物理問題集

目次

第１章　力学

２００６年後期版

１節　運動学。相対運動

１．１　水平に吹いている風の風速がu_1＝１０ｍ／ｓのもとで、雨粒が垂直に対して３０°の角度で落下する。これより、雨粒が４５℃の角度で落下している時の風速を求めよ。

１．２　音速が各々c_1，c_2である半径Ｒの２つの半円を溶接してできているリングがある。溶接した１点に打撃を与えると、音波はどれだけの時間後、出会うか。

１．３　流速がｕ＝０．５ｍ／ｓの川がある。岸辺のあるＯ地点から、岸に垂直に１０ｍ遠方に、石を水の中に投げ込む。石を投げた後、波がＯ地点に届くまでどれだけの時間がかかるか。水の表面波の速さをｃ＝１ｍ／ｓとする。

１．４　飛行機が、Ｍ市からＮ市へまっすぐ飛び、そして引き返す。Ｍ市からＮ市に向かって速さｕの風が吹いている時と、同じ風速の風がＭＮの直線に垂直に吹いている時の２つの場合について、飛行に要する全時間を求めよ。なを、静止している空気に対する飛行機の速さは、両方の場合で同じでｖである。

１．５　垂直に潜る潜水艦が、ソナー音波を海底に向けて、時間幅τ_0の短い時間だけ発射する。その後、乗組員のソナー要員が測定した反射信号音波の時間長はτであった。潜水艦の垂直潜行速度ｖを求めよ。水中の音速をｃとし、海底は水平とする。

１．６　静止している半径Ｒの円筒形爆弾の爆発において、放射状に飛んでいく破片は、時間ｔで、円筒の中心軸から距離l_1まで飛ぶ。爆発の時、この爆弾が中心軸の周りに角速度ωで回転していたならば、飛び去る破片の時刻ｔでの距離l_2はどうなるか。重力の影響は無視する。

１．７　音速ｃより速い速度ｖで、観測者の上空一定の高度ｈで、飛行機が飛び去る。観測者に対する飛行機の本当の（目で見た）方向の垂直となす角度がφである瞬間、音で決められる飛行機の方向の垂直に対する角度を求めよ。

１．８　長さｌの列車の１号車の乗客が、プラットフォームを散歩し、最後尾の客車の所に達したとき、列車は加速度ａで動き始めた。乗客は直ぐに速さｖで駆けだした。彼はどれだけの時間で１号車に達するか。プラットフォームは長い。

１．９列車に遅刻した乗客が、プラットフォームに駆け込んだとき、最後から２番目の客車が時間t_1かかって、彼の目の前を通り過ぎた。続いて、最後尾の客車は時間t_2かかって通り過ぎた。列車の発車時刻に、彼はどれだけ遅れたのか。列車は等加速度で動き、客車長は皆同じとする。

１．１０　重力場の中で、１点から同時に、２つの粒子が、水平方向に正反対に、速さv_1＝２０ｍ／ｓ、v_2＝５ｍ／ｓで飛び去る（図１．１０）。これらの粒子の速度の方向のなす角が９０°に等しくなるのは、どれだけの時間後か。自由落下加速度ｇ＝１０ｍ／ｓ^2。

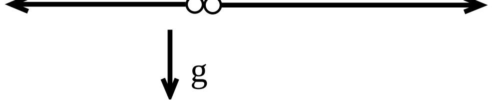

図１．１０

１．１１　真向かいあって動いてきた２つの物体が、水平な面上で衝突し、ｔ＝１ｓ後に、互いの距離ｌ＝１ｍとして、同時に止まった。水平面と各物体との間の（滑り）摩擦係数ｋを求めよ。自由落下加速度ｇ＝１０ｍ／ｓ^{2}。

１．１２　Ａ点から垂直方向に、石を速さｖ＝１０／ｍで投げる。同じ水平面にあるＢ点から、水平と角度α＝４５°で、同じ速さで２つ目の石を投げる。この石が最初の石と衝突するためには、最初の石を投げた後、どれだけの時間後に、２番目の石を投げるべきか。Ａ点とＢ点の間隔はｌ＝４ｍ。自由落下の加速度ｇ＝１０ｍ／ｓ^{2}。

１．１３　カモが一定の速さｕで、水平に飛んでいた（図１．１３）。このカモをめがけて、直接、猟師が石を投げた。投げたときの石の速さはｖ、方向は水平に対して角度αであった。万が一、石がカモに当たったとすれば、カモはどれだけの高さを飛んでいたことになるか。空気抵抗、カモの大きさ、猟師の身長は無視する。

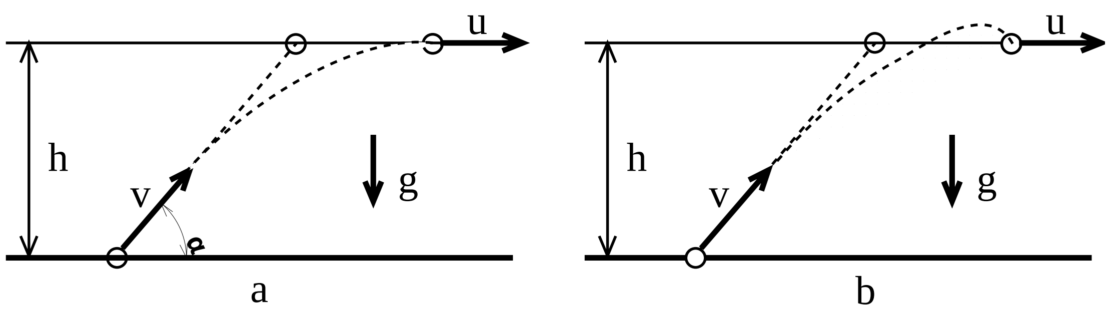

図１．１３

１．１４　水平と角度α＝６０°、速さｖ＝１０ｍ／ｓ、で投げられた球が、天井に衝突する（図１．１４）。球は水平方向にどれだけの距離飛行するか。天井の高さｈ＝３ｍ。衝突は弾性的である。空気の抵抗は無視する。

１．１５　垂直な対称軸を持ち、開きの角度２α＝９０°の円錐状の穴の中に、同じ同じ水平線上に対面したＡ，Ｂ点がある（図１．１５）。Ａ点から面に垂直に飛び出した球が、Ｂ点にτ＝１ｓ後に衝突する。球の最大速度と最小速度を求めよ。

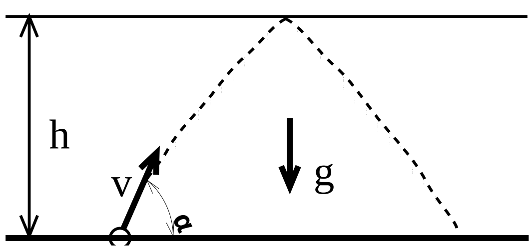

図１．１４

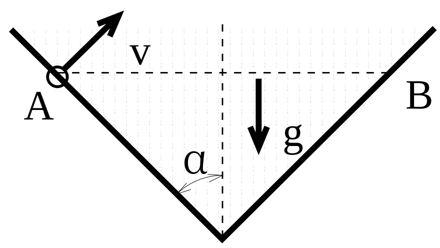

図１．１５

１．１６　地表で質量Ｍの小さい球が爆発する。その破片は全ての方向に同じ速さｖで飛び去る。半径Ｒの園外（円の中心は爆発地点）の地面に落下する破片の質量はいくらか。

１．１７　バスケットのボールを、バスケットのリングに投げる。リングにあたらないで、リングを通り抜けるためには、ボールを投げる水平に対する最小角度αはいくらか。ボー

ルの半径はｒ、リングの半径はＲ＝２ｒ，床からのリングの高さはＨ＝３ｍ．選手は高さｈ＝２ｍからボールを投げ、リングから水平距離ｌ＝５ｍの距離にいる。

１．１８　開き角度９０°の無限長の円錐が、速度の方向を、円錐の軸に一致させ、一定の速さｕで、静止している球の中心に向かって、右から左へ進む。衝突により、球は無数の破片に破裂し、その破片は同じ速さｖで全ての方向に一様に飛び去る。円錐上には、破片のどれだけの量が落ちるか。但し、ｖ＝ｕである。重力の影響は無視する。

１．１９　同種の核からできている平行ビームが速さｖで動いている。ビーム中の核が、自然に同じ質量の２つの部分に分裂する。ビームの方向に動く破片の最大速度は、静止系から見てｕである。ビームに垂直な方向に動く破片の速度を求めよ。

１．２０　半径Ｒの球形の弾丸が、速さｖで動いて、ハエの群れに飛び込む。ハエの群れは速さｕで、弾丸の飛行方向と垂直に動いている。群れの幅はｄ、その単位体積には平均でｎ個のハエがいる。弾丸はどれだけのハエを撃ち落とすことができるか。重力の影響は無視する。

１．２１　球が２枚の大きな垂直に立っている板の間を、それらと衝突しながら動く。１枚の板は固定されており、もう１枚の方は、速さｕ＝５０ｃｍ／ｓで、先の板から遠ざかっている。球の運動は全時間において、水平面内に有り、板とは垂直に衝突し、その衝突は完全弾性衝突とする。可動板とｎ回衝突した直後の球の速さｖを求めよ。それをもとに、初速度ｖ０が、ａ）１９６７ｃｍ／ｓ、ｂ）１９１７ｃｍ／ｓの場合の各々の球の最終速度を求めよ。

１．２２　クリスマスツリーのガラス飾り（薄い殻でできている）は、最低高度ｈから石の床に落ちると壊れる（図１．２２ａ）。１個の球を静止しておき、２個目の球をそれに速さｖで衝突させる（図１．２２ｂ）とき、これら２つの球が壊れるためには、ｖの最低値はいくらか。

１．２３　重い水平な板が、一定の速度v_0で下方に動く。高さｈから、初速度０で、球を落下させる。そして板の上で跳ね返させる。板から見た球の速度ｖの、時間ｔに対する依存関係を見出し、この関係を図化せよ。重力加速度はｇ、板への球の衝突は弾性的とする。

１．２４　水平と角度α＝４５°の傾斜角度を持つ滑らかな斜面の上に、平らな底を持った円筒形缶（高さｈ＝０．１ｍ）がおいてある（図１．２４）。缶が動き始める瞬間に、缶の上の端から、缶の内部に小球を落とす。小球の、缶の底とのｎ番目（ｎ＝５）の衝突までに、缶は斜面上をどれだけ動くか。小球と缶低との衝突は弾性的とする。

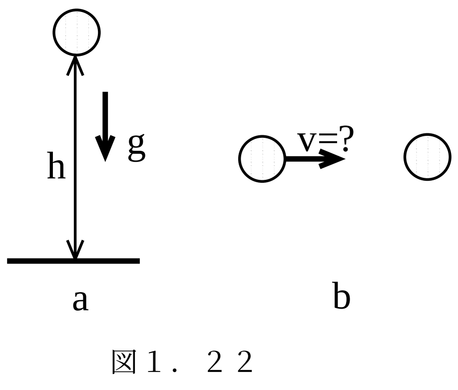

図１．２２

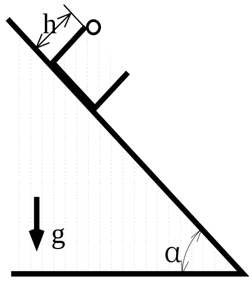

図１．２４

第２節　動力学

１．２５　水平面上で静止している質量ｍの物体に、水平力Ｆを、時間ｔの間作用させて、放つ。物体はどれだけの距離Ｌを進むか。水平面と物体の間の摩擦係数はｋとする。

１．２６　水平に対する道路の傾斜角度はα。自動車の車輪と道路の間の摩擦係数はｋ。自動車はこの上り坂を、上方に、最大どれだけの加速度$ａ_{max}$で動けるか。自由落下の加速度はｇ。これは以下同じ。

１．２７　ベルトコンベアの水平に対する傾斜角度はα＝５°。荷物とベルトの間の摩擦係数はｋ＝０．２。荷上げる荷物がベルトを滑らないで居られるベルトの最大加速度$ａ_{max}$は幾らか。

１．２８　薄い器壁でできている円筒が、加速度ａで水平面上を転がっている。円筒の中心をＯとする。円筒の半径Ｒより小さい角材Ａが、半径ＯＡと垂直とのなす角度αを一定にしながら、円筒の内壁を滑っている。円筒の内壁と角材との間の摩擦係数をｋとして、この角度αを求めよ。

１．２９　質量Ｍのくさびが傾斜角度αの斜面を、摩擦無しで滑り落ちる。くさびの上面は水平となっている。くさびの上面には質量ｍの物体がくさびに静止した状態で乗っている。物体に作用している摩擦力ｆを求めよ。

１．３０　水平と角度αをなしている斜面上に、質量ｍの円盤が乗っている（図１．３０）。斜面の母線に垂直な方向に円盤が動き出すためには、面に沿って水平方向に、最低どれだけの力$ｆ_{min}$を円盤に加えなければならないか。斜面と円盤の間の摩擦係数はｋ。

１．３１　傾斜角度がαである斜面から、質量の無視できる軽い糸で連結されている、質量$ｍ_1$，$ｍ_2$の物体が滑り落ちる（図１．３１）。物体と面との摩擦係数は各々$ｋ_1$，$ｋ_2$で、かつ$ｋ_1$＜$ｋ_2$である。糸の張力Ｆを求めよ。

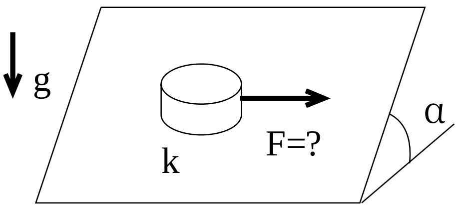

図１．３０

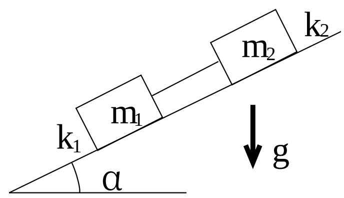

図１．３１

１．３２　同じ質量ｍのｎ個の物体を、バネで連結している鎖がある。この鎖を水平面上で力Ｆで引く。各物体と面の間の摩擦係数をｋとする。ｉ番目のバネの張力$Ｔ_i$を求めよ。但し、力Ｆが作用する方から番号付けをする。

１．３３　平面上にある質量ｍの物体に力Ｆが作用してる。Ｆの方向は水平と角度αをなした下方向である。力は質量中心に作用しており、摩擦係数はｋ。物体が動き出す条件と、その時の加速度ａを求めよ。

１．３４　前問を、力Ｆが水平と角度αをなす上方向を向いている場合として、物体が動き出す条件と物体の加速度$ａ_u$を求めよ。

１．３５　図１．３５で示している物体系は、加速度ａで上方に動くエレベータ内に置かれている。質量m_1の荷物と台との間の摩擦係数をｋとして、２つの物体を結びつけている糸の張力Ｔを求めよ。

