するとどうなるか。

２８．２　大小２つの金属球が同電位まで帯電している。どちらの球の方の帯電量が大きいか。球を導線で連結すると、荷電はどちら側に流れるか。

２８．３　帯電している２つの金属球を導線で連結する。連結後、球の表面電荷密度はその半径に逆比例することを示せ。

２８．４　その容量が１Ｆならば、球の半径はいくらか。

２８．５　地球の容量を求めよ。荷電量ｑ＝１Ｃは地球の電位をどれだけ大きくするか。

２８．６　直径ｄ＝１８ｃｍの金属球を電位φ＝１０ｋＶまで帯電させる。球の荷電量を求めよ。

２８．７　同じ量の荷電で帯電されたＮ＝１０００個の同型の水滴を、１つの球状の水滴に合流させる。小さい水滴の時より、この水滴の電位はどれだけ大きいか。

２８．８　半径$r_1$＝５ｃｍ、荷電量$q_1$＝０．８ｎＣと半径$r_2$＝１０ｃｍ、荷電量$q_2$＝－２ｎＣの２つの球を細い導線で連結する。各々にどれだけの荷電は再配置されるか。連結後、球の共通電位はどうなるか。

２８．９　電位$\phi_1$＝３００Ｖまで帯電させた半径$R_1$＝１５ｃｍの球を、長くて細い導線で、帯電していない球と連結する。連結後、球の電位は$\phi_2$＝１００Ｖとなった。２番目の球の半径はいくらか。

２８．１０　電位$\phi_1$＝２７０Ｖまで帯電させた半径$r_1$＝１ｃｍの金属球を、電位$\phi_2$＝４５０Ｖまで帯電させた半径$r_2$＝１０ｃｍの空洞金属球の内部に入れる。これらを接触させた後、電位と荷電量を求めよ。

２８．１１　ある電位まで帯電させた半径Ｒ１の金属球を、半径Ｒ２の球状導体殻で同心に囲む。外殻を接地すると、電位はどうなるか。球の容量はどうなるか。

２８．１２　容量$C_1$の導体を電位$\phi_1$まで、容量$C_2$の導体を$\phi_2$まで帯電させた。２つの導体は十分に離れている。これらの導体を連結すると、電位はどうなるか。

２８．１３　同じ荷電量だけ帯電させた導体が、電位$\phi_1$＝４０Ｖ、$\phi_2$＝６０Ｖである。これら薄い導体を連結すると、電位はどうなるか。

２８．１４　容量$C_1$＝１μＦの導体を電位$\phi_1$＝６ｋＶまで、$C_2$＝２μＦの導体を$\phi_2$＝１２ｋＶまで帯電させた。導体間の距離はそれらの大きさに比較して大きい。これらの導体を針金で連結すると、どれだけの熱量が発生するか。

２８．１５　２枚の正方形の板で平板コンデンサを作った。間隔はｄ＝１mm。容量がＣ＝１μＦであるためには、これらの板の幅を幾らにしなければならないか。板の間に絶縁材を入れ、同じ容量とするためには板の１辺は幾らであればよいか。

２８．１６　２枚の銅板、厚さ０．１mmの雲母板、２mmの石英板、１mmのロウ板がある。最大のコンデンサ容量を得るためにはどの板をとる必要があるか。

２８．１７　厚さ０．１mmの雲母板で重ねられた薄い金属板から１μＦの容量基準器を作る。そのようなコンデンサの表面はどのようでなければならないか。

２８．１８　雲母板を挟んでいる平板コンデンサを蓄電池に接続した。電気量は$q_0$＝１４μＣ。雲

母板を取り去るとどれだけの蓄電池に荷電が流れるか。

２８．１９　直径ｄ＝１ｃｍの同型の２つの球がある。一つは電位差$\varphi_1$＝－６ｋＶまで、もう一つは$\varphi_2$＝６ｋＶまで充電する。これらの球の間隔をＲ＝１ｍとして、球間の引力を求めよ。

２８．２０　面積Ｓ＝０．０１$m^2$の平板コンデンサの極板はどれだけの力で相互作用するか。極板間の電位差はＵ＝５００Ｖ、間隔はｄ＝３mm。

２８．２１　平板コンデンサの極板が＋Ｑ、－Ｑの荷電を持っている。極板間隔を３倍に広げると、極板の相互作用力はどのように変化するか。

２８．２２　問題２８．２１をコンデンサの電極が電源に接続しているとして、解け。

２８．２３　平板コンデンサの容量が電極板に挟み入れる材料でどのように変化するか。（１）ガラス板。（２）金属板。厚さは電極間隔の半分とする。

２８．２４　薄い金属板を、平板コンデンサの電極の間に、極板に平行に差し入れる。これは容量にどのような影響を与えるか。板を電極の片方に接続すると、どのようなことになるか。

２８．２５　図１５４に示されているコンデンサの容量を求めよ。各々の極板の面積はＳ、それらの間隔はｄ。

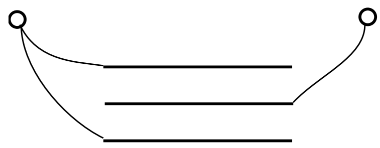

図１５４

２８．２６　電位$U_1$＝１００Ｖまで充電されたコンデンサを、同じ容量であるが$U_2$＝２００Ｖまで充電したコンデンサと連結する。１回目は同極どうし、２回目は異極どうしを接続する。各々の場合において電圧はどうなるか。

２８．２７　平板コンデンサの間隙が２種の誘電体層で充填されている。厚さ$d_1$＝１ｃｍのセラミック、$d_2$＝２ｃｍのパラフィンである。電極間の電位差はＵ＝２．１ｋＶ。各層における電界強度と電圧降下を求めよ。

２８．２８　電界強度Ｅ＝１８ｋＶ／ｃｍで紙に穴が開く。厚さｄ＝２mmのこの紙でできている２つの平板コンデンサがあり、一つは容量が$C_1$＝１２００ｐＦ、もう一つは$C_2$＝４００ｐＦ。これらを直列に接続する。このシステムはどれだけの電界強度で穴が開くか。

２８．２９　２つの同型の球が十分に離れている。１番目の球の電界はエネルギー$W_1$＝１．６ｍＪであり、２番目の球のそれは$W_2$＝３．６ｍＪ。これらの球を針金で接続すると、どれだけの熱量が発生するか。

２８．３０　絶縁された半径ｒ＝５ｃｍの金属球が電位φ＝１０ｋＶまで充電されている。球の表面におけるエネルギー密度を求めよ。

２８．３１　その荷電量を変えることなく、帯電している開閉式コンデンサのエネルギーを増加させることができるか。

２８．３２　容量Ｃ＝２０ｎＦの平板空気コンデンサが電位差Ｕ＝１００Ｖで充電されている。電極間隔を２倍とするためには、どれだけの仕事をしなければならないか。

２８．３３　平板コンデンサの電極間にパラフィン板がある。コンデンサの容量はＣ＝４μＦ、荷電量はｑ＝０．２μＣ。コンデンサから板を抜き出すためには、どれだけの仕事が必要か。

２８．３４　半分までロウで満たされた平板コンデンサを、ある電位差まで充電した。空気ギャップとロウでのエネルギーの分配を求めよ。

２８．３５　図１５５ａ，ｂに示しているコンデンサの合成容量を求めよ。

２８．３６　図１５６のＡＢ間の合成容量を求めよ。

２８．３７　図１５７に示している４つの同型のコンデンサからなる回路ａ，ｂで、どちらの方が容量が大きいか。

２８．３８　図１５８で、コンデンサＣ２が絶縁破壊すると、コンデンサ$C_3$の荷電量と電位差はどのように変化するか。何倍となるか。

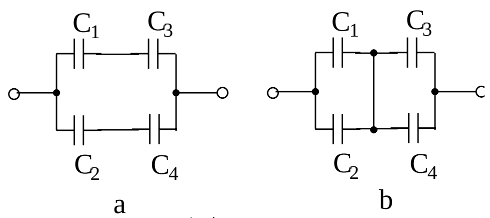


図１５５

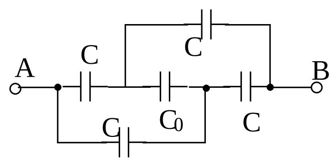


図１５６

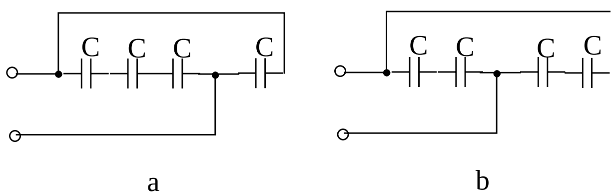


図１５７

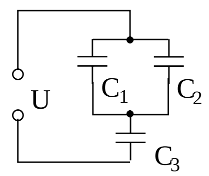


図１５８

２８．３９　ある回路で、図１５９に示しているような部分があった。コンデンサの容量はＣ＝１０μＦ、その電気量はｑ＝４０μＣ、電源の起電圧はＥ＝１Ｖ。点ＡＢ間の電位差を求めよ。

２８．４０　図１６０に示している回路で、$E_1$＝１Ｖ、$E_2$＝２Ｖ、$\phi_A - \phi_B$＝３Ｖ、$C_1$＝２０μＦ、$C_2$＝３０μＦ、$C_3$＝６０μＦ。各々のコンデンサの電圧を求めよ。

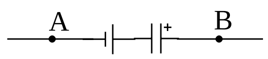


図１５９

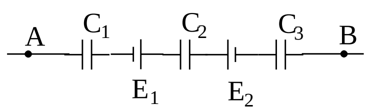


図１６０

２８．４１　図１６１の回路図で、$E_1$＝１Ｖ、$E_2$＝２Ｖ、$C_1$＝１０μＦ、$C_2$＝２０μＦ。コンデンサ$C_1$の荷電量が$q_1$＝１０μＣとして、コンデンサ$C_2$の荷電量を求めよ。

２８．４２　図１６２に示している回路で、各々のコンデンサの荷電量を求めよ。

２８．４３　図１６３に示されている回路において、点ＡＢ間の電位差を求めよ。

２８．４４　図１６４に示している回路で、点ＡＢ間の電位差を求めよ。

２８．４５　図１６５に示している回路で、Ｅ＝０．３ｋＶ、Ｃ＝１００ｎＦ。最初スイッチ$K_1$を閉じる。そしてから、$K_1$を開き、スイッチ$K_2$を閉じる。この時方位矢印をどのような荷電量が流れるか。

２８．４６　図１６３において、点ＡとＢを導線で閉じたとき、電源と導線にどれだけの荷電が流れるか。$C_1$＝$C_2$＝$C_3$＝$C_0$，$C_4$＝２$C_0$とする。

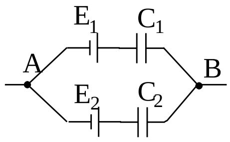

図１６１

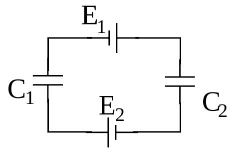

図１６２

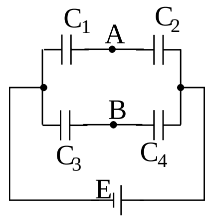

図１６３

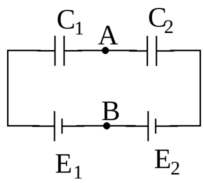

図１６４

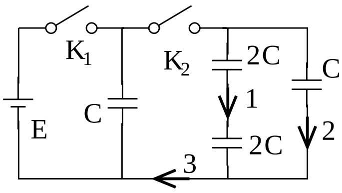

図１６５

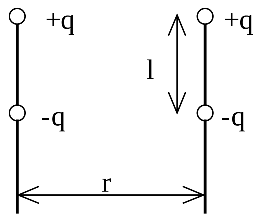

図１６６

補足問題

．１　直径Ｄ＝５mmとｄ＝２．５mmの２つの導体球を弾性定数ｋ＝１００Ｎ／m、長さｌ＝１０ｃｍの不導体製バネで連結した。球の一つに荷電量Ｑを与える。その後、細い導線で連結する。球間隔はＬ＝１０．５ｃｍとなる。この荷電を伝えるまでは、バネの張力はゼロであるとして、荷電量Ｑを求めよ。

．２　図１６６において、ｒ＞＞ｌで、２つのダイポールの相互作用力を求めよ。

．３　面積Ｓ＝１０ｃｍ$^2$の２枚の金属板を間隔ｌ＝１ｃｍ離して平行に固定した。１枚は絶縁された支えに、もう１つは弾性定数ｋ＝０．２５Ｎ／ｍのバネに（図１６７）。絶縁した板に荷電量ｑ＝３ｎＣを与える。板の間の電位差はどうなるか。

．４　図１６８に示されているコンデンサ蓄電池にどれだけのエネルギーが蓄積できるか。

．５　間隔が小さく配置された板１，２の間の電位差は$\Delta\phi_0$＝１２０Ｖ。これらの板の所に、図１６９のように２枚の板を持ってくる。板３と４を導線で連結し、その後導線を散り払うと、板１と２の間の電位差はどうなるか。

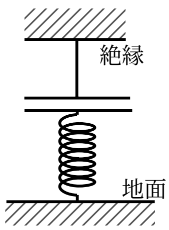

図１６７

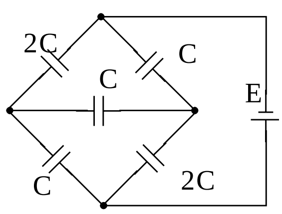

図１６８

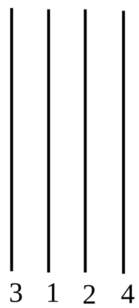

図１６９

．６　荷電ｑ$_1$，ｑ$_2$を持つ２枚の金属板を平行に近づける。金属板の表面にどのような荷電が引き起こされるか。

．７　２枚の金属板を間隔Ｌとしておき、それらの間を導線で連結する。板の一枚は接地されている。板の間、１枚から距離Ｌ／３の所に薄い非導電性の膜があり、それには一様に荷電Ｑが分布して

いる（図１７０）。膜をもう一枚の方に向かって、距離Ｌ／３だけ移動させると、導線をどれだけの荷電量が流れるか。

．８　荷電量ｑ＝３０ｎＣを持った２つの球を２本の非導電性軸に各々固定し、非導電性糸でそれらの間を結ぶ（図１７１）。軸は摩擦なしで、点Ｏの周りを図の面内で回転することができる。糸と軸の長さは同じであり、ｌ＝５ｃｍ。球を電界強度Ｅ＝１００ｋＶ／m、図の面内で糸に垂直になるようにな電界の中におく。ある瞬間、糸を焼き切る。重力を無視して、２つの荷電が回転軸を含む１本直線上にある瞬間における、軸の張力を求めよ。

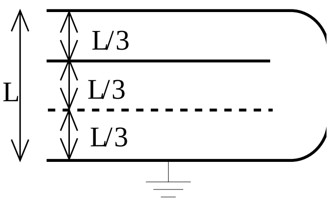


図１７０

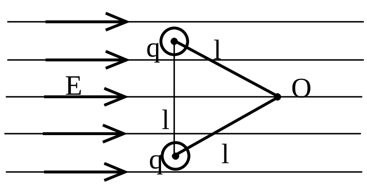


図１７１

## 第９章　直流

### ２９節　電流。回路中のオームの法則。導体の連結

２９．１　導体の断面を、１秒間に３０μＣの電気量が流れるならば、導体中の電流はいくらか。

２９．２　可変コンデンサに電圧Ｕ＝１００Ｖをかけた。コンデンサ容量を速さΔＣ／Δｔ＝１０ｎＦ／ｓで一様に変化させると、どれだけの電流が流れるか。

２９．３　導体を電流Ｉ＝１０Ａが流れる。この導体の断面を、ｔ＝１時間に流れる電子の質量を求めよ。

２９．４　断面積$S_1$＝２$mm^2$、$S_2$＝３$mm^2$の銅線を直列接続する。導体中を流れる電子の運動を比較せよ。

２９．５　導体の両端の電位差７Ｖで、電流０．２Ａが流れる。導体の抵抗はいくらか。

２９．６　長さｌ＝１０ｍの細い銅線のコイルに電圧Ｕ＝１７ｍＶをかけると、それを流れる電流の密度はいくらか。

２９．７　直径ｄ＝１mm、質量m＝３００ｇの鉄導線コイルの抵抗はいくらか。

２９．８　加熱装置のニクロム線が、温度ｔ＝９００℃で抵抗Ｒ＝３０Ωを持っている必要がある。その断面積をＳ＝０．３mm２として、必要な長さを求めよ。

２９．９　電球のタングステン線は温度$t_1$＝２０００℃で抵抗値$R_1$＝２０４Ωである。温度$t_2$＝２０℃における抵抗を求めよ。

２９．１０　ニクロム線の電気あんかは何度まで加熱するか。スイッチを入れた瞬間（温度$t_1$＝２０℃）にコイルを流れる電流は、定常動作電流時の１．０９倍大きいとする。

２９．１１　６．３Ｖで使用できる電灯をヨールカ祭用の電気花輪に使うためには、何個必要か。電用は電圧２２０Ｖの商業用電源に接続するものとする。

２９．１２　電圧$U_0$＝４０Ｖ、電流$I_0$＝１０Ａのアーク灯を断面積Ｓ＝２$mm^2$のコンスタンタン線でできている抵抗器を経由して接続する。必要な線の長さとその抵抗値を求めよ。

２９．１３　鉄の棒を同じ太さの炭素棒と直列に接続する。これらの合成抵抗が温度に依存しないの

はそれらの長さの関係がどのようなときか。

２９．１４　Ｕ＝２４Ｖの電源に、２本の抵抗を直列に接続する。流れる電流は$I_1$＝０．６Ａ。抵抗を並列に接続すると、$I_2$＝３．２Ａ。各々の抵抗の値を求めよ。

２９．１５　２本の導体を、電源に直列に接続すると、並列に接続したときより、電流は６．２５倍小さい。導体の抵抗値は何倍違うか。

２９．１６　電気炉が、同じ材質で作られ、同じ長さの３本の導線からできている。断面積$S_1$＝３$mm^2$の導線は、直列に接続された断面積$S_2$＝２$mm^2$と$S_3$＝４$mm^2$に直列に接続されている。回路の両端での電位差はＵ＝１２Ｖ。断面積$S_1$を流れる電流は$I_1$＝１Ａ。各々の導線の抵抗値、それを流れる電流値、各抵抗での電圧降下を求めよ。

２９．１７　各々の抵抗値が６０Ωの３本の抵抗で、どのような抵抗値の抵抗を得ることができるか。

２９．１８　図１７２において抵抗器の滑り部を右に移動させると、電圧計の指示はどのように変化するか。

２９．１９　図１７３において、電流をｎ分の１とする抵抗器の抵抗値を求めよ。

２９．２０　図１７４において、抵抗器の右側部分の抵抗値ｒに対する回路の全抵抗値Ｒの依存性をグラフにせよ。

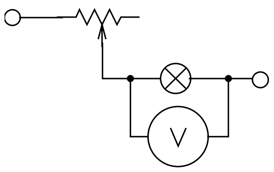


図１７２

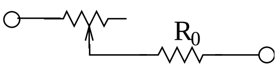


図１７３

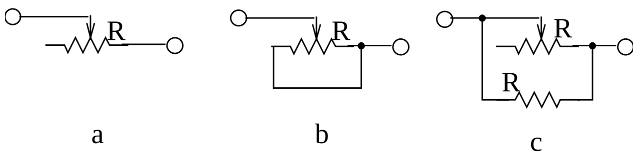


図１７４

２９．２１　図１７５における回路で、出力電圧をどのような範囲で制御できるか。

２９．２２　図１７６に示している抵抗からできている回路の入力端子に、電圧$U_0$を与える。出力端子での電圧を求めよ。出力端子に電圧$U_0$を与えると、入力端子にではどのような電圧となるか。

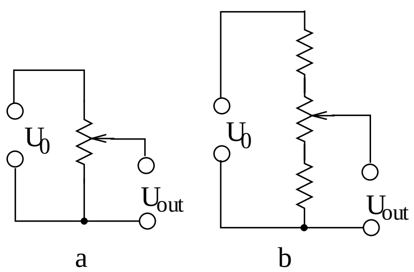


図１７５

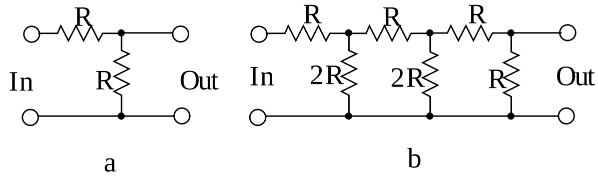


図１７６

２９．２３　図１７７に示してる回路での抵抗値はどうなるか。

２９．２４　図１７８に示している回路の合成抵抗値を求めよ。各抵抗素子の値はｒである。

２９．２５　図１７９で、端子ＡＢに電圧を与えると、コンデンサＣの荷電量はゼロであった。抵抗Ｒｘの値を求めよ。

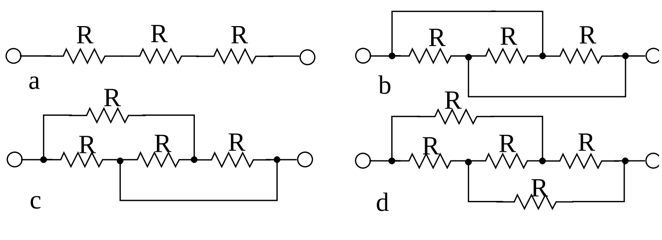


図１７７

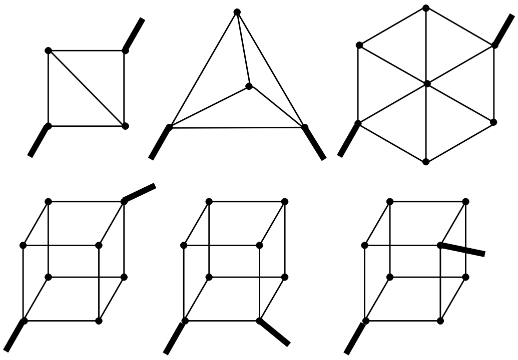

図１７８

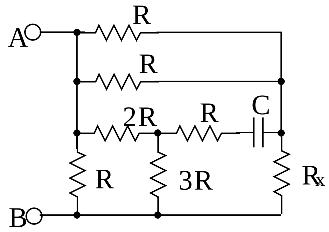


図１７９

２９．２６　長い導線を使用して、電熱器を電源$U_0$＝２２０Ｖに接続する。この時、電熱器での電圧は$U_1$＝２１０Ｖ。同じ電熱器を電熱器に並列に接続すると、電熱器での電圧はどうなるか。

２９．２７　図１８０において、電流計をどれだけの電流が流れるか。Ｕ＝１５Ｖ、$R_1$＝５Ω、$R_2$＝１０Ω、$R_3$＝１０Ω、$R_4$＝５Ω。電流計の内部抵抗は無視する。

２９．２８　内部抵抗ｒ＝１０Ωの電流計は電流$I_0$＝３０ｍＡの規格である。電圧Ｕを４つの限界３Ｖ、１５Ｖ、７５Ｖ、１５０Ｖで測定できるようにするためには、どのような付加抵抗$R_1$，$R_2$，$R_3$，$R_4$を使用するべきか。

２９．２９　抵抗ｒ＝０．０２Ωである電流計に並列に、長さｌ＝２０ｃｍ、断面積Ｓ＝３．４ｍｍ２の銅線を接続する。電流計が$I_A$＝０．３Ａを指示しているとき、回路の電流を求めよ。

２９.３０　抵抗値Ｒ＝１００Ωのポテンションメータに接続されている電圧計の指示値を求めよ(図１８１)。電圧はＵ＝６０Ｖ。ポテンションメータの摂動端子は中間にある。電圧計の抵抗は$r_1$＝６０Ω、$r_2$＝４０Ω。

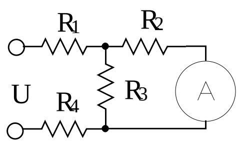


図１８０

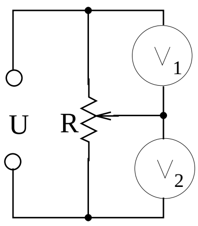


図１８１

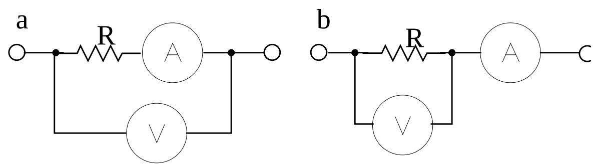


図１８２

２９．３１　抵抗$R_1$＝７０Ωと直列に接続している電圧計が、回路電圧Ｕ＝２４０Ｖで、電圧$U_1$＝１００Ｖを指示する。$R_2$＝３５Ωの抵抗をこの回路に直列に接続すると、電圧計の指示値はいくらか。

２９.３２　図１８２に、抵抗値を測定するための回路が示されている。非測定抵抗値が大きい場合、どちらがより優れているか。非測定抵抗値が小さい場合はどうか。

３０節　閉回路におけるオームの法則

３０．１　起電圧４．５Ｖ、内部抵抗１Ωの電池に抵抗値８Ωの抵抗を接続した。回路にどのような電流が流れるか。外部の抵抗にかかる電圧はいくらか。

３０．２　起電圧Ｅ＝６Ｖ、内部抵抗ｒ＝２Ωの電源、と外ぶて浮こうからなる回路に電流$I_1$＝１Ａが流れる。外部抵抗をｎ＝２倍大きくすると、回路にどのような電流が流れるか。

３０．３　起電圧Ｅ＝３Ｖの電池にＲ＝２０Ωの抵抗を接続した。抵抗における電圧降下はＵ＝２Ｖ。短絡電流を求めよ。

３０．４　電源にＲ１＝５Ωの抵抗を接続すると、電流が $I_1$＝１Ａ、$R_2$＝５Ωを接続すると、$I_2$＝０．５Ａが流れた。電源の起電圧とその内部抵抗を求めよ。

３０．５　起電圧Ｅ、内部抵抗ｒの電源と、外部抵抗Ｒからなるにおいて、外部抵抗に対する回路電流と電源端子の電圧の依存性をグラフ化せよ。

３０．６　計算（電源の内部抵抗を無視する）において、誤差が１％を越えないためには、外部抵抗値は内部抵抗値の何倍大きい必要があるか。

３０．７　回路が内部抵抗ｒ＝５Ωの電池と負荷Ｒ＝１５Ωからできている。付加にある抵抗を並列に接続し、その後直列に接続しても、この抵抗を流れる電流は変化しない。抵抗値はいくらか。

３０．８　発電機に、ｎ＝１００個の電球を並列に接続する。各々の電球の抵抗はＲ＝１．２ｋΩ。電球にかかっている電圧はＵ＝２２０Ｖ。発電機の内部抵抗はｒ＝６Ω。発電機の起電圧を求めよ。

３０．９　図１８３において、$R_1$＝６Ω、$R_2$＝１２Ω、$R_3$＝５Ω、ｒ＝３Ω、Ｅ＝１２Ｖ。抵抗及び電源における電圧降下、それらを流れる電流を求めよ。

３０．１０　図１８４において、平板コンデンサにおける電界強度がＥ＝２ｋＶ／ｍであるためには、電池の起電圧は幾らでなければならないか。抵抗はｒ＝$R_1$＝$R_2$。コンデンサの極板間隔はｄ＝５ｍｍ。

３０．１１　電池の端子に接続されているコンデンサに並列に、抵抗Ｒ＝１５Ωを接続すると、コンデンサの荷電量がｎ＝１．２倍だけ小さくなった。電池の内部抵抗はいくらか。

３０．１２　図１８５において、容量Ｃ＝１μＦのコンデンサの荷電量を求めよ。電源の起電圧はＥ＝６Ｖ、内部抵抗はｒ＝５Ω。$R_1$＝$R_2$＝$R_3$＝２０Ω。

３０．１３　図１８６に示している回路中のコンデンサＣ＝１５μＦの荷電量を求めよ。$R_1$＝$R_3$＝$R_4$＝１２Ω、$R_2$＝$R_5$＝１８Ω、電源電圧Ｅ＝７．５Ｖ、内部抵抗ｒ＝１Ωである。

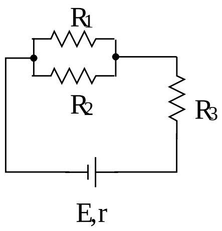

図１８３

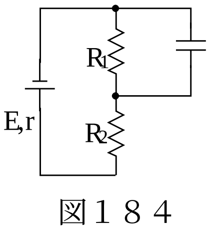

図１８４

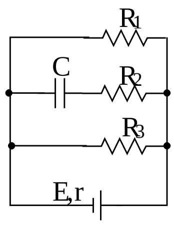

図１８５

３０．１４　図１８７において、スイッチＫを開放した後、抵抗Ｒ２を流れる荷電量を求めよ。$R_1$＝$R_2$＝$R_3$＝$R_4$＝Ｒ＝２０Ω、Ｅ＝１００Ｖ、ｒ＝１０Ω、Ｃ＝１０μＦである。

３０．１５　図１８８に図解されている回路において点ＡとＢ間の電位差を求めよ。

３０．１６　図１８９に図解されている回路において、点ＡとＢ間の電位差を求めよ。

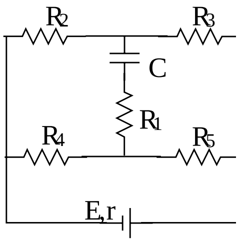


図１８６

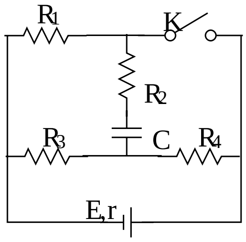


図１８７

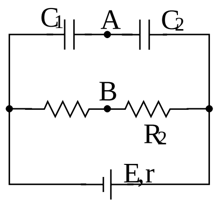


図１８８

３０．１７　起電圧Ｅ＝３Ｖ、内部抵抗ｒ＝５Ωの電源を、ある装置の端子ＡとＢに接続した。電源のプラスを端子Ｂに、マイナスを端子Ａに接続した。端子Ａから端子Ｂの方向に電源内を電流$I_1$＝１Ａが流れた。電源のマイナスを端子Ｂに、プラスをＡに接続すると、ＡからＢの方向に、$I_2$＝０．６Ａが流れた。両方の場合においての電源の電圧を求めよ。

３０．１８　問題３０．１７において、装置の内部抵抗を求めよ。

３０．１９　図１９０において、点ＡとＢの間の電位差を求めよ。電源電圧は$E_1$＝１Ｖ、$E_2$＝１．３Ｖ、内部抵抗は$r_1$＝３Ω、$r_2$＝５Ω、外部抵抗はＲ＝７Ω。

３０．２０　内部抵抗ｒ＝２Ω、起電圧Ｅ＝３．５Ｖの蓄電池を電圧Ｕ＝１２Ｖの回路で充電する。回路電流がＩ＝１Ａを越えないためには、幾らの制限抵抗を入れなければならないか。この時、蓄電池の端子の電圧$U_1$は幾らとなるか。

３０．２１　図１９１において、起電圧$E_2$＝４Ｖ、内部抵抗$r_2$＝３Ωの電池を流れる電流がゼロとなるためには、点ＡとＢの間に幾らの抵抗Ｒを接続しなければならないか。$E_1$＝６Ｖ、$r_1$＝$r_2$である。

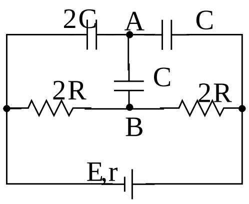


図１８９

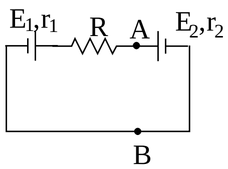


図１９０

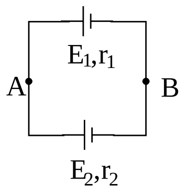


図１９１

３０．２２　起電圧$E_1$，$E_2$、内部抵抗$r_1$，$r_2$の２つの電池を並列に接続した。得られる起電圧を求めよ。端子間に抵抗Ｒを接続すると、どれだけの電流が流れるか。

３０．２３　３つの電池を並列に接続したときの起電圧を求めよ。

３０．２４　内部抵抗がｒの３つの同じ電池を、ある抵抗に、１回目は並列に、２回目は直列に接続した。電流はどちらでも同じであった。外部抵抗を求めよ。

３０．２５　？？　いくつかの同型の電源を直列に接続し、短絡した。電源電圧を求めよ。

３０．２６　起電圧$E_1$＝１Ｖ、$E_2$＝２Ｖ、$E_3$＝３Ｖ、内部抵抗が各々$r_1$＝１Ω、$r_2$＝２Ω、$r_3$＝３Ωの電源を直列に接続し、短絡する。回路電流と、各々の電源における電圧降下を求めよ。全ての電源が同じ起電圧を有し、２Ｖであれば、回路電流は幾らで、電圧降下は幾らとなるか。

３０．２７　起電圧$E_1$＝４Ｖ、内部抵抗$r_1$＝２Ωと、$E_2$＝５Ｖ、$r_2$＝４Ωの２つの電源がある。外部抵抗が幾らの時、この抵抗を流れる電流が電源の接続方法に依存しないか。抵抗Ｒ＝１２Ωを流れる最大の電流はいくらか。

３０．２８　ある蓄電池の容量が５０Ａｈ。そのような蓄電池を４つａ）直列に、ｂ）並列に、接続したときの容量を求めよ。

３０．２９　容量６０Ａｈ、６５Ａｈの２つの蓄電池を直列に接続する。このような蓄電池の容量を求めよ。

３０．３０　図１９２に示している回路において、検流計を電流が流れない。$R_x$を求めよ。Ｒ＝９Ω、$E_1$＝１５Ｖ、$r_1$＝２．８Ω、$E_2$＝２．７Ｖである。

３０．３１　図１９３において、コンデンサＣの荷電量はゼロ。電源Ｅ２をどのように接続しているのか。その起電圧はいくらか。$R_1$＝１２Ω、$R_2$＝６Ω、$R_3$＝３Ω、$E_1$＝５Ｖ、$r_1$＝１Ω。

３０．３２　起電圧Ｅ＝４Ｖ、内部抵抗ｒ＝３Ωの７つの同じ電池と、容量Ｃ＝１００ｐＦの４つの同じコンデンサ、そして抵抗Ｒから回路ができている（図１９４）。各々のコンデンサの貯まる電荷量を求めよ。

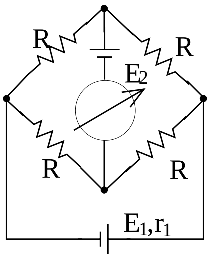


図１９２

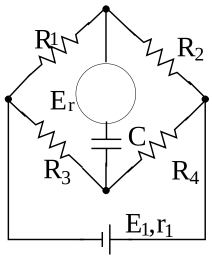


図１９３

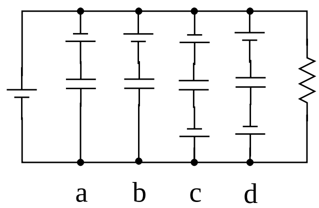


図１９４

３１節　電流のなす仕事と仕事率

３１．１　導線の断面を荷電ｑ＝１．５Ｃが流れ、導体の電圧降下がＵ＝２Ｖならば、電流はどれだけの仕事をしたか。

３１．２　時間ｔ＝１０秒の間に、電圧降下Ｕ＝１２Ｖの導体中を荷電ｑ＝２４Ｃが流れた。電流がなした仕事、仕事率、導体の抵抗を求めよ。

３１．３　抵抗で放出される仕事率の依存性のグラフを描け。（ａ）一定抵抗下での電圧に対して、（ｂ）一定電圧下での抵抗に対して。電圧に対する仕事率の依存性が線形であるためには、抵抗はどのように変化しなければならないか。