１．３６　開口角度が２αである溝に沿って滑る円筒の加速度ａを求めよ。ただし、円筒が回転しないものとする。溝は２面角の構造をしており、その稜（２面でできている直線部分）は水平に対して角度β傾いている。両面は水平と同じ角度を形成している。円筒と溝との間の摩擦係数はｋ。

１．３７　質量m_1の物体が机の上にある。机は水平方向に加速度ａで動く（図１．３７）。滑車に掛け渡した糸を物体に接続する。糸の他端に、質量m_2の物体をぶら下げる。質量m_1の物体と机との間の摩擦係数はｋ。糸の張力Ｔを求めよ。

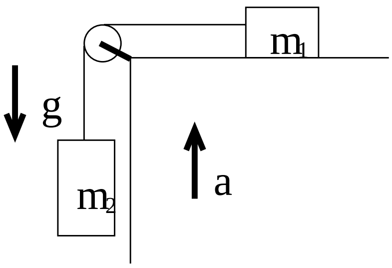

図１．３５

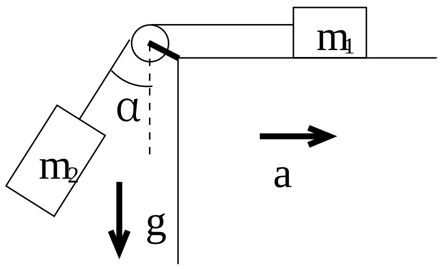

図１．３７

１．３８　水平線上にある点Ａ、Ｂ、Ｃに取り付けた３つの同じバネに、点Ｄで錘を吊す。この時、間隔ＡＢとＢＣは等しく、バネの自然長としている（図１．３８）。釣り合いの状態で、角度ＡＤＢ＝角度ＢＤＣ＝３０°。突然にバネＡＤが破断する。破断直後の錘の加速度ａの大きさと方向を求めよ。バネの重さは無視する。

１．３９　固定滑車に伸びない糸を渡し、糸の一端に質量m_0の錘をつけ、他端には、最初は、質量m_1の錘を取り付けたバネを取り付ける（図１．３９ａ）。２回目には異なったバネ定数を持つバネに質量m_2の錘を取り付ける（図１．３９ｂ）。３回目には、最終として、質量m_1を取り付けた１回目のバネに、質量m_2を取り付けた２回目のバネを取り付ける（図１．３９ｃ）。１回目ではバネの伸びはx_1，２回目ではバネの伸びはx_2，３回目ではバネの伸びの合計量x_3は幾らとなるか。錘の動きが安定しているとき、即ち振動していないときについて考察せよ。滑車、糸、バネの質量は無視する。

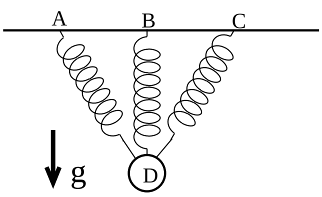

図１．３８

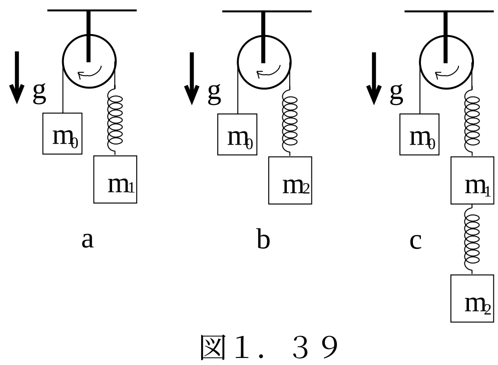

図１．３９

１．４０　一様な重いロープが、一端で吊されている。この状態では、ロープの長さがl_0を超えなければ切れない。水平に置いたパイプの中から、直角に下に折れ曲がり、重力の作用で、このロープが滑り落ちるとする。ロープが破断しないで滑り落ちる最大のロープの長さl_{max}はどれほどか。摩擦はない。パイプの曲率半径は無視する。

１．４１　３面プリズムがある。左の角度αは４５°以下であり、上の角度は９０°である（図１．４１）。図の状態のプリズムに、上方の同じ高さから、同型の玉の群れが一様、全面にプリズムに落下する。プリズムはどちら側に動くか。プリズムにあたった玉は１回だけ衝突するものとする。その衝突は完全弾性衝突とする。

１．４２　１）垂直に置かれた円筒形容器の上部は、質量Ｍ，面積Ｓのピストンで閉じられている。ピストンの上で、質量ｍの小球が多数飛び跳ねる（ｍ＜＜Ｍ)。１秒間当たりに、ピストンに衝突する平均の数をｎ、飛び跳ねる高さはｈ、大気圧はp_0とする。ピストンの下にある円筒容器中の気体の圧力ｐを求めよ。
２）１秒間当たりに衝突する小球の平均数ｎではなく、全小球数Ｎが与えられているという条件の下で、この問題を解け。

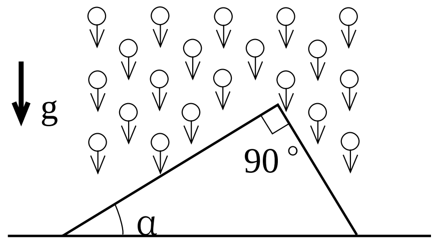

図１．４１

第３節　回転運動。　振動
１．４３　火星は太陽の周りの１回転の公転を、６８７日で行う。前回の大衝の時を時刻の原点とすると、火星の大衝は何年ごとに繰り返されるか。
（注釈）大衝とは、太陽、火星、地球が、片側に一直線上に、太陽－地球－火星と配置することを言う。

１．４４　中心軸を水平にして、中心軸の周りに円筒を回転させる。円筒内部に質量ｍの物体がある。この物体が円筒の壁からずり落ちない状態とするための、円筒の回転角速度ωの最小値は幾らか。物体と面との間の摩擦係数はｋ＝１。円筒の内半径はｒ。

１．４５　２つの振り子からなる系がある。１番目の振り子の錘が、２番目の振り子の釣り下げ点となっている（２重振り子)。両方の糸は１つの平面内にあり、垂直と一定の角度αとβをなすように、垂直軸の周りに回転する。振り子のおもりの質量は同じでｍ。糸の長さも同じでＬ。２重振り子の回転角速度ωを求めよ。

１．４６　道路に、水平とのなす角度α、回転半径ｒのカーブがある。この箇所を走行する自転車が転倒しないためには、どれだけの速さｖで、走行しなければならないか。カーブの面と車輪との間の摩擦はないものとする。

１．４７　ハンマー投げでは、砲丸とロープでできているハンマーを、自分の周りに充分な速さまで回転させて、投てきする。もし、投てきの瞬間に、選手の出し得る力が、ハンマーに作用している重力より、ｎ倍大きいとした場合、ハンマーを飛ばすことのできる最大距離Ｓを求めよ。回転中心からロープにそっての砲丸までの距離はＬ。空気抵抗、砲丸の最初の位置の高さは無視する。

１．４８　質量ｍの錘が、バネ定数κの２つの同じバネで、枠に取り付けられ、摩擦なく、枠に取り付けられている水平な軸ＡＢに沿って動くことができる（図１．４８）。枠を角速度ωで、枠の中心から距離ｌのところに枠の面内にある垂直軸ＯＯ’の周りに回転する。ｘがどの様な値の時、錘は回転する枠に相対的に不動であるか。

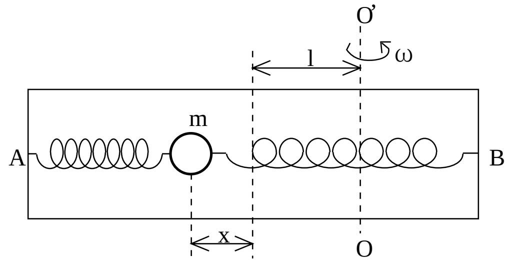

図１．４８

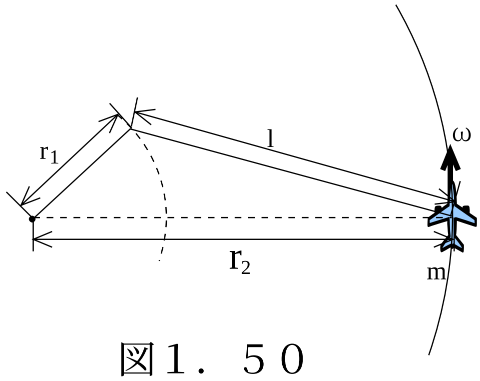

図１．５０

１．４９　質量m_1，m_2の２つの物体が、ある１点で固定された糸で結びつけられ、水平で滑らかな机の上にある。各物体から固定点までの距離はl_1，l_2。固定点を通る垂直軸の周りに水平に、この系が角速度ωで回転する。　各々の糸に作用する張力を求めよ。

１．５０　子供が模型飛行機を、長さｌのロープで回転させせる。ロープを持っている手は、半径r_1の円を描く（図１．５０）。飛行機は半径r_2の円周上を動く。ここで、$r_1 + l > r_2$。飛行機の中心軸はこの円の接線に沿っている。ロープの張力Ｔを求めよ。飛行機の質量はm、角速度はω、手と飛行機の運動の軌跡は水平面内にある。揚力は上方を向いている。

１．５１　重さがなく伸びない長さがｌの糸で結びつけられた質量m_1，m_2の２つの物体が水平で滑らかな机の上で動く。ある瞬間に、質量m_1の物体の速さがゼロであり、質量m_2の物体の速さはｖで、糸に垂直方向を向いていた。糸の張力Ｔを求めよ。

１．５２　バネ定数κの重さのないバネで、質量Mの２つの球が固定されている（図１．５２ａ）。それらに重さのない糸を通じて、質量ｍ（＜M）の２つの球が取り付けられ、１辺ｌの正方形を形成し、水平で滑らかな机の上に静止している。その後、これらの連結体を、これらの質量中心の周りに、机の上で次第に回転し、質量Mのある頂点の角度は６０°の菱形になるまでにする（図１．５２ｂ）。回転の角速度ωを求めよ。

１．５３　螺旋形状で、垂直に配位している細い導線製コイルに沿って、導線に通されたビーズが一定の速さで滑る（図１．５３）。コイル半径はR，水平に対する導線の傾き角度はα。ビーズと導線の間の摩擦係数はκ。滑り落ちるビーズの速さｖを求めよ。

１．５４　ダンベルの軸が、水平と角度αをなしている時、ダンベルのひっくり返っている側が、垂直な壁に作用している力Ｆを求めよ（図１．５４）。ダンベルは初速度ゼロで垂直状態から動き始めるものとする。ダンベルの２つの球の質量はm。この２つの球の間隔は球の半径より充分大きい。摩擦は無視する。

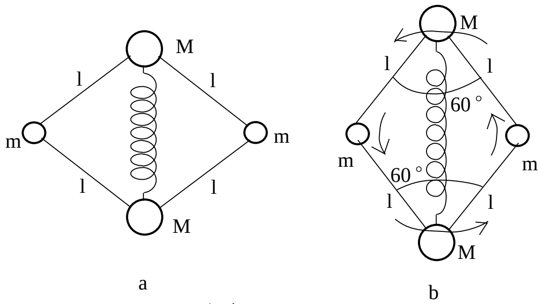

図１．５２

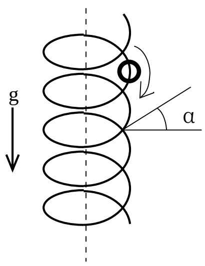

図１．５３

１．５５　２つの同型、同質量Ｍの星Ａ，Ｂが、相互作用の引力のもとで、お互いに一定間隔ｒで、半径ｒの円周上を動く（図１．５５）。この円の面上で、これらの星からの距離が未知数で、軽い惑星Ｃが動く。ここで、ＡＣ＝ＢＣ＝ｘ，三角形ＡＢＣは、これら星の運動下で、形状は変化しないとする。距離ｘを求めよ。惑星Ｃの質量は、星Ａ，Ｂの質量と比較すると無視できるものとする。

１．５６　２つの星が、一定の速さv_1，v_2で、かつ、同じ周期Ｔで、お互いにお互いの周りを回っている（２重星)。各々の星の質量と間隔を求めよ。重力定数はＧ。

１．５７　地表からの高度がｈ＝３．６×１０^{4}ｋｍの軌道上にある人工衛星は、１昼夜で地球の周りを１回転し、赤道の任意の地点上空に浮かんでいることができることが知られている。モスクワから、衛星放送を中継するため、モスクワ上空でホバリングする人工衛星をその高さに打ち上げたと仮定しよう。この衛星をこの軌道上に保持させるために、人工衛星のエンジンは、どれだけの推力を出さなければならないか。人工衛星の質量はｍ＝１ｔ、モスクワの緯度はθ＝約６０°、地球の半径はＲ＝６４００ｋｍ。

１．５８　バネ定数κのバネに吊された荷物から、その一部分、質量ｍが剥がれ落ちる。残った荷物は、この後どれだけの高さまで上昇するか。

１．５９　軸ＡＢに、長さｌの２本の軽い軸で、その先にあるジョイントで固定された錘Ｃの角振動数ωを求めよ。軸ＡＢは、水平と角度αで固定している（図１．５９）。角度ＢＡＣ＝角度ＡＢＣ＝β。摩擦は無視する。

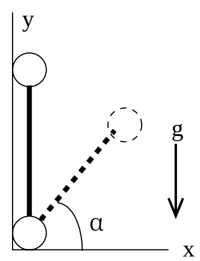

図１．５４

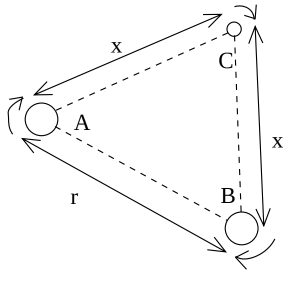

図１．５５

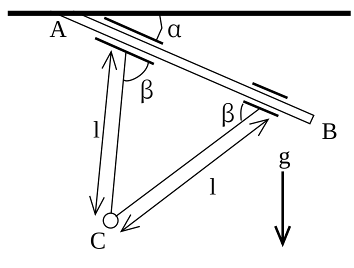

図１．５９

１．６０　長さｌの振り子の支点を、瞬間的に水平方向に、一定の速さｖで動かす。そして、距離ｘだけ移動させせた後、瞬間的に支点を止める。支点の移動速度が、どの様な値の時、支点を動かすことで発生した振り子の振動は、支点の停止後、直ちに止まるか。運動開始前には、振り子は静止している。垂直に対しての振り子の傾きは小さいとみなす。

第４節　エネルギー保存。運動量保存。仕事。仕事率

１．６１　長さｌの糸と質量ｍの球からできている振り子がある。糸の一端を支点として固定する。この支点を中心として、振り子を垂直線から９０°傾け、離す。落下の途中で糸が引っかかる釘を打っておく。糸は張力Ｔまで耐えることができる。糸が釘に引っかかり、切断するためには、釘は糸の支点からどれだけの最小の距離に置かなければならないか。

１．６２　卓球用の軽いピンポン球を、高さｈより落とす。この軌跡の最下点で、ラケットで、下から上に打つ。その後、ピンポン球は、最初のｎ倍の高さまで飛び上がった。打撃の瞬間のラケットの速さを求めよ。打撃は弾性的とみなす。空気の抵抗は無視する。ラケットの質量は、ピンポン球のそれより充分に大きい。

１．６３　螺旋を形成している円筒形の滑らかで丈夫なコイルに沿って、質量ｍのビーズが滑り落ちる。螺旋の軸は垂直である。コイルのターン半径はｒ、１ピッチ長はh_0。ビーズを高さｈで、初速度ゼロで離したとき、ビーズはコイルのどの様な力を及ぼすか。

１．６４　質量m_1，m_2（$m_1>m_2$）の２つの錘を糸で結びつけ、机の上方に固定してある固定滑車に掛け吊す。最初、これらの錘を机からともに高さｈの位置に静止しておき、その後手離す。机に錘が衝突すると衝突箇所で、どれだけの熱量が発生するか。衝突は完全非弾性である。即ち、片方の錘は机にひっつく。

１．６５　ちょうど半分だけ水に沈み、断面積が正方形の自由に浮かんでいる木材が、不安定な垂直状態から、より安定な水平の状態にひっくり返る際に、どれだけの熱量が発生するか（図１．６５）。角材の質量ｍ＝１０ｇ、長さｌ＝２０ｃｍ、断面積ｄ×ｄ＝１ｃｍ×１ｃｍ。

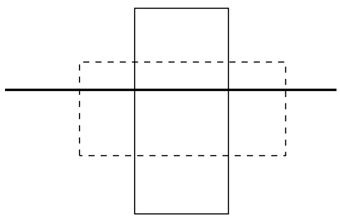

図１．６５

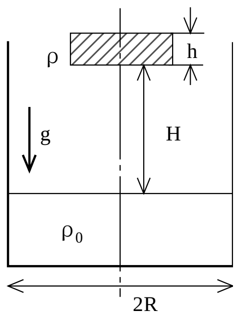

図１．６６

１．６６　中途まで水で満たされている半径Ｒの円筒内に、半径ｒで高さｈの円筒コルクを落とす（図１．６６）。コルクの下面の最初の水面からの高さはＨ、初速度はゼロである。コルクと水の運動が停止したとき、どれだけの熱量が発生するか。コルクの密度はρ、水の密度はρ_0。

１．６７　深さＨ海の海底に、高さｈの立方体形状のタンクが立っている。タンクは水で満たされている。タンクから水をはき出すためには、最低どれだけの仕事をしなければならないか。水の密度はρ_0。

１．６８　宇宙線が月の引力で、月に向かって動く。月から充分な遠方の距離に於いては、宇宙船の速さは月に対して、ゼロと見なせる。宇宙船が着きに軟着陸するためには、月面からどれだけの高度に於いて、エンジンブレーキにスイッチを入れなければならないか。

月面における重力加速度はg_mは地球のgの６分の１。エンジンは５倍のgを出すものとする。月の半径はr_m＝１７００ｋｍ。減速中における宇宙船の質量変化は無視する。月の表面近傍では重力加速度は一定と見なす。

１．６９　北極点から垂直に、第１宇宙速度$v_1=(gR)^{1/2}$＝８ｋｍ／ｓで、物体を打ち上げる。この物体は、地表からどれだけの最大距離ｈまで上昇できるか。Ｒは地球半径＝６４００ｋｍ。

１．７０　赤道に沿って、物体を東から西の方向へ、地表に平行に、ある速度v_0で打ち上げる。この物体の速度は、地球から充分に遠方ではゼロとなる。同じ物体を、同じ速度v_0で、赤道に沿って西から東の方向へ、同じく地表に平行に打ち上げる。この物体は、地球から充分の遠方に達したところでどの様な速度で動いているか。地球の自転は考慮し、公転は無視する。空気抵抗は無視する。赤道一周長ｌ＝４００００ｋｍ、地球の自転の１周期Ｔ＝１昼夜。その他。

１．７１　水平で滑らかなパイプに、半径ｒのループがある。このループは垂直面内にある（図１．７１）。長さ$l>2\pi r$の細くて柔らかいロープが、このループを通り抜けるためには、パイプの水平部分で最低どれだけの速さを持っていなければならないかループの半径ｒは、パイプ及びロープの半径より充分に大きいものとみなす。摩擦は無視する。

１．７２　一定断面積を有する細いパイプが、一辺ｌの正方形を作り、垂直面内にある（図１．７２）。密度ρ_1、ρ_2（$\rho_1>\rho_2$）のお互い交わらない同量の２つの液体でパイプを満たす。最初は、パイプの上部を密度の大きい液体で満たす。その後液体は動き出す。液体の最大移動速度を求めよ。摩擦は無視する。

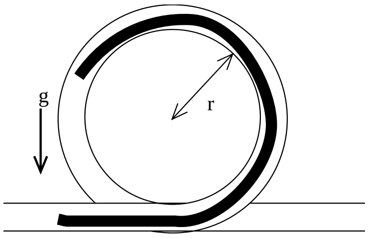

図１．７１

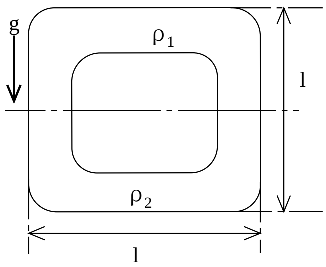

図１．７２

１．７３　重さの無視できるバネ定数κのバネの両端に、質量ｍのビーズがついている。図１．７３に示しているように、しっかりと固定された軸にビーズは通されている。軸の開放端の間隔l_0はバネの伸びていないときの長さと一致する。バネが軸を外れたとき、ｘ軸方向に、バネはどれだけの速さで動くか。バネは最初は静止しており、その長さはl_0。摩擦と重力は無視する。

１．７４　バネ定数κ_1，κ_2の２つのバネの両端に、質量ｍの物体が固定されている（図１．７４）。物体は直線ＡＢに沿って動くことができる。左側のバネの端Ａは固定されている。物体をその位置に保ったまま、右側のバネの端をｌだけひっぱり、Ｂ’点に固定する。その後、物体を離す。物体の最大速度を求めよ。摩擦と重力は無視する。

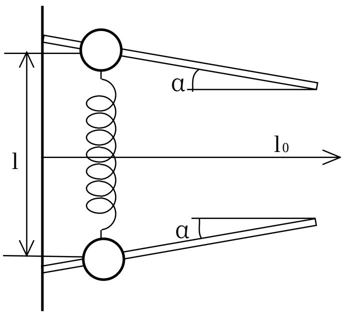

図１．７３

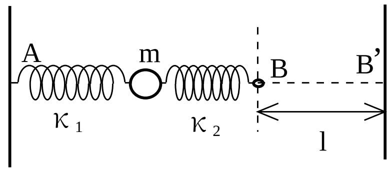

図１．７４

１．７５　バネに吊された質量Ｍの錘の上に、錘の位置をそのまま保ちながら、質量ｍの負荷をかける。その後、離す（図１．７５）。錘の側から負荷に作用する力の最大値を求めよ。

１．７６　子供用のバネ式ピストルは、不動の壁に固定された有限質量のバネでできており、連続して球を速さｖで発射する（図１．７６）。２倍の質量の弾を発射すると、その速さはｖ・ｓｑｒ（２／3）であった。3倍の質量の弾を発射すると、その速さは幾らか。

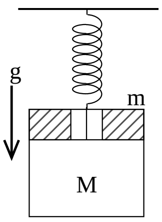

図１．７５

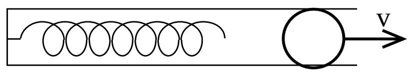

図１．７６

１．７７　２つの同型の球が、長さl_0の重さのない軸に固定されている。系を平面内に配置し、その中心が静止しているように回転させる。系は何回転するか。各球の初速度はv_0，摩擦係数はκ。

１．７８　水平との傾斜角度α_1の斜面に沿って、高さＨから初速度ゼロで、物体が転げ落ちる。Ａ点に達し、物体は傾斜角度α_2の斜面の上方に昇っていく（図１．７８）。面と物体との間の摩擦係数をκ_1，κ_2と仮定し、物体の上昇高度を求めよ。面から面への移動は滑らかである。

１．７９　同じ質量ｍの２つの物体が、バネ定数κ（かっぱ）のバネで結びつけられ、平面上に置かれている（図１．７９）。左の物体は壁に触れている。壁からの逆の作用により、右の物体が左の物体を動かすためには、右側の物体に、壁方向に最低どれだけの速さを与えなければならないか。物体と面との摩擦係数はｋ（けー）とする。

１．８０　質量m_1，m_2の２つの角材が、水平面上に置かれ、緩んでいるバネ（バネ定数κ）で結びつけられている。２番目の角材を動かすためには、１番目に付与すべき水平方向の最低の力はいかほどか。面と角材との摩擦係数はｋ。

１．８１　水が距離ｌの先に落下するためには、ホースのノズルから出る水流を水平に対

して何度の角度方向に向けるべきか。水の密度はρ_0、ノズル穴の面積はＳ，モーターのパワーはＰ，モーターの効率はη。地上からのノズルの高さはゼロとする。

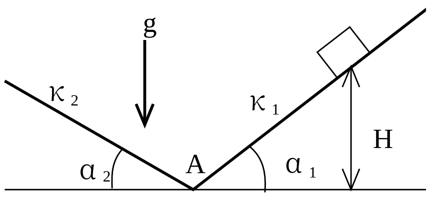

図１．７８

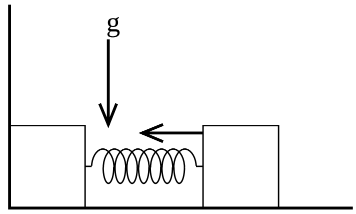

図１．７９

１．８２　２つの車軸を持った質量ｍの自動車が動き出す。エンジンは一定の馬力Ｐで動作している。道路に対する車輪の摩擦係数はκ。時間に対する自動車の速さの依存性を見出し、グラフ化せよ。空気抵抗及び機械系の摩擦は無視する。

１．８３　初速度ｖで飛んでいる質量ｍの弾丸が、質量ｍの吊された物体を貫通し、同じ質量で同じく吊された物体にめり込んだ。物体と弾丸との相互作用時間は無視し、２番目の物体で発生した熱量をQ_2として、最初の物体において発生する熱量Q_1を求めよ。

１．８４　弾頭が敵陣の野営地に落下するように砲兵は射撃をする。大砲からの弾頭の発射の瞬間、ミュンハウゼン男爵がそれに乗ったため、弾頭は目標に達しないで落下した。敵の陣営に達するためには、男爵はどれだけの距離を徒歩で歩かなければならないか。男爵は弾頭よりも５倍重いとする。弾頭に乗った男爵の着地は完全非弾性衝突とする。

１．８５　高さｈの机の端に、質量m_1の小さな玉が置いてある。水平方向にｖで玉の中心をめがけて動いてきた質量m_2の弾丸が命中した。弾丸は玉にめり込む。玉は机からどれだけの水平距離に落下するか。

１．８６　高さｈで水平方向に速度を持った小さい物体が、同じ質量の２つの部分に分裂した。片方は分裂後、時間t_1を経て地上に落下した。遅れて落下した他方は分裂後、どれだけの時間後、地上に達するか。空気抵抗は無視する。

１．８７　質量m_2の人が乗った質量m_1の手押し車が、速さｕで動いている。人が同じ方向に手押し車の上で歩き始めた。手押し車に相対的に、人がどれだけの速さで歩けば、手押し車は地表に対して止まるか。手押し車と地表との間の摩擦は無視する。

１．８８　静止している質量m_1の物体に、質量m_2の物体が速さｖで飛んできてぶつかる。物体間の相互作用において発生する力は、時間間隔τの間に、ゼロからF_0まで増加し、その後、同じ時間間隔τでゼロまで減少する。相互作用後の各々の物体の速さと発生する熱量を求めよ。

１．８９　半径ｒ、質量Ｍの固定されていない中空の球の中心で、質量ｍの弾丸が粉々に砕け散る。破片は全方向に一様に速さｖで飛び去る（図１．８９）。球には大きさの異なる２つの円形の穴が開いており、それらの中心は球の同じ直径線上にある。これらの穴を通り抜けない破片は、球のない表面にくっつく。球の最終速度を求めよ。球の中心から見た円の開口角度はα_1，α_2。α_1，α_2は値が近いが同じではないとする。空気抵抗と重力は無視する。

１．９０　水平で滑らかの平面上に、最初、質量m_1で長辺の長さｌの長方形の枠が静止している（図１．９０）。枠内で、長辺に平行に、速度ｖで質量m_2の球が動き始め、枠の短辺の中央に衝突する。球が短辺間で一往復する時間間隔を求めよ。球の大きさは無視する。衝突は弾性的である。

１．９１　氷面上で、表面がざらざらした幅ｌの薄い帯が速さｖで動いている。その帯の面上に垂直に、速さｖでアイスホッケーのパックが到着する（図１．９１）。パックは帯を横切った後、帯に対して４５°の角度で立ち去る。帯に対するパックの摩擦係数を求めよ。

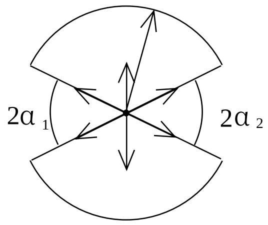

図１．８９

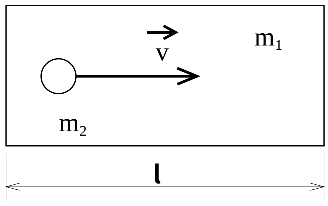

図１．９０

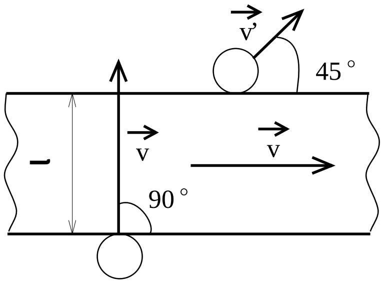

図１．９１

１．９２　質量m_1，m_2の２つの球が、同じ形状で、同じ高さの小山から、摩擦及び回転無しで向き合う方向に、同時に滑り落ちる。そして、水平面上で衝突し、ひっつく。一体化した球体はどれだけの高さに上昇するか。

１．９３　質量ｍの２つの同じ球が、お互いに接触して静止している。３番目の球が直線運動をし、２つの球に同時に触れるように、それらに向かって飛んでくる（図１．９３）。衝突後、３番目の球が静止するとして、３番目の球の質量を求めよ。全ての球の半径は同じである。衝突は弾性的である。