３１．４　一つの電球には１２７Ｖ、６０Ｗ、もう一つの電球には２２０Ｖ、６０Ｗの刻印がある。２２０Ｖの電源に前者を差し、１２７Ｖの電源に後者を差し入れると、各々の電球の仕事率はどうなるか。

３１．５　抵抗$R_1$＝１８０Ω、$R_2$＝３６０Ωの２つの電球を、電圧Ｕ＝１２０Ｖの電源に並列に接続した。各電球における仕事率はいくらか。電球を直列に接続すると、仕事率はどうなるか。

３１．６　電力３００Ｗの電気アイロンの電熱線を４分の１だけ短くした。こうすると仕事率は幾らとなるか。

３１．７　電源に接続されている加熱電線の半分を水に沈めた。全電線の仕事率はどう変わるか。水中の部分はどうか。空中の部分はどうか。

３１．８　装置は１２０Ωの抵抗の加熱線３本を持っている。線を様々に結線すると、どのような仕事率を得ることができいるか。電源電圧は１２０Ｖである。

３１．９　電圧U＝１１０V定格の電力P＝３００Vの電球を、$U_1$＝１２７Vの電源下で定常状態で作動させるとき、どれだけの補足抵抗が必要か。

３１．１０　並列接続された仕事率P＝６０Wの電球n＝３０個を電圧U＝２０Vで駆動するためには回路にどれだけの電圧を与える必要があるか。また、どれだけの仕事率が必要か。電球の結線に使用される導線ので以降はr＝４Ω。利用効率はいくらか。

３１．１１　定格U＝１２０Vで、仕事率P＝１kWの電熱器を電圧$U_1$＝１２７Vに接続する。導線の抵抗はr＝４Ω。電熱器の仕事率は幾らとなるか。電熱器に並列に同じ電熱器を接続する。２つの電熱器ではどれだけの仕事率となるか。

３１．１２　電圧U＝２２０Vの電源に、抵抗r＝５Ωの導線を用いて、可変抵抗器を接続する。抵抗器をどのような電流が流れるとき、電流$I_1$＝２Aと同じ仕事率となるか。消費されるエネルギーのどれだけの部分が各々の場合で可変抵抗器で消費されるか。

３１．１３　起電圧がE＝３V、内部抵抗がr＝１Ωの電源に接続された抵抗で消費される仕事率はP＝２W。回路電流を求めよ。

３１．１４　電源の起電圧はE＝２V、内部抵抗はr＝１Ω。外部回路の抵抗値を求めよ。その抵抗で消費される仕事率はP＝０．７５Wである。

３１．１５　起電圧E＝１２V、容量５０A・hの蓄電池にはどれだけのエネルギーが蓄えられているか。

３１．１６　起電圧E、内部抵抗rの電源が可変抵抗器に接続している。回路電流に対する、電源で消費される仕事率の依存性、外部回路で消費される仕事率の依存性、電源の有効利用係数依存性、をグラフ化せよ。どれだけの電流の時、外部回路で消費される仕事率が最大となるか。

３１．１７　内部抵抗rを有する蓄電池に抵抗値Rの抵抗を接続した。時間とともにその起電圧が低下する。電源の起電圧に対する、電源に消費される仕事率、外部回路で消費される仕事率、電源の有効利用係数の依存性をグラフ化せよ。

３１．１８　起電圧E、内部抵抗rの電源を可変抵抗器に接続する。外部抵抗値に対する、電流、電圧、外部回路における仕事率、電源で消費される仕事率、電源内部で消費される仕事率、電源の効率の依存性をグラフ化せよ。外部抵抗がどのような値の時、外部回路での消費される仕事率が最大となるか。

３１．１９　電源に可変抵抗器を接続した。電流が$I_1$＝０．２Aと$I_2$＝２．４Aのとき、可変抵抗器で同じ仕事率が消費される。可変抵抗器で最大の仕事率が消費されるのはいかなる電流の時か。短絡時の電流はいくらか。

３１．２０　外部回路に$I_1$＝２Aが流れているとき、$P_1$＝２４Wの電力が消費され、$I_2$＝５Aのときには、$P_2$＝３０W消費される。電源の短絡時の電流を求めよ。

３１．２１　前の問題の条件の下で、外部回路で出る最大の仕事率を求めよ。

３１．２２　電流I＝２Aで、外部回路における最大仕事率は$P_{max}$＝１２W。電源の起電圧と内部抵抗を求めよ。

３１．２３　起電圧E＝１５V、内部抵抗R＝１５Ωの電源に接続すると、電源の効率はη＝７５％。この電源は外部回路においてどれだけの仕事率を出すか。

３１．２４　$R_1$＝６Ωから$R_2$＝２１Ωまでの外部抵抗の測定において、回路の効率が２倍大きくなった。電源の内部抵抗はいくらか。

３１．２５　外部回路において消費される仕事率は、どのような抵抗値の時、$R_1$＝１０Ωの場合と同じとなるか。各々の場合において、効率はいくらか。電源の内部抵抗はｒ＝２．５Ωである。

３１．２６　外部回路において、仕事率$P_1$＝１８Ｗが消費されるとき、電源の効率は$\eta_1$＝６４％。外部抵抗を変えると、効率は$\eta_2$＝３６％。この時、電源の内部ではどれだけの仕事率が消費されるか。

３１．２７　蓄電池を、はじめに抵抗$R_1$，続いて抵抗$R_2$を用いて短絡したとき、これらの抵抗で消費される仕事率は両方の場合において等しかった。蓄電池の内部抵抗を求めよ。

３１．２８　各々Ｒ＝１０Ωの２本の抵抗を、起電圧Ｅ＝３Ｖの電源に、最初は直列に、そして並列に接続する。両方の場合において、各々の抵抗で消費される仕事率は同じであった。各々の場合において、電流はいくらか。

３１．２９　起電圧Ｅ＝２Ｖ、内部抵抗ｒ＝３Ωの電源を直列にｎ＝３個接続して蓄電池ができている。このような蓄電池において、外部回路で消費される最大の仕事率はいくらか。電池を並列に接続すると、外部回路で最大どれだけの仕事率を得ることができるか。

３１．３０　貴殿津Ｅ、内部抵抗ｒの電池をＮ個直列に接続し、短絡する。単位時間当たり、どれだけの熱量が発生するか。

３１．３１　起電圧Ｅ＝８Ｖ、内部抵抗ｒ＝１０Ωの蓄電池を電圧Ｕ＝１２Ｖの充電装置で充電する。内部での熱の放出にどれだけの仕事率が使われるか。蓄電池はどれだけの仕事率を回路から消費するか。

３１．３２　蓄電池を電圧Ｕ＝１５Ｖで充電する。蓄電池の起電圧はＥ＝１２Ｖ、内部抵抗はｒ＝１５Ω。回路で消費されるエネルギーのどれだけの部分が蓄電池の充電量となるか。それはいくらか。

３１．３３　内部抵抗ｒの蓄電池を電圧Ｕの充電装置で充電する際、蓄電池の起電圧は上昇する。蓄電池の起電圧に対する、充電装置で消費される仕事率、蓄電池の充電で消費される仕事率、熱として消費される仕事率、充電装置の効率の依存性をグラフ化せよ。

３１．３４　電圧Ｕ＝１２Ｖの回路で充電される蓄電池の起電圧を求めよ。蓄電池で消費されるエネルギーの半分が熱として消費されるものとする。

３１．３５　起電圧$E_1$＝８Ｖ、$E_2$＝３Ｖの２つの蓄電池を並列接続する。こうすると、一方の蓄電池が他方の蓄電池で充電され、充電中に消費される仕事率はＰ＝１．５Ｗである。蓄電池をどれだけの電流が流れるか。

３１．３６　電圧Ｕ＝１１０Ｖの電源に、モーターを接続する。モーターコイルの抵抗はＲ＝２Ω。モーターには電流Ｉ＝８Ａが流れる。モーターで消費される仕事率、力学的仕事率、モータの効率を求めよ。

３１．３７　電圧Ｕ＝１２Ｖの電源に接続されているモーターに電流Ｉ＝６Ａが流れる。

３１．３８　Ｕ＝２２０Ｖの電源に接続されたモーターがＰ＝３．０ｋＷの出力を出す。モーターのコイルの抵抗はＲ＝４．０Ω。モーターが消費する電流を求めよ。

３１．３９　モーターに電圧Ｕがかかっている。回転子のコイルの抵抗はｒ。以下の依存性をグラフで示せ。モーターを流れる電流に対するモーターの出す仕事率、力学的仕事率、熱として消費される仕事率、モーターの効率。最大の出力を出すときの電流は幾らとなるか。

３１．４０　電流$I_1$＝１０Ａのとき、モーターは$P_1$＝０．５０ｋＷの出力を出し、$I_2$＝２０Ａでは、$P_2$＝０．８ｋＷを出す。モーターの効率を求めよ。モーターの回転を押さえて止めると、コイルにどれだけの電流が流れるか。

３１．４１　加熱器に電圧２２０Ｖ、電流０．５Ａを流すと、２００ｇの水はどれだけの時間で沸騰するか。水の初期温度は２０℃。

３１．４２　長さｌ＝１．０ｍの鉛製導線の両端の電位差はＵ＝１０Ｖ。鉛が融解し始めるのは、電流を流してからどれだけの時間後か。鉛の初期温度は$ｔ_0$＝２０℃。熱は周りには逃げないものとする。

３１．４３　銅棒に電流密度ｊ＝４．０Ａ／$mm^2$の電流を流す。時間τ＝５０秒経過すると、どれだけ温度が上昇するか。周りへの熱の消失は無視する。

３１．４４　容積Ｖ＝２．０リットルの水を時間τ＝１０分でわかすことができる、加熱器の出力を求めよ。水の初期温度はｔ＝２０℃。加熱器の効率はη＝７５％。

３１．４５　起電圧Ｅ＝３６Ｖの蓄電池に接続した抵抗Ｒ＝２．０Ωの投げ込み式電熱器で、質量ｍ＝５００ｇの水を加熱する。時間多雨＝１０分で、水は温度Δｔ＝２９℃だけ上昇した。蓄電池の内部抵抗を求めよ。

３１．４６　電気ポットには２本の加熱線が取り付けてある。どの内の１本を使用すれば、水は$ｔ_1$＝８分で沸騰し、他の加熱線の使用では$ｔ_2$＝２４分で沸騰する。もし加熱線を（１）直列接続、（２）並列接続、した場合にはどれだけの時間で水は沸騰するか。

３１．４７　電力２５０Ｗのテレビで、１時間半の映画を見ると、発電所ではどれだけの石油が消費されるか。発電所の効率は３５％ととする。

３１．４８　質量ｍ＝２２．５ｔの路面電車が水平な路面上を速さｖ＝３６ｋｍ／ｈで動く。摩擦係数はμ＝０．０１０，供給電圧はＵ＝５００Ｖ、エネルギー効率はη＝７５％。モーターを流れている電流を求めよ。同じ電力を消費するとして、傾斜度０．０３０の坂を登るとき、電車の出す速さを求めよ。

３１．４９　質量ｍ＝３００ｔの電車が速さｖ＝７２ｋｍ／ｈで下り坂を走行する。坂の傾斜は、１００ｍ当たり１ｍである。摩擦係数はμ＝０．０２０、供給電圧はＵ＝３０００Ｖ、エネルギー効率はη＝８０％。モーターに流れている電流を求めよ。

３１．５０　クレーンのモーターが電圧Ｕ＝３８０Ｖ、電流Ｉ＝２０Ａで動いている。クレーンは質量ｍ＝１．０ｔの荷物をｔ＝５０秒で、ｈ＝１９ｍ持ち上げることができるとして、モーターのコイル抵抗を求めよ。

## ３２節　種々の媒質における電流

３２．１　食塩の希釈溶液の入った容器中に２本の電極を入れる。電極に一定電圧を印加する。容器中に食塩を徐々に追加していくと、電流はどの様に変化するか。

３２．２　飽和食塩水中を流れる電流は、温度の上昇とともに、どの様に変化するか。

３２．３　電気分解において、電極に析出する物質の量にはどの様な変化があるか。（ａ）電圧を上昇させる、（ｂ）電極を近づける、（ｃ）沈んでいる電極部分を大きくする。

３２．４　化学的及び電気化学的に等価の物質を求めよ。水素、ナトリウム、酸素、２価の銅。

３２．５　$NiSO_4$溶液からニッケル１モルの析出、$FeCl_2$溶液から鉄１モルの析出。どちらの方が電気量を多く必要とするか。

３２．６　$CuSO_4$溶液から、電圧Ｕ＝８．０Ｖで、銅を析出させる。銅ｍ＝１．０ｋｇを析出させるに必要なエネルギーを求めよ。

３２．７　メッキを行う。$AuCl_2$溶液に電流密度ｊ＝２０Ａ／$m^2$の電流を流し、製品を厚さｈ＝５μmの金膜層で覆う。どれだけの時間が必要か。

３２．８　メッキを行う。ＡｇＮＯ３溶液に電流密度ｊ＝２．６ｋＡ／$m^2$を流すと、３分間で製品にどれだけの厚さの銀膜が形成されるか。

３２．９　電流Ｉ＝３．０Ａは時間ｔ＝１．０時間で、どれだけの$Al_2O_3$を分解するか。

３２．１０　$CuCl_2$の質量m＝１００ｇを時間ｔ＝１０時間で分解するためには、電極にどれだけの電流を流す必要があるか。

３２．１１　硫酸亜鉛$ZnSO_4$の電気分解において、ｔ＝４．０時間で、亜鉛m＝２４ｇが析出した。電極に電圧U＝１０Ｖが印加されていたものとして、電解液の抵抗を求めよ。

３２．１２　水の電気分解において、電流Ｉ＝５９Ａを流す。定常条件の下で、１分間当たりに、どれだけの体積の爆鳴気体が得られるか。

３２．１３　水銀灯中の水銀蒸気がＸ線でイオン化される。ランプの電極間の電圧の増大に伴い、飽和電流はＩ＝０．８ｎＡとなる。ｔ＝１．０秒当たり、Ｘ線はどれだけのイオン蒸気を生成するか。

３２．１４　ヘリウム原子のイオン化のために、電子は最小どれだけの速さを有している必要があるか。ヘリウム原子のイオン化エネルギーはW＝２４．５ｅＶ。

３２．１５　電界強度Ｅ＝３．０ＭＶ／mで、空気は絶縁破壊を起こす。電子の平均自由行程長λ＝５．０μmとして、空気のイオン化エネルギーと空気分子に衝突する直前の電子の速さを求めよ。

３２．１６　半径ｒ＝５．０ mm の孤立した金属球をどれだけのエネルギーまで帯電させることができるか。その時の帯電量は幾らか。空気の絶縁破壊は電界強度 E=３．０ MV/mで起こる。

３２．１７　高電圧では火花放電が起こり、それより充分に小さい電圧でアーク放電が起こるのは何故か。

３２．１８　電子がタングステンから飛び出すためには、電子は最小どれだけの速さを持っている必要があるか。

３２．１９高出力の電灯では、アノードを冷却し、カソードが赤熱する前にアノード電圧を印加する理由を述べよ。

３２．２０　電子銃において、その電力は P=０．５ W。ビームの電子のエネルギーは W=８．０×$10^{-16}$ Jである。アノード電流を求めよ。

補足問題

．１　１０個の点を抵抗値 R=４０Ωの導線で相互に結線する。２点間に起電圧 E=１０ V、内部抵抗ｒ＝２．０Ωの電源を接続する。各々の導線を流れる電流を求めよ。

．２　抵抗値 $R_1$=０．２５ＭΩ、$R_2$ ＝５０ＫΩの抵抗、可変コンデンサからなる回路がある。コンデンサの容量は式 C=$C_0$＋αｔに従って変化する。ここで、α＝１．０μＦ／ｓ、電源は起電圧 E=１５Ｖ（図１９５）。抵抗 R1 を流れる電流を求めよ。電源の内部抵抗は無視する。

．３　３つの同型の電源（起電圧 E=１．５ V)と３つの同型のコンデンサ（容量 C=２．０μF)を、図１９６のように結線する。各々のコンデンサに蓄えられる電荷量を求めよ。点 A と O を短絡すると、その短絡線をどれだけの荷電が流れるか。

．４　起電圧 E=１００V、内部抵抗 $R_0$=１０Ωの電源に電気ポットを接続する。水が沸騰したら、ポットの注ぎ口から蒸気がどれだけの速さで噴き出すか求めよ。注ぎ口の面積は S=４．０ｃ$m^2$。

．５　起電圧 U=２４Ｖの電源に、モーターを接続する。負荷がかかっているときのモーターは、無負荷時のｋ＝１０倍の電力を消費する。負荷運転時のモーターの端子間の電圧差は、空運転時の電圧差と比較するとｎ＝２０％程低下する。もし負荷運転時の電流がＩ＝５．０Ａとすれば、空運転時に配線部分での熱損失量を求めよ。

．６　クレーンのモーターは、質量Ｍ＝１．４ｔの荷物を速さ$ｖ_1$＝２０ｃｍ／ｓで持ち上げるとき、電圧Ｕ＝３８０Ｖで作動し、電流$Ｉ_1$＝１０Ａを消費する。モーターに、電流$Ｉ_2$＝１５Ａが流れるとき、クレーンはどれだけの速さで荷物を持ち上げるか。クレーンのエネルギー効率はη＝９０％。

．７　ＡｇＣｌ溶液中に、２つの同型の幅の広い電極を入れ、それらの間に一定電圧Ｕ＝１００Ｖを印加する（図１９７）。陰極側に、１秒間当たり、ｍ＝１．０ｇの銀が析出した。電極の中間に、同型の第３の電極を挿入する。抵抗値ｒ＝５０Ωの使用し、この電極を陽極側に接続する。とすれば、第３の電極にどれだけの銀が析出するか。

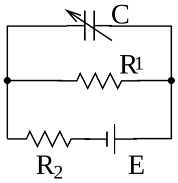

図１９５

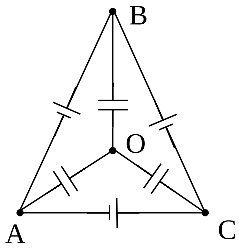

図１９６

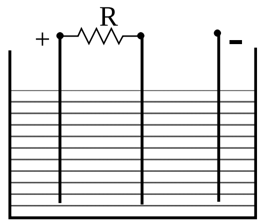

図１９７

## 第１０章　電磁気学

### ３３節　電流と磁場との相互作用

３３．１　図１９８に示している導線１，２の間にはどの様な相互作用があるか。これらの導線を撚り合わせると相互作用はどうなるか。

３３．２　２本の平行導線に、同方向に電流が流れていると引力が作用し、２本の平行電子ビームは反発し合うのはなぜか。

３３．３　電流の流れている導線の傍に置かれた磁針と電流ループはどの様な振る舞いをするか。これらが電子ビームの傍に置かれた場合はどうか。

３３．４　電源に接続されている２つのクリップの間を、電子のドリフト速度に等しい速さで電子の流れ方向とは逆の方向に引き動かす。電流の流れているこの導線は自身の周りに磁界を発生するか。

３３．５　面積１．０ｃ$m^2$のループコイルに作用する最小の力の回転モーメントが、電流が１．０Ａのとき５×１０$^{-4}$Ｈ・ｍの時、磁界の磁束密度Ｂを求めよ。ループコイルは１００枚巻きである。

３３．６　図１９９のａからｃに示している磁界中に置かれたループ電流はどの様な振る舞いをするか。

３３．７　２つの円形導体は垂直軸の周りに自由に回転することができる（図２００）。図に示された矢印方向に電流を流すと、どの様な状態で安定するか。（ａ）軸が一致している場合、（ｂ）軸が一致していない場合。

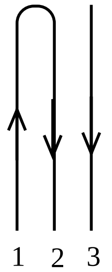


図１９８

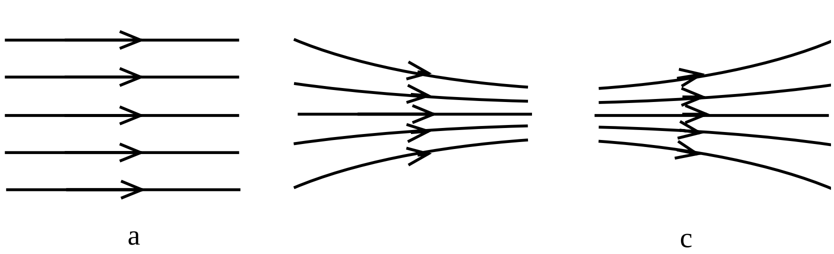


図１９９

３３．８　２つの同型の金属製ループに、同じ大きさの電流を流す。ループの中心は一致しているが、１つのループは水平に、他の１つは垂直に配位している。これらの中心位置に置かれた電流ループはどの様な状態で安定するか。

３３．９　正方形の２つの対角頂点に、電源を接続する。各辺は同じ電線でできている。絵師方形の中心での磁束密度Ｂを求めよ。

３３．１０　図２０１に示している相互作用が観察されるために、（ａ）ソレノイド中、（ｂ）導線中、の電流の方向を求めよ。

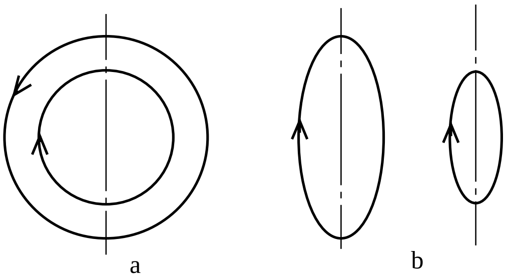


図２００

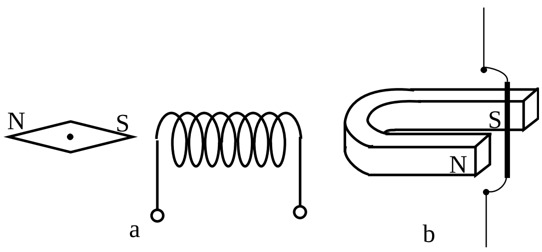


図２０１

３３．１１　図２０２のａ～ｄに示されている磁場と電流の相互作用力の方向を求めよ。

３３．１２　図２０３のａ～ｄに示している電流に作用する力を与える磁場の方向を示せ。導線は磁場に垂直に動く。

３３．１３　図２０４のａ、ｂ、ｃに示している場合において、導線はどの様に動くか。

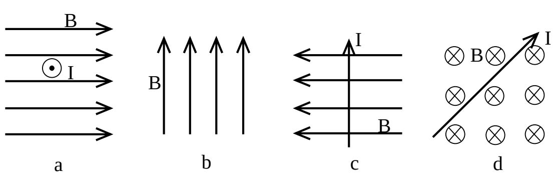


図２０２

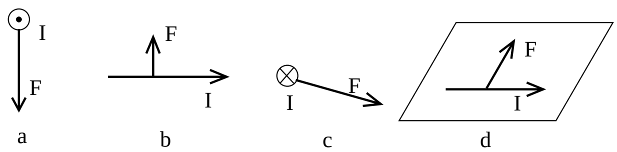


図２０３

３３．１４　電流の流れている導線が磁束密度Ｂ＝２０ｍＴの一様磁界中にある。導線の長さがい＝０．１０m、電流がＩ＝３．０Ａ，電流と磁束密度のなす角度がα＝４５°のとき、導線に作用する力を求めよ。

３３．１５　磁束密度Ｂ＝１０ｍＴの水平な一様磁界中において、磁界に垂直に、長さｌ＝１０ｃｍの水平な導線が２本の軽い糸で吊されている。導線に電流Ｉ＝１０Ａを流すと、各々の糸の張力はどの様に変化するか。

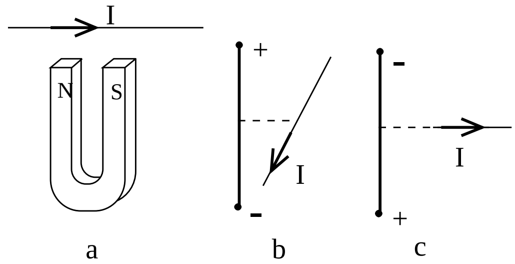


図２０４

３３．１６　長さｌ＝２０ｃｍ、質量m＝２．０ｇの水平な導線に沿って、電流Ｉ＝５．０Ａを流す。宋銭が落下しないでぶら下がっていられるために必要な磁束密度Ｂを求めよ。

３３．１７　間隔がｌ＝６０ｃｍの水平なレール上に、レールに垂直に棒が横たわっている。棒が動き出すために、棒に沿って流すべき必要な電流を求めよ。レールと棒は一様な垂直磁界中にあり、その磁束密度はＢ＝６０ｍＴ。棒の質量はm＝０．５ｋｇ、棒とレールとの間の摩擦係数はμ＝０．１０。

３３．１８　間隔ｌ＝５０ｃｍのレールに垂直に棒がおいてある。レールは水平と角度α＝３０°をなしている。棒に電流Ｉ＝４０Ａを流したとき、棒が動き始めるためにはレール面に垂直に磁束密度が幾らの磁界をかけておく必要があるか。棒とレール間の摩擦係数はμ＝０．６０。棒の質量M＝１．０ｋｇ。

３３．１９　長さｌ、質量mの導体を、両端に取り付けた２本の細い導線で、水平に吊す。水平で一様な磁界中で、導体に電流を流すと、導線は垂直と角度αをなす。磁界の磁束密度を求めよ。

３３．２０　磁束密度Ｂ＝０．４Ｔの磁界中に、磁界に角度α＝３０°をなして、長さｌ＝３０ｃｍの導体があり、それに電流Ｉ＝２０Ａが流れている。磁界に垂直な方向に導体を距離ｘ＝２５ｃm動かすときになされる仕事を求めよ。

３３．２１　磁束密度Ｂの磁界中に、電子が速さｖで、磁気力線に垂直に飛び込む。電子はどの様な軌跡を描くか。電子に作用する力の仕事は幾らか。

３３．２２　磁束密度Ｂ＝２０ｍＴの磁界中で、陽子が半径Ｒ＝５．０ｃｍの円を描く。陽子の速さを求めよ。

３３．２３　陽子とα粒子が磁界中に、磁気力線に垂直に飛び込む。各々の粒子が描く円の半径の相違について考察せよ。粒子の速さが同じ場合、粒子のエネルギーが同じ場合の各々について、粒子の角速度の相違について考察せよ。

３３．２４　動く荷電粒子は電流とみなすことができる。磁束密度Ｂの磁界に速さｖで磁界に直角に飛行する電子によって形成される円電流の磁気モーメントを求めよ。

３３．２５　電位差Ｕ＝２５０ｋＶで加速されるα粒子が、磁束密度Ｂの磁界を横断飛行する。磁界の場の厚さはｄ＝１０ｃｍ（図２０５）。初期の運動方向に対するα粒子の傾斜角度φを求めよ。

３３．２６　陽子が、磁場Ｂに速さｖで、磁気力線と角度αをなして飛び込む。粒子の軌跡は螺旋となる。この螺旋の半径とピッチを求めよ。

３３．２７　磁界中を動く粒子は、磁束密度が大きくなる領域で反射されるのは何故か、説明せよ（図２０６）。

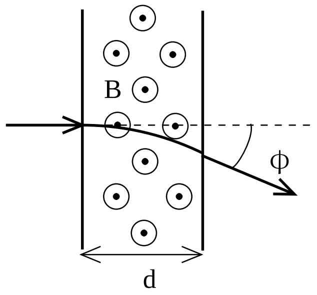


図２０５

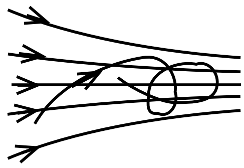

図２０６

３３．２８　電界と磁界が平行にかかっている場中に、その方向に角度αをなして荷電粒子が飛び込む。粒子はどの様な運動をするか。

３３．２９　電場と磁界が平行にかかっている場中に、その方向に角度αをなして負荷電粒子が速さｖで飛び込む。粒子が逆方向に動き始めるまで、粒子は何回転をするか。電束密度はＥ、磁束密度はＢ。

３３．３０　磁界と電界が直交して配置されている。電束密度はＥ＝０．５０ｋＶ／m、磁束密度はＢ＝１．０mＴ。この場に飛び込んだ粒子が直線運度をするためには、粒子はどれだけの速さで、どの様な方向に飛び込む必要があるか求めよ。

３４節　電磁インダクタンス。自己インダクタンス

３４．１　磁束密度０．２Ｔの磁界中において、面積１００ｃｍ２の平らな面を貫く磁束量を以下の場合について求めよ。（ａ）面が磁束密度に垂直である、（ｂ）面は磁束密度に平行である、（ｃ）面は磁束密度と角度４５°をなしている、（ｄ）面は磁束密度と角度３０°をなしている。

３４．２　電流の流れている導線の傍に四角形の枠ＡＢＣＤがある（図２０７）。ＡＢ平行ＯＯ’である。導線によって作られる磁界が枠を貫いている磁束はΦ。以下の場合について磁束の変化を求めよ。（ａ）導線中の電流を切る、（ｂ）電流の方向を逆にする、（ｃ）辺ＡＤとＢＣの中間と通る軸の周りに枠を９０°回転する、（ｄ）辺ＡＤとＢＣの中間と通る軸の周りに枠を１８０°回転する。

３４．３　電流の流れている導線の傍に、ループ導体がある（図２０８）。以下の場合にループに電流が流れるか、（ａ）導線を回転軸としてループを回転する、（ｂ）導線に平行な軸の周りにループを回転する、（ｃ）導線に垂直な軸の周りにループを回転する、（ｄ）導線に平行にループをゆっくりと動かす、（ｅ）導線に垂直にループをゆっくりと動かす。

３４．４　図２０９において、導線環を流れる誘導電流の向きを求めよ。（ａ）磁束密度が増大する場合、（ｂ）磁束密度が減少する場合。

３４．５　図２０９において、導線環に作用している力の向きを求めよ。ａ）磁束密度が増大する場合、（ｂ）磁束密度が減少する場合。

３４．６　超伝導体でできた面積Ｓのリングが、磁束密度Ｂの磁界中にある。磁束密度のベクトルはリングの面に垂直である。外部磁界を無くした後、リングを通過する磁束を求めよ。

３４．７　閉回路としたソレノイド中を棒磁石が落下する。棒の落下は自由落下となるか。

３４．８　リングの中に、磁石を押し込むと、リングにどの様な現象が発生するか。リングが（ａ）導体、（ｂ）誘電体、でできている場合について考察せよ。

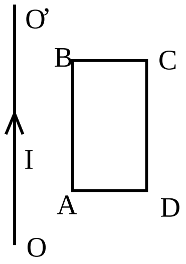


図２０７

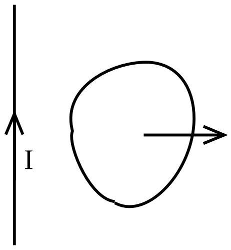


図２０８

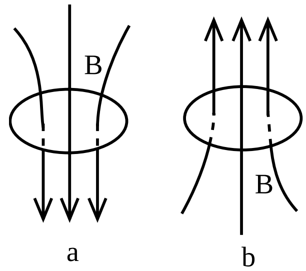


図２０９

３４．９　棒を一定の磁界中で、磁界方向にある角度をなして動かすと、棒にはどの様が現象が発生するか。棒が（ａ）導体、（ｂ）誘電体、でできている場合について考察せよ。

３４．１０　導線の巻き数ｎ＝５００回でできているソレノイドを貫いている磁束が、ΔΦ／Δｔの速さで一様に減少する。ソレノイドに発生する誘導起電圧を求めよ。

３４．１１　導線をｎ＝１０００回巻いてできているソレノイドが、磁界中にある。磁界の磁束密度はΔＢ／Δｔ＝２０ｍＴ／ｓの速さで変化する。ソレノイドの軸は磁束密度ベクトルと角度α＝６０°をなしている。ソレノイドの半径はｒ＝２．０ｃｍ。ソレノイドに発生する誘導起電圧の電圧を求めよ。

３４．１２　銅線環が磁場中に、磁界の向きに垂直にある。環の直径はＤ＝２０ｃｍ、銅線の直径はｄ＝２．０㎜。環に電流Ｉ＝５．０Ａを流すと、磁束密度はどのような速さで変化するか。

３４．１３　導体中での誘導電流の発生において、導体中を流れる全荷電は、磁束の変化方法には依存しないで、磁束の変化と導体の抵抗に依存していることを説明せよ。

３４．１４　巻き数ｎ＝１００回、面積Ｓ＝１０ｃｍ２のコイルが磁束密度Ｂ＝８．０ｍＴの磁界中に、磁界の方向においてある。コイルの抵抗はＲ＝１０Ω。磁場を取り除くと、コイルのどれだけの荷電が発生するか。

３４．１５　面積Ｓ＝０．２０㎜２の銅線を巻き数ｎ＝１０００回巻いたソレノイドが磁場中に、磁界の方向を向いておいてある。磁束密度はΔ B/Δｔ＝１０ｍＴ／ｓの速さで一様に変化する。ソレノイドの直径は D=５．０ｃｍ。ソレノイドの両端を短絡したとき、ソレノイドに発生する熱量を求めよ。

３４．１６　面積 S=５０ｃｍ２のコイルに容量 C=２０μＦのコンデンサを接続する。コイルの面は磁界に垂直である。コンデンサに荷電ｑ＝１．０ｎＣが溜まった。磁界の変化速度を求めよ。

３４．１７　正方形が辺の長さｌ＝８．０ｃｍ、抵抗値Ｒ＝４．０Ωの導線４本で作られている。正方形の１辺からｌ／４の所に、抵抗値ｒ＝１．０Ωの横木が渡されている（図２１０）。正方形の面は速度ΔＢ／Δｔ＝２００ｍＴ／ｓで変化する磁界に垂直である。横木を流れる電流を求めよ。

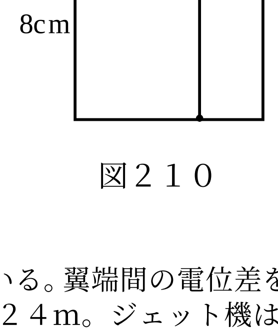


図２１０

３４．１８　長さｌ＝２０ｃｍの導線の誘導起電圧を求めよ。宋銭は磁束密度Ｂ＝１０ｍＴの中を、磁界の方向と角度α＝３０°をなして動く。

３４．１９　ジェット機が速さｖ＝９００ｋｍ／ｈで水平に飛行している。翼端間の電位差を求めよ。地球磁場の磁束密度の垂直成分はＢ垂直＝５０μＴ、翼端間長はｌ＝２４ｍ。ジェット機はこの電位差を計測できるか。

３４．２０　長さｌ＝１．０ｍの導線が振動数ν＝１０／ｓで、水平面内で等速で回転する。回転軸は、導線の端である。地球磁場の垂直成分はＢ垂直＝５０μＴ。導線の両端間に発生する電位差を求めよ。

３４．２１　導線環が一様な磁界中に垂直に置かれている。導線環をα１＝１８０°回転すると、環に荷電ｑ＝７．２μＣが流れた。導線環を荷電ｑ２＝１．８μＣが流れるためには、環を何度回転させればよいか。

３４．２２　抵抗値Ｒ＝１０Ωの導線をｎ＝１００回巻いた枠を、磁束密度Ｂ＝５０ｍＴの磁界中で等速で回転させる。回転軸は枠の面内にあり、磁界と垂直である。枠の面積はＳ＝１００ｃｍ２。枠を以下で示す角度α１からα２まで回転させせたとき、枠を流れる荷電量を求めよ。（１）０°から３０°、（２）３０°から６０°、（３）６０°から９０°、（４）０°から１８０°。ここで、角度αは磁束密度ベクトルと枠の法線の間の角度である。

３４．２３　長さｌ＝２．０ｍ、抵抗値Ｒ＝０．１０Ωの導線から正方形を作る。それを水平に置く。時給磁場の垂直成分はＢ垂直＝５０μＴ。正方形の対角の位置にある２つの頂点を引っ張ると、正方形にどれだけの荷電が発生するか。

３４．２４　抵抗値Ｒ＝０．２０Ωの導線で作られた半径ｒ＝６．０ｃｍのリングが磁束密度Ｂ＝２０ｍＴの磁界に垂直に置かれている。このリングを同型のリングが２つとなるように、８の字型とする。その後、磁界を除く。（１）リングを８の字型にしたときに、導線を流れる電荷量を求めよ。（２）磁界を除いたときに、リングを流れる電荷量を求めよ。

３４．２５　長さｌの導線を一様な磁界の中にある２本の竿に沿って摩擦無しで、速さｖで滑らす。磁束密度Ｂのベクトルは竿の面に垂直である。竿には抵抗Ｒが結線されている（図２１１）。磁界は導線にどの様な力を及ぼすか。その大きさは幾らか。

３４．２６　質量ｍ、長さｌの導線が２本の水平な竿の上に置いてある。竿には抵抗Ｒが結線してある。全系は磁束密度Ｂの垂直な磁界の中にある（図２１１）。竿と導線間の摩擦係数はμ。導線を一定の速度ｖで動かしたとき、導線に作用する力を求めよ。

３４．２７　長方形回路が磁界の中にある。回路の面に磁界は垂直である。磁束密度はＢ。横木の長さはｌで抵抗値はＲ。辺ＡＢとＣＤは抵抗値$R_1$，$R_2$を有している（図２１２）。横木を一定の速さｖで動かしたとき、横木を流れる電流を求めよ。、

３４．２８　磁束密度Ｂ＝６０ｍＴの磁界の中に、細い金属線で作られたＨ型の構造が垂直に立っている。構造は磁界に垂直である（図２１３）。長さｌ＝５０ｃｍ、質量ｍ＝１．０ｇ、抵抗Ｒ＝０．８０Ωの導線がＨ型に接触しながら、自由に滑る導線の動く速度と、それを流れる電流の方向を求めよ。

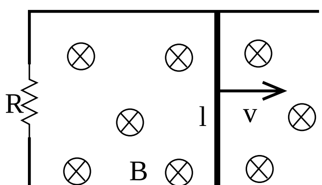


図２１１

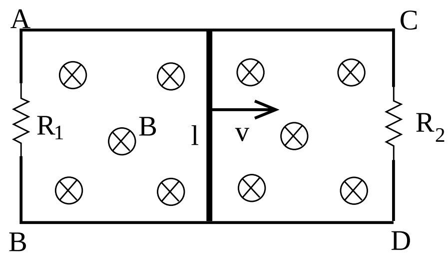


図２１２

３４．２９　Ｈ型構造が、水平と角度α＝３０°をなしている（問題３４．２８を参照）。磁界のベクトルとＨ型の面は直角をなしている。導体の横木の動く速さを求めよ。

３４．３０　図２１４に示しているように、２本の金属線の一端が結線され、水平と角度α＝３０°をなしている。２本の線上を銅線が滑る。系は磁束密度Ｂ＝４０ｍＴの中にあり、磁界の向きは２本

の線のなす面に垂直である。銅線の最大速度を求めよ。２本の線の抵抗は銅線の抵抗と比較して無視できる。

３４．３１　長さｌ＝１．０ｍ、抵抗Ｒ＝２．０Ωの導線が２本の水平なポールの上にある。２本のポールには電圧Ｅ＝２．０Ｖの電源が接続されている。全系は磁束密度Ｂ＝０．１０Ｔの垂直磁界中にある（図２１５）。導線を流れる電流を求めよ。（１）導線が静止している場合、（２）導線が右方向へ速さｖ＝４．０ｍ／ｓで動く場合、（３）同じ速さで左に動く場合。導線中を電流が流れないようにするためにはどの方向にどれだけの速さで動かす必要があるか。電源の内部抵抗とポールの抵抗は無視する。

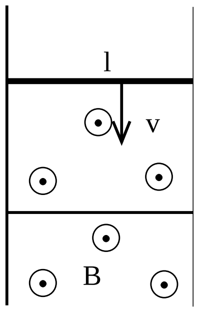


図２１３

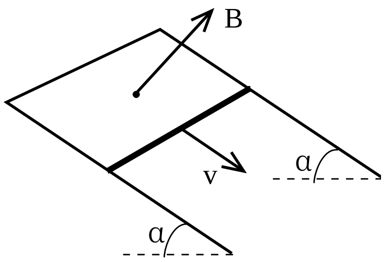


図２１４

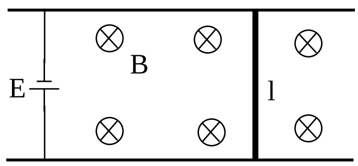


図２１５

３４．３２　長さｌ＝１．０ｍの導線が２本の滑らかな水平なポール上にある。ポールの間には磁束密度Ｂ＝０．１０Ｔの磁界が垂直にかかっている。ポール間に電圧Ｅ＝０．５Ｖの電源を接続したとき、導線は幾らの速さでどの方向に動くか。

３４．３３　磁束密度Ｂ＝２．０Ｔの磁界中に、半径Ｒ＝５．０ｃｍの水平な金属リングが置かれ、リングの軸は磁界の方向と一致している。棒は一端をリングの中心に、他端をリングの円周に触れながら自由に動くことができる（図２１６）。棒の両端に電圧Ｅ＝１．０Ｖの電源を接続したとき、棒の回転角速度を求めよ。

３４．３４　間隔ｌ＝１．０ｍの２本の水平なレール上に、質量ｍ＝０．５０ｋｇ、抵抗Ｒ＝２．０Ωの導線がおいてある。レールと導線の間の摩擦係数はμ＝０．１０。全系は磁束密度Ｂ＝０．１０Ｔの磁界に垂直に置かれている（図２１５）。レール間に電圧Ｅ＝１０Ｖの電源を接続する。レールの抵抗は無視し以下を求めよ。（１）最初に導線を流れる電流、（２）導線の動く速さ、（３）電源で消費される電力、（４）１秒間当たりに導線で発生する熱量、（５）このような「モーター」が出す力学的な仕事率は幾らか。

３４．３５　モーターが力学的仕事をなす。モーターが空運転をする。どちらの場合で、モーターの熱上昇が早いか。

３４．３６　図２１７で示している回路で，検流計は何を指示するか。コイルは細い銅線でできている。スイッチＫを開いたとき、検流計は何を指示するか。スイッチＫを閉じたときはどうか。

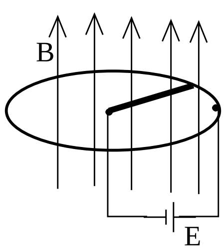


図２１６

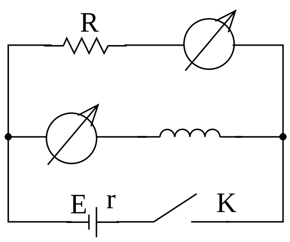


図２１７

３４．３７　導線中の電流が０．５秒間で２．０Ａ変化し、自己誘導電圧２０ｍＶを発生した。導線のインダクタンスを求めよ。

３４．３８　インダクタンスＬ＝０．４０mH、断面積Ｓ＝１０ｃｍ２の長いソレノイドを電流Ｉ＝０．５０Ａが流れる。ソレノイドの巻き数がｎ＝１００回とすれば、ソレノイド内部の磁束密度は幾らか。

３４．３９　一様磁界中に、超伝導コイルがある。コイル内部に磁界があり、その磁束はΦ＝０．２０Ｗｂ。コイル内部の磁界を取り去ると、電流Ｉ＝２０Ａが発生した。コイルのインダクタンスは幾らか。

３４．４０　インダクタンスＬ＝０．２０Ｈのコイルに電流Ｉ＝１０Ａが流れている。このコイルの磁界のエネルギーは幾らか。電流を２倍に増加すると、場のエネルギーはどの様に変化するか。

３４．４１　ソレノイドコイルを電流Ｉ＝５Ａが流れ、磁束Φ＝０．５Ｗｂが発生している。ソレノイドの磁気エネルギーを求めよ。

３４．４２　細い銅線を巻いて作られたインダクタンスＬ＝０．３０Ｈのコイルに、抵抗Ｒを並列に接続し、電圧Ｅ＝４．０Ｖ、内部抵抗ｒ＝２．０Ωの電源に接続する。電源を切断した後、コイルと抵抗でどれだけの熱量が発生するか。

３５節　交流。電磁振動と波

３５．１　面積 S の導体枠が磁束密度 B の磁界中にあり、磁界に垂直な軸の周りに等速で回転する。回転周波数はν。枠を貫く磁束Φ、枠に発生する起電圧 E は時間とともにどの様に変化するか。

３５．２　面積 S の１ターンのコイルが磁束密度 B の磁界中にあり、磁界に垂直な軸の周りに等速で回転する。回転周波数はν。コイルに発生する起電圧の最大値は幾らか。時間と起電圧の依存性をグラフで示せ。以下の場合、起電圧の最大値はどの様に変化するか、またグラフはどの様に変化するか。（１）コイルの巻き数を N とする。（２）回転周波数をｎ倍とする。

３５．３　面積４００ｃｍ２の枠は導線の１００回巻きでできている。磁束密度１０ｍＴの磁界中で、磁界に垂直な軸の周りに回転する。回転周期は２０ｍｓ。滑り接点で導線の端は抵抗５０Ωに接続されている。抵抗を流れる電流を求めよ。電流の最大値は幾らか。電流の周期は幾らか。

３５．４　？？交流を得る場合、固定子を回転し、回転子を固定するのが都合がよいのは何故か。

３５．５　交流発電機のローターには６組の極がある。発電機が基準周波数の電流を発生するためには、ローターの回転数周波数を幾らとしなければならないか。

３５．６　交流の電圧はサインの法則で変化し、初期位相はゼロとして、５．０，１０，１５ｍｓ後の電圧を求めよ。電圧振幅は２００Ｖ，振動数は５０Ｈｚ。

３５．７　交流電源に、抵抗Ｒを接続する。電圧振幅はＵ０。抵抗における電圧、電流、消費電力の時間変化を求めよ。

３５．８　電源に接続した交流電圧計がでんあつ２２０Ｖを指示した。電源の最高電圧を求めよ。

３５．９　実効電圧が５００ｋＶであるとき、送電設備の絶縁は何ボルトとしなければならないか。

３５．１０　電力Ｐ＝０．５ｋＶの電熱器を、電圧Ｕ＝１２７Ｖの商業電源に接続する。電熱器での電流と電圧の時間依存式を記述せよ。電熱器では最大どれだけの電力が消費されるか。

３５．１１　ネオンランプはある電圧を境に、点灯したり消灯したりする。この敷居値電圧の実効値を与える交流電源にこのランプを接続すると、ランプが点灯している期間はどれだけか。

３５．１２　トランス、発電機、モーターのコアはお互いに絶縁された薄い鉄板から組み合わされて

いるのは何故か。

３５．１３　トランスの開放された２次コイルではエネルギーが消費されないのは何故か。

３５．１４　２次コイルの負荷を減少させると、電源に接続したトランスの１次コイルと２次コイルの電圧と電流はどの様に変化するか。

３５．１５　鉄コアを引き分けると、動作中のトランスの１次コイルと２次コイル電流はどの様に変化するか。

３５．１６　コイルの両端を少しでも短絡すると、トランスは何故壊れるのか。

３５．１７　１次コイルの巻き数が７００回のトランスが２２０Ｖの電圧を１．１ｋＶまで昇圧する。変換率は幾らか。２次コイルの巻き数は幾らか。大きな断面積を有する導線はどちらのコイルか。

３５．１８　トランスが電圧をＵ１＝１００ＶからＵ２＝５．６ｋＶまで昇圧する。片側のコイルの１ターンのコイルを巻き、その両端を電圧計に接続した。電圧計は電圧Ｕ＝０．４０Ｖを指示した。コイルの巻き数は幾らか。

３５．１９　変換率ｋ＝５．０の降圧トランスを電圧Ｕ＝２２０Ｖの電源に接続した。１次コイルでのエネルギー損失はなく、２次コイルでの電圧がＵ２＝４２Ｖであるとき、トランスの効率を求めよ。

３５．２０　トランスの１次コイルが巻き数ｎ＝２４００回である。外部回路に電圧Ｕ＝１１Ｖで、電力Ｐ＝２２Ｗを供給するためには、２次コイルの巻き数は幾らとすべきか。２次コイルの抵抗はＲ＝０．２０Ω。電源電圧はＵ１＝３８０Ｖ。

３５．２１　出力Ｐ＝５．０ＭＷの発電所からエネルギーのη＝９５％を送電するためには、抵抗Ｒ＝３６Ωの送電器は送電回路へどれだけの電圧まで昇圧する必要があるか。

３５．２２　変電所から消費者へ、電力Ｐ＝６２ｋＷを送電する。回路の抵抗はＲ＝５．０Ω。電圧Ｕ１＝６２０Ｖ，Ｕ２＝６２００Ｖで送電を行う場合、（１）消費者はどれだけの電力を受け取ることができるか、（２）消費者側での電圧、を求めよ。

３５．２３　振動回路がコイルと並列接続された２つのコンデンサからできている。回路の固有振動周期はＴ１＝２０μｓ。コンデンサが直列に接続されると、周期はどうなるか。

３５．２４　容量Ｃ＝５０ｎＦのコンデンサが最初、電圧Ｅ＝３．０Ｖの電源に接続され、その後、インダクタンスＬ＝５．１μＨのコイルに接続される。回路に発生する振動の周期は幾らか。回路を流れる電流の最大値は幾らか。実効値は幾らか。

３５．２５　インダクタンスＬ＝８０μＨのコイル、容量Ｃ＝１００ｐＦのコンデンサ、抵抗Ｒ＝０．５０Ωからできている振動回路がある。この回路が不減衰振動を継続し、コンデンサにおける最大電圧がＵ＝４．０Ｖであるためには、回路にどれだけの電力を供給しなければならないか。

３５．２６　帯電しているコンデンサをコイルに接続する。接続後、どれだけの時間を経過したらコンデンサのエネルギーはコイルのエネルギーと等しくなるか。

３５．２７　コンデンサの最大帯電量の、回路の最大電流との比がｎであるとき、回路の共振周波数を求めよ。

３５．２８　受信器において、振動回路の容量が０．１０ｎＦから５．０ｎＦまで可変で、インダクタンスは０．５０ｍＨから１．０ｍＨまで可変である。この受信器の同調回路はどれだけの周波数帯と波長を受信できるか。

３５．２９　放送局が波長λ＝３０ｍで送信している。振動数ν＝５．０ｋＨｚの音声振動周期中に

どれだけの搬送波の振動があるか。

３５．３０　送電距離がｓ＝６００ｋｍ。この距離で、電圧の位相差はどれくらいか。

３５．３１　レーダーが波長λ＝１５ｃｍで動作し、周波数ν＝４．０ｋＨｚでパルスを発射する。パルス長はτ＝２．０μｓ。観測できる最大距離は幾らか。１つのパルス中にどれだけの振動が入っているか。

補遺問題

．１　断面積Ｓ＝２．０ mm ２の銅線で作った正方形の枠を、水平軸 OO'の周りに回転させることができる（図２１８）。枠は磁束密度 B=３０ｍＴの垂直磁界中にある。傾斜角度α＝３０°のとき、枠を流れる電流を求めよ。

．２　磁場が垂直にかかっている、電流の流れている長方形の導体試料の Ｃ と Ｄ 点に電圧計を接続すれば、電圧計は電位差が発生していることを指示する（図２１９）。試料を流れている電流が I、磁界の磁束密度が B、試料の厚さがａ、導体中の電子濃度をｎとして、この電位差を求めよ。

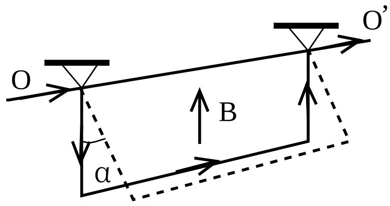


図２１８

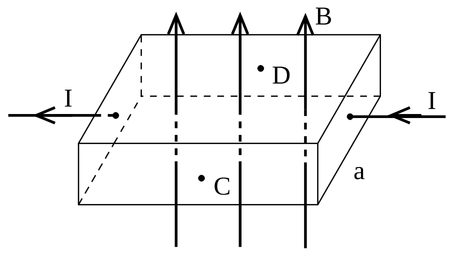


図２１９

．３　電界強度Ｅ＝１０ｋＶ／ｍ、磁束密度Ｂ＝１０ｍＴが平行にかかっている場中に、速さｖ０＝１００ｋｍ／ｓの電子が、直角に飛び込む。電子の軌跡の曲率半径と時間の依存性を求めよ。電子は１回転するとき、その曲率半径は幾らか。

．４　重さのない導線棒の端に金属球を固定し、球が半径Ｒ＝１．０ｍの導体球面に接触させる（図２２０）。棒の他端は球面の中心に固定するが、棒は摩擦なしに任意の方向に回転することができるようになっている。全系は磁束密度Ｂ＝０．５Ｔの磁界中にある。球面と棒との間に、電源を接続すると、棒は垂直と角度α＝６０°をなす。電源の電圧を求めよ。

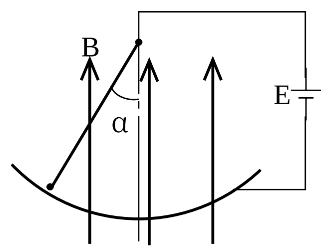


図２２０

．５　長さｌの棒が、抵抗の無視できるリングに沿って滑る（図２１６を参照）。計は磁束密度Ｂ中にあり、磁界はリング面に垂直である。リングと棒の他端側に電圧Ｅの電源を接続する。棒の回転角速度は幾らの時、最大の電力が消費されるか。

．６　２つのダイオードと抵抗Ｒの３つの抵抗からなる回路に電圧Ｕの交流電源を接続する（図２２１）。抵抗で消費される電力を求めよ。

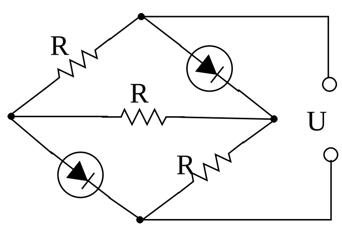


図２２１

．７　インダクタンスＬ＝４０mHのコイル，容量Ｃ＝０．２５μＦのコンデンサ、抵抗値Ｒ＝４．０Ωの抵抗からできている振動回路がある。１周期で振動の振幅はどれだけ変化するか。

# 第４部　　光学。原子の構造

## 第１１　幾何光学。測光法

### ３６節　平らな境界における光の反射と屈折

３６．１　図２２２において、点Ａから出た光線が水平な表面で反射し、点Ｂに達する軌跡を描け。

３６．２　光線が机の表面から角度α＝５２°で出ている。光線の方向を水平とするためには平面鏡をどのように配置しなければならないか。

３６．３　平面鏡に角度αで入射した光は、反射後どれだけの角度変移するか。

３６．４　平面鏡が速さｖ＝１．５ｍ毎秒で動く。平面鏡での反射が動かないでいるためには、点光源Ｓはどれだけの速さでどの方向に動かなければならないか。

３６．５　鏡ＯＡは角速度ωで回転する（図２２３）。
点Ｓの反射はどれだけの速さで動くか。ＯＳ＝ｌ。

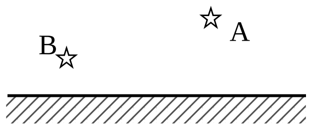


図２２２

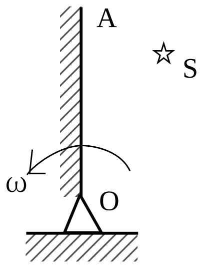


図２２３

３６．６　平面鏡が速さｖ＝２，０ｃｍ毎秒で、点光源Ｓは速さｕ＝３．０ｃｍ毎秒で動く（図２２４）。光源Ｓの反射はどの方向にどれだけの速さで動くか。

３６．７　物体ＡＢと鏡ＯＯ’は図２２５に示しているように配置している。物体の像全体を完全に見るためには、どこに目をおけばよいか。

３６．８　垂直な鏡の前に人が立つ。頭を動かすことなく、鏡の中に自分の像全体を見るためには、鏡は最小どれだけの高さでなければならないか。

３６．９　２枚の鏡がお互いに角度α＝１２０°をなして配置してある（図２２６）。それらの前に点光源Ｓを置く。両方の鏡で反射されたＳの像を一度に見るためには、観察者は目をどこに置けばよいか。

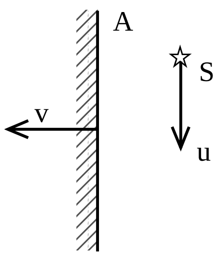


図２２４

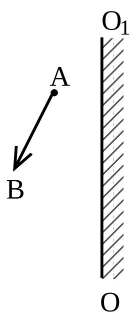


図２２５

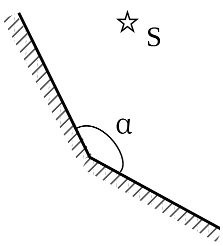


図２２６

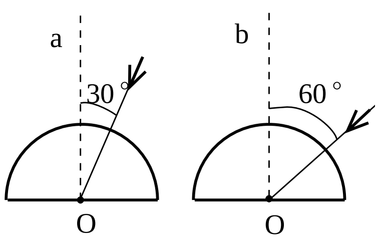


図２２７

３６．１０　お互いに角度α＝３０°をなして交差させている２枚の平面鏡の交差線から距離１２ｃｍ離れたところに光源がある。２つの鏡でできる２つの最初の像はお互いにどれだけの距離離れているか。

３６．１１　２つの光源$S_1$，$S_2$が距離４１ｃｍ離れて配置してある。２枚の平面鏡が、次のように配置されている。２つの像は一致し、かつ$S_1$から１枚の鏡との距離が、$S_2$から他の鏡の距離と同じ

値の２５ｃｍである。鏡のなす角度を求めよ。

３６．１２　直角をなすように配置された２枚の鏡の間に物体がある。得られる像の個数は幾つか。作図せよ。２枚の平行に配置された鏡ではどれだけの象が獲られるか。鏡のなす角度がαの場合（ただし３６０／αが整数値）についてできる像の個数について考察せよ。

３６．１３　外壁が暗い色で着色されていても、家の窓が昼間暗く、即ち外壁より暗く見えるのは何故か。

３６．１４　空中から水中に入射する光線は角度α傾く。水面上に油の層をもうけるとこの角度はどのように変化するか。

３６．１５　どのような媒質中で、光線の軌道は曲線状となるか。

３６．１６　反射光が屈折光と直角をなすようにするためには、水とガラスの境界に光はどれだけの角度で入射しなければならないか。

３６．１７　ダイヤモンドとアルコールの境界に、角度３０°で光が入射する。反射光と屈折光のなす角度を求めよ。光の入射角度が最小何度ならば完全反射となるか。

３６．１８　空気中から液体中に、直交している２本の光線が進む。１本の光線は角度３６°屈折し、残りの光線は角度２０°屈折する。液体の屈折率を求めよ。

３６．１９　深さ２，０ｍのダムの底に、杭が打ち込まれ、水から０．７５ｍ突き出ている。水面上、及びダムの底にできる杭の陰の長さを求めよ。太陽の高度は４５°とする。

３６．２０　石英ガラスでできている半円柱の平面部分に向かって入射する光（図２２７ａ、ｂ）の経路を求めよ。

３６．２１　深さ１５ｃｍまで水を入れた容器の底に、点光源を置く。光が水面上に漏れでないように、水面に不透明の板を置く。板の最小直径を求めよ。

３６．２２　水の入った容器の底にある平面鏡に映される自分の象を観察する。目は水面上２０ｃｍの高さにあり、目の焦点が６０ｃｍに調節されているとして、水の深さを求めよ。

３６．２３　肉眼で、プールの垂直方向の深さを２．０ｍと判断した。プールの真の深さはいくらか。

３６．２４　厚さ３．０ｃｍのガラス板に角度６０°で光が入射する。ガラス板中での光路長を求めよ。光が板を出る角度を求めよ。

３６．２５　平行平板のフリントガラスに角度４５°で光が入射する。光がガラスを出る位置が２，０ｃｍずれている。ガラスの厚さを求めよ。

３６．２７　ガラスプリズムに光線が垂直に入射する。プリズムの屈折角度がα＝３０°ならば、光はどれだけ傾くか。

３６．２８　ガラスプリズムに光線が入射し、入射角度を同じ角度でプリズムから出ていく。プリズムの屈折角α＝４５°として、光線の入射方向に対する透過光の傾斜角度を求めよ。

## ３７節　球面鏡とレンズ

３７．１　交通設備で、平面鏡の代わりに、凸面鏡が使用されるのは何故か。

３７．２　凹面鏡の曲率半径を太陽光を用いて求める方法を述べよ。

３７．３　図２２８に示しているように、凸面鏡に光線が入射する。光線の経路を作図せよ。

３７．４　図２２９に、球面鏡への光の入射を図解している。鏡の焦点位置を作図で求めよ。

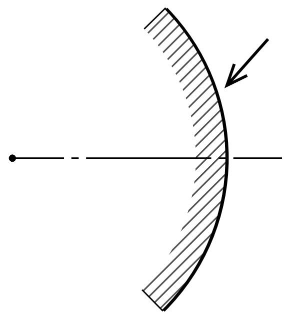

図２２８

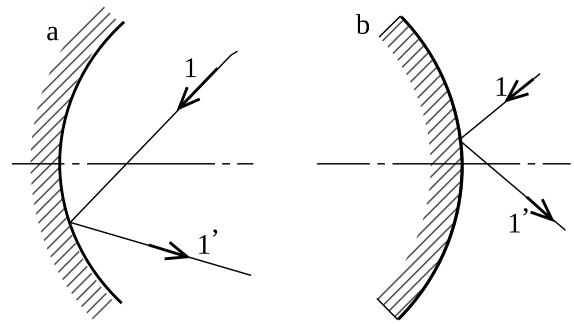


図２２９

３７．５　点光源Ｓが凹面鏡の光学軸上にある（図２３０）。凹面鏡の焦点距離はｆ。像を作図せよ。得られる像は、実像か、虚像か。

３７．６　図２３１のａ～ｃに、球面鏡の光学軸、点光源Ｓ、その像Ｓ’が与えられている。作図で、曲率中心、鏡の極性を求めよ。鏡は凹面かそれとも凸面か。

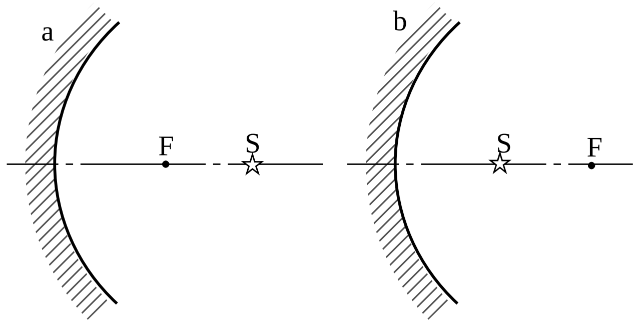


図２３０

３７．７　物体が凹面鏡の光学軸上にある。スクリーン上には拡大された実像が得られる。鏡の半分を不透明の衝立で隠すと、像はどのように変化するか。

３７．８　球面鏡において、主焦点からの物体の距離と像の距離の積は、焦点距離の２乗に等しいことを証明せよ。

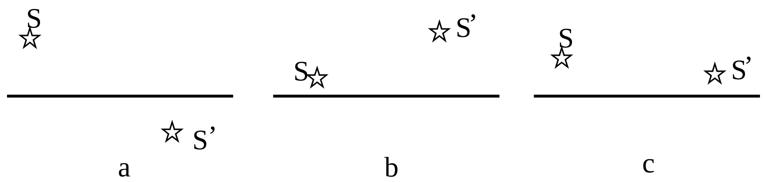


図２３１

３７．９　凸面鏡の主焦点から$x_1$＝３６ｃｍの距離に光源があり、主焦点から$x_2$＝９．０ｃｍの距離に光源の像がある。鏡の主焦点距離を求めよ。鏡による光源の像を作図せよ。

３７．１０　曲率半径Ｒ＝４０ｃｍの凹面鏡において、物体の実像が実物の大きさのｋ＝０．５０となるようにするためには、物体をどこに置く必要があるか。

３７．１１　曲率半径Ｒ＝３０ｃｍの凹面鏡において、鏡の向こう側、距離$a_1$＝３０ｃｍのところの点を交差するように光線群が入射する。これらの光線は、反射後、鏡からどれだけの距離で合流するか。交差点は実像か。

３７．１２　凸面鏡において、光線群が鏡の軸上距離$a_1$＝３０ｃｍのところで交差するように入射する。鏡での反射後、光線群は鏡から距離$a_2$＝６０ｃｍ離れた地点で交差するように拡散する。鏡の曲率半径を求めよ。

３７．１３　物体が凹面鏡から$a_1$＝３０ｃｍのところにある。その像はｋ＝１．５倍だけ実物より

大きい。像と鏡の間の距離、及び鏡の曲率半径を求めよ。

３７．１４　凹面鏡が反転し、大きさがｋ＝４倍となった物体の像を与える。物体と像の間の距離がｌ＝９０ｃｍとして、鏡の主焦点距離を求めよ。

３７．１５　凹面鏡でできる像は物体より$k_1$＝３倍小さい。物体が距離ｂ＝１０ｃｍだけ鏡に近づくと、像の大きさは$k_2$＝２倍小さくなる。鏡の主焦点距離はいくらか。

３７．１６　凹面鏡からａ＝８．０ｃｍのところに、薄くて平らなガラス板を置く。ガラス板の向こう、鏡からｂ＝１２ｃｍのところに点光源がある。ガラス板の前面で反射された光によって得られる像は鏡で反射されて得られる光源の像と一致する。鏡の曲率半径を求めよ。

３７．１７　曲率半径Ｒ＝５０ｃｍの凹面鏡の主光学軸上に、点光源Ｓが鏡から$a_1$＝３０ｃｍの距離にある。凹面鏡で反射された光線を平面鏡で反射させて、光線が点Ｓに戻るようにするためには、平面鏡を光源からどれだけの距離に置くべきか。

３７．１８　図２３２に、焦点距離ｆのレンズを通過した光線が示されている。レンズまでの光線の経路を作図せよ。

３７．１９　図２３３に、レンズを通過する光線の経路が示されている。レンズの焦点距離の位置を作図で求めよ。

３７．２０　図２３４に、レンズを通過する光線１の光路が例示されている。光線２の光路鋸を作図せよ。

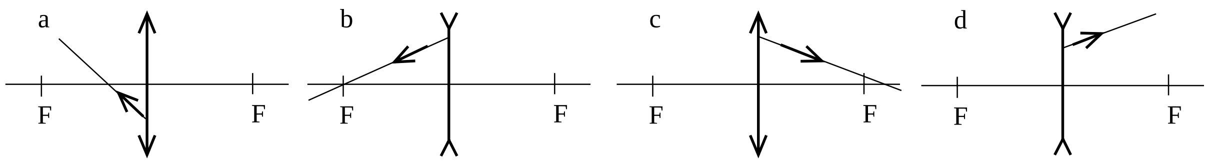


図２３２

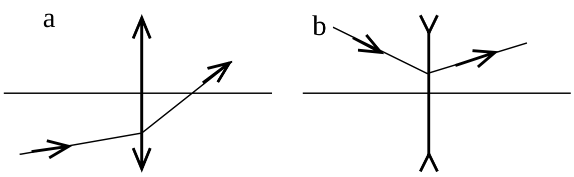


図２３３

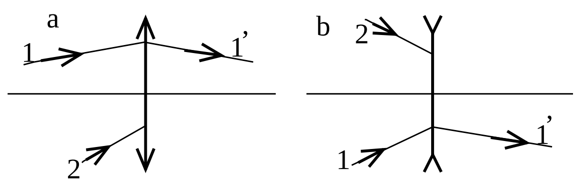


図２３４

３７．２１　図２３１に、レンズの光学軸、光源Ｓ、その像Ｓ’の状況が示されている。レンズの中心位置と焦点距離を作図で求めよ。レンズはどの種類のものか。

３７．２２　レンズを通過した平行光線が同じく平行光線であるためには、２つのレンズをどのように配置しなければならないか。（１）幾つかの集光レンズ、（２）１枚の拡散レンズ、１枚の集光レンズ。

３７．２３　両凹ガラスレンズを使用して、実像を得ることができるか。

３７．２４　焦点距離ｆ＝１０ｃｍの平凸レンズのために、フリントガラスを用いる。凸部分の曲率半径を求めよ。

３７．２５　フリントガラスから作ったレンズの焦点距離は、全く同じ形状に作ったプレクシガラス（有機硝子）製のレンズよりｋ＝１．６倍短い。プレクシガラスの屈折率を求めよ。

３７．２６　屈折率Ｄ＝２．５ジオプトリーの凹凸拡散ガラスレンズの曲率半径を求めよ
（注釈　Ｄ＝１／ｆ　ｆはm単位での屈折率、凸レンズではＤ＞０，凹レンズではＤ＜０）

３７．２７　石英ガラスで作った集光レンズの焦点距離は、水に入れるとどうなるか。

３７．２８　虚の光源が集光レンズの焦点位置にある。その像はどこにあるか。

３７．２９　拡散レンズの前方４ｆの距離のところに物体がある。虚像はレンズからどれだけのところに得られるか。大きさは現物より何倍小さいか。

３７．３０　レンズから距離ａ＝１０ｃmのところに３倍の像をレンズが与える。レンズの焦点距離を求めよ。

３７．３１　物体からスクリーンまでの距離はｌ＝５．０m。大きさがｋ＝４倍の像を得るためには、どの種類のレンズを使用し、そのレンズをどこに置く必要があるか。

３７．３２点光源が集光レンズの光学軸上にある。光源をＡ点に置くと、その像はＢ点にでき、光源をＢ点に置くと、その像はＣ点にできる。ＡＢ＝１０ｃm、ＢＣ＝２０ｃmとして、レンズの焦点距離を求めよ。