１．９４　前問と同様であるが、速さｕで動いてくる球が静止している２つの球に弾性的に衝突する。衝突後の各球の速さを求めよ。但し、今回は。全球とも同じ半径でかつ同じ質量である。

１．９５　２つの弾性的で滑らかな球が、正三角形の２つの頂点ＡとＢから、３番目の頂点Ｃの方向に同じ速さで飛び立つ。Ａ点の球の質量はｍ、Ｂ点の球の質量は３ｍである。半径は同じである。衝突後２つの球のなす角度はいかほどか。

１．９６　２つの同じ弾性的で滑らかな球ＡとＢが、速さｖと２ｖで、面と向かって動いている（図１．９６）。各々の中心を通る運動の直線は、互いに相手の球に接している。衝突後、球Ａは最初の方向に対して、どの様な角度の方向に動いていくか。

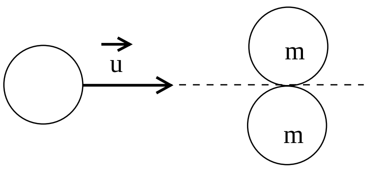

図１．９３

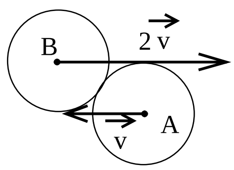

図１．９６

１．９７　滑らかで水平な机の上に、１直線に沿って、触れあうことなく、ｎ＝１９６９個の球が並んでいる。それらの半径は同じであるが、質量はｍ、ｍ／２，ｍ／４，ｍ／８，ｍ／１６､､､。質量２ｍの球が、その直線に沿って、１番目の球にあたる。最後の球が獲得する速度を求めよ。衝突は全て弾性的であり、かつ正面衝突である。

１．９８　質量ｍの２つの球が丈夫な糸で結んである（図１．９８）。質量Ｍ＝２ｍの円盤が速さｕ＝１ｍ／ｓで飛んできて、糸の中央部にあたる。衝突直後における球の円盤方向への速さを求めよ。

１．９９　棒ＡＢＣに、２つの同型の錘Ｂ，Ｃが固定され、充分に長い糸ＯＡ（ＯＡ＞＞ＡＣ）で、Ａ点で吊されている（図１．９９）。棒を水平状態に保ち、この時、糸ＯＡは垂直になっている。そして離す。棒が最下点に足した瞬間、Ａ点の速さは幾らか。棒と糸の質量は無視する。ＡＢ＝ｌ，ＢＣ＝２ｌ。

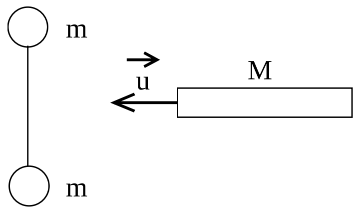

図１．９８

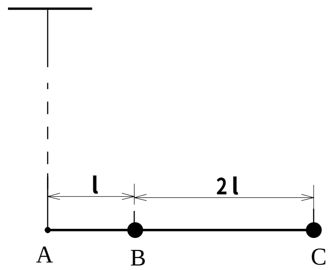

図１．９９

１．１００　長さｌの糸で結ばれた同じ錘のＡとＢの組が、滑らかな机の上から滑り落ち、始める。この時、錘Ｂは高さＢＣ＝２ｌ／３である。床に達し、錘Ｂは床にひっつき、その後、直ちに錘Ａは机を飛び去る。糸が再びピンと張るとき、錘Ａは床からどれだけの高さにいるか。

１．１０１　質量Ｍの長方形の角材が、半径ｒ＝０．２ｍのえぐり穴を持っており、垂直の壁に密接して水平面上においてある（図１．１０１）。えぐり穴の壁に近い最上点のＡｔ点の上方の高さから、質量ｍ＝Ｍ／５の球を落とす。この球がえぐり穴の対面するＢ点を超えないためには、その高さの最大値は幾らか。摩擦は無視する。

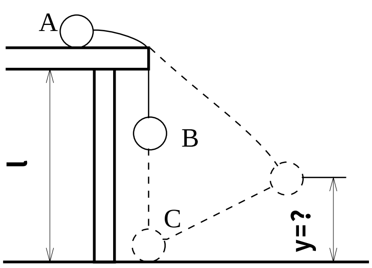

図１．１００

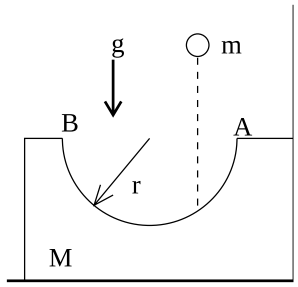

図１．１０１

１．１０２　細いパイプＡＫＢは角度２αで曲がっており、手押し車の上に動かないように固定され、その曲がり角は手押し車の台と各々角度αをなしている（図１．１０２）。パイプの片側は水で満たされ、栓Ｋでせき止められている。手押し車は水平面に沿って動ける。ある瞬間に、栓Ｋを開く。水柱長の中心の位置が最も低くなったときの手押し車の

速さを求めよ。手押し車の最初の速さはゼロ。からのパイプを含んだ手押し車の質量はM、水の質量はm、ＡＫ＝ＢＫ＝ｌ。摩擦は無視する。

１．１０３　机上にある質量MのＵ字型パイプ中に、長さがパイプ長とほぼ同じで質量mの伸びない糸が入っている（図１．１０３）。糸の両端は、パイプの両端に位置している。この状態のもとで、糸をＡ点で摘み、机に対して速さｖでパイプから引き出す。が、糸の他端（Ｂ点）の速さは机に対して０となるように糸を引く。糸が抜け去ったとき、パイプはどの様な速さｕで動くか。摩擦は無視する。

１．１０４　質量Mのピストンのついた垂直状態にあるシリンダー内で、ｎ個（＞＞１）の玉がピストンとシリンダの底の間で弾性的に衝突し、飛び跳ねる。系は釣り合いの状態にある。底からのピストンの高さはｈ。ピストンを勢いよく抜き取ると、玉はどれだけの高さまで飛び上がるか。シリンダの壁とピストン間の摩擦と気圧は無視する。

１．１０５　質量Mの滑らかなくさびが水平面を滑る。水平と角度αをなしているくさびの面に、質量mの滑らかな角材がおいてある。くさびの動く加速度を求めよ。摩擦は無視する。

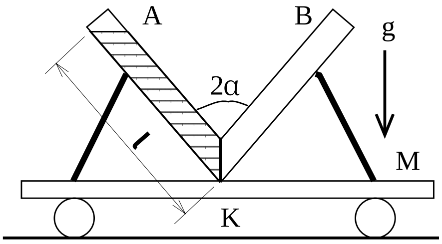

図１．１０２

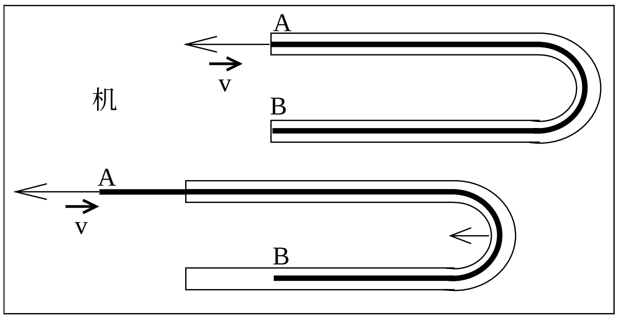

図１．１０３

第５節　静力学。力のモーメント

１．１０６　２つの平らな壁で作られた隙間ＡＢＣに球がおいてある。隙間の稜は水平である（図１．１０６）。垂直な壁ＢＣに球が及ぼす圧力が、球に作用している重力の２分の１を越えるような壁の間の角度を求めよ。摩擦は無視する。

１．１０７　半径ｒ、質量mの球が長さｌの糸に吊されている。糸は垂直な壁に固定されている。球が壁に及ぼしている力を求めよ。摩擦は無視する。

１．１０８　半径ｒ、質量mの球が、半径Ｒの動かない球の上に、球の頂点Ｃに固定された重さが無く伸びない長さｌの糸で支えられている（図１．１０８）。球と糸は他の箇所では接触していない。糸の張力を求めよ。摩擦は無視する。

１．１０９　（１）質量m_1，m_2の２つの球が重さのない丈夫な長さｌの軸で接続され、半径Ｒの球状の空洞で静止している。軸は水平に対してどの様な角度αをなしているか。摩擦は無視する。
（２）滑らかな固定された半球内に、質量mの軸が自由においてある。軸の一端は球の縁から出ており、軸の水平となす角度はαである。軸が半球に触れている点で、半球に及ぼしている力を求めよ。

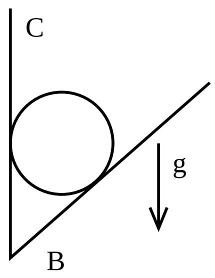

図１．１０６

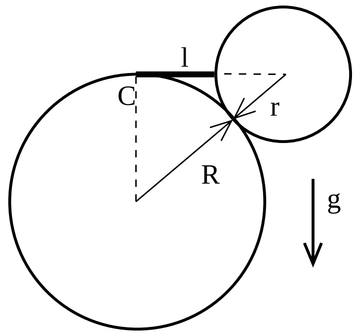

図１．１０８

１．１１０　２本のロープＡＢＣ，ＡＥＣの間に握力計があり、菱形の対角線上にある（図１．１１０）。Ｃ点は固定されている。握力計が力F_0を示しているとき、Ａ点に働いている力を求めよ。角ＥＡＢ＝角ＢＣＥ＝α。

１．１１１　台の上に横に寝かしてある半径ｒの円柱が、その軸を通る垂直面に沿って２つに裂ける。半円柱の質量がm、それらの重心は円柱の中心からｌの距離にある。円柱が分裂しないようにするため、２つの同じ重さの錘に糸を固定し、各々の他端を反対側に掛け渡し、半円柱に固定する（図１．１１１）。円柱が分裂しないための錘の最小質量を求めよ。摩擦は無視する。

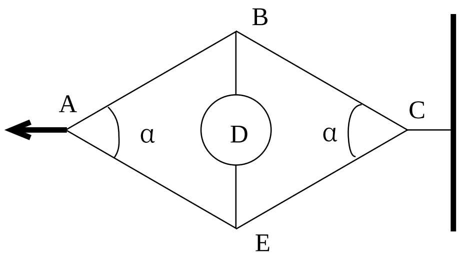

図１．１１０

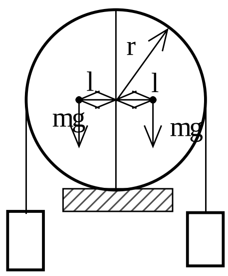

図１．１１１

１．１１２　質量mの一様な糸を、その両端の高さを同じとして、天井に固定し、自由に吊す。糸の最下点での、糸にかかっている張力はT_0。糸を固定している天井点での糸の張力を求めよ。

１．１１３　長さＬの伸びなく重さのない糸に、重いビーズＣが取り付けられ、高さの違うＡ，Ｂ点で固定されている（図１．１１３）。ビーズの大きさと摩擦を無視して、Ａ点からビーズを通過する垂直線までの距離を求めよ。パラメータｌとｈは図に示しており、概値とする。

１．１１４　同じ長さの３本の糸を、リング１とリング３に等間隔で固定し、リング２の内側にそれらを通す（図１．１１４）。リング１と２の半径は等しく、ｒであり、リング３の半径は、その２倍である。全てのリングは同じ導線でできている。リング１を水平面内に保持し、系を平衡状態とする。リング２と３の中心間の距離を求めよ。摩擦は無視する。

１．１１５　ロケットが一定の速さｖで雲海中を突き進む。雲の密度はρ、ロケットの断

面積はＳ，ロケットの舳先の開口角度は２α。ロケットのエンジンの出している牽引力を求めよ。雲とロケットの衝突は弾性的とする。

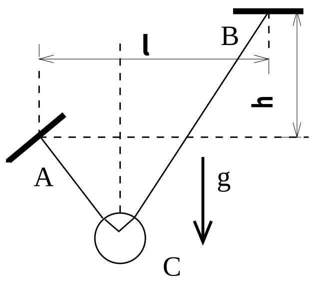

図１．１１３

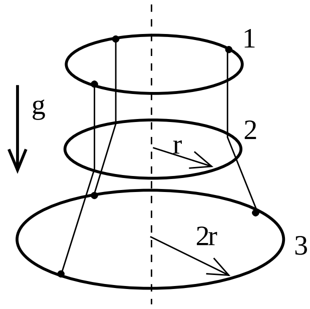

図１．１１４

１．１１６　ロケットが希薄な雲海中を一定の速さで飛ぶ。ロケットの速さを倍とするためには、エンジンの牽引力を何倍としなければならないか。

１．１１７　同じ材料で作られた２つの球が、希薄な雲海中で減速されながら落下する。球の半径が２倍である片方の球の最終速度は、他の球の最終速度の何倍となるか。抵抗は雲だけの分とする。空気抵抗ではないとする。

１．１１８　重い金属棒を中央で９０°曲げ、１端で自由に吊す。固定端と自由端を結ぶ線分は垂直線と何度の角度をなすか。

１．１１９　質量ｍの棒が一端を水平面上に、他端を斜面上にもたせかけている。水平面と斜面のなす角度はα。この棒が安定状態にあるためには、棒の端の１つの加えるべき斜面方向の力を求めよ。全てで摩擦はないものとする。

１．１２０　垂直な壁に、２本の釘Ａ，Ｂが打ち込まれ、それらに上方から、中心がＯの質量ｍの滑らかな円形ループが載せられている（図１．２０）。半径ＯＡとＯＢは垂直線と角度αとβをなすとして、各々の釘に作用している力を求めよ。摩擦は無視する。

１．１２１　質量ｍの滑らかで円形の細いループが、２本の釘により、垂直の状態で壁のところに保持されている（図１．１２１）。釘のうちに１本（Ａ点）はループの内側にあり、ループに接触し、接点Ａを通る半径は垂直線と角度ＡＯＣ＝αをなしている。２番目の釘はループの外側にある。Ｂ点を通る半径の垂直線となす角度ＢＯＣ＝β。ループは角釘にどれだけの力を及ぼしているか。摩擦は無視する。

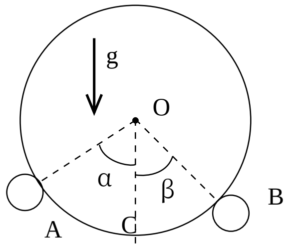

図１．１２０

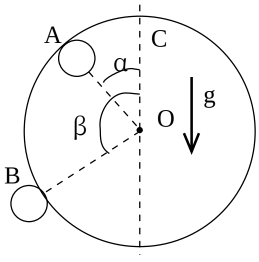

図１．１２１

１．１２２　質量m_1，m_2の２つの滑らかな球が、重さが無く伸びない糸で、１点Ｏから吊されている（図１．１２２）。大きな球の半径はｒ、それを支えている糸の長さはｌ。この糸は垂直線とどれだけの角度をなすか。