３７．３３　物体とスクリーンがお互いに距離ｌ＝１．０m離れている。これらの間に集光レンズを置く。２カ所でスクリーン上に明瞭な像が得られた。位置の間隔はａ＝６０ｃm。レンズの焦点距離を求めよ。

３７．３４　レンズ１，２は同じ種類のガラスからできている（図２３６）。レンズ２の屈折力$Ｄ_2$＝２．２５ジオプトリが判っているとして、レンズ１の屈折力$Ｄ_1$を求めよ。

３７．３５　半径Ｒ＝５３．２ｃmの凹面鏡を水で満たす。焦点距離を求めよ。

３７．３６　焦点距離ｆ＝６０ｃmのレンズを平面鏡に密着させる。レンズの光学軸上、レンズから距離$ａ_1$＝１５ｃmのところに点光源Ｓがある。この系はどのような像を与えるか。その位置はどこか。

３７．３７　屈折力５．０ジオプトリー、２．５ジオプトリのレンズが２枚有り、間隔０．９０m離れて位置している。物体を前者のレンズの前方３０ｃmにおいたとき、像はどこにできるか。

３７．３８　焦点距離３０ｃmのレンズから０．５０mのところに、高さ１．５ｃmの物体がある。焦点距離２０ｃmの２番目のレンズを最初のレンズから距離４５ｃmのところに置く。物体の像の位置はどこか」。この像の高さはいくらか。

図２３５

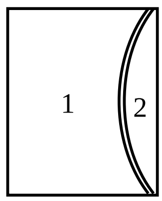

図２３６

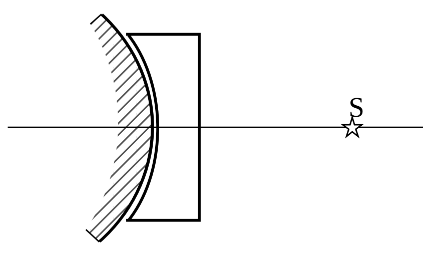

図２３７

３７．３９　屈折力２．０ジオプトリーのレンズの左側、レンズから距離２５ｃｍの所に光源がある。レンズの右側の同じ距離の所に、レンズの軸の垂直に平面鏡を置く。レンズから幾らの所に光源が結像するか。

３７．４０　凸面鏡にガラスレンズを密着する（図２３７）。これらから距離$ａ_1$＝４０ｃｍのところに光源Ｓがある。光源の像が、鏡から距離$ａ_2$＝１５ｃｍのところにできるとして、鏡の曲率半径を求めよ。

## ３８節　光学機器

３８．１　カメラの対物レンズの焦点距離ｆ＝５，０ｃｍで写した建物の高さはフィルム面上でｈ＝３６mm。カメラが建物から距離ａ＝５０ｍ離れている。フィルム面上に写る建物の高さを求めよ。

３８．２　虚像を撮影することができるか。

３８．３　ネガフィルム上で像の不鮮明さが、Δｘ＝０．５mmを越えないものとして、競輪のゴールを撮影するためには露出をいくらとしなければならないか。自転車の速さはｖ＝３６ｋｍ毎時。撮影は１０ｍの距離で、屈折力Ｄ＝２０ジオプトリーの対物レンズを持ったカメラで行う。

３８．４　カメラのフィルムから対物レンズを最長に離した状態で、距離ａ＝０．３ mm にある物体の鮮明な像を撮影する。対物レンズとして、屈折力 D=５．０ジオプトリーの凸レンズを装着すれば、どれだけの最短距離で鮮明な像が得られるか。

３８．５　屈折力 D=１０ジオプトリーの対物レンズを装着したカメラを用いて、深さｈ１＝１．２ｍのダムの底にある物体を撮影する。対物レンズとフィルムの距離は幾らとなるか。対物レンズは水面から距離ｈ２＝０．５０ｍの距離にあるものとする。

３８．６　投射器の対物レンズの焦点距離はｆ＝１５ｃｍ。スクリーン上に４５ｃｍ×６０ｃｍの像を得るためには､大きさ９ｃｍ×１２ｃｍのスライドを対物レンズからどれだけの距離に置くべきか。

３８．７　スクリーンは対物レンズからａ＝６．０ｍのところにある。対物レンズの焦点距離がｆ＝２０ｃｍならば、投射器の拡大率はいくらか。

３８．８　本中の図の高さはｈ＝５．０ｃｍ、スクリーン上ではｈ’＝０．９５ｍ。対物レンズからスクリーンまでの距離をａ＝４．０ｍとして、万能幻灯機の対物レンズの焦点距離を求めよ。

３８．９　空に浮かんでいる雲から、進行中の車に目を移すと、目の水晶体の曲率はどのように変化するか。

３８．１０　水中で目を開けて見ると、物体の不明瞭な輪郭が見える。潜水用眼鏡をつけると明瞭に見えるようになる。何故か。

３８．１１　最小視角はα＝１分。５ｍ離れた地点での最小分解距離値を求めよ。

３８．１２　正視の距離が１２．５ｃｍである人の欠点は何か。どのようにしたら補正できるか。

３８．１３　人の目の欠点を補うため、屈折力 D=+２．７５ジオプトリーの眼鏡を使用する。遠視の人の目の調節が可能な最近距離は幾らか。

３８．１４　近眼の人の調整領域は１０ｃｍから５０ｃｍである。眼鏡をかけて遠方の物体をよくみることができるようになると、この人が正常に読むことのできる本の最小距離はいくらとなるか。

３８．１５　物体をあるところに置くと、ルーペは４倍大きい像を与える。物体とルーペの間隔を１．５倍短くすると、この倍率はどのように変わるか。

３８．１６　倍率が２のルーペの光学力を求めよ。

３８．１７　劇場用望遠鏡の筒を延ばすのはどのような観客に合致するか。遠視それとも近視。

３８．１８　対物レンズの焦点距離ｆ＝２４ｃｍのケプラー型望遠鏡が無限遠に焦点が合わされている。距離ａ＝１０ｍにある物体を明瞭にみるためには接眼筒をどれだけ動かす必要があるか。

３８．１９　無限遠に調整して倍率が１０倍であるガリレオ式望遠鏡（接眼レンズに拡散レンズを使用）の筒の長さは５４ｃｍである。対物レンズと接眼レンズの焦点距離を求めよ。距離６０ｍにある物体を明瞭にみるためには接眼レンズをどれだけ移動させる必要があるか。

３８．２０　対物レンズの焦点距離が１．０ｍ、接眼レンズの焦点距離が５．０ｃｍの望遠鏡を月に向ける。接眼レンズから距離２５ｃｍにあるスクリーン上に明瞭な月の像ができた。対物レンズと接眼レンズとの間隔、月の像の直径を求めよ。月の視角は３０’。

３８．２１　対物レンズの焦点距離ｆ＝２．５ｍの望遠鏡から接眼レンズ部を抜き出し、対物レンズだけで遠方の物体をのぞく。倍率はいくらとなるか。

３８．２２　顕微鏡や望遠鏡で得られる像を、スクリーンに描写させることができるか。そのためにはなにが必要か。

３８．２３　顕微鏡の対物レンズの焦点距離は８，０mm、接眼レンズの焦点距離は４．０ｃｍ。物体が、対物レンズから８．５mmの距離にある。通常の目で見た場合の倍率と対物レンズと接眼レンズの距離を求めよ。

３８．２４　顕微鏡の筒の長さは２０ｃｍ。対物レンズと接眼レンズの焦点距離は各々０．４０ｃｍ、２．０ｃｍ。通常の視力を有する人が物体の像を明瞭に見るためには、物体を対物レンズからどれだけの距離に置く必要があるか。

３８．２５　顕微鏡の筒の長さが１８．９ｃｍ。？？対物レンズの光学力は２５０、接眼レンズは２０。物体から対物レンズまでの距離は４．１mm。顕微鏡の倍率を求めよ。

## ３９節　測光法

３９．１　正午に、大地の照度が最大になる理由を図解せよ。

３９．２　輝度Ｉ＝２５カンデラのランプが、エレベータの天井に吊されている。エレベータの床と壁に入射する光量を求めよ。

３９．３　半径Ｒ＝６０ｃｍの円形テーブルの中心の真上高さｈ＝０．８０ｍの位置に輝度Ｉ＝１００カンデラのランプを吊す。テーブルの中心と端における照度を求めよ。

３９．４　テーブル上、高さｈ＝１．２ｍのところにある輝度Ｉ＝１００カンデラのランプを降ろす。テーブルの中心の照度がＥ＝１００ルックスとなった。そのときのランプの高さを求めよ。

３９．５　高さｈ＝６．０ｍの柱に、街灯が吊されている。輝度はＩ＝５００カンデラ。地面の照度がＥ＝３．０ルックスとなるのは柱からどれだけの距離か。

３９．６　円形テーブルの円周部分で、最大の照度を得るためには、ランプをテーブルの中心真上、どれだけの高さに置くべきか。

３９．７　曇りガラスでできている電灯は直径２０ｃｍの球形状をしている。輝度は６０カンデラ。電灯の全光量と光度を求めよ。

３９．８　半径１０ｃｍの球形状をした電灯がテーブルから距離０．５ｍのところにある。電灯の光

度は４０００ルックス。電灯真下のテーブルの照度はいくらか。

３９．９　黒い羅紗で覆われた表面の照度がＥ＝１２０ルックス。全方向への光度は同じでＲ＝６．０ルックス。羅紗の吸収計数を求めよ。

３９．１０　輝度２５と４０カンデラの２本のランプが距離１．２m離れている。両方のランプからの照度が同じとなるためには、ランプの間のどこにスクリーンを置けばよいか。

３９．１１　地表から高さｈ＝３，０mのところに、間隔ｌ＝４．０m離れて輝度Ｉ＝２００カンデラの街灯が２個ある。街灯真下の地面の照度を求めよ。

３９．１２　ネガ写真の焼き付けにおいて、ランプと印画紙との距離をｒ＝０．６０mとし、$\tau_1$＝９秒間ランプで照射した。ランプをｌ＝２０ｃm近づけると露出時間をいくらにすべきか。

３９．１３　カメラのレンズにハエが止まっている。これはどのような影響を撮影に及ぼすか。

３９．１４　望遠鏡の対物レンズの直径は$d_1$＝７５mm、目の瞳孔の直径は$d_2$＝３．０mm。この望遠鏡を使うと、星の明るさは何倍となるか。

３９．１５　大きさ５m×３．６mの映画のスクリーンに、映写機の対物レンズから光量１８００ルーメンが投射される。スクリーンの反射率を０．８０として、スクリーンの照度、光度を求めよ。

３９．１６　投射器が焦点距離ｆ＝２０ｃmの対物レンズを持っている。スライドの大きさは３ｃm×４ｃmであり、レンズからａ＝２０．６ｃm離れ、光量Φ＝１２ルーメンが通過する。スクリーン上に投射されるスライドの像の照度と光度を求めよ。スクリーンの反射率をρ＝０．７５とする。

３９．１７　最初遠方の物体を写真に撮り、その後近くの物体の写真を撮る。対物レンズの意図をどれだけ移動しなければならないか。露出をどのように変化させなければならないか。

３９．１８　点光源からある距離のところにスクリーンを置く。点光源からスクリーンと逆の方向に、スクリーンと同じ距離のところに平面鏡を置くと、スクリーンの中心の照度はどのように変わるか。

３９．１９　曲率半径Ｒ＝１．０mの凹面鏡の光学軸上に点光源がある。鏡から距離ｌ＝２．０mにあるスクリーンの中心における照度を求めよ。ただし、鏡がないときのこの点での照度は$F_0$＝４０ルックスであった。

３９．２０　光力$I_0$＝４０カンデラのランプが焦点距離ｆ＝５０ｃmのレンズから距離$a_1$＝３０ｃm離れている。レンズの作用の結果、このランプの光力はいくらとなるか。

３９．２１　点光源Ｓがレンズを使用してスクリーンを照らす（図２３８）。スクリーン上のM点の照度を求めよ。光源の光力はＩ＝２５カンデラ、レンズの光学力はＤ＝１／ｆ＝２．０、光源からレンズまでの距離$a_1$＝０．８０m、レンズからスクリーンまでの距離ｌ＝１．０m。

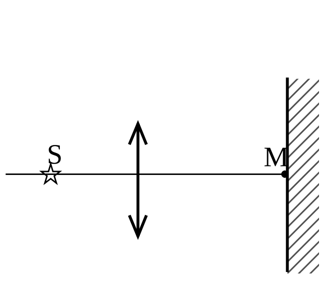

図２３８

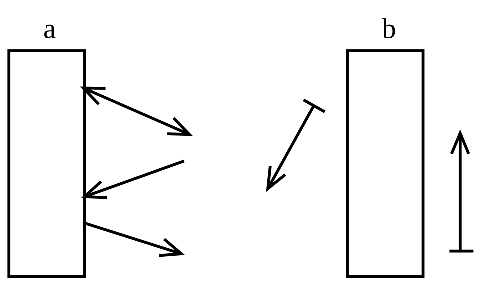

図２３９

補充問題

．１　人が平面鏡の中に自分の目の光彩を、明視の距離で深さｄ＝１．５ｃｍに見る。目は鏡からどれだけの距離にあるか。

．２　道の曲がり角などに凸面鏡が設置されている。直径がその曲率半径に等しい凸面鏡の視野は、同じ直径の平面鏡と比較してどれだけ大きいか。

．３　水中眼鏡の空気中での視野はφ＝１１０°。水中での視野の大きさを求めよ。

．４　球面鏡とレンズを紙袋（図２３９の長方形）で隠す。図２３９のａは入射光と鏡での反射光を示している。物体とそのレンズ中の像は図２３９のｂに示している。鏡とレンズの配置状況及びそれらの特徴を求めよ。

.5　焦点距離ｆ＝１０ｃｍの両凸レンズが光学軸からｂ＝２．０ｃｍ、レンズからｄ＝２８ｃｍのところに位置している点光源の像をつくっている。レンズを通過後鏡で反射された光線が光源と一致するように像を形成するように、レンズの向こう側に平面鏡を配置する。先に光源と一致していた像がレンズからａ＝２ｃｍ遠くに移動するためには、レンズの光学軸と鏡の交点を通り、光源と光学軸を通る垂直平面を通る軸の周りのどれだけの角度、鏡を回転する必要があるか。

．６　倍率$\gamma_{T}$＝４．０を与える望遠鏡のレンズ、焦点距離ｆ＝１．６ｃｍのルーペを組み合わせて、倍率$\gamma_{M}$＝２５倍の顕微鏡をつくる。筒の長さはいくらとなるか。

# 第１２章　光の波動的性質と量子的性質

## ４０節　光の波としての性質

４０．１　空気中での波長０．５μｍの緑色の光で水を照らす。水中での光の波長はいくらか。水中で目を開けている人間にはどのような色に見えるか。

４０．２　どのような光線が大気中で強く散乱されるか。

４０．３　赤いガラスやキャラコの色がでる理由を説明せよ。

４０．４　白い下地に青色で文章を書く。青色のガラスを通して、書いた文字をみることは不可能か。赤色のガラスを通して文字を見るならば、文字はどのような色に見えるであろうか。

４０．５　白色光が入射角度６０度で水面に入射する。水中で、赤色と紫色の光線の間の方位角度差はいくらとなるか。赤色及び紫色に対する水の屈折率はおのおの１．３２９，１．３４４である。

４０．６　屈折角６０度のプリズムに、角度４５度で白色光が入射する。プリズムの出口での可視光の両端光（赤と紫）のなす角度はいくらか。各に対する屈折率は１．６２４，１．６７１である。

４０．７　曲率半径Ｒ＝５０ｃｍの両凸レンズの縦の色収差の大きさを求めよ。可視光の両端での屈折率が各$n_1$＝１．５７５と$n_2$＝１．５９７であるガラスからレンズはできている。

４０．８　２つの干渉性光源（図２４０）が白色光を放射している。光源から０．５０ｍ離れているスクリーン上の干渉模様はどのようなものであるか。スクリーンをさらに０．５０ｍだけ遠ざけると、干渉模様はどのように変化するか。

４０．９　単色で２つの干渉性光の光路差がλ／４である。振動位相差を求めよ。

４０．１０　２つの干渉性光源（図２４０）が波長０．６μｍの単色光を放射している。最初の輝度の最大は、光源から等距離にあるスクリーン上の点からどれだけの距離にあるか定めよ。スクリーンは光源から３ｍ離れており、光源間の距離は０．５ｍｍである。

４０．１１　光源Ｓと平面鏡が図２４１のように配置されている。Ｐ点に達した光線は干渉するか。

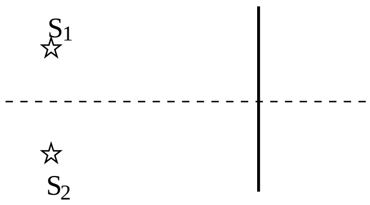


図２４０


図２４１

４０．１２　石鹸膜に垂直に白色光を入射させる。反射光の色が緑色（λ＝５２３ｎｍ）とすれば、膜の最小の厚さはいくらか。

４０．１３　白色光線が薄く平面の透明板に垂直に入射する。入射角度を増大させていくと板の色はどのように変化するか。

４０．１４　波長λ＝０．６μｍの単色光が薄いガラス製のくさびに垂直に入射する。干渉縞の間隔がｓ＝4mmのとき、くさびの角度を求めよ。

４０．１５　周期０．０２０mmの回折格子を周期０．０１０mmの回折格子で置き換えたとき、回折スペクトル図はどのように変化するか。

４０．１６　格子の長さ２．５ｃｍあたりに１２５００本の溝がある回折格子の定数を求めよ。

４０．１７　回折格子の定数が２．０μｍであるとき、白色光（４００ｎｍ～７００ｎｍ）に対する最大次数のスペクトルを求めよ。

４１節　光の量子的性質

４１．１　可視スペクトルの両端に位置する赤（$\lambda_1$＝０．７６μｍ）と紫（$\lambda_2$＝０．３８μｍ）に対応する光子のエネルギーと質量を求めよ。

４１．２　振動数３×１０$^{17}$ＨｚのＸ線に対応する光子の質量と運動量を求めよ。

４１．３　エネルギーが３ｅＶである光子の運動量はいくらか。

４１．４　質量が静止している電子の質量に等しい光子の波長を求めよ。

４１．５　エネルギーが静止している陽子のエネルギーに等しい光子の波長を求めよ。

４１．６　その運動量が、ポテンシャル差Ｕ＝４．９Ｖを飛行する電子の運動量に等しい光子の波長を求めよ。

４１．７　面積$Ｓ_1$＝１．０ｄｍ$^2$の表面に垂直に入射している光束（λ＝５００ｎｍ）のパワーがW＝１００Wである。この表面の$Ｓ_2$＝１．０ｃｍ$^2$に、毎秒どれだけの光子が入射しているか。

４１．８　太陽光は一年間に地球に５．４×１０$^{24}$Ｊのエネルギーをもたらす。地球がこのエネルギーを宇宙に放出しないとすれば、地球は１００年間でどれだけ質量が増えるか。

４１．９　アノードの電圧を変えないで、カソードのフィラメントの白熱度を変化させると、Ｘ線放射の「硬さ」は変化するか。

４１．１０　Ｘ線放射スペクトル中の最小波長が６０ｎｍであれば、Ｘ線管はどれだけの電圧で作動しているか。

４１．１１　カリウム金属と白金における光電効果の限界波長を求めよ。

４１．１２　波長４００ｎｍの光で銅を照射すると、光電効果が起こるか。

４１．１３　亜鉛を紫外線（λ＝３２０ｎｍ）で照射すると、それから飛び出す電子はどれだけの早さで飛び去るか。

４１．１４　光電子の最大速度が２５００ｋｍ／ｓであるためには、リチウム金属の表面にどれだけの振動数の光を照射すべきか。

４１．１５　電子の放出を押さえるため、セシウムに１．７５Ｖの阻止電位差をかける必要があった。どのような光でセシウムを照射したのか。

４１．１６　波長１３０ｎｍの紫外線の作用でタングステンから飛び出す電子を「押さえつけておく」ために、タングステンにどれだけの阻止電位差をかけなければならないか。

４１．１７　図２４２に、光デバイスの２種の異なるカソード材料に対する商社光の振動数に対する阻止電圧差の依存性が示されている。どちらの材料の方が小さい脱出仕事を有しているか。依存性が直線であるのはなぜか。グラフの傾斜のタンジェントは何に相当するか。

４１．１８　半径０．５ｃｍの孤立している球を波長２５０ｎｍの光で照射する。それをさらに補足して波長２００ｎｍの光で照射すると、どれだけの電子が球を飛び出すか。

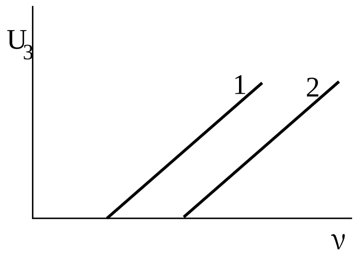


図２４２

第１３章　原子物理

４２節　原子の構造

４２．１　クロム原子中の電子の全電荷量はいくらか。

４２．２　原子核の全電荷量が２．０８×１０$^{-18}$Ｃである。これがどの元素に相当するか。

４２．３　ボーアの理論を利用し、水素原子に於いて、電子の第一軌道半径とその軌道での電子の早さを求めよ。

４２．４　水素原子に於いて、第一ボーア軌道での原子核の電界と電位を求めよ。

４２．５　基底状態における水素原子の電子と原子核の間のクーロン引力を計算せよ。この力は同じ距離における電子と陽子間の万有引力の何倍か。

４２．６　水素原子に於いて、第一軌道にある電子のポテンシャルエネルギー、運動エネルギー全エネルギーを求めよ。

４２．７　水素原子のイオン化ポテンシャルを求めよ。

４２．８　水素原子の第一励起ポテンシャルを求めよ。

４２．９　１５．５ｅＶのエネルギーを持った光子が基底状態にある水素原子から電子を叩き出す。

電子はいくらの早さで原子から飛び去るか

４２．１０　１４ｅＶのエネルギーを持った電子で水素原子を励起すると、どのようなスペクトル線がえられるか。

４２．１１　１２．５ｅＶのエネルギーを持った電子で水素原子を励起すると、どのようなスペクトル線がえられるか。

４２．１２　水素の紫外シリーズの最小波長を求めよ。

４２．１３　水素の可視シリーズ中の最初のスペクトル線に対応する光子のエネルギーを求めよ。

４２．１４　水素の赤外シリーズスペクトル中の限界を求めよ。

４３節　核の構造

４３．１　ベリリウム、炭素、ナトリウム、錫、フェリミウムの原子核はどのような成分か。

４３．２　酸素の同位体$^{16}O_8$、$^{17}O_8$，$^{18}O_8$の内容はいかに。

４３．３　ヘリウムの軽い同位元素と水素のもっとも重い同位元素の違いは何か。

４３．４　ヘリウム$^4He_2$の原子核の結合エネルギーを求めよ。

４３．５　アルミニューム$^{27}Al_{13}$の原子核の結合エネルギーを求めよ。

４３．６　リチウム$^7Li_3$を中性子と陽子に分離するために必要なエネルギーを計算せよ。

４３．７　重水素$^2H_1$，酸素$^{16}O_8$、ポロニウム$^{210}Po_{84}$の原子核における核子の比結合エネルギーを求めよ。

４３．８　硼素$^{10}B_3$の原子核中でのα粒子の結合エネルギーを求めよ。

４３．９　ヘリウム$^4He_2$の原子核中での中性子の結合エネルギーを求めよ。

４３．１０　炭素$^{12}C_6$の原子核を３つの同じ粒子に分離するために必要な最低エネルギーを求めよ。

４３．１１　ベリリウム$^9Be_4$をα粒子で打ち、それに伴い中性子が飛び出すときに発生するエネルギーを求めよ。

４３．１２　リチウム$^7Li_3$を陽子で爆撃し、それに伴い中性子が飛び出すときに発生するエネルギーを求めよ。

４３．１３　以下の反応式で欠けている部分を埋めよ。
１）$^{41}K_{19}+\ldots \rightarrow {}^{44}Ca_{20}+{}^1H_1$
２）$^{55}Mn_{25}+{}^1H_1\rightarrow {}^{35}Fe_{26}+\ldots$
３）$\ldots +{}^4He_2\rightarrow {}^{10}B_5+{}^1n_0$
４）$^2H_1+\gamma\rightarrow\ldots\ {}^1n_0$

４３．１４　以下の核反応に於いて、エネルギーが放出されるかそれとも吸収されるか。
１）$^7Li_3+{}^2H_1\rightarrow {}^8Be_4+{}^1n_0$
２）$^6Li_3+{}^1H_1\rightarrow {}^4He_2+{}^3He_2$
３）$^7Li_3+{}^4He_2\rightarrow {}^{10}B_5+{}^1n_0$
４）$^{14}N_7+{}^4He_2\rightarrow {}^{17}O_8+{}^1H_1$

４３．１５　核反応　$^{7}Li_{3}+{}^{1}H_{1}\rightarrow 2\,{}^{4}He_{2}$　においてどれだけのエネルギーが放出されるか。

４３.１６　熱核反応　$^{2}H_{1}+{}^{3}H_{1}\rightarrow {}^{4}He_{2}+{}^{1}n_{0}$　においてどれだけのエネルギーが放出されるか。

付録

１．１０の累乗の単位名

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| G | $10^{9}$ | d | $10^{-1}$ | **μ** | **$10^{-6}$** |
| M | $10^{6}$ | c | $10^{-2}$ | n | $10^{-9}$ |
| k | $10^{3}$ | m | $10^{-3}$ | p | $10^{-12}$ |
| h | $10^{2}$ | | | | |

２．サインとタンジェントの数値表

３．物質の密度

４．物質の熱膨張係数

５．弾性率

６．水の飽和蒸気圧

７．物質の比熱

８．物質の融解温度と融解熱

９．物質の沸点と蒸発熱

１０．燃料の燃焼熱

１１．物質の誘電率

１２．物質の比抵抗率

１３．屈折率

１４．物質からの電子の仕事関数

１５．原子核の質量

１６．天体の物理量

１７．基本物理定数

１８．基本三角関数

１９．若干の実用単位

２０．基本物理量の単位と名称

解答

1．4　$x=x_0-v_0 \cdot \cos\alpha \cdot t$、$y=y_0+v_0 \cdot \sin\alpha \cdot t$、$y=y_0+x_0 \cdot \tan\alpha-x\tan\alpha$
1．5　$y=y_0+4x$
1．6　$s_{2,0}=2\mathrm{m}$、$s_{4,0}=4\mathrm{m}$、$s_{8,0}=4\mathrm{m}$
1．7　$\tau=6\mathrm{s}$
1．10　$v_u=0.5\mathrm{m/s}$、$v_d=3\mathrm{m/s}$、$s=55\mathrm{m}$、$v_a=-0.07\mathrm{m/s}$
1．11　$v=2v_1v_2/(v_1+v_2)=48\mathrm{km/h}$
1．12　$v=(v_1+v_2)/2=50\mathrm{km/h}$
1．13　$v_1=(n+1)v_a/2=6\mathrm{km/h}$、$v_2=(n+1)v_a/(2n)=3\mathrm{km/h}$
1．14　$v_1=(n+1)v_a/2=6\mathrm{km/h}$、$v_2=(n+1)v_a/(2n)=2\mathrm{km/h}$
1．15　$v_a=25\mathrm{m/s}$
1．16　$t=1\mathrm{h}$、$s_1=70\mathrm{km}$、$s_2=120\mathrm{km}$
1．17　$t=l/(v_1-v_2)=18\mathrm{m}$、$s_1=4.5\mathrm{km}$、$s_2=1.5\mathrm{km}$
1．18　$\tau=(l+v_1\tau_1+v_2\tau_2)/(v_1+v_2)$、$10\mathrm{h}30\mathrm{m}$、$s_1=s_2=60\mathrm{km}$
1．19　$t=(l-v_2t_0)/(v_1-v_2)$
1．20　$8.7\mathrm{km}$
1．21　$t=0.5\mathrm{m}$
1．22　$v=15\mathrm{km/h}$
1．23　$t=t_1t_2/(t_1+t_2)=45\mathrm{s}$
1．24　$t=2t_1t_2/(t_1-t_2)=12\mathrm{h}$、$u=l(t_2-t_1)/(2t_1t_2)=5\mathrm{km/h}$、$v=l(t_1+t_2)/(2t_1t_2)=15\mathrm{km/h}$
1．25　$15\mathrm{m}$
1．26　$u=(l-s)/(2t)=4\mathrm{km/h}$、$v=(l+s)/(2t)=16\mathrm{km/h}$
1．27　$b=35\mathrm{m}$
1．28　$\alpha=\mathrm{atan}(v/u)$
1．29　$v=1\mathrm{m/s}$，$u=0.25\mathrm{m/s}$
1．30　$v=50\mathrm{km/h}$
1．31　$v_2=600\mathrm{m/s}$
1．32　$s=v_1l/\mathrm{root}(v_2^2-v_1^2)=1.2\mathrm{m}$
1．33　$\beta=135°$
1．34　$u=5\mathrm{m/s}$　西から吹く
1．35　$v=30\mathrm{km/h}$、南東へ
1．36　$v_0=1.8\mathrm{m/s}$
1．37　$u=30\mathrm{km/h}$　北西から吹く
1．38　$v=u \cdot \sin(\alpha+\beta)/\sin\beta=3.9\mathrm{m/s}$、$v=u \cdot \sin\alpha/\sin\beta=2.8\mathrm{m/s}$
1．39　$v=v_0/2$
1．40　$u=v/\tan\alpha$
1．42　$u=v/\cos\alpha=3.2\mathrm{m/s}$
1．43　$v_B=v_A \cdot \tan\alpha$

2．6　$v_2=0.5\mathrm{m/s}$、$v_5=-0.9\mathrm{m/s}$
2．9　$t=10\mathrm{s}$、$s=25\mathrm{m}$
2．10　$t_1=0.5\mathrm{s}$、$t_2=1\mathrm{s}$
2．12　$a=4.0\mathrm{m/s2}$、$v=20\mathrm{m/s}$、$y_5=25\mathrm{m}$、$x_5=42\mathrm{m}$
2．13　$v=2\mathrm{m/s}$
2．14　$v=6.0\mathrm{m/s}$、$v_a=3.0\mathrm{m/s}$
2．16　$a=-10.\mathrm{m/s2}$、$v=7.5\mathrm{m/s}$
2．17　$a=4v^2/b=2.5\mathrm{m/s^2}$，$v_{a1}/v_{a2}=1/2$，$t=b/v=4.0\mathrm{s}$
2．18　$s=v_0^2/a+l$、$v_a=la/(v_0+\mathrm{root}(v_0^2+2al))$、$v_{sa}=(v_0^2+al)/(v_0+\mathrm{root}(v_0^2+2al))$
2．19　$s_6=v_0^2/2a+a(t_1-v_0/a)^2/2=26\mathrm{m}$、$s_8=v_0^2/2a+a(t_2-v_0/a)^2/2=34\mathrm{m}$

2．20　$a=1.0\,m/s^2$、$s_1=50\,m$、$s_2=9.5\,m$
2．21　$a=2s/(2t-\tau)=4.0\,m/s^2$、$s_{15}=2(t_2-\tau)/(2t_1-\tau)=58\,m$、$t_1=8\,s$、$t_2=15\,s$、$\tau=1\,s$
2．22　$\Delta s=a\tau^2$
2．23　いいえ
2．24　$t=s/a\tau+\tau/2=40\,s$
2．25　$s_1/s_2=2$
2．26　$v'=2v=2.5\,m/s$
2．27　$v_{max}=2vs/(2s-v(t_1+t_3))=20\,m/s$
2．28　$\Delta h=4.9(2n-1)\,m$
2．29　$h_1=30\,m$、$h_2=90\,m$、$h_3=150\,m$
2．30　$\Delta h=g\tau t-gr^2/2$，$\Delta h_2=34\,m$、$\Delta h_1=15\,m$
2．31　$t_1=\mathrm{root}(2h/g)=7.0\,s$、$t_2=(-v_0+\mathrm{root}(v_0^2+2gh))/g=6.5\,s$、$t_3=(v_0+\mathrm{root}(v_0^2+2gh))/g=7.5\,s$
2．32　$t=h/gt+\tau/2=7.0\,s$、$H=\mathrm{root}(h_2/(2g\tau^2))+h/2+g\tau^2/8=240\,m$
2．33　$\mathrm{root}(2h/g)+h/v=t$より、$h=150\,m$
2．34　$t=l/g\tau-\tau/2$
2．35　$y_n-y_{n+1}=g\tau t-(2n-1)g\tau^2/2$，$y_1-y_2=0.93\,m$、$y_2-y_3=0.83\,m$、$y_3-y_4=0.74\,m$
2．38　$h=(3/4)(v_0^2/2g)=(3/4)h_{max}$
2．39　$v_0=(g/2)\,\mathrm{root}(t_0^2+8h/g)$、$t=\mathrm{root}(t_0^2+8h/g)$
2．40　$l=(v_0^2+2uv_0)/(2g)$、$l_{max}=(u+v_0)^2/(2g)$、$\tau=2(v_0+u)/g$
2．42　$t=s/v=0.5\,s$

3．3　図243を参照
3．4　$y=gx^2/(2v_0^2)$、$v=\mathrm{root}(v_0^2+g^2t^2)$、$\alpha=\mathrm{atan}(gt/v_0)$
3．5　$y=gx^2/(2v_0^2)$、$v_0=s\cdot\mathrm{root}(g/(2H))=9.8\,m/s$
3．6　$v=49\,m/s$、水平から$\alpha=37°$
3．7　$v=\mathrm{root}(v_0^2+2gH)=12\,m/s$、$\alpha=\mathrm{atan}(\mathrm{root}(2gH/v_0))=55°$

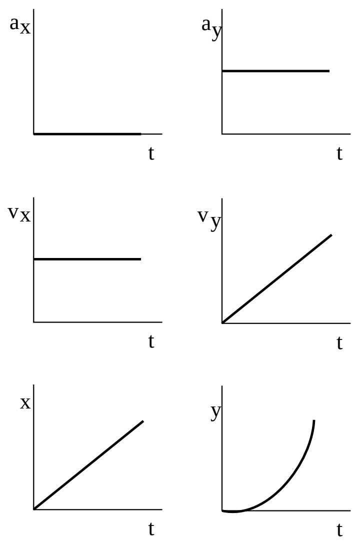

図243

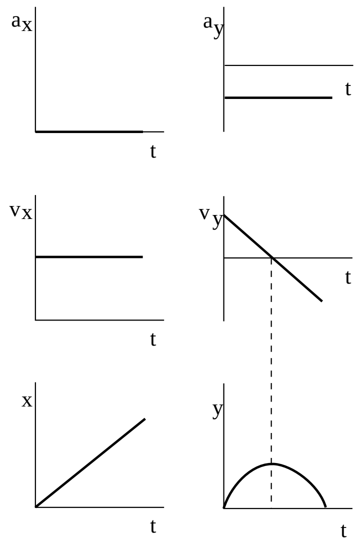

図244

3．8　$t=v_0/g=2\,s$
3．9　$t=v_0/(2g)=0.5\,s$、$x=v_0^2/(2g)=4.9\,m$、$y=v_0^2/(8g)=1.2\,m$

３．１０　$x=v_0^2 root(3)/g=71m$、$y=3v_0/(2g)=61m$
３．１１　$h=2v_0^2/g=4.9m$、$\alpha=atan2=64^\circ$
３．１２　$h=H-v_0 2\cdot tan^2\alpha/(2g)=93m$
３．１３　$\Delta H=gs^2(v_2^2-v_1^2)/(2v_1^2v_2^2)=2cm$
３．１４　$v_0=root(gs\cdot cos\alpha/(2tan\alpha))=10m/s$
３．１５　$n=2v_0^2h/(gb^2)=3$
３．１６　図２４４
３．１７　$y=tan\alpha\cdot x-gx^2/(2v_0^2\cdot cos^2\alpha)$
３．１８　（１）$v_x=v_0cos\alpha$、$v_y=v_0sin\alpha-gt$、$v=root(v_0^2-2v_0sin\alpha\cdot gt+g^2t^2)$　（２）$t=2v_0sin\alpha/g$　（３）$\phi=atan(tan\alpha-gt/(v_0/cos\alpha))$　（４）$H=v_0^2sin^2\alpha/(2g)$　（５）$s=v_0^2sin2\alpha/g$
３．１９　$H_1/H_2=tan2\alpha$、$s_1/s_2=1$
３．２０　$t=(v_0sin\alpha\pm v_0\cdot cos\alpha\cdot tan\beta)/g$、$t_1=0.37s$、$t_2=1.4s$
３．２１　$H=(g^2\tau^2+v_0^2-v^2)^2/(8g^3\tau^2)=3m$
３．２２　$H=gt^2/8=4.9m$
３．２３　$\alpha=atan8=83^\circ$
３．２４　$H=gt^2/8=20m$、$s=(gt^2/2)\cdot cot(acos0.5)=45m$
３．２５　（１）$R_1=v_0^2cos^2\alpha/g=9.8m$　（２）$R_2=v_0^2/(gcos\alpha)=78m$
３．２６　$a_n=g\cdot cos(atan(tan\alpha-gt/(v_0cos\alpha)))=6.2m/s^2$、$a_\tau=g\cdot sin(atan(tan\alpha-gt/(v_0cos\alpha)))=7.6m/s^2$, $t=v_0sin\alpha/g=1.73s$
３．２７　$h=v_0sin\alpha\cdot t-gt^2/2=32m$、$s=v_0cos\alpha\cdot t=30m$
３．２８　$v=(s/cos\alpha)root(g/(2(h+s\cdot tan\alpha)))=16.2km/h$
３．２９　$v=(s/cos\alpha)root(g/(2(h+s\cdot tan\alpha-H)))=23m/s$
３．３０　$x=2s-v_0^2sin2\alpha/g=2m$
３．３１　$t=2v_0/(gcos\alpha)=2.3s$、$s=2v_0^2sin\alpha/(g\cdot cos^2\alpha)=13m$
３．３２　$v_0=cos\alpha\cdot root(gs/(2sin(\beta-\alpha)cos\beta))=21m/s$、**$\Delta t=1.24s$**
３．３３　$s=2v_0^2tan\alpha/(g\cdot cos\alpha)=57m$、$H=v_0^2sin\alpha/(2g)=7.1m$
３．３４　？　$v_r=v_{01}^2+v_{02}^2-2v_{01}^2v_{02}^2cos(\alpha_1-\alpha_2)$
３．３５　$tan\alpha=H/L$、$\alpha=atan(H/L)=58^\circ$
３．３６　$x^2+y^2=A^2$　座標の始点を中心とした円
３．３７　$a_n=v\cdot\Delta\phi/\Delta t=13cm/s^2$
３．３８　$l=3.5m$
３．３９　$v_1/v_2=20$
３．４０　$a=4\pi^2R/T^2=3.4cm/s^2$, $\omega_2/\omega_1=root(gT^2/(4\pi^2R))=17$
３．４１　$v=(2\pi R/T)cos0=230m/s$、$a=4\pi Rcos\theta/T^2=1.7cm/s^2$
３．４２　$t=root(r/a_\tau)=2s$
３．４３　$\varepsilon=4\pi N/t^2=6.3/s^2$
３．４４　$t=root(tg\beta/\varepsilon)=10s$
３．４５　$\beta=atan(4\pi N)=85^\circ$
３．４６　$v=2s/t-v_0=90km/h$、$a=root(v^4/R^2+(v-v_0)2/t2)=0.71m/s^2$
３．４７　$a_M=(aR/r2)root(r^2+4s^2)=32m/s^2$、$\beta=atan(2s/r)=83^\circ$垂直から
３．４８　$v=2\pi nR=15km/h$
３．５０　$v_1=2m/s$、$v_2=0$, $v_3=1.4m/s$、$v_4=1.4m/s$、$a_1=a_2=a_3=a_4=2m/s^2$　全ての点で輪の中心に向かって同じ大きさで
３．５１　$v=u\cdot cot(acos(r/R))=36km/h$　右へ
３．５２　$h=2\pi^2n^2l^2/g=4.5m$
３．５３　$v_B=2\omega(R+r)=1m/s$

3．54　(1) $v_y=(v_1+v_2)/2=5$m／s、$\omega=(v_1-v_2)/(2R)=10$／s　(2) $v_y=(v_1-v_2)/2=1$m／s、$\omega=(v_1+v_2)/(2R)=50$／s

3．55　$u=\mathrm{root}(v^2+4\pi^2n^2OA^2)=26$m／s

3．56　u＝−(AB／OA)v＝−24km／h　後方へ

3．57　$u=\mathrm{root}(4\pi^2n^2R^2+v^2)=317$m／s　ピッチh＝v／n＝1．34mの螺旋

。1　$\beta_1=\mathrm{atan}(ut_1\sin\alpha/(s-ut_1\cos\alpha))=1°30'$、$\beta_2=\beta_1$, $t_2=t_1\cdot s/(s-2ut_1\cos\alpha)$＝33分

。2　$\beta_1=45°$、$\beta_2=0°$

。3　$s_{min}=v_1t\sin(\alpha+\mathrm{asin}((v_1\sin\alpha)/(\mathrm{root}(v_1^2+v_2^2-2v_1v_2\cos\alpha))))=0.78$km

。4　$s_{min}=s\cdot\sin\alpha=10$m

。5　$h=s\cdot\sin\alpha/(2\sin^2(\alpha/2))=1.7$m

。6　$s=(2v_1/\cos\alpha)\cdot\mathrm{root}(2h/g)=0.3$m

。7　図245

。8　$s=(v_0^2\sin2\alpha-gs_1)=2.3$m

。9　$H=R(1-\cos\alpha)+v_0^2\sin2\alpha/(2g)$

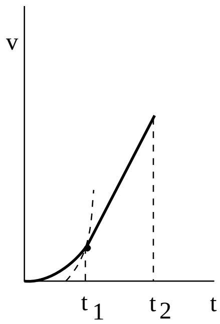

図245

4．4　$F_x=0$, $F_y=5.0$N

4．5　$F_2=10$N、$F_x=8.7$N

4．6　a＝2．5m／s2, P＝55N

4．7　(1) P＝740N　(2) P＝630N、a＝g

4．8　(1) T＝3．9kN　(2) T＝3．6kN　(3) T＝3．3kN

4．9　v＝root(2gh)＝6．93m／s

4．10　α＝atan(a／g)

4．11　$a=F/(m_1+m_2)=3.0$m／s$^2$, $T=m_2F/(m_1+m_2)=0.90$N

4．12　$a=g+F/(m_1+m_2)=11$m／s$^2$、$T=(m_1/(m_1+m_2))F=1.0$N

4．13　(1) a＝F／M＝4．9m／s$^2$　(2) a＝mg／(m＋M)＝3．3m／s$^2$

4．14　$a=(m_2-m_1)g/(m_2+m_1)=2$m／s$^2$, ？？？　$T=2m_1m_2g/(m_1+m_2)=1.2$N、F＝2T＝2．4N

4．15　f＝2Mmg／(m＋2M)

4．16　$a=(m_2-m_1\sin\alpha)g/(m_1+m_2)=0.98$m／s$^2$、$T=m_1m_2(1+\sin\alpha)g/(m_1+m_2)=18$N、$F=2T\cos\alpha=30$N

4．17　$a=(m_1\sin\alpha-m_2\sin\beta)g/(m_1+m_2)$、$T=m_1m_2(\sin\alpha+\sin\beta)g/(m_1+m_2)$

4．18　$a_1=2(2m_1-m_2)g/(4m_1+m_2)$、$a_2=(2m_1-m_2)g/(4m_1+m_2)$、$T=3m_1m_2g/(4m_1+m_2)$

4．19　a＝g、T＝0

4．20　$a_1=2mg/(M+5m)=1.96$m／s$^2$, $a_2=a_1\mathrm{root}(5)=4.4$m／s$^2$

4．21　$F=(M+m_1+m_2)(m_2/m_1)g=7.8$N

4．24　摩擦による

4．25　(1) $F_1=0.50$N　(2) $F_2=0.98$N

4．26　図246

4．27　図247

4．28　$\tan\alpha_0=\mu$、図248

4．29　図249

4．30　$F_{min}=\mathrm{root}((\mu mg)^2-F_2)=3.9$N

4．31　$F=mg\,\mathrm{root}((\mu\cos\alpha)^2-\sin2\alpha)=1.7$N

4．33　F＝2mg＋f＝3N

4．34　k＝μmg／l＝150N／m

4．35　$v_0=20$m／s

4．36　$a=(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)g=2.4$m／s$^2$

4．37　$a=(F/m)(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)-\mu g=10$m／s$^2$

４．３８　$t=(1/\sin\alpha)\cdot\mathrm{root}(2h/(g(1-\tan\beta\cdot\cot\alpha)))$
４．３９　$a=F(\cos\alpha+\mu\sin\alpha)/(m_1+m_2)-(m_2+\mu m_1)g/(m_1+m_2)=1.4\mathrm{m/s^2}$

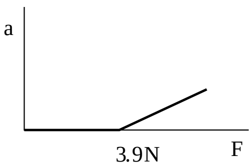

図２４６

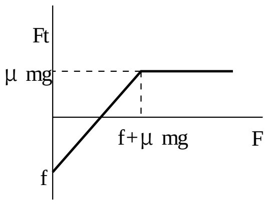

図２４７

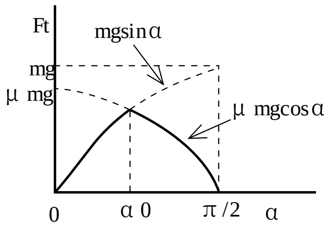

図２４８

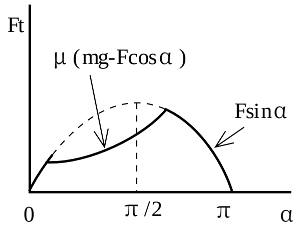

図２４９

４．４０　$T=m(g\sin\alpha-\mu g\cos\alpha+v_0/t)=2.6\mathrm{kN}$
４．４１　$a=(1-m_1/m_2)g$、$F=m_1 g$
４．４２　$a=0$，　$T=10.8\mathrm{N}$
４．４３　$a=g\sin\alpha(1+M/m)$
４．４４　$t=\mathrm{root}(hm_2/((m_2-m_1)g))=5.4\mathrm{s}$
４．４５　速さとともに大きくなる抵抗力が妨げる
４．４６　$v'=a_1 v/(a_1-a_2)=140\mathrm{km/h}$

５．１　$F_2/F_1=2$
５．２　$t=kl_0/(k-4\pi^2 n^2 m)=24\mathrm{cm}$
５．３　$\mu=4\pi^2 n^2 l/g=0.20$
５．４　$R=v^2/(g\sin\alpha)$
５．５　$T_1=mg\cos\alpha$、　$T_2=mg\cos\alpha$、$a_1=g\tan\alpha$、$a_2=g\sin\alpha$、$v_1=\mathrm{root}(gl\sin\alpha\cdot\tan\alpha)$、$v_2=0$、$\omega_1=\mathrm{root}(g/(l\cos\alpha))$、$\omega_2=0$
５．６　$\omega=\mathrm{root}(g/(l\cos\alpha))=7/\mathrm{s}$、$T=mg/\cos\alpha=2.0\mathrm{N}$
５．７　$T=mg(\cos\alpha+v_2/(gl))$
５．８　$t=2\pi\,\mathrm{root}(l\cos\alpha/g)=1.4\mathrm{s}$
５．９　$a_1/a_2=\tan\alpha_1/\tan\alpha_2=1/3$，$v_1/v_2=\mathrm{root}(\sin\alpha_1\cdot\tan\alpha_1/(\sin\alpha_2\cdot\tan\alpha_2))=0.4$
５．１０　$T=m\omega^2 l/2$
５．１１　（1）$F_1=mg$、（2）$F_2=mg(1-v^2/(Rg))$、（3）$F_3=mg(1+v^2/(Rg))$
５．１２　$F_1/F_2=1.7$
５．１３　$\alpha=\mathrm{acos}((FR+mv^2)/(mgR))=60°$　垂直から
５．１４　$a_\tau=\mu g(1-v^2/(Rg))=2.9\mathrm{m/s^2}$
５．１５　$R=4081\mathrm{m}$
５．１６　$h=bv^2/(Rg)=8.0\mathrm{cm}$
５．１７　$v_{max}=\mathrm{root}(\mu Rg)=68\mathrm{km/h}$、$\alpha=\mathrm{atan}\,\mu=22°$
５．１８　$v=\mathrm{root}(Rg\tan\alpha)=22\mathrm{m/s}$、$v_{max}=\mathrm{root}(Rg\cdot(\mu+\tan\alpha)/(1-\mu\tan\alpha))=33\mathrm{m/s}$
５．１９　$F=m(Rg\sin\alpha-v^2)/R=0.24\mathrm{N}$、$v=\mathrm{root}(Rg\sin\alpha)=0.70\mathrm{m/s}$
５．２０　$\omega=\mathrm{root}(g\tan\alpha/(l\cos\alpha))=10/\mathrm{s}$
５．２１　$\mu=(g\sin\alpha+\omega^2 R\cos\alpha)/(g\cos\alpha-\omega^2 R\sin\alpha)$

６．１　$F=8.4\mathrm{pN}$
６．２　$F=G\rho^2\pi^2 D^4/36=2.3\mathrm{mN}$
６．４　$G=6.7\times10^{-11}\mathrm{m^3/(kg\cdot s^2)}$
６．５　$F=(1/8)\cdot GMm(8/d^2-1/(d-R/2)^2)$
６．６　$F=(GV_1V_2/r^2)\times(\rho^2-\rho_0{}^2)=6.0\mathrm{pN}$
６．７　$g=2.45\mathrm{m/s^2}$　？？？
６．８　$M=gR^2/G=6.0\times10^{24}\mathrm{kg}$

6．9　h＝2．6×10$^6$m
6．10　F＝1．7N
6．11　F＝mgr／R$_3$
6．12　v＝root（gR$_3$）＝7．9km／s
6．13　速さv＝460m／sで、東から西の方向へ
6．14　地球の自転速度を利用する
6．15　ρ＝3πn／（（n－1）GT$^2$）＝3000kg／m$^3$
6．16　ω＝2π（1／T＋1／T$_3$）＝5．0×10$^{-4}$／s、v＝3root（2πgR$_3^2$（1／T＋1／T$_3$））＝5．9km／s、T$_3$は地球の自転周期、R$_3$は地球の半径
6．17　h＝3root（gR$_3^2$T$^2$／（4π2））－R$_3$＝36000km、　Tは地球の自転周期、R$_3$は地球の半径
6．18　a＝g＝9．8m／s2，a$_3$＝Gm／R$_3^2$＝1．3×10$^{-23}$m／s$^2$
6．20　T$_H$＝164地球年

7．1　F＝525N
7．2　F＝mvn＝15N
7．3　（1）p＝0，（2）p＝0．16kg・m／s、（3）p＝0．08kg・m／s2
7．4　（1）Δp＝mv　最初の方向から240°の角度に、（2）Δp＝mvroot（2）最初の方向から225°の方向に、（3）Δp＝2mv　最初の方向から180°の方向に、（4）Δp＝0
7．5　F$_1$＝m・root（2gh$_1$）／t＋mg＝0．80N、F$_2$＝2m・root（2gh$_1$）／t＋mg＝1．50N、F$_3$＝m・root（2）g（root（h$_1$）＋root（h$_2$））／t＋mg＝1．29N
7．6　（1）v・root（5）　最初の運動方向から角度63°に、（2）v・root（5）　最初の運動方向から角度27°に
7．7　p＝mv＝15kg・m／s
7．8　p＝（m$_2$－m$_1$）gt＝49kg・m／s
7．9　F＝pSv2＝130N
7．10　u＝m$_1$v／（m$_1$＋m$_2$）＝1m／s
7．11　m$_1$／m$_2$＝（v＋u）（v－u）＝3
7．12　u＝（Mv$_1$－mv$_2$）／（m＋M）＝－0．3m／s、逆方向に
7．13　u＝Mv／（m＋M）＝5．4m／s
7．14　v＝mv$_0$／M＝0．1m／s
7．15　（1）v＝2mv$_0$／M＝20cm／s、（2）v＝root（2）・mv$_0$／M＝14cm／s
7．16　（1）u＝（Mv$_1$－mv$_2$）／M＝1．6m／s、（2）u＝（Mv$_1$＋mV$_2$）／M＝3．4m／s
7．17　v＝mv$_0$cosα／M＝3．1m／s
7．18　u＝root（（（mv$_o$）$^2$＋M$^2$gH）／（m＋M））＝16m／s、α＝atan（Mroot（gH）／（mv$_0$））＝37°
7．19　u$_1$＝（mv＋m$_1$（v＋u））／（m＋m$_1$）、u$_2$＝v、u$_3$＝（mv＋m$_1$（v－u））／（m＋m$_1$）
7．20　銃の位置から、玉が落下した点までの距離の2倍
7．21　u＝root（8gH／（sin$^2$（atan（2H／l）））＋（2H＋gt2）／2t）＝707m／s、β＝atan（（2H＋gt$^2$）／（4t・root（2gH／（sin$^2$（atan（2H／l））））＝1°37’
7．22　v＝Mroot（2gl・sinα）／（mcosα）
7．23　u＝Mvcosα／m＝870m／s
7．24　x＝Ml／（m＋M）＝4m
7．25　x＝Hm・cotα／（M＋m））5cm
7．26　l＝（M＋m）H／M＝12m

8．1　（a）A＝0J，（b）A＝0J、（c）A＝86J、（d）A＝86J
8．2　A$_{mg}$＝A$_N$＝0、A$_T$＝－Mmgscosα／（cosα＋sinα）＝－2．9J、A$_F$＝－A$_T$＝2．9J

8．3　$A_T=29\,kJ$、$A_{mg}=-29\,kJ$
8．4　$A=0$、$N=0$　岸に相対的に、$A=50\,kJ$、$N=10\,kW$　川に相対的に、
8．5　（a）0．1J、0．2J　（b）50mJ、0．2J　（c）50mJ、125mJ
8．6　（1）$A=\mu mgl=2.9\,J$　（2）$A=\mu_2 mgl/2=1.47\,J$　（3）$A=\mu_1 mgx+(\mu_1+\mu_2)mgl/2=4.7\,J$
8．7　（1）$A=kx_0^2/2=45\,mJ$　（2）$A=\mu mgx_0+k(x_0-x)^2/2=23\,mJ$
8．8　$A=(F/2)(l_1^2/l_2)=3.8\,kJ$
8．9　$A=mgR_3/2=31\,mJ$、$R_3$は地球の半径
8．10　図250、1－等速運動、2－等加速運動
8．11　図251

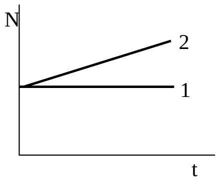

図250

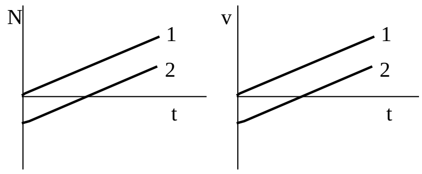

図251

8．12　$A=594\,MJ$
8．13　$N=4Ms^2/t^3=80\,kW$
8．14　$N_1/N_2=4$
8．15　$N=mv_0 3/(4l)$
8．16　$F=\eta N/v=32\,kN$
8．17　$T=N/(2\pi nR)$
8．18　$A_T=-49\,J$、$A_F=100\,J$
8．20　$s_2=s_1(v_2/v_1)2=20\,m$
8．21　$E_K=F^2t^2/(2m)=5.0\,J$
8．22　（1）$A=75\,kJ$、（2）$A=225\,kJ$
8．23　$A=2m\pi^2R^2(n_2^2-n_1^2)=7.9\,J$
8．24　$A=mgR_3/2=15.7\,GJ$、$R_3$は地球の半径
8．25　$E_K=970\,J$
8．26　$E_K=mv^2=50\,J$
8．27　$E_K=E_P=38\,J$
8．28　$A=mgh(1+\mu\cot\alpha)=54\,J$
8．29　$h=1.28\,m$
8．30　$h_{max}=25.5\,m$
8．31　$v=\mathrm{root}(2gl)$
8．32　$x=\mathrm{root}(2mgh/k)=20\,mm$
8．33　$v=\mathrm{root}(v_0^2-2gh)$
8．34　$h=v_0^2/(4g)=10\,M$
8．35　$\beta=\mathrm{acos}(2\cos\alpha-1)$
8．36　$E=0.49\,J$、内部エネルギーに転換する
8．37　$A=m(gh-(v_0^2-v_1^2)/2)=4.6\,J$
8．38　$N=\rho Sv(gh+v^2/2)$、$\rho$は水の密度
8．39　$N=\eta Q\rho(gh+(v_1 2-v_2 2)/2)$、$\rho$は水の密度
8．40　$h=N/(\eta\rho Qg)=10\,m$、$\rho$は水の密度
8．41　$N=\pi\rho d^2v^3/8=280\,kW$、$\rho$は空気の密度
8．42　$\mu=\tan\alpha(1-v^2/(2gh))=0.082$，$\eta=v^2/(2gh)\times100\%=92\%$
8．43　$\mu=h/(b+l)=0.010$，$\eta=(1-\mu b/h)\times100\%=95\%$
8．44　$\mu=\tan\alpha=0.10$
8．45　（1）$v=\mathrm{root}(5gl)$、（2）$v=2\,\mathrm{root}(gl)$
8．46　$a=g\sin\alpha/2$
8．47　$h=2.5R=50\,cm$
8．48　$h=R/3$
8．49　$h=23R/27$
8．50　最初

9．1　否
9．2　$h_2/h_1=(M+m)/M=1.2$
9．3　$h=(M/(M+m))\cdot v_0^2/(2g)=0.43\,m$、$v=v_0\cdot(M-m)/(M+m)=2.6\,m/s$
9．4　$A=m(m+M)v^2/(2M)=105\,J$

9．5　$v=(M/m)\,2\,\mathrm{root}(gh)=560\,m/s$
9．6　$v=((m+M)/m)\cdot\mathrm{root}(2gl(1-\cos\alpha))=0.41\,km/s$
9．7　$\Delta U=v^2\cdot Mm/(2(M+m))$
9．8　(1) $u_2=v_1+u_1=5\,m/s$、(2) $u_2=v_1-u_1=1\,m/s$
9．9　$u=(m_1v_1-m_2v_2)/(m_1+m_2)=5\,cm/s$
9．10　$u_1=((m_1-m_2)v_1+2m_0v_2)/(m_1+m_2)=-1\,m/s$、$u_2=(2m_1v_1+(m_2-m_1)v_2)/(m_1+m_2)=5\,m/s$
9．11　$u_1=(m_1-m_2)v_1/(m_1+m_2)$, $u_2=2m_1v_1/(m_1+m_2)$
9．12　$h=(\mathrm{root}(2gl)+2u)\,2/(2g)$
9．13　(1) $\Delta p=2mv=0.2\,Ns$、$PE=50\,mJ$、(2) $\Delta p=2mv\sin\alpha=0.1\,Ns$、$P_E=12.5\,mJ$
9．14　$\beta=\mathrm{atan}((v\sin\alpha+gr)/(v\cos\alpha))=47°$
9．15　$\Delta E/E=1-1/n=75\%$
9．16　$\alpha_1=(m_1-m_2)\alpha/(m_1+m_2)$、$\alpha_2=2m_1\alpha/(m_1+m_2)$
9．17　$\beta=m_1\alpha/(m_1+m_2)$
9．18　$P_E=m_1m_2(v_1-v_2)^2/(2(m_1+m_2))$
9．19　$v^2=u_1^2+u_2^2$、ベクトル$u_1$垂直ベクトル$u_2$、$\alpha=90°$

。1　$a_1=g\cdot(4m_1m_2+m_0(m_1-m_2))/(4m_1m_2+m_0(m_1+m_2))$
。2　$F=(\mu_1+\mu_2)(m+M)g=22\,N$
。3　$a=0$、$F_T=F-mg\sin\alpha=2.7\,N$
。4　$F=g\cdot\mathrm{root}(3m_1m_2)/(3m_1+m_2)$
。5　$a=g\cdot\mathrm{root}(9\mu^2+4)=20\,m/s^2$
。6　$u=(m/(m+M))\cdot v_0\cos\alpha=0.88\,m/s$、$\beta=\mathrm{atan}((M+m)/M)\cdot\tan\alpha=53°$
。7　$v=\mathrm{root}((M+m)/M)\cdot 2gH=7\,m/s$
。8　$\tau=pm_1/(m_2^2g^2)$
。9　$v=(2RM/m)\cdot\mathrm{root}(G\pi p/3)=120\,m/s$、Gは万有引力定数

10．2　$F_1=F_2=9.8\,N$
10．3　$F=30\,N$
10．4　$T=19.6\,N$、$P=29\,N$
10．5　$T=m_2g=9.8\,N$、$P=m_1g\cos\alpha_1-m_2g=7.2\,N$、$F_T=m_1g\sin\alpha_1=9.8\,N$
10．6　$m_3=0.10\,kg$
10．7　$m_x=5.0\,kg$
10．8　$F=0.15\,kN$、$T=0.21\,kN$
10．9　$T=0.24\,kN$、$\alpha=37°$
10．10　$F_{AB}=56\,N$、$F_{BC}=113\,N$
10．11　$P=90\,N$
10．12　$F_{AC}=0.29\,kN$、$F_{BC}=0.39\,kN$
10．13　$m_1=0.13\,kg$、$m_2=40\,g$
10．14　$\alpha=53°$
10．15　$F_{AC}=0.68\,kN$、$F_{CB}=0.34\,kN$
10．16　$m=8.9\,kg$
10．17　$F=mg/\mu=0.49\,kN$
10．18　$H=h+l/(2\cdot\mathrm{root}((2T/Mg)^2-1))=5.5\,m$
10．20　(a) $k=k_1k_2/(k_1+k_2)$、(b) $k=k_1+k_2$、
10．21　$m_2=m_1\sin\alpha=1.0\,kg$、$F=2m_1g\cos\alpha\cdot\sin\alpha=17\,N$
10．22　$m_3=(m_1-m_2)\sin\alpha$、$P=(m_1-m_2)g\cos\alpha$

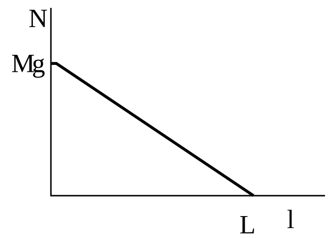

図252

11．1　$F_3=30\,N$、$x_{F3-F2}=40\,cm$
11．2　$F_3=45\,N$, $x_{F2-F3}=30\,cm$
11．3　$F_P=200\,N$, $x_{F2-F0}=(F_3-F_1)\,l/(2(F_1+f_2+f_3))=18\,cm$
11．4　$F_2=12\,N$, $F_p=18\,N$

１１．５　質量中心に相対的に
１１．６　図２５２、$N_2$＝０．９８ｋN、$N_1$＝８．８ｋN
１１．７　F＝N＝５．９N
１１．８　前輪　$N_1$=Mｇ（L－ｌ）／（２L）＝２．７６ｋN、後輪　$N_2$=Mｇｌ／（２L）＝３．８６ｋN
１１．９　m＝４$k_1$Δｈ／ｇ＝４０ｋｇ、バネ定数$k_2$のバネから　ｘ＝ｌ／４＝２．５ｃｍ
１１．１０　中央から　ｘ＝０．２ｃｍ
１１．１１　μ＝８０％、$F_1$／$F_2$＝０．６
１１．１２　L＝２Fｌ／（２F－mｇ）＝１．８m、$F_c$＝（２F－mｇ）／２＝２５N
１１．１３　$F_1$＝２πｌηF／ｈ＝２０ｋN
１１．１４　F=MｇH／（２πｎｌ）＝９８N
１１．１５　F=Mｇ（$r_1$－$r_2$）／（２ｌ）＝２５N
１１．１６　μ＞＞ｔａｎ（α／２）＝０．２７
１１．１８　$F_{a,b,c}$＝１７N，２等分線、Fｒ＝１０N、頂点
１１．１９　T＝mｇ×（ｌ＋R）／ｒｏｏｔ（ｌ２＋２ｌR)、$F_d$=mｇR／ｒｏｏｔ（ｌ＋２ｌR）
１１．２０　L＝２・ｒｏｏｔ（(b／２）$^2$＋（ａ／２－１ｌ）$^2$）／（ａ－２ｌ）＝２０ｃｍ
１１．２１　$F_1$=mｇｓｉｎβ／ｓｉｎ（α＋β）＝２０N，$F_2$=mｇｓｉｎα／ｓｉｎ（α＋β）＝３４N
１１．２２　F＝２Mｇｈｓｉｎα／（ｌｃｏｓ$^2$α）
１１．２３　α＞＝ａｔａｎ（１／２μ）＝５１°
１１．２４　α＝２ａｓｉｎ（m１／m）＝６０°、$F_A$=$m_1$ｇｃｏｔ（ａｓｉｎ（$m_1$／m))＝４２N
１１．２５　μ＞＝１／（２＋ｒｏｏｔ（３))
１１．２６　$F_{min}$=mｇ・ｒｏｏｔ（ｈ（２R－ｈ))／（R－ｈ）
１１．２７　$F_{min}$=Mｇ／２，μ＞＝０．５
１１．３０　F＝Mｇｈ／（４ｌ）＝０．４９N
１１．３１　Δｌ＝２０ｃｍ
１１．３２　ｘ＝（$m_1$（ｌ＋$R_1$＋$R_2$）+M（ｌ／２＋$R_2$))／（$m_1$+$m_2$+M）＝９．７ｃｍ大きい球の中心から
１１．３３　ｘ＝２$\rho_{Al}$R／（$\rho_{Al}$＋$\rho_{Zn}$）＝０．５６R　亜鉛球の中心から
１１．３４　細い
１１．３５　m=$m_1$＝２５０ｇ、Δｌ＝$m_1$・ｌ／（２（$m_1$+$m_2$))＝１／３m
１１．３６　O点に相対的に重心の座標は（２５，５）
１１．３７　O点に相対的に重心の座標は（１２．５，７．５）
１１．４１　中心から１．５ｃｍ
１１．４２　ｘ＝R／（２（２π－１))　幾何中心から
１１．４３　（ａ）ｘ＝ａ／１２　幾何中心から、（ｂ）ｘ＝πａ／（４（１６－π))　幾何中心から
１１．４４　ｘ＝ａｒｏｏｔ（３)・／２８　幾何中心から
１１．４５　ｈ＝ｌ×ｓｉｎ（ａｔａｎ１／３))＝１９ｃｍ
１１．４６　α＝ａｔａｎμ＝１７°
１１．４８　狭い方に
１１．４９　A=MｇL／２＝５ｋJ
１１．５０　A=mｇａ（ｒｏｏｔ２－１）／２＝４００J
１１．５１　A=ρｇ（４ｒｏｏｔ２－３）／２４＝１．１ｋJ
１１．５２　ｖ＝ｒｏｏｔ（ａｇ／（ｒｏｏｔ（３)))＝０．９８m／ｓ

１２．１　（１）ｐ＝０．４９ｋPａ，（２）ｐ＝２．９ｋPａ，（３）ｐ＝５．５ｋPａ、　ｐｐ＝ｐｌ、　不変化
１２．２　F＝５．０ｋN
１２．３　図２５３、$p_1$＝Fｃｏｓα／S，$p_2$＝F／S
１２．４　図２５４、１－大気の圧力は増大、２－大気の圧力は減少
１２．５　Fｐ＞mｇ、容器が上に向かうほど狭いとき、$F_p$＜mｇ、容器が上に向かうほど広いとき、$F_p$=mｇ、容器がまっすぐの時