１．１２３　未知の質量m_1，m_2の錘が、短く質量もなく伸びない長さｌの糸で結ばれ、滑らかな半径ｒの円筒表面上に置かれている（図１．１２３）。釣り合いの状態にあるとき、質量m_1の錘がいる点を通る半径と垂直線とのなす角度はα。錘の質量の関係を求めよ。

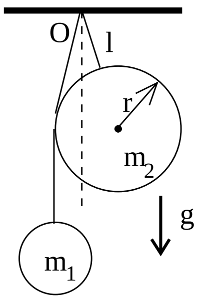

図１．１２２

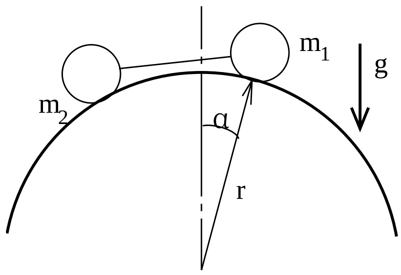

図１．１２３

１．１２４　質量M，ながさＬの一様な梁が、両端で２つのバネで吊されている。２つのバネは錘をつけないときには、同じ長さであるが、同じ錘をつけたときには、右側のバネの伸びは、左側のバネの伸びよりｎ倍大きい。梁が水平状態にあるためのは、梁の左側からどれだけの位置に、質量ｍの錘を置くべきか。

１．１２５　コンテナを左に動かすためには、その右面の中心に垂直に力F_1＝１００Ｎの力を加えなければならない。逆に、コンテナを右に動かすためには、その左側面の中心に、これも面に垂直にF_2＝１５０Ｎの力を加えなければならない（図１．１２５）。コンテナの質量を求めよ。左側の支点は、右側と違ってローラーでできており、小さい摩擦も無視できるようになっている。支点の大きさは小さい。コンテナは一様な立方体と見なせる。

１．１２６　車輪にブレーキＢＣが備わっている（図１．１２６）。それは、Ｂ点で丈夫な枠に蝶番で固定されている。車輪の軸はＡである。伸ばされたバネＡＣが、車輪のリムにブレーキの台木を押しつけている。角度ＡＣＢはα。時計回りの車輪の回転では、ブレーキの台木で発生する摩擦力はF_1。リムに対する台木の摩擦係数はｋ。反時計回りに車輪が回転するときの摩擦力を求めよ。

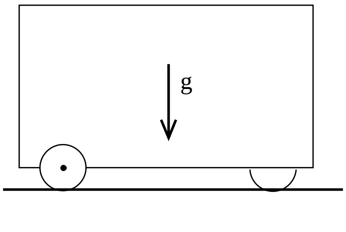

図１．１２５

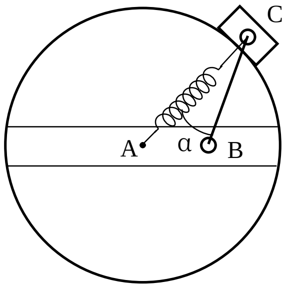

図１．１２６

１．１２７　水平面上に立方体がおいてある（図１．１２７）。摩擦係数はｋ、立方体の質量はｍ。立方体が滑ることなくひっくり返るためには、上の稜で、立方体を水平方向に対して角度αで引くとき、最小どれだけの力を加えなければならないか。

１．１２８　同じ大きさで同じ質量の２枚の板でできている合板が、水平な机の上に置いてある（図１．１２８）。板のＡ点に糸をくくりつけ、一定の速さで水平方向に引っ張る。板と机の間の摩擦係数が、各々k_1＝０．６，k_2＝０．４の時、板の接合線ＡＢと糸のなす角度αを見いだせ。板は前進する。

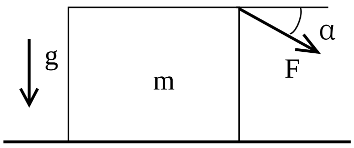

図１．１２７

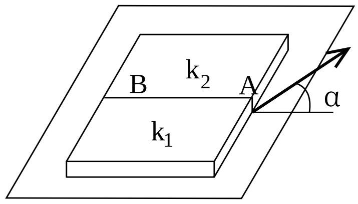

図１．１２８

１．１２９　半円柱が、質量ｍの一様な角材の支えとなっている（図１．１２９）。左側の半円柱と机との間の摩擦係数はk_1、右側ではk_2。角材が一様に動くためには、角材にどれだけの水平力Ｆを加えなければならないか。半円柱の大きさな無視する。図中に示されているパラメータｌとｄは既知とする

１．１３０　質量ｍの小さい荷物が、重さのない高さｈの手押し車の上の真ん中に固定されている（図１．１３０）。両車軸からの距離はｌ。傾斜角度αの斜面を、手押し車が下る。ブレーキをかけた瞬間、手押し車の車輪は直ちに止まる。斜面と前輪との摩擦係数はk_1，後輪ではk_2。角度αがどの様な値の時、手押し車は等速度運動をするか。

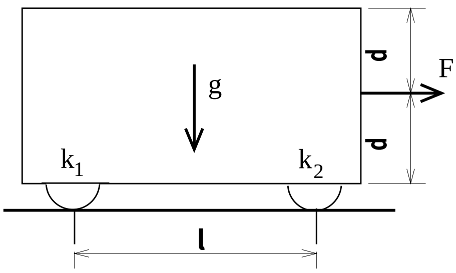

図１．１２９

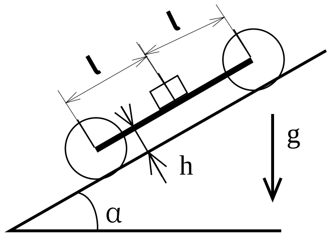

図１．１３０

１．１３１　半径Ｒの車輪がしっかりと固着された半径ｒの軸に、プレス機で力Ｆを加える（図１．１３１）。軸とプレス機との間の摩擦係数、車輪と床との間の摩擦係数はともにｋ。軸をロープＯＡで引っ張る。軸がｌ（＜Ｒ）だけ動くためには、どれだけの仕事をしなければならないか。重力は無視する。

１．１３２　水平な机の上にある糸巻きに、垂直面に沿って動くようになっているくさびを押しつける（図１．１３２）。糸巻きとくさび、糸巻きと机の間の摩擦係数はともにｋ。糸巻きが反時計回りに回転しながら、左側に動くのは、どの様なｋの時か。糸巻きに作用している重力は無視する。

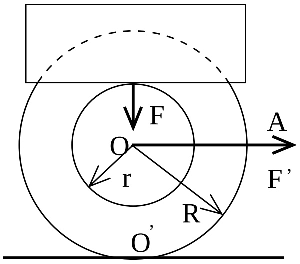

図１．１３１

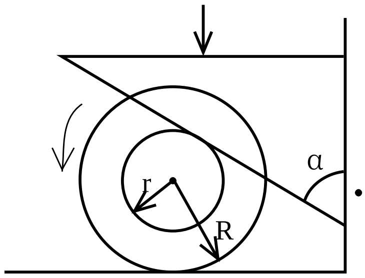

図１．１３２

１．１３３質量ｍで半径２Ｒの糸巻きが、壁に密着している（図１．１３３）。内側の円筒には、糸が巻き付いている。糸を鉛直下方向に引っ張る。糸を引っ張る力Ｆが、どの様な値の時、糸巻きは回り始めるか。糸巻きの壁と床との間の摩擦係数はともにｋ。内側の円筒の半径はＲ。

１．１３４　Ａ点で、ジョイントに固定された各々質量Ｍの２枚の同型の板の間に、質量ｍの球が保持されている（図１．１３４）。板と球の接点は、板の中心部にある。板のなす角度は２α。球と板の間の摩擦係数ｋがどの様な値ならば、この状態が維持され続けるか。

１．１３５　水平な机の上に紙があり、質量ｍの棒で押しつけられている。その棒は高い方の端は、蝶番で固定されている。紙を引き出すためには、紙に水平方向に最低どれだけの力を加えなければならないか。軸と紙のなす角度はα、それらの間の摩擦係数はｋ。紙と机の間の摩擦係数は無視する。

１．１３６　長さｌの丈夫な棒は、滑らかな垂直の壁から距離ｌ離れた軸Ｏの周りに自由に回転することができる（図１．１３６）。棒と壁の間に、厚さｈの角材が押さえつけられている。棒と角材との間の摩擦係数がｋならば、角材の厚さがいくらならば、角材を下に引き抜くことができないか。

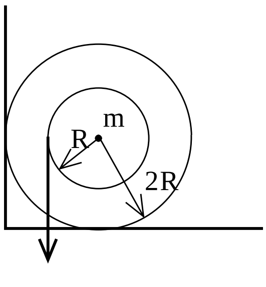

図１．１３３

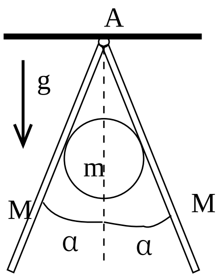

図１．１３４

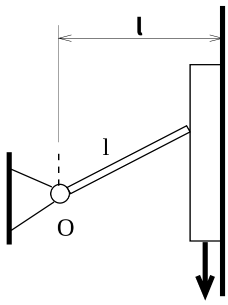

図１．１３６

１．１３７　高さＨの２本の柱が、地面に余り深くなく埋め込まれている。柱を引き抜くためには、垂直に力F_0を加えればよい。安定性を増すために、柱の高さｈの箇所に、丈夫な支柱をジョイントで垂直に対して角度αで取り付ける（図１．１３７）。柱の頂上の間に渡したロープを、最大どれだけの力で引き縮めることができるか。ロープを引く際、柱に作用する垂直の力の変化は無視する。

１．１３８　長さｌ、質量ｍの棒が、２本の重さのない丈夫な軸で吊されている。軸は、支柱に支えられている長さＬの平行棒とジョイントで結合している。右側の軸は、平行棒の右端から距離ｄの箇所にある。棒が初速度ゼロで、最高位の位置から動き始める。平行棒の左右の支柱に作用する力の最大の差を求めよ。平行棒の曲がりと摩擦は無視する。

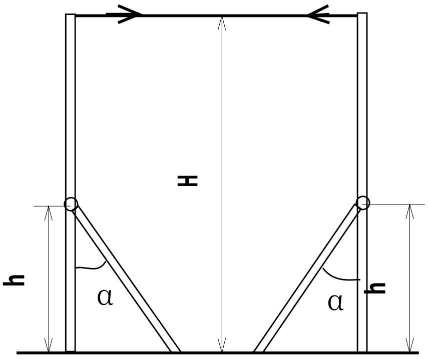

図１．１３７

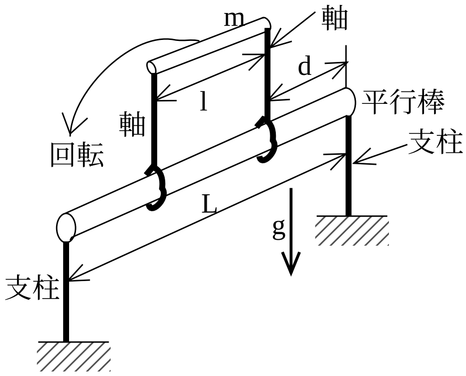

図１．１３８

１．１３９　机の端に、質量Ｍ、長さＬの角材がある。長さｄだけ机の端から出ている。角材は机の端のところで蝶番で固定され、この机の端を中心として回転することができる。角材の端に、質量ｍの錘を長さｌの糸で吊す。錘を角度αだけ脇にずらしてから、錘を放す。αがいくつの時、角材は回転し始めるか。

１．１４０　固定された球の頂点に、玩具「起き上がり小坊師」をおく。玩具の下部は同じ半径の半球となっており、小坊師の重心はこの半球の垂直半径の真ん中に位置している。この玩具は球から落下するか。滑りはないものとする。

第６節　液体と気体の力学

１．１４１　水平と角度αをなしたホースから、水が速さｖで流れ出している。ホースの断面積がＳ、地面からの高さがｈ、水の密度がρ_0としたとき、或る時刻に空中にとどまっている水の全質量を求めよ。

１．１４２　重い液体で満たされた大さじが、柄の端で慎重に、ぶら下げられている（図１．１４２）。この時、液体の一部が流れ出した。大さじのバケットが半径ｒの半球状で、柄は半球に接し、その長さはｌ＝ｒ・ｓｑｒｔ（８）として、大さじに残っている液体の体積を求めよ。大さじの質量は無視する。

１．１４３　手押し車の上に、一辺がｌの正方形の底をし、高い器壁でできた容器が乗っている容器の下端の一辺が、蝶番で固定されている。容器に高さｈ＞ｌ／２まで液体を注ぐ。容器を押さえながら、加速度ａで車を引っ張る。液体の表面が静止したとき、容器を離す。容器内の液体は最低どれだけの高さとなるか。容器の質量は無視する。

１．１４４　断面積S_1の円筒に、非圧縮性液体を注ぎ、上にピストンを置く（図１．１４４）。このピストンの内側には、断面積S_2のはめ込みがある。ピストンとはめ込みの間の摩擦力は値Ｆに達する。ピストンと円筒の器壁の間には摩擦はない。ピストンからはめ込みを押し出すためには、はめ込みを上から最低どれだけの力で押さなければならないか。

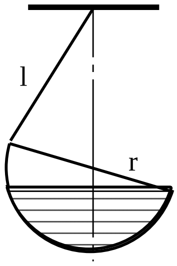

図１．１４２

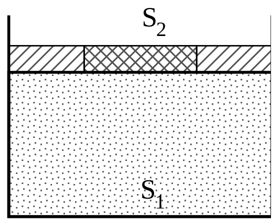

図１．１４４

１．１４５　ピストンが垂直の円筒容器から、その底にある面積Ｓ$_0$の小さい穴を通して水を押し出す。容器の高さはｈ、底面の面積はｓ。ピストンが一定の速さｖで動くならば、ピストンはどれだけの仕事をするか。重力の作用を考慮に入れる。

１．１４６　薄い器壁の缶が、、垂直に底を下にして、密度ρ$_1$，ρ$_2$の異なった液体の分離境界のところに浮かんでいる（図１．１４６）。缶の底は厚さがｈで、面積がｓ。缶の下の液体への沈み込みの深さｈを求めよ。缶の器壁の質量は無視する。

１．１４７　円筒容器が質量ρ$_1$，ρ$_2$の混じっていない２種の液体で満たされている。液体中に一辺ｌの立方体を沈める。立方体の材料の密度がρ（ρ$_2$＞ρ＞ρ$_1$）の時、密度ρ$_2$の液体中への立方体の沈下量ｈをもとめよ。