１２．７　Ｆ＝ρｇａ$^{3}$　底で、Ｆ＝ρｇａ$^{3}$／２　脇の境界で
１２．８　Ｆ＝７．８ｋＮ
１２．９　Ｆ＝３９Ｎ
１２．１０　Ｆ＝ηｆＳ$_{2}$／Ｓ$_{1}$＝８．０ｋＮ
１２．１１　Ｆ＝ηｆｈ／Ｈ＝９．５ｋＮ
１２．１２　Ｓ$_{1}$／Ｓ$_{2}$＝ｎｈｍｇ／（ηＡ）＝５５
１２．１３　ｈ＝ｍ／（ρ$_{Hg}$Ｓ）＝２．５ｃｍ
１２．１４　Δｈ＝（ρ$_{M}$ｈ$_{1}$－ρ$_{K}$ｈ$_{2}$）／ρ$_{Hg}$
１２．１５　Δｈ＝（１／ρ$_{M}$－１／ρ$_{B}$）ｍ／Ｓ＝４．０ｃｍ
１２．１６　Ｈ　８ｋｍ
１２．１７　Ｍ　５．３×１０$^{19}$ｋｇ
１２．１８　ｈ$_{BCT}$＝１０．３ｍ
１２．１９　水は１０．３ｍほど上昇する
１２．２０　Ｆ$_{1}$＝０，Ｆ$_{2}$＝１１．３Ｎ
１２．２１　容器内の水面が上昇するように変化する
１２．２２　容器が上に上がるほど狭くなっていれば、重りと水銀は底から離れない、油は離れる。
１２．２３　Ａ＝ｐＳ（ｈ－ｈ$_{a}$／２）＝６．２Ｊ，ｈ$_{a}$＝０．７６ｃｍで
１２．２４　異なる深さにおける圧力差から引き出す力が生まれる
１２．２５　木片の下に水がしみ込まないので、浮かない。
１２．２６　ｈ＝Ｈ－ｍ／（ρＳ）＝４．０ｃｍ
１２．２７　ρ$_{D}$＝３／４ρ$_{B}$＝７５０ｋｇ／ｍ$^{3}$
１２．２８　ρ＝ρ$_{1}$ρ$_{k}$／（Ｐ$_{1}$－Ｐ$_{2}$）＝２．７×１０$^{3}$ｋｇ／ｍ$^{3}$
１２．２９　ρ$_{a}$＝ρ$_{B}$－４ΔＰ／（πＤ$^{2}$ｈｇ）＝８００ｋｇ／ｍ$^{3}$
１２．３０　Ｓ＝ｍ／（ｈ（ρ$_{B}$－ρ$_{1}$））＝１．０ｍ$^{2}$
１２．３１　Ｖ＝ｍ（２／ρ$_{B}$－１／ρ$_{CB}$）＝９．６×１０$^{-3}$ｍ$^{3}$
１２．３２　ρ＝ρ$_{1}$－（ρ$_{1}$－ρ$_{2}$）（Ｒ$_{1}$／Ｒ$_{2}$）$^{3}$
１２．３３　Ｔ＝ｍｇ（ｎρ$_{B}$／ρ$_{P}$－１）＝４１Ｎ
１２．３４　ρ＝３／４ρ$_{B}$＝７５０ｋｇ／ｍ$^{3}$
１２．３５　弾性ゴム製の球の方がより高く上がる
１２．３６　壊れる
１２．３７　図２５５、１－ｄ$_{2}$＝＜ｄ$_{1}$，２－ｄ$_{2}$＞ｄ$_{1}$
１２．３８　Ｆ＝（ρ$_{a}$・ａ・ｃｏｓα／２＋ρ$_{B}$Ｈ）ｇｈ$_{1}$ａ・ｃｏｔα＝１．１Ｎ
１２．３９　Ｆ＝ρ$_{0}$ｇＳ（Ｈ＋５ｈ）
１２．４０　ρ＝ρ$_{x}$＋（ρ$_{B}$－ρ$_{x}$）ｈ$_{2}$／ａ＝８４０ｋｇ／ｍ$^{3}$、Ｆ$_{u}$＝ρ$_{x}$ｇｈａ$^{2}$＝０．４９Ｎ、Ｆ$_{d}$＝ｇａ$^{2}$（ρ$_{x}$（ａ＋ｈ$_{1}$－ｈ$_{2}$）＋ρ$_{B}$ｈ$_{2}$）＝１．５Ｎ
１２．４２　ｈ＝ａ（ρ$_{Hg}$－ρ$_{Fe}$）／（ρ$_{Hg}$－ρ$_{H2O}$）＝４．６ｃｍ、ｐ＝ρ$_{Fe}$ｇａ＝７．６ｋＰａ
１２．４３　Ａ＝（ρ$_{B}$－ρ$_{L}$）$^{2}$ｇＳＨ$^{2}$／（２ρ$_{B}$）＝４．０Ｊ
１２．４４　Ａ＝ｍｇ（Ｈ＋ｈ）－ρ$_{B}$ｇＶｈ＝０．１５ｋＪ，ここでｍｇ（Ｈ＋ｈ）は物体の位置エネルギーの変化量、ρＢｇＶｈは水の位置エネルギーの変化量

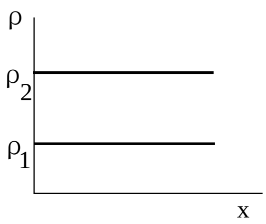

図２５３

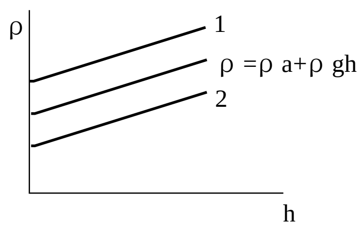

図２５４

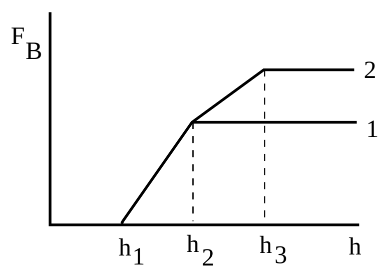

図２５５

。１　ｍ$_{2}$／ｍ$_{1}$＝ｃｏｓα／ｃｏｓ（α／２）＝０．５８
。２　φ＝ａｔａｎ（（ｍ$_{2}$－ｍ$_{1}$）ｒｏｏｔ（３））／（３（ｍ$_{2}$＋ｍ$_{1}$）））＝１１°
。３　Ｌ$_{MAX}$＝ｌ・ｒｏｏｔ（１＋μ２）＝２．２ｍ
。４　左へ　Ｆ＝μｍｇｔａｎα／（２（μ＋ｔａｎα））、右へ　Ｆ＝μｍｇｔａｎα／（２（ｔａｎα－μ））

。5　$T=Mg\cos\alpha/2$, $\gamma=45°-\alpha/2$
。6　$\alpha=\mathrm{asin}(1/6)=10°$
。8　$T_1=mg\cos\alpha/2=4.2\mathrm{N}$、$T_2=mg\,\mathrm{root}(1-3(\cos^2\alpha)/4)=6.5\mathrm{N}$
。9　$p=(mg+F(1+l_2/l_1))/S+\rho gh=3.0\mathrm{kPa}$
。10　$\rho=5\rho_0$
。11　$F_d=a^2g(\rho_W(h-a\cdot\sin\alpha/2)+\rho_{Al}a\cdot\cos\alpha)=69\mathrm{N}$、$F_s=(\rho_{Al}-\rho_W)a^3g\sin\alpha=8.3\mathrm{N}$
。12　$H=h(32\rho_{Al}/\rho_W-33)=27\mathrm{cm}$

13．1　$x=A\sin(2\pi t/T)=0.05\sin4\pi t$
13．2　$x=A\sin2\pi\nu t=0.04\sin100\pi t$
13．3　図256のa、b、c
13．4　$T/4$, $T/12$, $T/6$
13．5　$T/6$
13．6　$x=R\sin(vt/R)$、$v_x=v\cos(vt/R)$、$a_x=-(v/R)\sin(vt/R)$、図257
13．7　$x=R\cos(vt/R)$、$v_x=-v\sin(vt/R)$、$a_x=(v^2/R)\cos(vt/R)$、図258、$\Delta\phi1=\pi/2$, $\Delta\phi2=\pi$、$\Delta\phi3=\pi/2$
13．8　図259

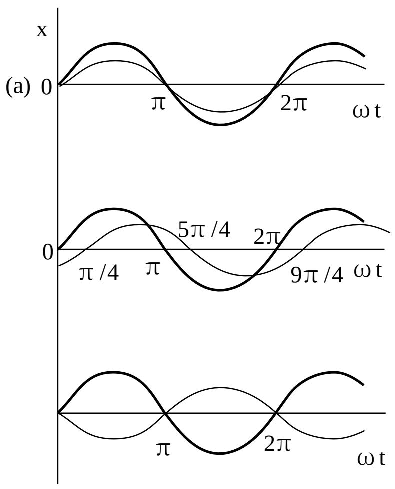


図256

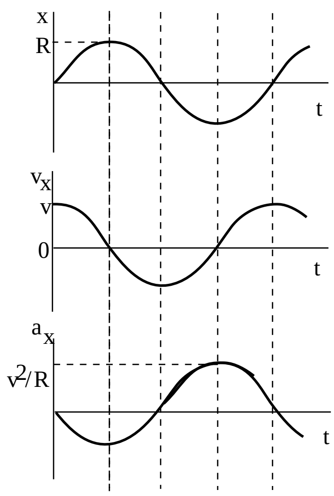


図257

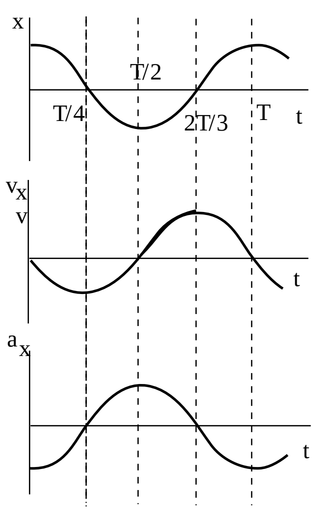


図258

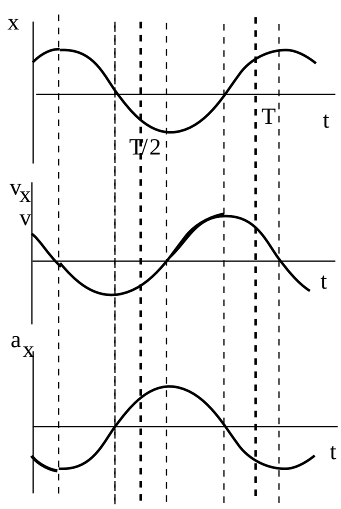


図259

１３．９　$v=A(2\pi/t)\cos(2\pi t/T)=4.4\,cm/s$、$a=-A(4\pi^2/T^2)\sin(2\pi t/T)=-14\,cm/s^2$
１３．１０　$v=4A/T=4\,cm/s$
１３．１１　（１）$v=0.5\,m/s$、（２）$v=1\,m/s$、
１３．１２　$t=\mathrm{atan}(x\omega/v_x)/\omega=0.2\,s$

１４．４　単振り子の周期は大きくなるが、バネ振り子の周期は変わらない
１４．５　$T=20\,s$
１４．６　$g=4\pi^2 n^2(l+d/2)/t^2=9.82\,m/s^2$
１４．７　$\Delta l/l=1/(1+R_3/(2h))=0.0031$
１４．８　$\Delta t=t_c h/R_3=68\,s$、$t_c$は一昼夜
１４．９　$a=g(1-T_1{}^2/T_2{}^2)=1.7\,m/s^2$、運動の方向は無関係
１４．１０　$T=2\pi\,\mathrm{root}(l/\mathrm{root}(g^2+a^2))$
１４．１１　$T=2\pi\,\mathrm{root}(R/g)$
１４．１２　$T=\pi\,\mathrm{root}(l/g)(1+\mathrm{root}(1/2))=1.7\,s$
１４．１３　（a）$T=2\pi\,\mathrm{root}(m(k_1+k_2)/(k_1 k_2))$、（b）$T=2\pi\,\mathrm{root}(m/(k_1+k_2))$
１４．１４　$T=\mathrm{root}(4\pi m/(\rho g r^2))=3.6\,s$
１４．１５　$E=mgl(1-\cos)$
１４．１６　$E=mgA^2/(2l)$
１４．１７　図２６０
１４．１８　$\Delta x=2x_0$、$v_{max}=\mathrm{root}(gx_0)$、$T=2\pi\,\mathrm{root}(x_0/g)$
１４．１９　$A=(mg/k)\,\mathrm{root}(1+2hk/mg)$、$E=mg(h+mg/(2k))$
１４．２０　$T=2\pi A(M+m)/(mv)=1.26\,s$
１４．２３　$v=(L/2\pi)\,\mathrm{root}(g/l)=68\,km/h$

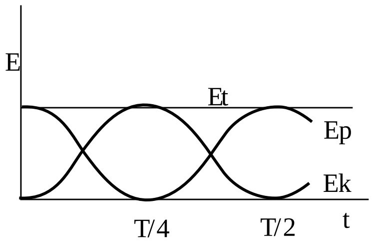

図２６０

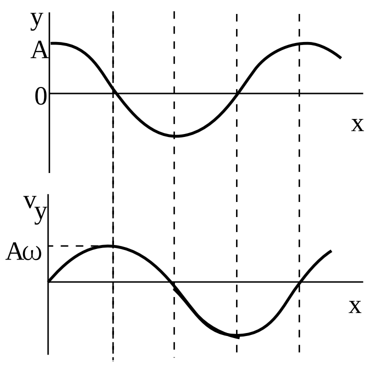

図２６１

１５．１　$v=l_c/(l+c\tau)=330\,m/s$、$c$は光速度
１５．２　$l=vc\tau/(c-v)=4\,km$
１５．３　$v=lc/(l-c\tau)=1400\,m/s$
１５．４　$\lambda=v/\nu=21\,m$
１５．５　$\lambda=c/v=7.25\,m$
１５．６　$\lambda_1/\lambda_2=v_1/v_2=4.35$
１５．７　$v_1/v_2=\lambda_1/\lambda_2$
１５．８　（１）、（２）縦、（３）縦と横
１５．９　弓で弦には横波、弦から空気中には縦波
１５．１０　$y(x、t)=A\sin\omega(t-x/v)=1.7\times10^{-6}\sin 4\pi\cdot10^3(t-x/340)$
１５．１１　$y(x、t)=(\lambda/n)\sin 2\pi(\nu t-x^2/\lambda)=7.5\cdot10^{-4}\sin 2\pi(1500t-x/0.15)$
１５．１２　図２６１

１５．１３　A／λ＝５×１０$^{-5}$
１５．１４　Δｘ＝ｖ／（２ν）＝１ｍ
１５．１５　Δφ＝２πνΔｘ／ｖ＝π／２

。１　（１）Ｔ＝２πｒｏｏｔ（ｘ／ａ）＝１．４ｓ、Ａ＝ｘ／ｃｏｓ（ａｔａｎ（ｖ／ｒｏｏｔ（ｘａ））＝４ｃｍ、（２）φ＝ａｔａｎ（ｖ／ｒｏｏｔ（ｘａ））＝π／１２
。２　Ｔ＝２πｒｏｏｔ（ｍＭ／（ｋ（ｍ＋Ｍ）））
。３　Ｔ＝πｒｏｏｔ（２ｌ／（μｇ））＝１．５ｓ
。４　（１）ｘ＝Ｒｃｏｓｒｏｏｔ（ｇ／Ｒｔ）、（２）ｔ＝πｒｏｏｔ（Ｒ／ｇ）＝４２分、（３）ｖ＝ｒｏｏｔ（Ｒｇ）＝７．９ｋｍ／ｓ
。５　α＝２・ａｔａｎ（ａ／ｇ）
。６　Ａ＝ｍｇ／ｋ＝０．６２ｍｍ
。７　Ｔ／８，３Ｔ／８、５Ｔ／８，７Ｔ／８
。８　Δφ＝Δｘ・２π／λ＝２π／３
。９　ν$_2$＝ｎ$_2$ν$_1$／ｎ$_1$＝３５６Ｈｚ

１６．１　ｍ／ｍ$_H$＝１．２０×１０$^{26}$
１６．２　ｍ＝Ｍ$_{H2O}$／Ｎ$_A$＝３．０×１０$^{-26}$ｋｇ
１６．３　ｎ$_B$＞ｎ$_p$
１６．４　ｎ＝ｍＮ$_A$ｖ／（μＳｈ）＝１０$^6$
１６．５　（１）ｎ＝ρＶＮ$_A$／μ＝８．４×１０$^{22}$，（２）ｒ＝３・ｒｏｏｔ（μ／（ｐＮ$_A$））＝２．３×１０$^{-10}$ｍ
１６．６　（１）ｎ＝２．７・１０$^{19}$、（２）ｒ＝３．３・１０$^{-9}$ｍ
１６．７　ｎ＝２．６９×１０$^{25}$／ｍ$^3$
１６．８　ρ＝１．９７ｋｇ／ｍ$^3$
１６．９　Ｎ＝５５．６
１６．１０　Ｖ＝Ｍ$_C$Ｎ／（ρＮ$_A$）＝０．５７×１０$^{-7}$ｍ$^3$
１６．１１　ｄ＝３．３×１０$^{-10}$ｍ
１６．１２　Ｎ＝３４０
１６．１３　η＝ρＶＮ$_A$／Ｍ$_{H2O}$×１００％＝３７％
１６．１４　Ｌ＝ｍＮ$_A$ｄ／Ｍ$_{O2}$＝５．６×１０$^9$ｍ、Ｌ／Ｒ$_3$＝１５

１７．１　分子同士は頻繁に衝突しているため
１７．２　τ＝ｐＶ／（ｚｋＴ）＝８．４×１０$^6$年
１７．３　粒子の表面積が小さくなればなるほど、衝突の影響が無視できなくなる。
１７．４　分子の熱運動の早さはｒｏｏｔＴに比例するので、拡散の早さは温度上昇とともに大きく（Ｔ$^{3/2}$に比例）なる
１７．５　ｎ＝ｍＮ$_A$／（μｔ）＝４×１０$^{19}$／ｓ
１７．６　原子気体中では、原子は衝突から次の衝突までまっすぐ動く。結晶中では原子は、結晶格子を形成している格子点である平衡点を中心として振動している。
１７．１０　増大する

１８．２　Δｌ$_1$＝Δｌ$_2$＝ｌ$_α$ΔＴ＝３６μｍ
１８．３　ｌ$_2$／ｌ$_1$＝α$_1$／α$_2$
１８．５　直径が増大する。角度φは不変
１８．７　σ＝ＥαΔＴ＝４６ＭＰＡ
１８．８　Ｆ＝ＥαΔＴＳ＝６９Ｎ，Ｗ＝ＥＳｌα$^2$ΔＴ$^2$／２＝３４ＭＪ
１８．１０　ΔＳ＝Ｓ$_0$２αΔＴ＝５９・１０$^{-4}$ｍ$^2$
１８．１１　ｔ$_1$＝Δｌ／（ｌ（α$_{Al}$－α$_{Fe}$）－α$_{Fe}$Δｌ）＝８３°、ｔ$_2$＝ｔ$_1$／３＝２８°
１８．１２　ΔＶ＝Ｖ$_0$βΔＴ＝１５・１０$^{-5}$ｍ$^3$
１８．１３　流れ出る石油の体積はΔＶ＝３α$_{Fe}$Ｖ$_0$ΔＴ＝５．４・１０$^{-6}$ｍ$^3$だけ小さい
１８．１４　ρ＝ρ$_0$／（１＋βΔＴ）＝１３．３６・１０$^3$ｋｇ／ｍ$^3$
１８．１５　β＝（Ｐ$_1$－Ｐ$_2$）／（Ｐ$_2$ΔＴ）＝０．００１／Ｋ
１８．１６　β＝（ｈ$_2$－ｈ$_1$）／（ｈ$_1$ΔＴ）
１８．１７　体積は小さくなる

18．19　$R=d(1+\alpha_{Fe}\Delta T)/((\alpha_{Zn}-\alpha_{Fe})\Delta T)=56\,cm$
18．20　$\Delta T=\rho_{o}mg\Delta T(\beta-3\alpha)/(\rho_{m}(1+\beta\Delta T))=6.4\,mN$

19．1　$v_{N2}/v_{O2}=root(\mu_{O2}/\mu_{N2})=1.07$
19．2　$v=root(3RT/\mu)=1370\,m/s$
19．3　$\Delta T_2=\Delta T_1\cdot(u_2{}^2-u_1{}^2)/(v_2{}^2-v_1{}^2)=183\,K$
19．4　$n=p/(kT)=2.9\cdot10^{25}/m^3$, $N=pV/(kT)=5.8\cdot10^{21}$
19．5　$v=root((v_1{}^2+v_2{}^2)/2)=453\,m/s$
19．6　44％増大する
19．7　$p=2U/(3V)=105\,Pa$
19．8　$T=v^2\mu/(3R)=71\,K$
19．10　$N=pV/(kT)=22\cdot10^7$
19．11　$z=(1/\lambda)\,root(3RT/\mu)=7.1\cdot10^9$
19．12　$v^2$に従う、全ての運動エネルギーは気体の内部エネルギーとなる。
19．13　$\Delta U=(3/2)(m/\mu)\cdot R\Delta T=12.4\,kJ$

20．1　$v=0.01\,m^2$
20．2　$m=22\,g$
20．3　窒素
20．4　$\Delta m/m=1/3$
20．5　図262、1－等温、2－等圧、3－等積
20．6　$\mu_1=\mu_2$, $m_1=m_2$の時、$T_1<T_2$。$\mu_1=\mu_2$、$T_1=T_2$の時、$m_1<m_2$。$m_1=m_2$、$T_1=T_2$の時、$\mu_1>\mu_2$
20．8　$p_2/p_1=\tan\alpha_1/\tan\alpha_2$
20．9　（a）－（b）　増大する
20．10　質量が増大する
20．11　圧力が増大する
20．12　質量が減少する
20．13　図263　（1）1－3－2，1－6－2。（2）1－4－2，1－7－2。（3）1－5－2、1－8－2
20．19　$p=\rho gH(h_1-h_2\sin\alpha)/(h_1-h_2)=1.0\times10^5\,Pa$
20．20　$h=((L+H)-root((L+H)^2-(4/3)HL)/2=3.1\,cm$
20．21　$\Delta h=h_1(1+h_2/H)=5.0\,cm$
20．22　$m=pV(1-p/(p_a+\rho gh))=0.17\,kg$
20．23 $t=4.0$分
20．24　$n=\log(p_a/p)/\log(1+V_1/V_2)=80$
20．25　$\Delta p/p=(T_1-T_2)\times100\%/T_1=30\%$
20．26　$T_2=(p_1+p_a)T_1/(p_2+p_a)=258\,K$

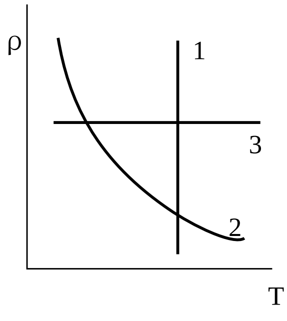

図262

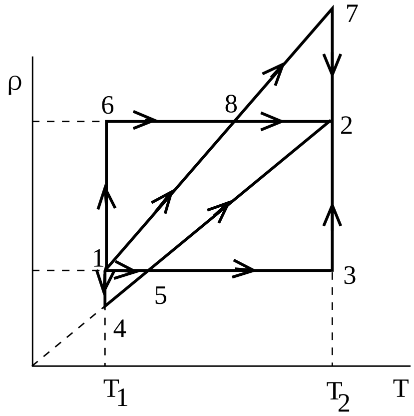

図263

20．27　$s_1/s_2=(T_2/T_1)(1+p_a/p_1)-p_a/p_1=1.2$

２０．２８　$V_2/V_1=1.07$
２０．２９　$T=\Delta T/n=333K$
２０．３０　$T_1=\mu_K T/\mu_a=312K$
２０．３１　$\Delta m=(pV\mu/R)(1/T_1-1/T_2)=2.5kg$
２０．３２　$V_B/V_a=m_B\mu_a/(\mu_B m_a+\mu_a m_B)=0.65$
２０．３３　$m=pV\mu/(RT)=0.41kg$
２０．３４　$m_B=(1/10)(m_a\mu_B T_1/(\mu_a T_2))=17g$
２０．３５　右側のパイプの方が、$b=((2l+H+h)-V(2l+H+h)-8l(H+h)(1-T2/T1))/4=9.1mm$　だけ沈下する
２０．３６　$\Delta l=2V\Delta T/(\pi d^2 T)=5.5cm$
２０．３７　$p=2p_1p_2/(p_1+p_2)=0.15MPa$
２０．３８　$p=(RT/V)(m_k/\mu_k+m_a/\mu_a)=0.46MPa$
２０．３９　$m_y=(pV/RT-m/\mu_k)\mu_k\mu_y/(\mu_k-\mu_y)=5.5g$、$m_k=(pV/RT-m/\mu_y)\mu_k\mu_y/(\mu_k-\mu_y)=34.5g$
２０．４０　$p=p_0+mRT/(\mu V)=13.8kPa$
２０．４１　$\mu_B=\mu_B\mu_k/(\mu_a n_k+\mu_k n_a)=0.029kg$／モル

２１．２　圧縮において、理想気体中の分子は相互の衝突が激しくなり、従って、気体の圧力は増加する。飽和蒸気中の分子の一部は液化するので、この場合には圧力は前と同じである。
２１．４　３℃まで冷却する
２１．５　パイプ中の水面は低下する。１００℃で缶中、及びパイプ中の水は同じレベルとなる。
２１．６　$\rho=\mu p_H/(RT)=0.581kg/m^3$
２１．７　$n=\rho_B 2T/(\mu p_H)=5.8\cdot 10^4$
２１．８　$V=(m1+m2)RT/(p_H\mu)=2.3$リットル
２１．９　$p_2=np1=10^5Pa$、蒸気の凝縮が起こる
.２１．１０　？？
２１．１１　$\Delta h=pH/pg=18.7mm$
２１．１２　パイプを傾ける。両側のパイプ中の水面が同じレベルならば、水面の上には飽和蒸気がある。差が出れば、空気が入っている。
２１．１３　$p_2=p_1T_2/T_1+mRT/(\mu V)=171kPa$
２１．１４　$p_2=p_1T_2/T_1+p_H=230kPa$、蒸発していない水の質量は$\Delta m=m-p_H\mu V/(RT_2)=4.2g$
２１．１５　$V_k/V_B=\mu_B m_k/(\mu_k m_B)=1$，ピストンはシリンダの中間に位置する
２１．１６　$\rho=p_H\mu/(RT_2)=9.4g/m^3$、湿度は低下する
２１．１７　$f=1-RTm/(\mu Vp_H)=59\%$
２１．１８　$f_2=f_1+mRT/(\mu Vp_H)=61\%$
２１．１９　温度が上昇するとき
２１．２０　その通り
２１．２１　$f_2=f_1\cdot p_{1H}/p_{2H}=24\%$
２１．２２　$m=(\mu V/R)(f_1p_{1H}/T_1-p_{2H}/T_2)=2.4g$
２１．２３　$f=(f_1S_1+f_2S_2)/(S_1+S_2)=56\%$

。１　$\Delta h=0$
。２　$\Delta m/m=0.2$、$p_2/p_1=1.2$
。３　図２６４
。４　$T=9p_0V_0/(4R)=405K$
。５　$h=(1-f)l+(1-f)p_a/(f\rho g)=31cm$

２２．１　鉄側
２２．２　最大熱容量は鉄、最小熱容量は鉛
２２．３　固体で
２２．４　（１）$c_2>c_1$　（２）$m_2>m_1$
２２．６　$C_T/C_{Fe}=1/2$
２２．７　$V=0.80$リットル
２２．８　$V_1=V(T_2-T_3)/(T_2-T_1)=60$リットル、$V_2=V(T_3-T_1)/(T_2-T_1)$

＝５０リットル
２２．９　$T_x = c_{CT}m_1T_1 + c_Bm_2T_2) / (c_{CT}m_1 + c_Bm_2) = 364\,K$
２２．１０　$\Delta T = c_Cm_3 (T_1 - T_2) / (c_Cm_3 + c_{CT}m_1 + c_Bm_2) = 1.2\,K$
２２．１１　$m_1/m_2 = c_2 (T_0 - T_2) / (c_1 (T_1 - T_0))$
２２．１２　$c_k = c_Mm_M (T_2 - T_M)(T_{Fe} - T_1) / (m_k (T_1 - T_2)(T_{Fe} - T_k)) = 900\,J/(kg \cdot K)$, $c_{Fe} = c_Mm_M (T_2 - T_M)(T_1 - T_k) / (m_{Fe} (T_1 - T_2)(T_{Fe} - T_k)) = 42 \cdot 10^3\,J/(kg \cdot K)$

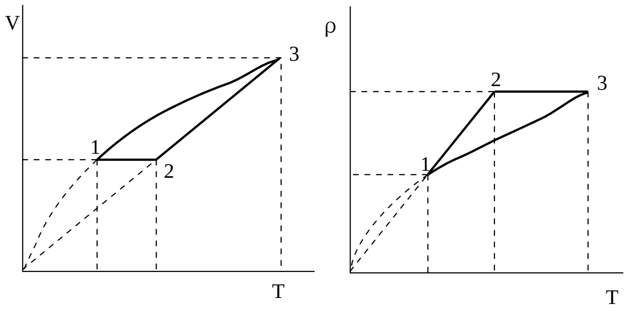

図２６４

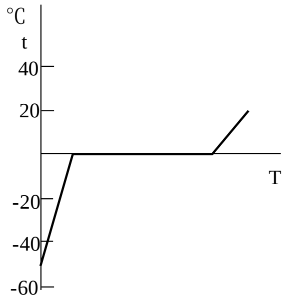

図２６５

２２．１３　図２６５
２２．１４　$T_x = (CT_1 + c_Bm_1T_0 - \lambda m_1 - c_xm_{ice} (T_0 - T_2)) / (C + c_Bm_1) = 279\,K$、　$T_0$－氷の融点
２２．１５　$T_0 = 273\,K$、容器内の氷の質量$m = m_0 (c (T_1 - T_0) - c_{ice}m_0 (T_1 - T_0)) / \lambda = 7.2\,g$
２２．１６　$T_x = (c_Bm_2 (T_1 - T_0) + \lambda m_2 + c_{ice}m_3T_2 + c_Mm_1T_1 + c_{ice}m_2T_0) / (c_Mm_1 + c_{ice} (m_2 + m_3)) = 271\,K$, $T_0$－水の氷点
２２．１７　$m = (\lambda m_1 + c_B (m_1 + m_2)(T_1 - T)) / (r + c_B (T_2 - T_1)) = 3.5\,kg$
２２．１８　$m_{ice}/m = r / (r + \lambda) = 0.87$
２２．１９　$\eta = cm_1 (T_2 - T_1) \cdot 100\% / (qm_2) = 8\%$
２２．２０　$\eta_1 = (c_B\rho V + c_am_1)(T_2 - T_1) \cdot 100\% / (qm_2) = 38\%$、$\eta_2 = c_B\rho V (T_2 - T_1) \cdot 100\% / (qm_2) = 36\%$
２２．２１　$\eta = c_Bm_1 (T_k - T) \cdot 100\% / (N\tau) = 89\%$、$m_2 = m_1 (1 - c (T_x - T) \tau_2 / (r\tau_1)) = 0.96\,kg$、$T_x$－水の沸点
２２．２２　$Q = cS\Delta l \rho / \alpha = 3.6\,MJ$
２２．２３　$Q = c\rho \Delta V / (3\alpha) = 0.66\,MJ$
２２．２４　$H = 1.0\,cm$

２３．１　$q = mv^2/2 = 50\,J$
２３．２　$A = \lambda 2m = 3000\,J$
２３．３　（１）銅、（２）鉄
２３．４　$\Delta T = \eta (v_1^2 - v_2^2) / (2c) = 173\,K$
２３．５　$\Delta T = ngh/c = 0.012\,K$
２３．６　$\Delta T = v^2/(2c)$、$\Delta T_1 = 0.023\,K$, $\Delta T_2 = 0.012\,K$, $\Delta T_3 = 0.021\,K$, $\Delta T_4 = 0.031\,K$
２３．７　$N (c\rho V\Delta T + rm) / (n\tau) = 13\,kW$
２３．８　$v = root (2 (c\Delta T + \lambda)) = 360\,m/s$
２３．９　$h = (cm\Delta T + \lambda m) / (nMg) = 2.9\,m$
２３．１０　$Q = (m/2)(v_1 - v_2)((v_1 + v_2) - (v_1 - v_2) m/M) = 4.6\,kJ$
２３．１１　$\Delta T = nMv^2 / (2c (m + M)) = 27\,K$
２３．１２　$M = mv^2 / (2q\eta) = 2.2\,g$
２３．１３　$m = Ns / (\eta qv) = 74\,g$
２３．１４　$N = \eta mqv/s = 29\,kW$
２３．１５　$\Delta m = Mghs / (\eta lq) = 21\,g$
２３．１６　$m_2 = m_1v_2/v_1 = 100\,g$、$N = \eta m_1qv_2^2 / (sv_1) = 32\,kW$

24．2　$Q=3mR\Delta T/(2\mu)=2.5$ kJ，$c=3R/(2\mu)=3.1$ kJ／(kg・K)
24．3　$\Delta U=Q=3pV\Delta T/(2T)=1.0$ kJ
24．4　$Q=(3/2)V(p_2-p_1)=3.0$ kJ
24．5　$p_2=p_1+2Q/(3V)=0.57$ MPa、$T_2=T_1(1+2Q/(3pV))=329$ K
24．6　$Q=3(n-1)RT/2=7.0$ MJ
24．8　$Q=A$
24．9　$T_2/T_1=V_2/V_1$，$A=p_0(V_2-V_1)$
24．10　$A=p_2(V_2-V_1)$
24．11　(a) $A=p_2(V_2-V_1)+p1(V_3-V_2)$，(b) $A=(p_2-p_1)(V_2-V_1)$
24．12　$\Delta U=12$ kJ，$A=8.0$ kJ
24．13　$5mR\Delta T/(2\mu)=25$ J
24．14　$A=(p_a+mg/S)V\Delta T)/T=80$ J
24．15　$A=mRT/\mu=0.17$ MJ，$U=(rm-mRT/\mu)=2.1$ MJ
24．16　$h=R\Delta T/(p_aS-(M-m)g)=1.6$ m
24．17　$A=(n-1)mRT/(n\mu)=17$ kJ、$U_H=U_k$
24．20　$\eta=A\cdot 100\%/(A+Q)=20\%$
24．21　$\eta=2(n_1-1)(n_2-1)\cdot 100\%/(5n_1n_2-2n_1-3)=17\%$
24．22　$\eta=(T_1-T_4-T_2+T_3)\cdot 100\%/(T_1-T_4)=25\%$
24．23　$Q_X/Q_H=T_X/T_H=1/3$
24．24　$T_X=nT_H=301$ K
24．25　$\eta_2/\eta_1=(T_2+\Delta T-T_1)\Delta T_2/((T_2-T_1)(T_2+\Delta T))=1.96$
24．26　$\eta_1=A\cdot 100\%/(mq)=24\%$、$\eta_2=(T_H-T_X)\cdot 100\%/T_H=42\%$
24．27　$P=(T_1-T_2)mq/(T_1\tau)=44$ kW

。1　$m_{ice}/m=c\Delta T/\lambda=0.062$
。2　$T_X=(mT_1+MT_2+Mv^2/(2c))/(M+m)=340$ K
。3　$Q=(c\Delta T+\lambda)m+p\tau=1.2$ kJ
。4　$Q_1=Sp_0V_0/4=1.9$ kJ，$Q_2=p_0V_0/4=0.38$ kJ
。5　$\eta=(p_2-p_1)(V_2-V_1)\cdot 100\%/(3(p_2V_2-p_1V_1)+2p_2(V_2-V_1))=9.1\%$
。6　$\eta=(p_2-p_1)(V_2-V_1)\cdot 100\%/(3(p_1V_2-p_2V_1)+2p_2(V_2-V_1))=10\%$
。7　$A=rm=6.9$ kJ，$\Delta T=rm/(c\rho V)=1.6$ K
。8　$c=(r(m-\mu pV/(RT_K))/(m(T_K-T))=1.5$ kJ／(kg・K)