１．１４８　密度ρの液体で満たされている容器の底に、Γ型をした物体が立っている。大きさは図１．１４８に示されている。液体は物体の底面の下には流れ込まない。物体の密度は２ρ。容器内の液体の高さがどれだけになると、物体の釣り合い状態が壊れるか。

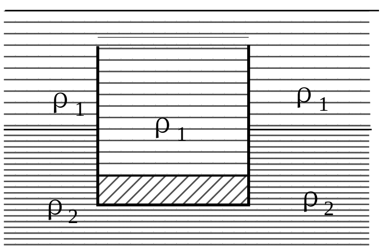

図１．１４６

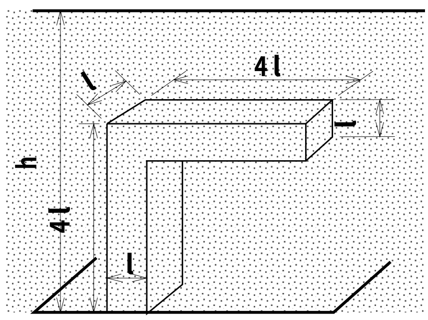

図１．１４８

１．１４９　半径Ｒの円筒容器が、高さｈまで水で満たされ、底の近傍の壁に穴が開いて、栓で閉じられている。容器内に栓を距離ｌだけ押し入れるためには、どれだけの仕事を与えなければならないか。栓は半径ｒの円柱形状をし、長さはｌより長い。摩擦は考慮しない。水の密度はρ$_0$。水がこぼれ出ない程度に容器は充分高い。

１．１５０　長方形の高い容器内に、密度ρの液体を注ぐ。容器の底のところの器壁に、高さｈの長方形の穴があり、そこに同じ断面積の重さの無い栓を長さｌだけ押し込んでいる。栓と容器の底の間には、液体は流れ込まない。液面の高さがどれだけであると、栓は抜け出さないか。栓と容器の底との間の摩擦係数はｋ。大気圧はｐ$_0$。栓と容器の器壁と

の間の摩擦は無視する。

１．１５１　密度ρの水で満たされた底が斜面となっている容器に、密度ρの金属製立方体が立っている。底に対する立方体の圧力を求めよ。立方体の上辺から水面までの距離はｈ、底の傾斜面の水平となす角度はα。容器の底と立方体の底面との間には水は流れ込まない。立方体の辺の長さはｌ。

１．１５２　容器の底に、プリズムの側面を下にして、三角形のプリズムが立っている。容器に密度ρ_0の液体を注ぐ。その液面の水準はプリズムの上辺と等しい。容器の底に対するプリズムの圧力が３倍となるためには、プリズムの材料の密度はいかほどでなければならないか。プリズムの下には液体は流れ込まない。

１．１５３　水の入った直方体の容器の壁の１つは角材でできている。角材はプリズムの形状をしており、その側面は２等辺直角三角形の形状の断面をしている（図１．１５３）。角材と角材と側面の間の摩擦はないものとし、角材が動くための容器の底と角材の間の最小の摩擦係数を求めよ。角材の長さｌ＝２０ｃｍ、その質量ｍ＝９０ｇ、プリズムの頂角α＝４５°、水の高さｈ＝１ｃｍ、水の密度ρ_0＝１０００ｋｇ／m^3。

１．１５４　容器の底の円形の穴が、底面の面積がＳの円錐状の栓で閉じられている（図１．１５４）。水を注ぎ、栓を浮かすには、栓の材料の最大密度ρはいかほどか。穴の面積はS_0、水の密度はρ_0。表面張力は無視する。

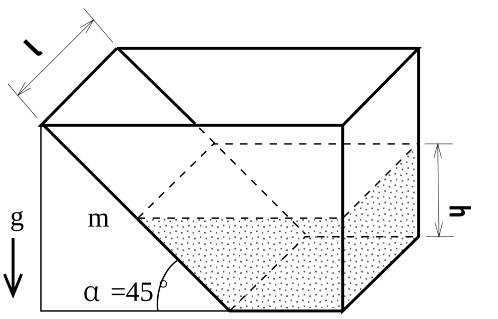

図１．１５３

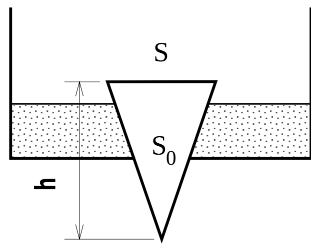

図１．１５４

１．１５５　（１）半径Ｒで高さｈの円筒形状したアルミニューム板で、下を閉じられた半径ｒのパイプが、水中に深さＨ沈んでいる（図１．１５５）。パイプと板の軸間の距離がｄ。水圧がパイプを板に押しつけている。板がパイプから離れるためには、パイプにどれだけの高さまで水を入れればよいか。水の密度はρ_0、アルミニュームの密度はρ。
（２）アルミニューム板を木で置き換える。板が浮かび上がるためには、どれだけの高さまで、パイプに水を入れればよいか。

１．１５６　（１）直角三角形の断面形状をしたアルミニューム製のくさび型板で、下を閉じられた半径ｒのパイプが水深Ｈまで沈んでいる（図１．１５６）。直角三角形の２辺の長さは図の如く、ａ，ｂ。くさびの上面は一辺ａの正方形で、パイプの軸はこの正方形の真ん中を通過している。水圧がくさびをパイプに押しつけている。くさびがパイプから離れるためには、パイプの中にどれだけの高さまで水を注げばよいか。水の密度はρ_0、アルミニュームの密度はρ。
（２）アルミニュームのくさびを木に置き換える。木が浮かび上がるためには、どれだけの高さまで、パイプに水を入れればよいか。木の密度はρ。

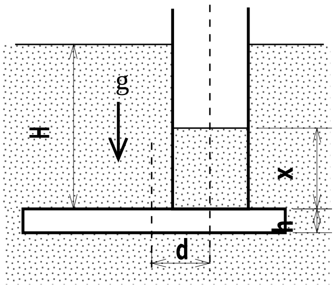

図１．１５５

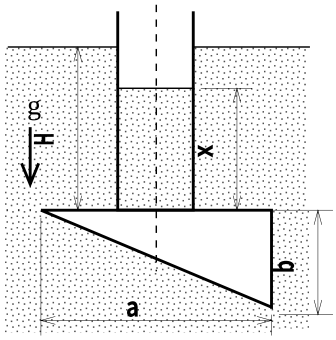

図１．１５６

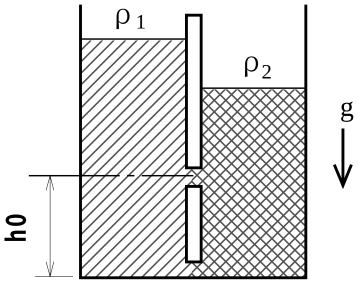

図１．１５８

１．１５７　断面積が S である U 字型パイプに、密度ρの液体を注ぐ。左側の間に、質量がｍで密度が液体の密度よりも小さい物体を下ろして入れる。この物体は液体に自由に浮かぶことができる。とすると、右側の管の液面は、最初よりどれだけ上昇するか。毛管現象は無視する。

１．１５８　内壁を持ったＵ字型パイプで、密度ρ_1，ρ_2の液体が平衡状態にある。これらの液体の分離境界は、パイプの底の中央にある（図１．１５８）。パイプの底から高さh_0の内壁に、小さい穴が開き、液体が流れ込み始めた。密度ρ_2を持つ液体の入った管側では、流れ込みの後、液面はどの様に変化するか。パイプは細く、液体の混合は起こらないものとする。穴の開いた場所で、液柱が壊れるだけが可能である。

１．１５９　気圧計中の水銀を、圧縮性液体で置き換える。この液体の密度は、重力の作用の結果、深さｈで$\rho=\rho_0(1+\alpha h)$の法則に従う。大気圧p_0では、この液柱の高さはどれだけか。

１．１６０　底面積 S である円筒容器に、質量 M の圧縮性液体を注ぐ。この液体の密度は、重力の作用の結果、深さｈで$\rho=\rho_0(1+\alpha h)$の法則に従う。この容器に質量ｍの立方体を落とすと、液柱の高さはどれほど変化するか。この際、立方体は容器の底に横たわらないものとする。即ち、沈んだ状態で浮かんでいる。

１．１６１　水中から質量ｍ＝２４０ｋｇの丸太の端を、ゆっくりと引き上げている垂直に立っているロープの張力を、丸太が引き上げ中、常に半分だけ沈んでいるとして求めよ。即ち、丸太はその中心の周りに回転する。

１．１６２　水に半分まで沈んで、容器の底についている球がある。その様にするために、球にはそれに作用している重力の３分の１の力が加えられている。球の密度を求めよ。

１．１６３　天秤の棒の先に、同じ質量の２つの錘が吊されている。各々の錘を、密度ρ_1，ρ_2の液体に沈めたとき、釣り合いが保たれる（図１．１６３）。錘の密度の関係を求めよ。

１．１６４　体積は等しいが、密度の異なる２つの球が、中央にジョイントのある棒の両端に固定してある。ジョイントは水面にあり、この時、１つの球はその体積の４分の３だけ水に沈み、もう一方の球は４分の１だけ沈んでいる。軽い方の球の密度をρ_1として、重い方の球の密度ρ_2を求めよ。水の密度はρ_0。

１．１６５　水の入った浴槽の底に、細いが重い長さｌの取っ手のついた半径ｒの球がある。取っ手は底に持たれている（図１．１６５）。球が底についていられる、取っ手の最小の質量を求めよ。液体の密度はρ_0。

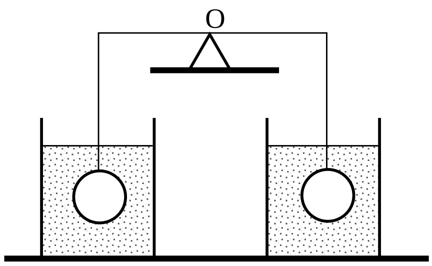

図１．１６３

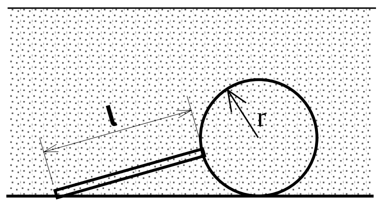

図１．１６５

１．１６６　質量ｍ、半径ｒの球が完全に液体中に沈み、長さｌ＝ｒの糸で滑らかで垂直な壁に取り付けられている。球を放つと、浮かび上がり、半分だけ液体中に沈む。固定されていたとき、球は壁にどれだけの力を及ぼしていたか。

１．１６７　水中に半分沈んでいて、底まで達していない質量ｍの棒は、円筒形容器の器壁をどれだけの力で押しつけているか。棒の水平に対する角度はα。摩擦は無視する。

１．１６８　採石Ｖ、材料の密度ρ_1の三角プリズムが、密度ρ_2（＞ρ_1）の液体に沈んでいる（図１．１６８）。壁づたいに、液体の薄い層に沿って滑るように、プリズムは一定の速さで浮かび上がっている。壁の水平に対する傾斜角度は、プリズムの頂角αに等しい。運動における抵抗力を求めよ。プリズムの基台の角度は９０°。

１．１６９　同じ半径Ｒ＝１ｃｍの２つの球があり、１つはアルミニューム、もう１つは木でできており、長い糸で連結され、一定の速さで水中をゆっくりと沈下している（図１．１６９）。各々の球に作用している水の抵抗力を求めよ。。アルミニュームの密度はρ_1＝２７００ｋｇ／m^3、木の密度はρ２＝５００ｋｇ／m^3、水の密度はρ_0＝１０００ｋｇ／m^3。自由落下の加速度はｇ＝１０ｍ／s^2とみなす。

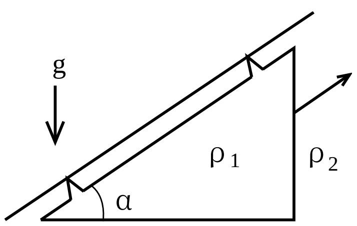

図１．１６８

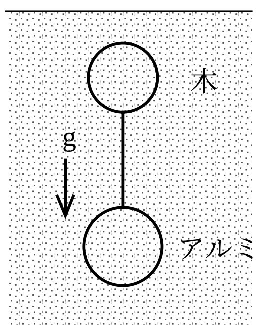

図１．１６９

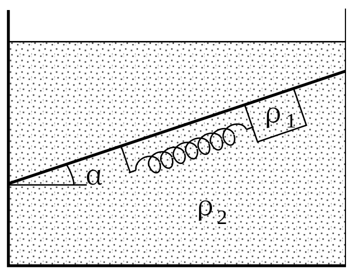

図１．１７０

１．１７０　密度ρ１の立方体が重さのないバネで、斜面上で釣り合いの状態にある。斜面の傾斜角度はα、液体の密度はρ_2（＞ρ_1）。壁と立方体との間には薄い液体の層がある。バネの長さを求めよ。なを、このバネの長さは、錘を付けないときl_0、バネに立方体を吊るし、液柱に沈めたときのバネの長さはｌである。

１．１７１　水で満たされた半径Ｒの円筒容器を、その軸の周りの角速度ωで回転する。容器の底には、半径ｒ（＜Ｒ／２）、密度ρの球がおいてある。球は円筒容器の側壁に、どれだけの力で押されるか。円筒容器の軸は垂直であり、水の密度はρ_0。

１．１７２　密閉された円筒容器が、その体積の４分の３まで、水で満たされている。この容器を、中心部に円柱が形成されるように、軸の周りに回転する。水には、長さＡＢ＝ｌの細い棒が、その長さの３分の２だけ水中に沈めて浮かんでいる（図１．１７２）。棒の密度を求めよ。円筒の半径はＲ、棒の長さｌ＜３Ｒ／４、水の密度はρ_0。重力は無視する。

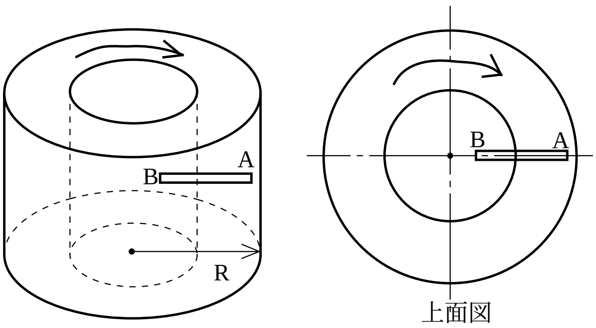

図１．１７２

１．１７３　水面に、正方形の断面をした木の角材が浮かんでいる。その密度はρ＝５００ｋｇ／m^3。図１．１７３に示している２つの状態のうちのどちらが安定か、それは何故か。

１．１７４　円筒形の缶に高さｈまで氷の破片が入っている。破片の隙間はスースーしており、最初は空気で満たされている。氷の破片は、体積の６０％を占めている。氷が溶け始めるが、氷とそれらの間隙との間の体積関係は不変に保たれる。氷のβ＝７０％が溶けたとき、缶内の水の高さを求めよ。厚氷の密度ρ＝９００ｋｇ／m^3、水の密度ρ_0＝１０００ｋｇ／m^3。

１．１７５　長さに比べて直径の充分に小さいパイプを、半径ｒのリングに曲げ、油の塊が入っているパイプの最下点（Ａ点）の微少領域を覗いて、全てを水で満たす（図１．１７５）。リングの面は垂直である。最初、油の塊はＢ点の方向に浮かび上がっていく。油の塊が、Ｂ点近傍を通過するときの油の塊の速さを求めよ。角度ＡＯＢ＝１３５°、油の密度はρ、水の密度はρ_0、油の塊の長さｌ＜＜ｒ。パイプの壁との摩擦は無視する。油の塊は水を通り抜けさせないとする。

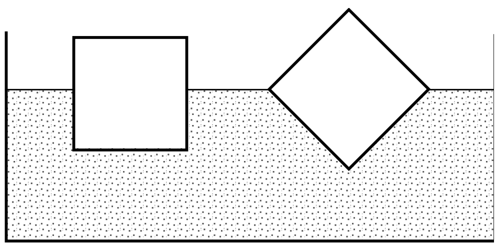

図１．１７３

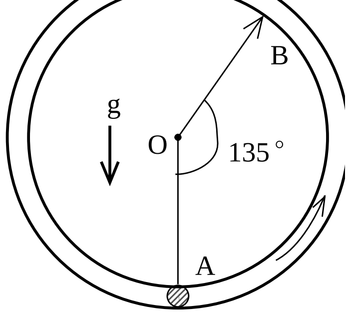

図１．１７５

１．１７６　一定の断面積をしたＵ字管の中で、密度ρの液体が振動している。液体は管の内長さlの部分を占めている。右側の管中の液面が、左の管中の液面より大きさhだけ高いとき、右側の管の垂直部分で深さHにおける圧力を求めよ。

１．１７７　噴水の水流は、ポンプのパイプの出口から、高さHまで上昇する。このパイプの出口に、直径が同じで、高さh（$<H$）のパイプを接続する（図１．１７７）。補助パイプを接続した後、接続したパイプと、それから飛び出す水流の高さの総和がHに等しくとどまるためには、ポンプのパワーは何倍に変化させなければならないか。パイプの器壁との摩擦による水のエネルギーの損失は無視する。

１．１７８　質量mの角材が、断面積 S の穴から、垂直上方に流れ出るn本の水流で、空中に保持されている。穴からで水の速さはv。角材に達した後、水は水平方向に角材から離れ飛ぶとする。角材は穴からどれだけの高さに保持され続けるか。水の密度はρ_0。

１．１７９　半径Rの垂直のパイプに、密度ρ_1の液体が満たされ、パイプの軸に沿って、半径r、長さl（$>>R$）の円形の棒が浮かんでいる（図１．１７９）。棒の密度はρ_2（$<\rho_1$）。端末効果と摩擦は無視し、棒は最初は静止していたものとして、進んだ距離に対する棒の速さと加速度を求めよ。

１．１８０　断面積が変化している短いパイプ中に、密度ρの粘性のある非圧縮性液体の時間による変化のない流れがある。断面　、　におけるパイプの断面積は各々S_1，S_2。液体の速さは断面に沿って一様とみなす。断面　と　のパイプの境界部分に液体の作用する力、ここで単位時間当たりに発生する熱量を求めよ。断面　における液体の圧力と速さはp_1とv_1、断面　での圧力はp_2。

１．１８１　？？？半径rのパイプが、密度ρ_1の多孔質の媒質で満たされている。パイプの中を動く重さのないピストンに力Fを作用し、媒質を密度ρ_2まで濃縮する。濃縮が跳躍的に行われるとすれば、ピストンはどれだけの速さで動くか。片方がρ_1、他方がρ_2である面Sはある速度で移動する。

１．１８２　U 字管に、異なった密度の２つの液体を注ぐ。液体の分離線はパイプの最下点から始まる。右側の管中の液の高さはh_1。最初、右側の管中にある液体の高さを、釣り合いの位置から相対的に、距離h_0だけ沈めたとき、液体の最大速度を求めよ。摩擦は無視する。

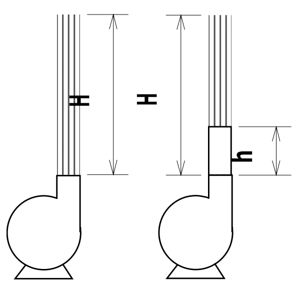

図１．１７７

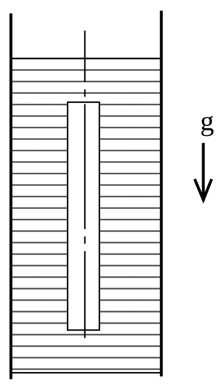

図１．１７９

第２章　熱現象

第１節　気体の法則。熱拡散

２．１　断面積 S の２つのカバーが、円筒容器の両脇の蓋となっている。容器内の空気は排除され真空状態である。両脇の蓋を、１６匹の馬で引っ張る。蓋が開いた瞬間の馬たちの加速度ａを求めよ。大気圧はp_0＝１気圧、１匹の馬の質量はm＝１０００ｋｇ。

２．２　図２．２に示しているように、薄い２重の壁からできた円筒容器を、上からゆっくりと密度ρの液体を注ぎ、縁まで一杯満たす。容器の高さはH、底の全面積は S、内側の円筒の断面積は S/2。内側の円筒と底の間には狭い間隙がある。容器内の液体の質量をmとして、大気圧p_0の値を求めよ。容器の壁は良好な熱伝導体である。液体の飽和蒸気圧は大気圧と比較して小さい。

２．３　質量mの重いピストンを、垂直に立っている口の開いた円筒容器内に差し込む。容器の断面積は S で、これはピストンの面積に等しい。初期状態での円筒内の内圧は大気圧に等しいとする。ピストンを離す。ピストンの速さが最大になった瞬間での容器内の圧力を求めよ。大気圧はp_0、摩擦は無視する。

２．４　２つの半球が結合して球を形成している。結合部分を赤道とする。内部の空気は一部排気されて、極の部分で吊されている。質量Mの錘を反対の極の部分に吊り下げると、半球が剥がれた。では、余計な錘を付けないで、半球を分離させるためには、球内の空気を幾らの温度まで加熱しなければならないか。

　各々の半球の質量はm、外半径はｒ、大気圧はp_0、大気と球の初期温度はT_0。球の熱膨張は無視する。

２．５　蓋の開いている円筒容器に、不揮発性の液体を注ぐ。温度t_0＝０℃のとき、容器の底の圧力はp_0。容器の材料の線膨張率をαとして、温度ｔの時の容器の底での圧力ｐを求めよ。液面は常に容器の縁以下にあるものとする。

２．６　長さの基準器である装置（図２．６）の中心棒Ｃと外枠Ａは、線膨張率α_1を有している。それらの長さは２０℃で同じであり、ｌである。内部のパイプＢの線膨張率はα_2である。熱膨張は基準器の全長ＥＤを変化させないためには、パイプＢの長さＬをどの様に設定しなければならないか。

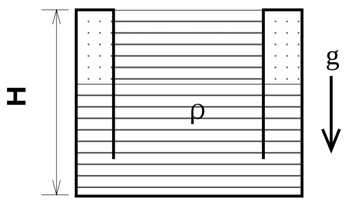

図２．２

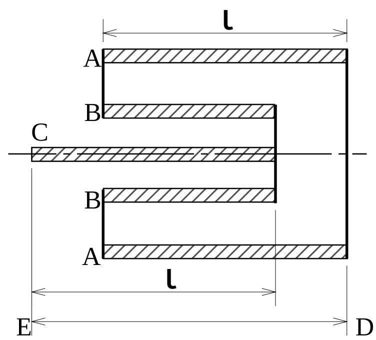

図２．６

２．７　水平と角度φ＝３０°傾いた屋根の上に、質量mの鉛板が横たわっている。屋根に対する鉛の摩擦係数ｋ＝０．７（ｋ＞ｔａｎφ）。温度t_1＝１０℃の時、鉛板の長さはｌ＝１m。一昼夜で、鉛板の温度が最高温度t_2＝２０℃まで上昇し、そしてt_1まで下降する。加熱及び冷却における板の不動点の位置を求めてから、安定したｎ＝３０昼夜間

での鉛板のずり落ちる距離を求めよ。鉛の線膨張率は$\alpha=3\times10^{-5}$／K。

２．８　断面積 S の片方の端が、半田付けされた水平のパイプに、半田付けされた端から距離 l の位置に質量mのピストンがある。パイプの他方の端は開放してある。ピストンの両側には空気があり、その圧力はp_0。半田付けした端を通る垂直軸の周りに、パイプを角速度ωで回転する。ピストンは半田付けした端からどれだけの距離に位置するか。空気の温度は一定とし、摩擦は無視する。

２．９　水銀が満たされているパイプ製気圧計の半田付けした上側に、大気圧p_0の空気を体積Ｖだけ下から入れる（図２．９）。パイプの長さはＨ。パイプの上端からどれだけの距離ｈに、水銀の柱は下がるか。パイプの断面積はＳ、水銀の密度はρ。

２．１０　両端を開放した円筒容器内のピストンＡとＢの間に理想気体がある（図２．１０）。ピストンＢの上に、密度ρの液体があり、容器の上部を満たしている。液柱の高さはH_1。ピストンＢの上の液柱の高さをＨ２とするためには、ピストンＡをどれだけ上方に動かさなければならないか。この際、気体の温度は一定とする。ピストン間の間隔は初期にはｈ。大気圧はp_0。ピストンＢと容器の壁との間の摩擦は無視する。

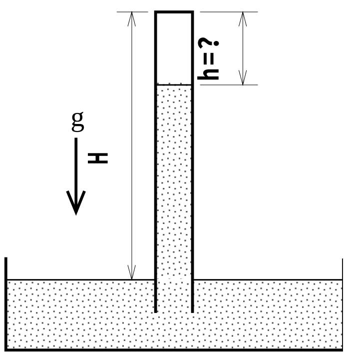

図２．９

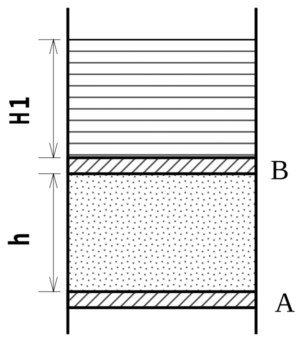

図２．１０

２．１１　水平の仕切で真ん中で仕切られた高さ２ｈの容器は、上の部分には水を、下の部分には大気圧の空気を保持している。水が下方に流れ出すように、仕切に小さい穴を開ける。空気が穴から上部に漏れ始めるとき、容器の下の部分の水の層の厚さはどれだけか。水の密度ρ、空気の温度は一定とみなす。

２．１２　高さｈの密閉された円筒容器に、上部の蓋の部分から、容器の底近くまで垂直に長さ l の細い器壁のパイプを立てる。最初、パイプから空の容器に水を注ぐ。パイプが水で一杯になったとき、容器内の水の高さを求めよ。大気圧はp_0，水の密度はρ_0。パイプと容器の上蓋との接合は密閉している。表面張力は無視する。

２．１３　高さＨ、底面積ＳとＳ／２の密閉された円筒容器Ａ，Ｂが垂直に立っている。これらの容器は、底面積が３Ｓで蓋のない広い円筒容器Ｃの底に固定されている（図２．１３）。A と B の上部はパイプで接続し、底の部分では、３つの容器は細い導管でお互いに接続している。最初、容器 A の底の穴を塞ぎ、てっぺんまで水で満たす。容器 A の穴を開けた後、容器 C での水の高さを求めよ。大気圧p_0、水の密度はρ_0、温度は一定、パイプ、導管、容器の壁の体積は無視する。

２．１４　真空中に、薄い外壁の半径R_1の気体の入った風船がある。その風船の内部には、同じように気体の入った第２の半径R_2の風船が入っている。外側の風船を割る。気

体の温度は一定として、内側の風船の半径を求めよ。第１の風船は、その内部にその半径に逆比例する圧力を作るものとみなす。

２．１５　空気の入った細長い試験管が水平に置かれ、水銀液滴が底から距離l_1のところにある。試験管の空いた口を上方にすると、液滴は底から距離l_2の所に位置する。試験管を回転し、底を上にすると、液滴は試験管の底からどれだけの距離に位置するか。空気の温度は一定とみなす。

２．１６　垂直に置かれ、両端を密閉した細いガラス管ＡＢＣＤＥＦのＡＢとＣＤの部分に空気が、ＢＣとＤＥの部分には水銀が入っている。ＥＦの部分は真空である（図２．１６）。各部分の長さは同じである。下の点Ａでの圧力はｐ０。Ｆ点が下になるように、管を注意深く回転する。Ｆ点での圧力はどうなるか。空気の温度などは一定とする。

２．１７　空気の入ったＵ字管に、各々の質量がmのピストンが、同じ高さｈに取り付けられている（図２．１７）。左側の肘部分の断面積は２Ｓ、右側の肘部分と下の部分の断面積はＳ。下部の長さは３ｈ。管中の空気圧は大気圧のp_0に等しい。ピストンを放す。ピストンが安定する高さを求めよ。ピストンはパイプの垂直部分だけを動くことができる。空気などの温度は一定とする。

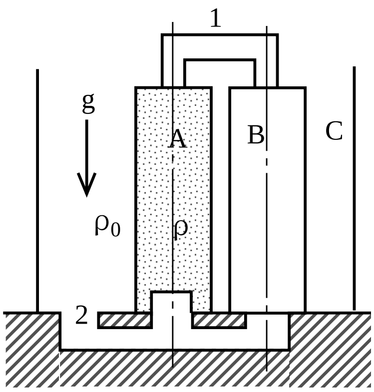

図２．１３

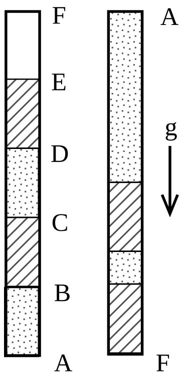

図２．１６

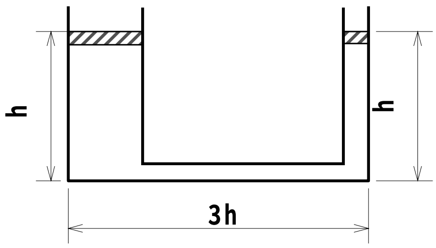

図２．１７

２．１８　不透製の壁でできた長方形の容器が、軽いピストンで左右に分割されている。左には水銀、右には空気。最初、ピストンは釣り合いの状態にあり、容器の左右を等しい長さｌで分割している。温度をケルビン単位で３倍上昇させると、ピストンは右側にどれだけ動くか。水銀と容器の熱膨張、摩擦はともに無視する。