25．1　$\Delta\beta=13.4°$
25．2　$q=n$えm$N_A/\mu=44$ MC
25．4　$F_C/F_G=ke^2/(Gm_e^2)=4.2\cdot 10^{42}$
25．5　$q=\mathrm{root}(Gm_em_m/k)=5.68\times 10^{13}$ C
25．6　$R=(9ke^2/(16\pi^2\rho^2G))^{1/6}=76\ \mu$m
25．7　$q_{1,2}=(kq\pm \mathrm{root}(k^2q^2-4kFr^2)/(2k)$、$q_1=38\ \mu$C，$q_2=12\ \mu$C
25．8　荷電$q_1$と$q_2$を結ぶ直線上で荷電$q_2$から　$x=r\,\mathrm{root}(q_3/q_1)=4.5$ cm
25．9　qからa／3の距離に、正荷電$Q=4q/9$を置く
25．10　$F=2kq^2\cos 30°/a^2=50\ \mu$N
25．11　三角形の中心に、荷電$Q=8q\cos^3 30°/9=5.8\ \mu$Cを置く
25．12　$Q_1=0.957q$
25．13　$r=2q\,\mathrm{root}(k/(3mg))=35$ cm
25．14　$q=2r\,\mathrm{root}(F/k)=n$C
25．15　球同士は接触し、その後、距離$r_1=r(4)^{-1/3}=3$ cm離れる。
25．16　$\varepsilon=r_1^2/r_2^2=81$
25．17　$\rho=\rho_K\varepsilon/(\varepsilon-1)=1.6$ g／cm$^3$
25．18　$\omega=\mathrm{root}(q/(l\cos\alpha)-kq^2/(ml^3\sin^3\alpha))$、$F_H=mg/\cos\alpha$

２６．４　$r_1=q_1 l/(q_1+q_2)=12.3\,\mathrm{cm}$
２６．５　$E_0=4E_AE_C/(E_C+3\,\mathrm{root}\,(E_CE_A)+E_A)=16\,\mathrm{V/m}$
２６．６　$E_{(0,0)}=25\,\mathrm{kV/m}$，$E_{(0,3)}=E_{(0,-3)}=17.7\,\mathrm{kV/m}$，ｘ軸に平行
２６．７　座標（４，０）の点
２６．８　$E=37\,\mathrm{kV/m}$，ｘ軸と角度$\alpha=66°$
２６．９　$E=1.15q/(4\pi\varepsilon_0a^2)=0.10\,\mathrm{MV/m}$
２６．１０　$E=p/(4\pi\varepsilon_0d^3)=18\,\mathrm{kV/m}$
２６．１１　$q=4\pi\varepsilon_0d^3E/l=1.6\,\mathrm{nC}$
２６．１２　$\phi_0=2\phi_A\phi_C/(\phi_A+\phi_C)=7.5\,\mathrm{V}$
２６．１３　$\phi_1=0.20\,\mathrm{kV/m}$，$\phi_2=0.10\,\mathrm{kV/m}$
２６．１４　$E_1=0$，$\phi_1=q/(4\pi\varepsilon_0r_0)=10\,\mathrm{V}$，$E_2=q/(4\pi\varepsilon_0r^2)=1.1\,\mathrm{V/m}$，$\phi_2=q/(4\pi\varepsilon_0r)=1.0\,\mathrm{V}$
２６．１５　$E=0$，$\phi=R\sigma/\varepsilon_0$，$0=<r=<R$，$E=R^2\sigma/(\varepsilon_0r)$、$\phi=R^2\sigma/(\varepsilon r)$、$r>R$，図２６６
２６．１７　$\sigma=2\varepsilon_0\phi/d=29.5\,\mathrm{nC/m^2}$
２６．１８　$R=r\phi_2/\phi_1=6.0\,\mathrm{cm}$
２６．１９　$E_O=0$，$E_A=q_1/(4\pi\varepsilon_0r_1^2)=22\,\mathrm{kV/m}$，$E_C=(q_1+q_2)/(4\pi\varepsilon_0r_2^2)=-18\,\mathrm{kV/m}$
２６．２０　$\phi_0=(1/4\pi\varepsilon_0)(q_1/R_1+q_2/R_2)=60\,\mathrm{V}$，$\phi_1=(1/4\pi\varepsilon_0)(q_1/r_1-q_2/R_2)=15\,\mathrm{V}$、$\phi_2=(q_1+q_2)/(4\pi\varepsilon_0r_2)=0$
２６．２１　$R=(4q_1+3q_2)/(24\pi\varepsilon_0\phi)=50\,\mathrm{cm}$
２６．２２　$E_i=\rho r/(3\varepsilon_0)$、$0=<r=<R$，$E=\rho R^3/(3\varepsilon_0r^2)$、$r>R$、図２６７

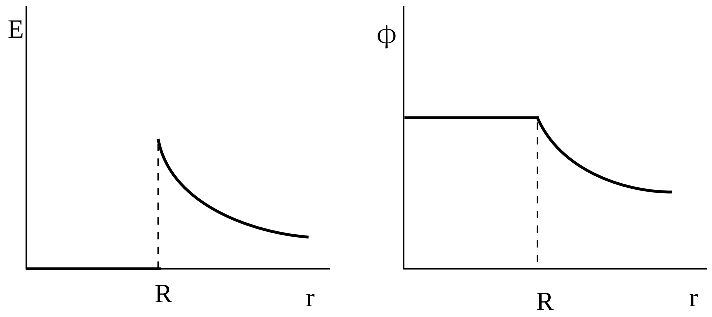

図２６６

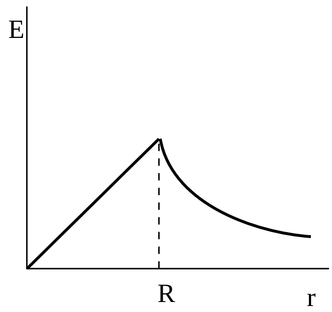

図２６７

２６．２３　$E_1=\rho r_1/(3\varepsilon_0r_3^2)=4.7\,\mathrm{V/m}$，図２６８
２６．２４　$E_1=0.23\,\mathrm{kV/m}$，$E_2=113\,\mathrm{V/m}$，図２６９
２６．２５　$E_A=0$，$E_C=0.30\,\mathrm{mV/m}$，図２７０
２６．２６　$\Delta\phi=45\,\mathrm{V}$
２６．２７　$A=0.16\,\mathrm{J}$
２６．２８　$A=40\,\mu\mathrm{J}$
２６．２９　$P=q_1q_2/(4\pi\varepsilon_0r)=9.0\,\mu\mathrm{J}$
２６．３０　$v=e/\mathrm{root}\,(4\pi\varepsilon_0m_er)=0.16\,\mathrm{km/s}$
２６．３１　$r=e^2/(4\pi\varepsilon_0m_ev^2)=0.25\,\mathrm{mm}$
２６．３２　$R=q_1q_2/(2\pi\varepsilon_0mv^2)=81\,\mathrm{cm}$
２６．３３　$P=-5q^2/(4\pi\varepsilon_0a)$
２６．３４　$v_3=e\cdot\mathrm{root}\,(2k/(m_er))=0.23\,\mathrm{km/s}$、$v_4=e/\mathrm{root}\,(3k/(m_er))=0.27\,\mathrm{km/s}$
２６．３５　$v=\mathrm{root}\,(v_0^2+2eru_2-u_1/m_e)=3.0\,\mathrm{mm/s}$
２６．３６　$r=(\pi\varepsilon_0m_pv^2/e+\mathrm{root}\,(2\pi\varepsilon_0E/e))-1=47\,\mathrm{nm}$
２６．３７　$v=\mathrm{root}\,(v_0^2+e^2E^2t^2/m^2)=2.3\,\mathrm{mm/s}$、$\alpha=\mathrm{atan}\,(eEt/(m_ev))=45°$
２６．３８　$s=m_ev^2/(2eE)=2.4\,\mathrm{cm}$、$t=m_ev/(eE)=47\,\mathrm{nm}$
２６．３９　ｑ＝ｍｇｄ／Ｕ＝９．８×１０−１６Ｃ，Ｕ１＝ｍｇｄ／（ｑ−ｅＮ）＝１７．３ｋＶ

２７．１　導体Ａを導体Ｃの内部に入れ、その内壁にＡの外壁をふれさせる。
２７．２　帯電させた試験球を中空の導体中に触れさせないで入れる。手で中空導体に触れ、その後球を取り除く。同じことを２番目の導体で繰り返す。
２７．３　接地した導体を家電体に触れることなく近づける。その後、接地を取り外す。
２７．４　静電誘導により球表面上の荷電の再配置が行われる。同種符号の荷電の場合には、異種符号の場合より大きな距離に荷電が配置する。図２７１
２７．５　片方の帯電体の荷電量がもう一方の帯電体の荷電量より大きい場合に可能である。
２７．６　否。静電誘導の結果、非帯電体は引きつけられる。
２７．７　是認
２７．８　力は変化しない。金属膜内部の電界はゼロ、外部は不変。
２７．９　是認
２７．１０　球内部の電界はゼロ。荷電球の場合には答えは変わらない。
２７．１１　図２７２
２７．１２　図２７３　内部表面において、荷電密度は一様ではない。外部表面では、荷電は自由であり、それ故、一様に分布する。

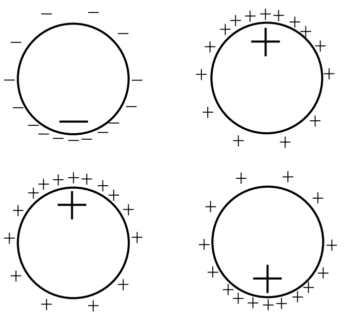

図２７１

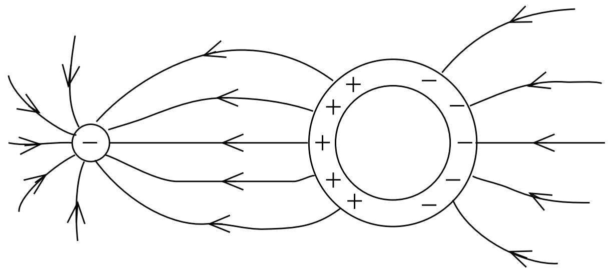

図２７２

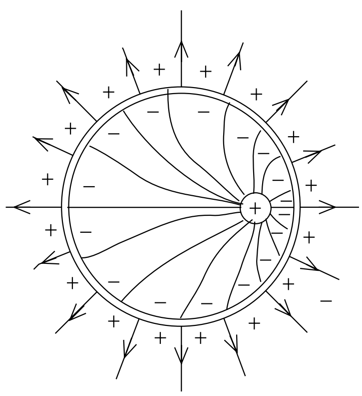

図２７３

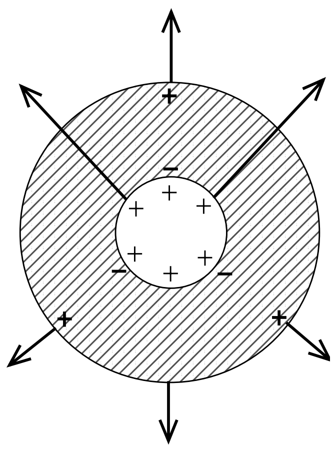

図２７４

２７．１３　$\varphi = 2\varphi_1\varphi_2/(\varphi_1+\varphi_2) = 24\,V$
２７．１４　$Q' = Q/2$
２７．１５　$F = q(E_2 - E_1)/2$
２７．１６　$F = kq^2/(2r)^2 = 0.25\,mN$
２７．１７　$\varphi = kq/r_2 - kq/\mathrm{root}((2r_1)^2 + r_2^2) = 120\,V$
２７．１８　$q = 2(r - l\sin\alpha)\,\mathrm{root}(mg\tan\alpha/k) = 20\,nC$
２７．１９　$K = kq^2/(4r^2\Delta r) = 49\,N/m$
２９．２０　不変
２９．２１　$\varepsilon_{H2O} > \varepsilon_{para}$
２７．２２　図２７４
２７．２３　$E_1 = kq/(\varepsilon r_1^2) = 5\,kV/m$, $E_2 = kq/r_2^2 = 3.8\,kV/m$
２７．２４　$q' = -4\pi R^2\sigma(\varepsilon - 1)/\varepsilon = 31\,pC$

27.25 $\sigma=\varepsilon_0(\varepsilon-1)\Delta\phi/(\varepsilon d)=0.88\mu C/m^2$

28.4 $R=9.0\cdot10^9 m$

28.5 $C=0.71mF$, $\Delta\phi=q/(4\pi\varepsilon_0 R_3)=1.4kV$

28.6 $q=4\pi\varepsilon_0 d\phi/2=0.10\mu C$

28.7 $\phi_2/\phi_1=N^{2/3}=100$

28.8 $\Delta\phi=(q_1 r_2-q_2 r_1)/(r_1+r_2)=1.2nC$, $\phi=(q_1+q_2)/(4\pi\varepsilon_0(r_1+r_2))=-72V$

28.9 $R_2=R_1(\phi_1/(\phi_2-1))=30cm$

28.10 $\phi_1=\phi_2=(\phi_1 r_1+\phi_2 r_2)/r_2=0.48kV$, $q_1=0$, $q_2=4\pi\varepsilon_0(r_1\phi_1+r_2\phi_2)=5.3nC$

28.11 $\phi_2/\phi_1=(1-R_1/R_2)$、$C=4\pi\varepsilon_0 R_1 R_2/(R_2-R_1)$

28.12 $\phi=(C_1\phi_1+C_2\phi_2)/(C_1+c_2)$

28.13 $\phi=2\phi_1\phi_2/(\phi_1+\phi_2)=48V$

28.14 $Q=C_1 C_2(\phi_2-\phi_1)^2/(2(C_1+C_2))=12J$

28.15 $a_1=root(dC/\varepsilon_0)=10.6m$、$a_2=root(dC/\varepsilon\varepsilon_0)=4.8m$

28.16 雲母

28.17 $S=1.6m^2$

28.18 $q=q_0(\varepsilon-1)/\varepsilon=12\mu C$

28.19 $F=\pi\varepsilon_0 d^2\phi_1\phi_2/R2=-0.10\mu N$

28.20 $F=\varepsilon_0 SU^2/(2d^2)=1.23mN$

28.21 不変

28.22 9分の1に減少

28.23 (1) $C=2\varepsilon C_0/(\varepsilon+1)=1.75C_0$, (2) $C=2C_0$

28.25 $C=2\varepsilon_0 S/d$

28.26 $U_1=(U_1+U_2)/2=150V$, $U_2=(U_2-U_1)/2=50V$

28.27 $U_\phi=\varepsilon\ d_1 U/(\varepsilon\ d_1+\varepsilon_\phi d_2)=0.30kV$, $E_\phi=30kV/m$, $U\ =\varepsilon_\phi d_2 U/(\varepsilon\ d_1+\varepsilon_\phi d_2)=1.8kV$, $E\ =90kV/m$

28.28 $U=Ed(C_1+C_2)/C_1=4.8kV$

28.29 $Q=(root(W_2)-root(W_1))^2/2=0.20mJ$

28.30 $w=\varepsilon_0\phi/(2r)=0.18J/m3$

28.32 $A=CU^2/2=0.1mJ$

28.33 $A=(\varepsilon-1)d^2/(2C)=5.0mJ$

28.34 $n_{air}=\varepsilon\cdot100\%/(1+\varepsilon)=75\%$、$n=100\%/(1+\varepsilon)=25\%$

28.35 (a) $C=C_1C_3/(C_1+C_3)+C_2C_4/(C_2+C_4)$、(b) $C=(C_1+C_2)(C_3+C_4)/(C_1+C_2+C_3+C_4)$

28.36 $C'=C$

28.37 (a) $C'=4C/3$, (b) $C'=C$

28.38 $q_3'/q_3=U_3'/U_3=(C_1+C_2+C_3)/(C_1+C_2)$

28.39 $\phi_B-\phi_A=E+q/C=5.0V$

28.40 $U_1=(\phi_A-\phi_B+\varepsilon_1-\varepsilon_2)C_2C_3/(C_1C_2+C_2C_3+C_1C_3)=1.0V$、$U_2=U_1C_1/C_2=0.67V$、$U_3=U_1C_1/C_3=0.33V$

28.41 $q_2=C_2(E_1-E_2)+q_1C_2/C_1=0$

28.42 $q_1=q_2=C_1C_2(E_1+E_2)/(C_1+C_2)$

28.43 $\phi_A-\phi_B=E(C_2C_3-C_1C_4)/((C_1+C_2)(C_3+C_4))$

28.44 $\phi_A-\phi_B=(E_1C_1-E_2C_2)/(C_1+C_2)$

28.45 $q_1=q_2=CE/3=10nC$、$q_3=2CE/3=20nC$

28.46 $q_E=CE/30$, $q_{AB}=CE/5$

。1 $Q=L(D+d)root(4\pi\varepsilon_0 K(L-l)/(Dd))=1.7\mu C$

。2 $F=3q^2l^2/(4\pi\varepsilon_0 r^4)$

。3 $U=(q/\varepsilon_0 S)(l-q^2/(2\varepsilon_0 SK))=2.7kV$

。4 $W=7CE^2/10$

。5 $\Delta\phi=\Delta\phi_0/3=40V$

。6 $Q_1=(q_1/2\pm q_2/2)$、$Q_2=q_2/2\pm q_1/2$

。７　ｑ＝Ｑ／３
。８　Ｔ＝３ｑ$^2$／（１６πε$_0$ｌ$^2$）＋ｒｏｏｔ（３）ｑＥ＝７．６ｍＮ

２９．１　Ｉ＝０．５ｍＡ
２９．２　Ｉ＝ＵΔＣ／Δｔ＝１μＡ
２９．３　ｍ＝ｍ$_e$Ｉｔ／ｅ＝０．２ｍｇ
２９．４　ｖ$_1$／ｖ$_2$＝Ｓ$_2$／Ｓ$_1$＝１．５
２９．５　Ｒ＝３５Ω
２９．６　ｊ＝Ｕ／（ρｌ）＝１０Ａ／ｃｍ$^2$
２９．７　Ｒ＝１６ｍρ／（π$^2$ｄ$^4$ρ$_0$）＝９Ω、ρ－抵抗率、ρ$_0$－密度
２９．８　ｌ＝ＲＳ／（ρ（１＋αｔ））＝６ｍ
２９．９　Ｒ$_2$＝Ｒ$_1$（１＋αｔ$_2$）／（１＋αｔ$_1$）＝２２Ω
２９．１０　ｔ$_1$＝（ｎ（１＋αｔ$_1$）－１）／α＝２４７℃
２９．１１　３５回巻き
２９．１２　Ｒ＝（Ｕ－Ｕ$_0$）／Ｉ$_0$＝８Ω、ｌ＝Ｓ（Ｕ－Ｕ$_0$）／（Ｉ$_0$ρ）＝３２ｍ
２９．１３　ｌ$_{Fe}$／ｌ＝－αρ／（α$_{Fe}$ρ$_{Fe}$）＝６
２９．１４　Ｒ$_{1,2}$＝（Ｉ$_2$Ｕ±ｒｏｏｔ（Ｉ$_2{}^2$Ｕ$^2$－４Ｉ$_1$Ｉ$_2$Ｕ$^2$））／２Ｉ$_1$Ｉ$_2$，Ｒ$_1$＝３０Ω、Ｒ$_2$＝１０Ω
２９．１５　４回
２９．１６　Ｒ$_1$＝Ｕ（Ｓ$_2$＋Ｓ$_1$）／（Ｉ$_1$（Ｓ$_1$＋Ｓ$_2$＋Ｓ$_3$））＝８Ω、Ｉ$_1$＝１Ａ、Ｕ$_1$＝Ｉ$_1$Ｒ$_1$＝８Ｖ，Ｒ$_2$＝ＵＳ$_1$（Ｓ$_2$＋Ｓ$_3$）／（Ｉ$_1$Ｓ$_2$（Ｓ$_1$＋Ｓ$_2$＋Ｓ$_3$））＝１２Ω、Ｉ$_2$＝１／３Ａ，Ｕ$_2$＝Ｕ$_3$＝Ｕ－Ｕ$_1$＝４Ｖ，Ｒ$_3$＝ＵＳ$_1$（Ｓ$_1$＋Ｓ$_2$）／（（Ｉ$_1$Ｓ$_3$（Ｓ$_1$＋Ｓ$_2$＋Ｓ$_3$））＝６Ω、Ｉ$_3$＝２／３Ａ
２９．１７　２０，３０，４０，６０，９０，１２０，１８０Ω
２９．１８　電圧は低下
２９．１９　Ｒ＝Ｒ$_0$（ｎ－１）
２９．２０　図２７５、（ａ）Ｒ’＝ｒ、（ｂ）Ｒ’＝ｒ（１－ｒ／Ｒ），（ｃ）Ｒ’＝Ｒ／（１＋Ｒ／ｒ）
２９．２１　（ａ）０＝＜Ｕ$_{out}$＝＜Ｕ$_0$、（ｂ）１／３Ｕ$_0$＝＜Ｕ$_{out}$＝＜２／３Ｕ$_0$
２９．２２　（ａ）Ｕ$_{out}$＝１／２Ｕ$_0$，Ｕ$_{in}$＝Ｕ$_0$、（ｂ）Ｕ$_{out}$＝１／８Ｕ$_0$、Ｕ$_{in}$＝２／９Ｕ$_0$
２９．２３　（ａ）Ｒ＝ｒ，（ｂ）Ｒ＝ｒ／３，（ｃ）Ｒ＝３／５ｒ、（ｄ）Ｒ＝ｒ
２９．２４　（ａ）Ｒ＝ｒ，（ｂ）Ｒ－ｒ／２，（ｃ）Ｒ＝４／５ｒ、（ｄ）Ｒ＝５／６ｒ、（ｅ）Ｒ＝７／１２ｒ、（ｆ）Ｒ＝３／４ｒ
２９．２５　Ｒ$_X$＝３／４ｒ
２９．２６　Ｕ$_2$＝Ｕ$_0$Ｕ$_1$／（Ｕ$_1$＋２（Ｕ$_0$－Ｕ$_1$）ｒ）＝２００Ｖ？？？
２９．２７　Ｉ$_A$＝ＵＲ$_3$（（Ｒ$_2$＋Ｒ$_3$）（Ｒ$_1$＋Ｒ$_4$）＋Ｒ$_2$Ｒ$_3$）＝０．５Ａ
２９．２８　Ｒ＝（Ｕ－Ｉ$_0$ｒ）／Ｉ$_0$，Ｒ$_1$＝９０Ω、Ｒ$_2$＝０．４９ｋΩ、Ｒ$_3$＝２．５ｋΩ、Ｒ$_4$＝５ｋΩ
２９．２９　Ｉ＝Ｉ$_A$（１＋ｒＳ／（ρｌ））＝６．３Ａ
２９．３０　Ｕ$_1$＝Ｕｒ$_1$（Ｒ＋２ｒ$_2$）／（Ｒ（ｒ$_1$＋ｒ$_2$）＋４ｒ$_1$ｒ$_2$）＝３３Ｖ，Ｕ$_2$＝Ｕｒ$_2$（Ｒ＋２ｒ$_1$）／（Ｒ（ｒ$_1$＋ｒ$_2$）＋４ｒ$_1$ｒ$_2$）＝２７Ｖ
２９．３１　Ｕ$_2$＝ＵＵ$_1$Ｒ$_1$／（Ｒ（Ｕ－Ｕ$_1$）＋Ｒ$_1$Ｕ$_1$）＝０．３４Ｖ
２９．３２　抵抗が大きい場合には（ａ）図、小さい場合には（ｂ）図

３０．１　Ｉ＝０．５Ａ、Ｕ＝４．０Ｖ
３０．２　Ｉ$_2$＝ＥＩ$_1$／（ｎＥ－Ｉｒ（ｎ－１））＝０．６０Ａ
３０．３　Ｉ’＝ＥＵ／（（Ｅ－Ｕ）Ｒ）＝０．３０Ａ
３０．４　Ｅ＝Ｉ$_1$Ｉ$_2$（Ｒ$_2$－Ｒ$_1$）／（Ｉ$_1$－Ｉ$_2$）＝１０Ｖ，ｒ＝Ｉ$_2$Ｒ$_2$－Ｉ$_1$Ｒ$_1$）／（Ｉ$_1$－Ｉ$_2$）＝５．０Ω
３０．５　図２７６
３０．６　Ｒ／ｒ＝１００
３０．７　Ｒ$_X$＝Ｒ$^2$／ｒ＝４５Ω
３０．８　Ｅ＝Ｕ（１＋ｒｎ／Ｒ）＝０．３３ｋＶ
３０．９　Ｉ$_r$＝Ｉ$_{R3}$＝Ｅ（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）／（Ｒ$_1$Ｒ$_2$＋（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）（Ｒ$_3$＋ｒ））＝１．０Ａ，Ｉ$_{R1}$＝Ｉ$_r$Ｒ$_2$／（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）＝０．６７Ａ，Ｉ$_{R2}$＝Ｉ$_r$Ｒ$_2$／（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）＝０．３３Ａ，Ｕ$_{R3}$＝Ｉ$_r$Ｒ＝５．０Ａ，Ｕ$_{R1}$＝Ｕ$_{R2}$＝Ｉ$_r$Ｒ$_1$Ｒ$_2$／（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）＝４．０Ｖ，Ｕ$_E$＝Ｅ－Ｉ$_r$ｒ＝９．０Ｖ

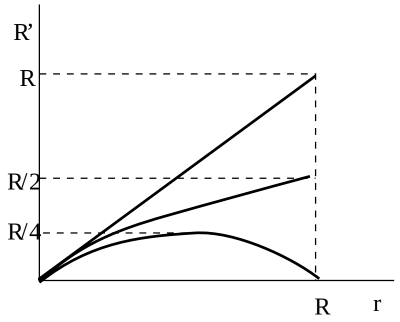

図２７５

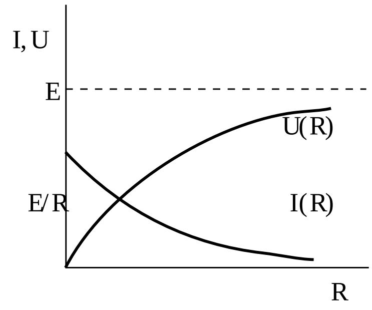

図２７６

３０．１０　$E'=3Ed=30\,\mathrm{V}$
３０．１１　$r=R(n-1)=3.0\,\Omega$
３０．１２　$q=CER/(R+2r)=4.0\,\mu\mathrm{C}$
３０．１３　$q=CE(R_2-R_3)/(R_2+R_3+2r)=21\,\mu\mathrm{C}$
３０．１４　$q=4CER(R+r)/((2R+3r)(2R+r))=0.68\,\mathrm{mC}$
３０．１５　$\phi_A-\phi_B=(C_2R_2-C_1R_1)E/((C_1+C_2)(R_1+R_2+r))$
３０．１６　$\phi_B-\phi_A=E/10$
３０．１７　$\phi_B-\phi_A=I_1r-E=2.0\,\mathrm{V}$，$\phi_A-\phi_B=E+I_2r=6.0\,\mathrm{V}$
３０．１８　$E_1=E(I_1+I_2)/(I_1-I_2)=12\,\mathrm{V}$、$R=2E/(I_1-I_2)-r=10\,\Omega$
３０．１９　$\phi_A-\phi_B=(E(R+r_1)+E_1r_2)/(R+r_1+r_2)=1.2\,\mathrm{V}$
３０．２０　$R=(U-E)/I-r=6.5\,\Omega$、$U_1=E+Ir=5.5\,\mathrm{V}$
３０．２１　$R=E_1r_1/(E_1-E_2)=6.0\,\Omega$
３０．２２　$E=(E_1r_2+E_2r_1)/(r_1+r_2)$、$I=(E_1r_2+E_2r_1)/(r_1r_2R(r_1+r_2))$
３０．２３　$E=(E_1r_2r_3+E_2r_3r_1+E_1r_1r_2)/(r_1r_2+r_2r_3+r_3r_1)$
３０．２４　$R=r=6.0\,\Omega$
３０．２５　$U=0$
３０．２６　$I=(E_1+E_2+E_3)/(r_1+r_2+r_3)=1.0\,\mathrm{A}$，$U_1=E_1-Ir=0$，$U_2=E_2-Ir=0$、$U_3=E_3-Ir=0$，$I'=1.0\,\mathrm{A}$、$U_1'=1.0\,\mathrm{V}$，$U_2'=0$，$U_3'=-1.0\,\mathrm{V}$
３０．２７　$R=(E_2r_1^2+E_1r_2^2)/(r_1E_1+E_2r_2)=3.0\,\Omega$、$I=(E_1+E_2)/(R_1+r_1+r_2)=0.50\,\mathrm{A}$
３０．２８　(a) 50Ah，(b) 200Ah
３０．２９　65AH
３０．３０　$R_X=(R^2(E_1-2E_2)-3E_2Rr_1)/(E_1R+E_2r_1+2E_2R)=3.0\,\Omega$
３０．３１　$E_2=E_1(R_1R_4-R_2R_3)/(r_1(R_1+R_2+R_3+R_4)+(R_1+R_2)(R_3+R_4))=2.2\,\mathrm{V}$，$R_1$に＋
３０．３２　$q_a=CE(2R+r)/(R+r)=0.50\,\mathrm{nC}$，$q_b=-CEr/(R+r)=-0.30\,\mathrm{nC}$，$q_c=CE(3R+2r)/(R+r)=0.90\,\mathrm{nC}$、$q_d=CER/(R+r)=0.10\,\mathrm{nC}$

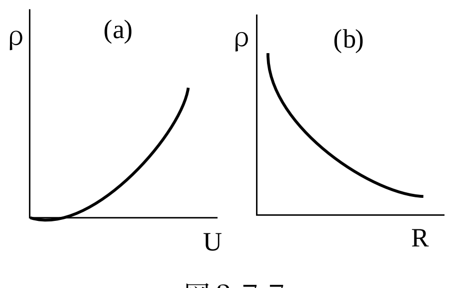

図２７７

３１．１　$A=3\,\mathrm{J}$
３１．２　$A=0.29\,\mathrm{kJ}$，$P=29\,\mathrm{W}$，$R=5\,\Omega$
３１．３　$P=U^2/R$，図２７７

31．4　$P_1' = P_1(U_2/U_1)^2 = 180W$, $P_2' = P_2(U_1/U_2)^2 = 20W$
31．5　$P_1 = 80W$, $P_2 = 40W$, $P_1' = 8.9W$, $P_2' = 17.8W$
31．6　400W
31．7　増大する
31．8 40W, 60W, 80W, 120W, 180W, 240W, 360W
31．9　$R_d = U(U_1 - U)/P = 6.23\Omega$
31．10　$U_1 = U + nPr/U = 180W$、$P_1 = (nP/U)(U + nPr/U) = 2.7kW$, $\eta = nP/P_1 = 67\%$
31．11　$P_1 = U^2U_1^2P/(Pr + U^2)^2 = 0.69kW$, $P_2 = 2U^2U_1^2P/(2Pr + U^2)^2 = 0.93kW$
31．12　$I_2 = (U - I_1r)/r = 42A$、$n_1 = 1 - I_1r/U = 95\%$、$n_2 = 1 - I_2r/U = 5\%$
31．13　$I_{1,2} = (E' \pm root(E^2 - 4rP))/(2R)$, $I_1 = 1A$, $I_2 = 2A$
31．14　$R_{1,2} = (E^2 - 2Pr)/(2P) \pm root(E^2 - 2Pr)^2/(4P^2) - r^2)$、$R_1 = 3\Omega$、$R_2 = 0.3\Omega$
31．15　$E = 2.16MJ$
31．16　図278、$P = EI$, $P' = IE - I^2r$、$\eta = 1 - Ir/E$
31．17　図279、$P = E^2/(R + r)$, $P' = (E^2/(R + r)^2)R$, $\eta = R/(R + r)$
31．18　図280、$I = E/(R + r)$, $U = ER/(R + r)$, $\eta = R/(R + r)$、$P = E^2/(R + r)$, $P' = E^2R/(R + r)^2$、$P_{in} = E^2r/(R + r)^2$、$P'$は$R = r$で最大値
31．19　$I = I_1 + I_2/2 = 1.3A$, $I' = I_1 + I_2 = 2.6A$
31．20　$I' = (P_1I_2^2 - P_2I_1^2)/(P_1I_2 - P_2I_1) = 8A$
31．21　$P_{max} = (I_1^2P_2 - I_2^2P_1)^2/(4I_1I_2(I_1 - I_2)(I_1P_2 - I_2P_1)) = 32W$

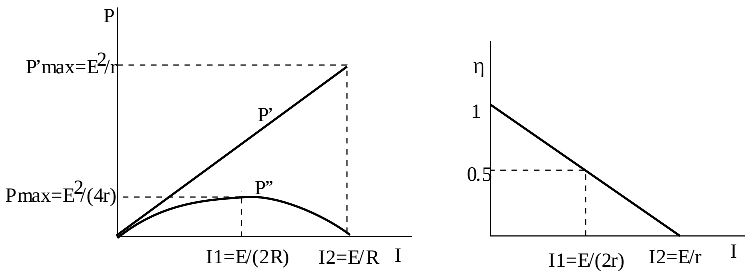


図278

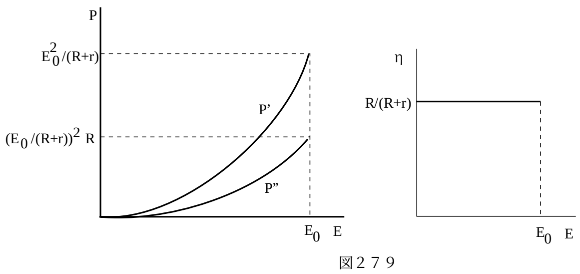


図279

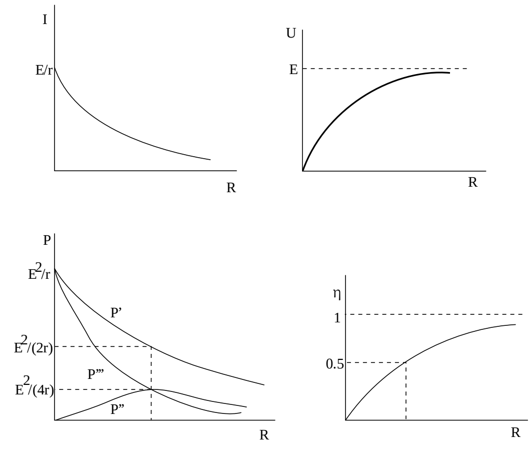


図280

31．22　$E = 2P_{max}/I = 12V$, $r = P_{max}/I^2 = 3\Omega$
31．23　$P_{max} = E\eta/(4R(1 - \eta)) = 11W$
31．24　$r = (n - 1)R_1R_2/(n_2 - nR_1) = 14\Omega$
31．25　$R_2 = ((R_1^2 + r^2) - root((R_1^2 + r^2)^2 - 4R_1^2r^2))/2R_1 = 0.62\Omega$、$\eta_1 = 80\%$、$\eta_2 = 20\%$

３１．２６　$P_{in}$＝$P_1$（１－$\eta_2$）／$\eta_2$＝３２W
３１．２７　ｒ＝ｒｏｏｔ（$R_1R_2$）
３１．２８　$I_1$＝E／（３R）＝０．１A、$I_2$＝E／（１．５R）＝０．２A
３１．２９　P’＝P＝ｎ$E^2$／（４ｒ）＝１W
３１．３０　Q＝N$E^2$／ｒ
３１．３１　P＝（U－E）$^2$／ｒ＝１．６W，P’＝（U－E）U／ｒ＝４．８W
３１．３２　ｎ＝E／U＝０．８，P＝（U－E）E’／ｒ＝２．４W
３１．３３　図２８１、P＝（$U^2$－UE）／ｒ，P’＝（E’U－$E^2$）／ｒ，P’’＝（U－E’）$^2$／ｒ，η＝E／U、P’の最大はE＝U／２の時
３１．３４　E＝U／２

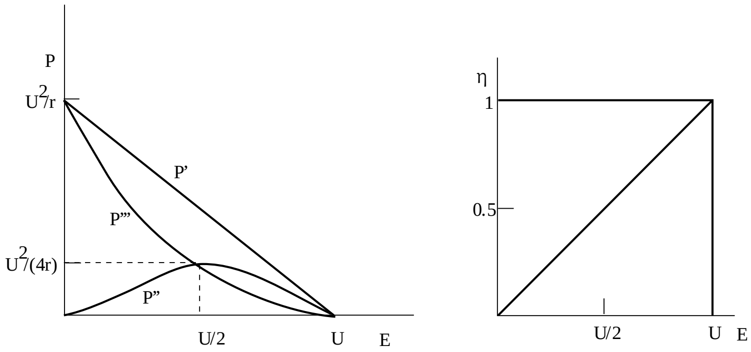


図２８１

３１．３５　I＝P／$E_2$＝０．５A
３１．３６　P＝IU＝０．８８kW，P’＝UI－$I^2$R＝０．７５kW，η＝１－IR／U＝８５％
３１．３７　P＝UI－U$I^2$／$I_0$＝５８W
３１．３８　$I_{1,2}$＝（U±ｒｏｏｔ（$U^2$－４RP））／（２R），$I_1$＝２５A，$I_2$＝３０A
３１，３９　図２８２、P＝IU，P’＝IU－$I^2$ｒ、P’’＝$I^2$ｒ、η＝１－Iｒ／U、P’の最大はI＝U／（２ｒ）の時
３１．４０　$\eta_1$＝$P_1I_2$（$I_2$－$I_1$）／（$P_1I_2^2$－$P_2I_1^2$）＝８３％、$\eta_2$＝$P_2I_1$（$I_2$－$I_1$）／（$P_1I_2^2$－$P_2I_1^2$）＝６７％、$I_0$＝（$P_1I_2^2$－$P_2I_1^2$）／（$P_1I_2$－$P_2I_1$）＝６０A

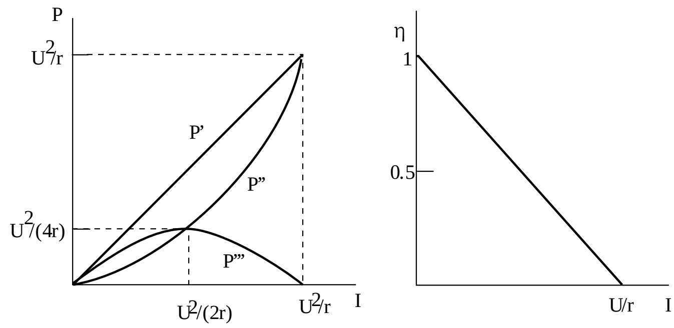


図２８２

３１．４１　１０分
３１．４２　τ＝ｃρ$\rho_0$$l^2$（T－$T_0$）／$U^2$＝１ｓ、ρ－抵抗率、$\rho_0$－密度
３１．４３　ΔT＝$j^2$ρτ／（ｃ$\rho_0$）＝４K
３１．４４　P＝ｃ$\rho_0$VΔT／（τη）＝１．５kW，ΔT＝T－$T_0$
３１．４５　ｒ＝Eｒｏｏｔ（Rτ／（ｃmΔT））－R＝３Ω
３１．４６　（ａ）ｔ＝$t_1$＋$t_2$＝３２分、（ｂ）ｔ＝$t_1t_2$／（$t_1$＋$t_2$）＝６分
３１．４７　m＝８４ｇ
３１．４８　I＝μmｇｖ／（Uη）＝５９A，$v_1$＝ｖμ／（ｓｉｎα－μｃｏｓα）＝２．５m／ｓ、ｓｉｎα－傾斜量
３１．４９　I＝mｇｖ（μｃｏｓα－ｓｉｎα）／（Uη）～０．２４kA
３１．５０　R＝（UIｔ－mｇｈ）／（$I^2$ｔ）＝９．７Ω

３２．１　最初、電流は増加し、その後一定となる。
３２．２　増加する。
３２．３　全てで、増加する
３２．４　$x_H$＝１．０ｋｇ／モル、$k_H$＝１０．４×１０$^{-9}$ｋｇ／Ｃ，$x_{Na}$＝２３ｋｇ／モル、$k_{Na}$＝２．４×１０$^{-7}$ｋｇ／Ｃ、$x_O$＝８．０ｋｇ／モル、$k_O$＝８．３×１０$^{-8}$ｋｇ／Ｃ，$x_{Cu}$＝３２ｋｇ／モル、$k_{Cu}$＝３．３×１０$^{-7}$ｋｇ／Ｃ
３２．５　同じ
３２．６　Ｗ／ｍ＝ｎＦＵ／Ａ＝２４ＭＪ／ｋｇ
３２．７　ｔ＝ｈρｎＦ／（Ａｊ）＝１時間５８分
３２．８　ｈ＝Ａｊｔ／（ρｎＦ）＝５０μｍ
３２．９　ｍ＝ＡＩｔ／（ｎＦ）＝１．９ｇ
３２．１０　Ｉ＝ｍｎＦ／（Ａｔ）＝４．０Ａ
３２．１１　Ｒ＝ＵＡｔ／（ｍｎＦ）＝２．０Ω
３２．１２Ｖ＝（ＩｔＲＴ／（ＦＰ））（$A_B$／（$n_B\mu_B$）＋$A_K$／（$n_K\mu_K$））＝６２×１０$^{-5}$$m^3$
３２．１３　Ｎ＝Ｉｔ（２ｅ）＝２．５×１０$^9$
３２．１４　ｖ＝ｒｏｏｔ（２Ｗ／$m_e$）＝２．９４×１０$^6$ｍ／ｓ
３２．１５　Ｕ＝Ｅλ＝１５Ｖ，ｖ＝ｒｏｏｔ（２ｅＥλ／$m_e$）＝２．３×１０$^6$ｍ／ｓ
３２．１６　φ＝ＥＲ＝１５ｋＶ，ｑ＝４π$\varepsilon_0$Ｅ$r^2$＝８．３ｎＣ
３２．１８　ｖ＝ｒｏｏｔ（２Ａ／$m_e$）＝１．２６×１０$^6$ｍ／ｓ
３２．２０　Ｉ＝$P_e$／Ｗ＝０．１０ｍＡ

。１　電源と閉回路をつくっている導線中では$I_1$＝２Ｅ／（２Ｒ＋１０ｒ）＝０．２０Ａ，電源に接続している導線中では$I_2$＝Ｅ／（２Ｒ＋１０ｒ）＝０．１０Ａ，そのほかの導線中では０
。２　Ｉ＝Ｅ（α$R_1R_2$＋$R_1$＋$R_2$）＝４８μＡ
。３　$q_A$＝２ＣＥ／３＝２．０ｍＣ，$q_B$＝２ＣＥ／３＝２．０ｍＣ，$q_C$＝０，Δｑ＝２ＥＣ＝６．０ｍＣ
。４　ｖ＝$E^2$ＲＴ／（４$R_0$ｒＰＳμ）＝０．４７ｍ／ｓ
。５　Ｐ＝ＩＵｎ（１－ｎ）$^2$／（ｋ（ｋ－（１－ｎ）$^2$）＝０．１６Ｗ
。６　$v^2$＝$v_1I_2^2$／$I^2$－Ｕ$I_2$（$I_2$－$I_1$）η／（Ｍｇ$I_1$）＝２６ｃｍ／ｓ
。７　真ん中の電極の左側に銀が析出する、$m_{Ag}$／ｔ＝２ｍｒ／（２ｒ＋$A_{Ag}$Ｕ／（２Ｆｎｍ））＝０．６４ｍｇ／ｓ、右側には塩素が発生する、$m_{Cl}$／ｔ＝２ｍ$A_{Cl}$（ｒ＋$A_{Ag}$Ｕ／（２Ｆｎｍ））／（$A_{Ag}$（２Ｒ＋$A_{Ag}$Ｕ／（２Ｆｎｍ）））＝０．４４ｍｇ／ｓ

３３．２　電子ビームではクーロン斥力が優勢である。
３３．４　できる
３３．５　Ｂ＝５０ｍＴ
３３．６　（ａ）回転する、（ｂ）と（ｃ）回転しながら、磁場の大きい方へ引き寄せられるれる。
３３．８　ループは水平と４５°の角度をなして位置する。
３３．９　Ｂ＝０
３３．１４　Ｆ＝４．２ｍＮ
３３．１５　Ｔ＝ＢｌＩ／２＝１０ｍＮ
３３．１６　Ｂ＝ｍｇ／（Ｉｌ）＝１９．６ｍＴ
３３．１７　Ｉ＝μｍｇ／（Ｂｌ）＝１３．６Ａ
３３．１８　$B_1$＝Ｍｇ（μｃｏｓα－ｓｉｎα）／（Ｉｌ）＝９．６ｍＴ、$B_2$＝Ｍｇ（μｃｏｓα＋ｓｉｎα）／（Ｉｌ）＝０．５０Ｔ
３３．１９　Ｂ＝ｍｇｔａｎα／（Ｉｌ）
３３．２０　Ａ＝ＩＢｌｘｓｉｎα＝０．３０Ｊ
３３．２１　半径Ｒ＝$m_e$ｖ／（ｅＢ）の円
３３．２２　ｖ＝ＲｅＢ／$m_p$＝９６ｋｍ／ｓ
３３．２３　（ａ）$R_\alpha R_p$＝２，$\omega_\alpha$／$\omega_p$＝１／２
３３．２４　$p_M$＝$m_e$$v^2$（２Ｂ）
３３．２５　φ＝ａｓｉｎ（ｄＢｒｏｏｔ（ｅ／（$m_\alpha$Ｕ））＝３０°
３３．２６　Ｒ＝$m_p$ｖ・ｓｉｎα／（ｅＢ）、ｈ＝２π$m_p$ｖ・ｃｏｓα／（ｅＢ）
３３．２８　可変ピッチで螺旋に沿って動く

３３．２９　ｎ＝ｖＢｃｏｓα／（２πＥ）
３３．３０　ｖ＝Ｅ／Ｂ＝０．５０×１０６ｍ／ｓ

３４．１　（ａ）Φ＝２．０ｍWｂ，（ｂ）Φ＝０、（ｃ）Φ＝１．４ｍWｂ、（ｄ）Φ＝１．０ｍWｂ
３４．２　（ａ）Φ＝Φ、（ｂ）Φ＝２Φ、（ｃ）Φ＝Φ、（ｄ）Φ＝２Φ
３４．５　（ａ）引き延ばされる、（ｂ）縮められる
３４．６　Φ＝ＢＳ
３４．７　否
３４．８　（ａ）導体中に電流が発生する、（ｂ）誘電体が分極する
３４．９　（ａ）導体中で荷電の分離が起こる、（ｂ）誘電体が分極する

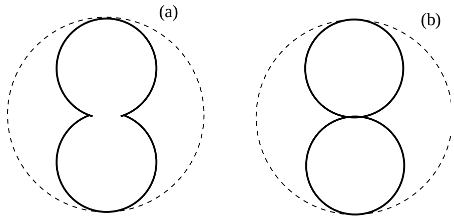

図２８３

３４．１０　Ｅ＝ｎΔΦ／Δｔ＝３０Ｖ
３４．１１　Ｅ＝ｎπｒ$^2$ｃｏｓαΔρ／Δｔ＝１２．５ｍＶ
３４．１２　ΔＢ／Δｔ＝１６ρＩ／（πｄ$^2$Ｄ）＝０．５４Ｔ／ｓ
３４．１４　ｑ＝ｎＳＢ／Ｒ＝８０μＣ
３４．１５　Ｐ＝（ｎπＤ$^3$Ｓ／１６ρ）（ΔＢ／Δｔ）＝２９μW
３４．１６　ΔＢ／Δｔ＝ｑ／（ＣＳ）＝１０ｍＴ／ｓ
３４．１７　Ｉ＝（ｌ$^2$／（８ｒ＋１５／（２Ｒ））（ΔＢ／Δｔ）＝３４μＡ
３４．１８　Ｅ＝Ｂｌｖｓｉｎα＝１．０ｍＶ
３４．１９　Δφ＝Ｂ’ｌｖ＝０．３０Ｖ
３４．２０　Δφ＝πＢ’ｌ$^2$ｖ＝１．５７ｍＶ
３４．２１　α$_2$＝ａｃｏｓ（１－（ｑ$_2$（１－ｃｏｓα$_1$））／ｑ$_1$）＝６０°
３４．２２　（１）ｑ＝（ＢＳｎ／Ｒ）（ｃｏｓα$_1$－ｃｏｓα$_2$）＝０．６７ｍＣ，（２）２＝１．８ｍＣ，（３）ｑ＝２．５ｍＣ，（４）ｑ＝１０ｍＣ
３４．２３　ｑ＝ｌ$^2$ＢＥ／（４Ｒ）＝１２５ｍＣ
３４．２４　２つの場合があり得る（図２８３の（ａ），（ｂ）。（１）ｑ$_1$＝πｒ$^2$Ｂ／（２Ｒ）＝０．５６ｍＣ，ｑ$_2$＝πｒ$^2$Ｂ／Ｒ＝１．３ｍＣ　（２）ｑ$_1$＝πｒ$^2$Ｂ／（２Ｒ）＝０．５６ｍＣ，ｑ$_2$＝０
３４．２５　Ｆ＝Ｆ’＝Ｂ$^2$ｌ$^2$ｖ／Ｒ
３４．２６　Ｆ＝（Ｂ$^2$ｌ$^2$＋μｍｇＲ）／（Ｒ（ｃｏｓα＋μｓｉｎα））、α－力Ｆと水平のなす角度
３４．２７　Ｉ＝Ｂｌｖ（Ｒ$_1$＋Ｒ$_2$）／（ＲＲ$_1$＋ＲＲ$_2$＋Ｒ$_1$Ｒ$_2$）
３４．２８　ｖ＝ｍｇＲ／（Ｂ$^2$ｌ$^2$）＝８．７ｍ／ｓ、横木を流れる電流は右から左
３４．２９　ｖ＝ｍｇＲ／（Ｂ$^2$ｌ$^2$ｓｉｎα）＝１７．４ｍ／ｓ
３４．３０　ｖ＝Ｄρｇｓｉｎα／Ｂ$^2$＝４６ｃｍ／ｓ、Ｄ－銅の密度、ρ－銅の抵抗率
３４．３１　（ａ）Ｉ＝Ｅ／Ｒ＝０．５０Ａ、（ｂ）Ｉ＝（Ｅ＋Ｂｖｌ）／Ｒ＝０．７０Ａ、（ｃ）Ｉ＝（Ｅ－Ｂｖｌ）／Ｒ＝０．３０Ａ、ｖ＝Ｅ／（Ｂｌ）＝１０ｍ／ｓ　左へ
３４．３２　ｖ＝５．０ｍ／ｓ　左へ
３４．３３　ω＝２Ｅ／（ＢＲ$^2$）＝４００ラジアン／ｓ
３４．３４　（１）Ｉ＝Ｕ／Ｒ＝５．０Ａ　（２）ｖ＝Ｕ／（ＢＲ）－μｍｇＲ／（Ｂ２ｌ２）＝２．０ｍ／ｓ　（３）Ｐ＝μｍｇＵ／（Ｂｌ）＝４９W　（４）Ｐ＝（μｍｇ／（Ｂｌ）$^2$）Ｒ＝４８W　（５）Ｐ＝（μｍｇ／Ｂｌ）（Ｕ－μｍｇＲ／（Ｂｌ））＝１．０W
３４．３５　仕事をしているとき
３４．３７　Ｌ＝５．０ｍＨ
３４．３８　Ｂ＝ＬＩ／（ｎＳ）＝２．０ｍＴ
３４．３９　Ｌ＝Φ／Ｉ＝０．１０ｎＨ

３４．４０　$W=LI^2/2=10J$，４倍増
３４．４１　$W=\Phi I/2=1.25J$
３４．４２　$Q=LE^2/(2r^2)=0.60J$

３５．１　$\Phi=BS\cos(2\pi\nu t+\Phi_0)$、$E=BS2\pi\nu\sin(2\pi\nu t+\Phi_0)$
３５．２　$E_{max}=BS2\pi\nu$、（１）$E_{max}$はN倍、（２）$E_{max}$はｎ倍、周期は１／ｎ倍
３５．３　$I=0.25\sin(100\pi t+\Phi_0)$、$I_{max}=0.25A$、$\nu=50Hz$
３５．５　$\nu=500$／分
３５．６　$U_1=0.20kV$，$U_2=0$，$U_3=-0.20kV$
３５．７　$U=U_0\sin\omega t$、$I=U_0\sin\omega t/R$、$P=U_0^2\sin^2\omega t/R$
３５．８　$U=310V$
３５．９　$U=707kV$
３５．１０　$U=180\sin 100\pi t$、$I=5.6\sin 100\pi t$、$P_{max}=2P=1.0kW$
３５．１１　$t/T=1-(2/\pi)\,\mathrm{asin}(1/\mathrm{root}(2))=0.50$
３５．１４　$I_2$は増加、$U_2$は減少、$I_1$は増加、$U_1$は変化なし
３５．１５　$I_1$は増加、$I_2$は減少
３５．１７　$k=0.20$，$n_2=3500$，１次側
３５．１８　$n_1=250$，$n_2=14000$
３５．１９　$\eta=kU_2\cdot 100\%/U_1=96\%$
３５．２０　$n_2=n_1(U^2+PR)/(U_1U)=72$
３５．２１　$U=p\cdot\mathrm{root}(R/(P(1-n))=60kV$
３５．２２　（１）$n_1=1-PR/U^2=0.19$，$n_2=0.99$，（２）$U_1'=U_1-PR/U_1=120V$，$U_2'=6.15kV$
３５．２３　$T_2=T_1/2=10\mu s$
３５．２４　$\nu=10MHz$、$I_{max}=E\cdot\mathrm{root}(C/L)=9.4mA$、$I=E\cdot\mathrm{root}(C/(2l))=6.6mA$
３５．２５　$P=U^2CR/(2L)=5.0\mu W$
３５．２６　$t=T/8$
３５．２７　$\nu=2\pi/n$
３５．２８　７１ｋＨｚから０．７１ＭＨｚまで、０．４２ｋｍから４．２ｋｍまで
３５．２９　$n=c/(\nu\lambda)=2000$
３５．３０　$\Delta\phi=2\pi\nu S/c=\pi/5$
３５．３１　$s_{max}=c/(2\nu)=37km$、$n=\tau c/\lambda=4000$

。１　$I=8Spg\tan\alpha/B=27A$
。２　$\phi_C-\phi_D=IB/(nea)$
。３　$R_T=m_ev_0/(eB)+eE^2t^2/(m_eBv_0)$、$R_T=(m_ev_0/(eB)(1+4\pi^2E^2/(B^2v_0^2))=2.2cm$
。４　$E=((BR^2\sin^2\alpha)/2)\,\mathrm{root}(g/(R\cos\alpha))=0.83V$
。５　$\omega=E/Bl^2$
。６　$P=5U^2/(3R)$
。７　$A_t/A_{t+T}=(1-2\pi R\,\mathrm{root}\,C/L))^{-1/2}=1.03$

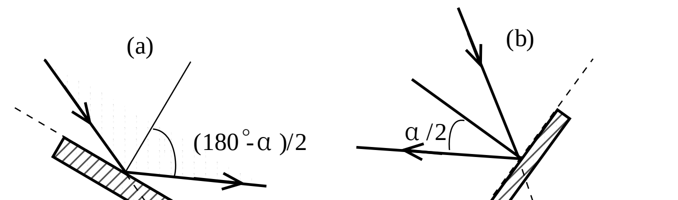


図２８４

３６．２　図２８４の（ａ），（ｂ）机の表面から２６°と６４°
３６．３　２α
３６．４　鏡から$v_1=3\,\mathrm{cm}/\mathrm{s}$
３６．５　ｖ＝２ωｌ
３６．６　$v=\mathrm{root}((2v)^2+u^2)=5\,\mathrm{cm}/\mathrm{s}$、光源の運動方向からα＝ａｔａｎ（２ｖ／ｕ）＝５３°
３６．８　ｈ＝Ｈ／２
３６．９　図２８５、そのような鏡の系は２つの像を与える。同時にそれらを見るためには観察者の目は臨界線Ｏ’ＡとＯ’’Ｂで挟まれた内部にあることが必要である
３６．１０　１２ｃｍ
３６．１１　１３２°
３６．１２　３，無限、３６０／α－１
３６．１３　透明物体からの反射は、常に不透明物体からの反射より小さい
３６．１４　不変
３６．１５　一様でない媒質
３６．１６　ｉ＝ａｔａｎ（ｎｃ／ｎｂ）＝５２°
３６．１７　α＝８７°、ｉ＝３４°
３６．１８　ｎ＝１．５
３６．１９　$x_1=0.75\mathrm{m}$、$x_2=2\mathrm{m}$
３６．２０　図２８６
３６．２１　ｄ＝３４ｃｍ
３６．２２　ｈ＝１３ｃｍ
３６．２３　ｈ＝２．７ｍ
３６．２４　ｌ＝３．７ｃｍ、ｉ＝６０°
３５．２５　ｈ＝５ｃｍ
３６．２６　ｎ＝１．５
３６．２７　δ＝ａｓｉｎ（ｎｓｉｎα）－α＝１９°
３６．２８　δ＝２ａｓｉｎ（ｎｓｉｎ（α／２））－α＝２５°

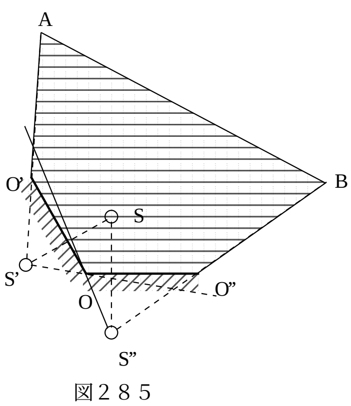

図２８５

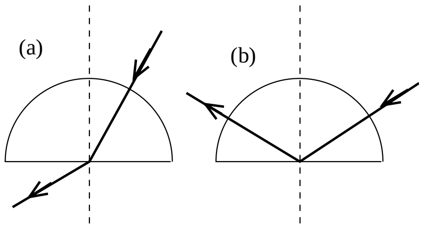

図２８６

３７．１　広い範囲を見るため
３７．５　（ａ）実像、（ｂ）虚像
３７．６　（ａ）凹面　（ｂ）凹面　（ｃ）凸面
３７．７　明るさが減少する
３７．９　$f=\mathrm{root}(x_1x_2)=18\,\mathrm{cm}$
３７．１０　鏡からａ＝Ｒ（ｋ＋１）／ｋの距離に
３７．１１　$a_2=Ra_1/(R+2a_1)=10\,\mathrm{cm}$、是認
３７．１２　$R=2a_1a_2/(a_1+a_2)=40\,\mathrm{cm}$
３７．１３　$a_2=ka_1=45\,\mathrm{cm}$、$R=2ka_1/(1+k)=36\,\mathrm{cm}$
３７．１４　$f=lk/(k^2-1)=24\,\mathrm{cm}$
３７．１５　$f=k_1k_2b/(k_2-k_1)=10\,\mathrm{cm}$
３７．１６　$T=(b^2-a^2)/a=10\,\mathrm{cm}$

３７．１７　ａ$_2$＝ａ$_1$（Ｒ－ａ$_1$）／（２ａ$_1$－Ｒ）＝６０ｃｍ
３７．１８　仮光学軸の概念の応用
３７．１９　同上
３７．２０　同上
３７．２２　同上
３７．２３　ｎ＞ｎ’の媒質中ならば可能である
３７．２４　Ｒ＝ｆ（ｎ－１）＝８ｃｍ
３７．２５　ｎ$_2$＝（ｎ$_1$－１＋ｋ）／ｋ＝１．５、ｎ$_1$ーフリントガラスの屈折率
３７．２６　Ｒ１＝（ｎ－１）（ｋ－１）／（ｋＤ）＝０．７５ｍ、Ｒ$_2$＝ｋＲ$_1$＝１１ｃｍ
３７．２７　（ｎ$_q$－１）ｎ$_q$／（ｎ$_q$－ｎ$_W$）＝３．４２倍長くなる
３７．２８　ａ＝ｆ／2、実像
３７．３０　ｆ$_1$＝ｋａ／（1＋ｋ）＝7．５ｃｍ、ｆ$_2$＝ｋａ／（ｋ－１）＝１５ｃｍ
３７．３１　Ｄ＝（１＋ｋ）$^2$／（ｌｋ）＝１．２５ジオプトリ、物体からａ＝ｌ／（１＋ｋ）＝１ｍの距離、Ｄ$_1$＝－２．２５ジオプトリ
３７．３５　ｆ＝Ｒ／（２ｎ）＝２０ｃｍ
３７．３６　ａ$_2$＝ａ$_1$ｆ／（２ａ$_1$－ｆ）＝－３０ｃｍ、虚像
３７．３７　８倍の虚像、１番目のレンズでつくられる像は２番目のレンズの光源となる。
３８．３８　２番目のレンズから１２ｃｍ、０．９ｃｍ、３７．３７参照
３７．３９　１００ｃｍ、レンズで得られる像は鏡の光源となる。鏡は光線を反射し、高専を再びレンズ中に送る。
３７．４０　Ｒ＝２ｎａ$_1$ａ$_2$／（ａ$_1$－ａ$_2$）＝７２ｃｍ

３８．１　ｈ’＝ｈ（ａ－ｆ）／ｆ＝３６ｍ
３８．２　可能
３８．３　τ＝ａδｘＤ／ｖ＝１０ｃｍ
３８．４　ａ’＝ａ／（１＋ａＤ）＝１９ｃｍ
３８．５　ａ＝（ｈ$_1$＋ｎｈ$_2$）／（Ｄｈ$_1$＋Ｄｎｈ$_2$－ｎ）＝１１ｃｍ
３８．６　ａ＝（ｋ＋１）ｆ／ｋ＝１８ｃｍ、ｋープロジェクタの倍率
３８．７　ｋ＝（ａ－ｆ）／ｆ＝２９
３８．８　ｆ＝ａｈ／（ｈ’＋ｈ）＝２０ｃｍ
３８．９　大きくなる
３８．１０　水の屈折率と角膜（水晶体）の屈折率は近いので、光線は余り屈折しない。
３８．１１　ｙ＝αｌ＝１．５mm
３８．１２　近視Ｄ＝－４ジオプトリの拡散レンズが必要。正常な目を持つ人の正視の距離は２５ｃｍ。視力が正常でない人はレンズを使い、この２５ｃｍの正視の距離を得るように矯正する
３８．１３　８０ｃｍ
３８．１４　１２．５ｃｍ
３８．１５　２分の１となる
３８．１６　Ｄ＝ｋ／ａ$_0$＝８ジオプトリ、ａ$_0$ー正視の距離、ｋールーペの倍率
３８．１７　遠視
３８．１８　ｘ＝ｆ$^2$／（ａ－ｆ）＝０．５９ｃｍ
３８．１９　ｆ＝６０ｃｍ、ｆ’＝－６ｃｍ、０．６ｃｍ離す
３８．２０　ｌ＝１．１ｍ、ｄ＝３．５ｃｍ
３８．２１　ｋ＝ｆ／ａ$_0$＝１０
３８．２２　可能、接眼レンズが実像をつくるようにするため、接眼レンズを引く出す必要がある。
３８．２３　ｋ＝１１６，ｌ～２７ｃｍ
３８．２４　４．１mm
３８．２５　ｋ＝８０

３９．２　Φ＝２πＩ＝１６０ルーメン
３９．３　Ｅ$_1$＝Ｉ／ｈ$^2$＝１６０ルックス、Ｅ$_2$＝Ｉｈ／（ｈ$^2$＋Ｒ$^2$）$^{3/2}$＝８０ルックス
３９．４　Δｈ＝ｈ－ｒｏｏｔ（Ｉ／Ｅ）＝０．２ｍ
３９．５　ｌ＝ｒｏｏｔ（(Ｉｈ／Ｅ)$^{2/3}$－ｈ$^2$）＝８ｍ
３９．６　ｈ＝Ｒ／ｒｏｏｔ（２）＝０．７Ｒ，Ｒー机の半径
３９．７　Φ＝７５０ルーメン、Ｒ＝６０００ルックス

３９．８　Ｅ＝４００ルックス
３９．９　α＝１－Ｒ／Ｅ＝０．９５
３９．１０　１番目のランプからｌ＝０．５３ｍの距離に
３９．１１　Ｅ＝Ｉ・((ｌ$^2$＋ｈ$^2$)$^{3/2}$＋ｈ$^3$)／((ｌ$^2$＋ｈ$^2$)$^{3/2}$・ｈ$^2$)＝２７ルックス
３９．１２　τ$_2$＝τ$_1$（ｒ－ｌ）$^2$／ｒ２＝４ｓだけ短くする
３９．１３　光度が小さくなる
３９．１４　Ｂ$_1$／Ｂ$_2$＝ｄ$_1$２／ｄ$_2^2$＝６２５
３９．１５　Ｅ＝１００ルックス、Ｒ＝８０ルックス
３９．１６　Ｅ＝Φ（ａ－ｆ）$^2$／（Ｓｆ$^2$）＝９ルックス、Ｓ－スライドフィルムの面積、Ｒ＝Ｅρ＝６．８ルックス
３９．１７　対物レンズを引き出す。露出時間を長くする
３９．１８　１．１倍大きくなる。平面鏡は、光源Ｓを反射するので、もう１つの光源Ｓ’を発生させる。
３９．１９　Ｅ＝Ｅ$_0$・((Ｒ／２)$^2$＋（ｌ－Ｒ／２）$^2$)／（Ｒ／２）$^2$＝４００ルックス
３９．２０　Ｉ＝Ｉ$_0$＝ｆ$^2$／（ｆ－ａ$_1$）$^2$＝２５０カンデラ
３９．２１　Ｅ＝Ｉｆ$^2$／（ａ$_1$ｆ＋ｌｆ－ａ$_1$ｌ）$^2$＝６２０ルックス

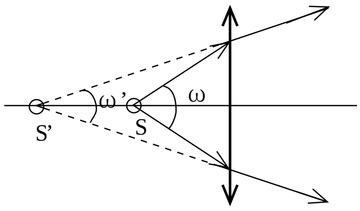


図２８５

。１　ｌ＝ａ$_0$／２－ｄ／ｎ＝１１．５ｃｍ、ａ$_0$－明視の距離
。２　Δφ＝６０°
。３　γ＝２ａｓｉｎ（ｓｉｎ（Φ／２）／ｎ）＝７６°、ｎ－水の屈折率
１。５　α＝（１／２)・ａｓｉｎ（ａＦ／（ｂ（ａ＋ｄ－ｆ)))＝１５°
１．６　ｌ＝Ｆ（１／γ$_T$＋γ$_T$）$^2$（１＋γ$_M$Ｆ／ａ$_0$）＝２６ｃｍ、

４０．１　λ＝０．３８μｍ、緑
４０．５　δ＝０．５５°
４０．６　δ＝７．４°
４０．７　Δｆ＝ＲΔｎ／（２（ｎ$_1$－１)（ｎ$_2$－１))＝１．６ｃｍ
４０．８　模様は２倍広くなる
４０．９　Δφ＝π／２
４０．１０　Δｙ＝３．６ｍｍ
４０．１２　ｄｍｉｎ＝λ／（４ｎ）＝０．１μｍ、ｎ－水の屈折率
４０．１４　ｄ＝λ／（２ｎｓ）＝５・１０$^{-5}$ラジアン
４０．１５　模様は広くなる
４０．１６　ｄ＝２μｍ
４０．１７　ｋ＝２

４１．１　Ｅ$_1$＝２．６×１０$^{-19}$Ｊ，Ｅ$_2$＝５．２×１０$^{-19}$Ｊ，ｍ$_1$＝２．９・１０$^{-36}$ｋｇ、ｍ$_2$＝５．８・１０$^{-36}$ｋｇ
４１．２　ｍ＝２．２・１０$^{-33}$ｋｇ、ｐ＝６．６・１０$^{-25}$ｋｇ・ｍ／ｓ
４１．３　ｐ＝１．６・１０$^{-27}$ｋｇ・ｍ／ｓ
４１．４　λ＝２．４２ｐｍ
４１．５　λ＝１．３２・１０$^{-15}$ｍ
４１．６　λ＝ｈ／ｒｏｏｔ（２ｍ$_e$ｅＵ）＝０．５５ｎｍ
４１．７　ｎ＝Ｗλ／（ｈｃＳ$_1$）＝２．５・１０$^{-20}$／（ｃｍ$^2$・ｓ）
４１．８　ΔＭ＝６．０・１０$^9$ｋｇ
４１．９　否

４１．１０　Ｕ＝２０．５ｋＶ
４１．１１　λ＝０．５７７μｍ、λ’＝０．２３５μｍ
４１．１２　否
４１．１３　ｖ＝２．２・１０$^{5}$ｍ／ｓ
４１．１４　ν＝４．８７・１０$^{15}$Ｈｚ
４１．１５　λ＝３４０ｎｍ
４１．１６　$Ｕ_{3}$＝５．０５Ｖ
４１．１７　１番、ｔａｎα＝ｈ／ｅ
４１．１８　Ｎ＝４．３・１０$^{7}$

４２．１　ｑ＝３．８・１０$^{-18}$Ｃ
４２．２　アルミ
４２．３　Ｒ＝０．５３・１０$^{-8}$ｃｍ、ｖ＝２．２・１０$^{8}$ｃｍ／ｓ
４２．４　Ｅ＝０．５１３ＴＶ／ｍ，φ＝２７．２Ｖ
４２．５　Ｆ＝８２ｎＮ、Ｆ／$Ｆ_{T}$＝２．３・１０$^{39}$
４２．６　$Ｅ_{P}$＝－２７．２ｅＶ、$Ｅ_{K}$＝－１３．６ｅＶ、Ｅ＝－１３．６ｅＶ
４２．７　φ＝１３．６Ｖ
４２．８　$φ_{1}$＝１０．２Ｖ
４２．９　ｖ＝８・１０$^{5}$ｍ／ｓ
４２．１０　全スペクトル
４２．１１　１２２ｎｍ、１０３ｎｍ、０．６６μｍ
４２．１２　λ＝９０ｎｍ
４２．１３　Ｅ＝３．０４・１０$^{-19}$Ｊ
４２．１４　$λ_{1}$＝８１０ｎｍ、$λ_{2}$＝１．９μｍ

４３．４　２９．４ＭｅＶ
４３．５　２２５ＭｅＶ
４３．６　３９．２ＭｅＶ
４３．７　１．１ＭｅＶ、８ＭｅＶ、７．２５ＭｅＶ
４３．８　４．４７ＭｅＶ
４３．９　２０．６ＭｅＶ
４３．１０　７．２８ＭｅＶ
４３．１４　（１）放出　（２）放出　（３）吸収　（４）放出
４３．１５　１７．３５ＭｅＶ
４３．１６　１７．６ＭｅＶ