２．１９　空気が満たされたシリンダー容器の底とピストンの間に、栓で閉じられた穴のついた隔壁が固定されている。隔壁と容器の底との間の空気圧はp_1。隔壁の両側の空気の質量は等しい。ピストンを動かし、隔壁の両側の空気圧差がΔｐに等しくなったとき、栓が飛ぶ。この瞬間ピストンは停止する。容器内の圧力p_2を求めよ。空気の温度は一定とみなす。

２．２０　垂直に立っているシリンダ容器に、空気が満たされ、２つの薄く同じ重さのピストンが釣り合い状態にある。ピストン同士の間隔と、下のピストンから容器の底までの間隔は等しく、ｌ＝１０ｃｍである。ピストン間の圧力は大気圧p_0の２倍に等しい。上のピストンが下のピストンの位置に達するように、上のピストンに圧力を加える。そうすると、下のピストンは容器の底からどれだけの所に位置するか。空気の温度は一定とみな

す。摩擦は無視する。

２．２１　気密性を保って水平に接続されたピストン入りの２つのシリンダ容器があるピストンは非伸縮性の軸で接続している（図２．２１）。ピストンの間と底の部分には空気があり、圧力は大気圧ｐ₀である。ピストンの面積はＳ₁、Ｓ₂。ピストン間の最初の体積はＶ₀。隔壁Ａの部分の圧力をｐまで高めると、ピストンはどれだけ移動するか。空気の温度は一定とみなす。摩擦は無視する。Ｂの部分の圧力は大気圧で一定である。

２．２２　固定された２つのシリンダ容器が、パイプで接続されている（図２．２２）。各々のシリンダの断面積はＳ₁、Ｓ₂。シリンダをピストンで閉鎖し、ピストンの間をしっかりと接続する。ピストンで制限された気体は、最初はＶに等しく、系の内圧は外部の大気圧ｐ₀に等しい。その後、外圧をｐまで変化させる。ピストンはどれだけ移動するか。気体の温度は一定とみなす。摩擦は無視する。

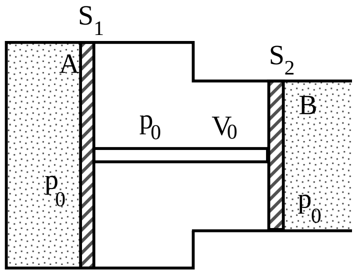

図２．２１

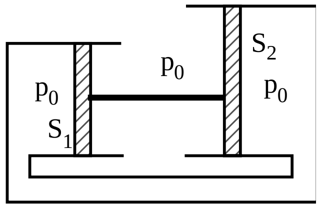

図２．２２

２．２３　２つの接続した密閉されたシリンダ容器内に、同じ温度の理想気体が入っている（図２．２３）。シリンダの断面積は異なり、ピストンで閉じられている。ピストンは棒で連結され、釣り合いの位置にある。ピストンの間は真空である。容器の底からピストンまでの間隔は同じである。シリンダ内部の気体の温度を変化させると、ピストンと底の間隔の半分だけ、ピストンは右側に動いた。気体の温度の関係を求めよ。

２．２４　断面積がＳの表面がざらざらしたパイプに、栓を差し入れ、棒で栓を、棒の全長分だけ内部に押し込む。２番目、３番目の栓も同様にして押し込む。結果として、１番目の栓がパイプの左端から棒の長さの２倍の距離にあったとき、パイプの壁と栓の間の摩擦力を求めよ（図２．２４）。大気圧はｐ₀、空気の温度は一定とみなす。栓の厚さは無視する。

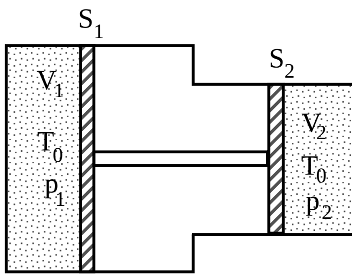

図２．２３

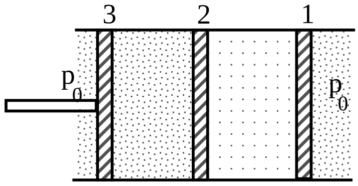

図２．２４

２．２５　断面積 S のパイプが水平に固定され、２つのピストンが入っている（図２．２５）。最初は、左側のピストンは、バネ定数κの変形していない（自由長にある）バネで壁と接続している。ピストン間の気体の圧力は大気圧p_0に等しく、右側のピストンからパイプの右端までの間隔はピストン間の間隔に等しい。右側のピストンをゆっくりと、パイプの右端まで引き抜く。その状態を維持するためには、ピストンにどの様な力を加えなければならないか。気体の温度は一定とみなす。摩擦は無視する。

２．２６　ピストンを持った長さ２ｌ、断面積 S の円筒容器は摩擦係数ｋで、水平面上を動くことができる（図２．２６）。容器の中央に配置したピストンの左側に温度 T0、圧力p_0の気体がある。固定された壁とピストンとの間にバネ定数κのバネが取り付けられている。ピストンの左側の気体の体積が２倍となるためには、この気体の温度を何倍しなければならないか。ピストンと容器の間の摩擦は無視する、容器とピストンの質量は合わせてm、外気圧はp_0。

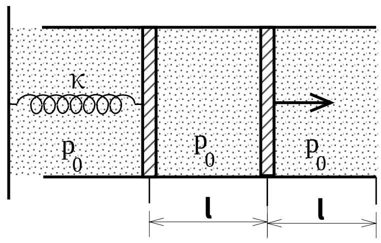

図２．２５

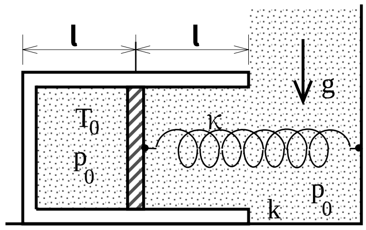

図２．２６

２．２７　垂直に置かれた断面積 S の上部の開いた円筒容器に、底から高さｈの所に、質量mのピストンがある。ピストンはモル質量μの圧縮された気体で保持されている。気体の温度はＴ、大気圧はp_0。容器中の気体の質量を求めよ。摩擦は無視する。

２．２８　ヘリウムで満たされた気球の浮力を求めよ。ヘリウムの質量はm。外皮の内部と底での圧力と温度は同じ。ヘリウムのモル質量はμ、空気のモル質量はμ_a。自由落下の加速度はｇ。外皮の質量は無視する。

２．２９　断面の変化するパイプの中を空気が吹き抜ける。入り口の穴の面積はS_1、出口はS_2（図２．２９）。入り口で空気の速さは一定でv_1，温度はT_1、圧力はp_1。出口では、温度T_2、圧力p_2。出口での空気の速さを求めよ。、

２．３０　モル質量μで、温度Ｔの気体で満たされた閉じられた円筒容器があり、その容量はＶ。容器の自由落下において、容器の底での気体の圧力はｐ。容器が静止しているとき、底と天井との圧力差を求めよ。定常状態、即ち、圧力p_0、温度T_0で、気体のモル体積はＶ０とする。

２．３１　垂直に置かれた閉じられた円筒容器内に、質量mのピストンで、２つに分けられてきたいが入っている。ピストンの下の気体の質量は、ピストンの上の気体の質量よりｎ倍大きい。円筒容器の底の面積は S。釣り合いの状態で、ピストンは容器の中央に位置し、両側での気体の温度は等しい。各々の部分での気体の圧力を求めよ。摩擦及び気体に作用する重力は無視する。

２．３２　長さ２L、断面積Ｓの閉じられたパイプの中央に、ピストンが位置している（図２．３２）。ピストンの左側と右側には、同じ圧力だが、異なった種類の気体が入ってい

る。ピストンが片方の気体には透過性を持っているならば、ピストンはどれだけの距離移動するかピストンとパイプの間の摩擦はF。気体の温度は一定とみなす。

２．３３　垂直に配置され、密閉された円筒容器（高さ２ｈ、底の面積 S）に、質量ｍの重いピストンが入っている。最初、ピストンは容器の体積を２等分して釣り合っている。ピストンの上部には圧力p_{He}のヘリウムが、下には酸素が入っている。ピストンはヘリウムは透過するが、酸素は透過しない。一定の時間たつと、ピストンは上に移動し、新しい釣り合いの状態となる。ピストンの移動距離を求めよ。気体の温度は一定、摩擦は無視する。

２．３４　皿に、ｍ＝３０ｇの水を注ぐ。水の上に、薄い器壁でできている暖めた円筒のコップを、逆さにして配置する。コップの温度が、周りの空気の温度Ｔ＝３００Ｋまで下がった時点で、水前部がコップの中に吸い込まれるためには、コップの温度を最低何度まで加熱しておかなければならないか。大気圧はp_0＝１０００００Ｐａ、コップの断面積はＳ＝２０cm^2、高さはＨ＝１０ｃｍ、水の密度はρ_0＝１ｇ／cm^3。重力加速度はｇ＝１０ｍ／s^2とみなす。蒸発現象、表面張力、コップの膨張などは無視する。

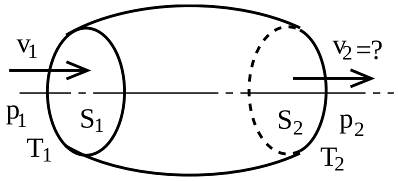

図２．２９

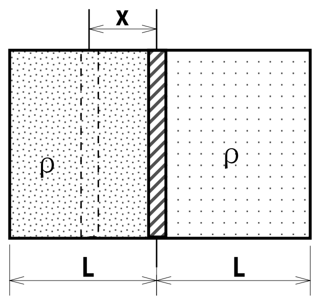

図２．３２

第２節　蒸気

２．３５　t_{01}＝９０℃の水に、白熱した白金屑を投げ入れる。沸騰の停止後、水面の高さが最初と同じに保たれた。白金屑の最初の温度t_{02}を求めよ。

　水の比熱はc_1＝４．１９×10^3Ｊ／（ｋｇ・K）、水の蒸発熱は蒸発温度t_p＝１００℃の時、λ_1＝２．２６×10^6Ｊ／ｋｇ、白金の密度はρ_2＝２１．４×１０００ｋｇ／m^3、白金の比熱はc_2＝１２８Ｊ／（ｋｇ・K）。加熱中における水の密度の変化は無視する。

２．３６　熱交換機はパイプからできており、その内部に蛇管が入っている。蛇管に、１秒間に１ｋｇの水蒸気が入り込む。即ち、t_1＝１００℃で、q_1＝１ｋｇ／ｓの蒸気の流量。蒸気に対して、q_2＝１０ｋｇ／ｓの流量の水が流れる。入り口での水温t_2＝２０℃として、熱交換機での出口での水の温度を求めよ。

　水の気化熱はλ＝２．２３×10^6Ｊ／ｋｇ、水の比熱はｃ＝４．１９×10^3Ｊ／（ｋｇ・K）。

２．３７　容量Ｖ０＝１．１リットルの密閉容器の中に、質量Ｍ＝１００ｇ、温度１００℃の熱湯と蒸気が入っている。蒸気の質量を求めよ。

　水の密度はρ_0。容器中には空気はないとみなす。

２．３８　蒸気釜が、温度t_1＝１００℃の水と、空気と飽和蒸気で満たされている。釜

の内部の初期の圧力は$p=3p_0=3\times10^5$Ｐａ。釜の温度を$t_2=10$℃まで下げたとき、釜の内部の圧力を求めよ。１０℃での水の飽和蒸気圧は無視する。

２．３９　円筒が、水の入った開放容器内の壁に逆さまに固定されている（図２．３９）。円筒の上部は空気で満たされており、その圧力は大気圧に等しい。円筒の底の高さは、水面から$h=1$ｃｍ。水の温度は$t_0=0$℃。空気と水を１００℃まで（水を沸騰まではさせない）加熱したならば、円筒中の水面はどれだけ移動するか。水及び円筒の熱膨張、$t_0=0$℃での水の蒸気圧は無視する。容器は大きい。

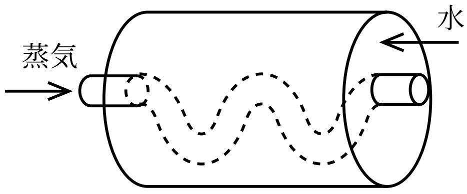

図２．３６

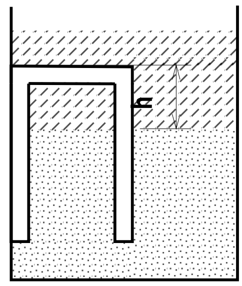

図２．３９

２．４０　容器内の水面の上に、ピストンで$p_1=3\times10^5$Ｐａまで圧縮された空気がある。ピストンから水面までの距離と空気の層の厚さは同じで$h=2$ｃｍ。空気と水の温度は$t_1=6$℃。水の入った容器を、$t_2=100$℃まで加熱すると、ピストンは水面からどれだけの所に位置するか。t_1での水蒸気圧及び摩擦は無視する。

２．４１　ピストンのついた円筒容器内に、温度Ｔ、圧力ｐの体積Ｖ＝１モルの水蒸気が入っている。この温度における飽和水蒸気圧は２ｐに等しい。体積が４分の１になるように、ピストンを動かす。温度は変化しないものとして、凝縮した水の質量を求めよ。水のモル質量$\mu=0.018$ｋｇ／モル。

２．４２　両側面が閉じられた水平にあるパイプの中間に、ピストンがある。ピストンの左右には、圧力ｐの蒸気があり、圧力２ｐで凝結する。パイプを垂直に立てる。これにより、ピストン下の体積は４分の１になる。ピストンの面積を S として、ピストンの重さを求めよ。摩擦は無視できるほど小さい。両隔室の温度は同じであり、一定である。

２．４３　円筒型パイプで、閉じた端面から距離 L と２ L の位置に２つのピストンがある。これらは摩擦がなく動くことができる（図２．４３）。左側には圧力ｐの水蒸気が、右側には同じ圧力の空気が入っている。水の飽和蒸気圧は２ｐである。右側のピストンをゆっくりと距離ｌだけ動かす。左側のピストンはどれだけ動くか。水蒸気と水の温度は一定とみなす。

２．４４　空気と飽和水蒸気の入った長さｌの試験管が、開放端を水面に接している（図２．４４）。試験管を半分だけ水に沈める。試験管中の水面の高さがｈとなった。水の飽和蒸気圧を求めよ。水蒸気と空気の温度は一定とみなす。大気圧はp_0、水の密度はρ_0。

２．４５　水の入った容器を閉じているピストンをどれだけ高く引き上げれば、容器内の水が全部気化するか。水の層の厚さはｈ、水の密度はρ_0、水のモル質量はμ、水の飽和蒸気圧はｐ。水と蒸気の温度Ｔは一定に保つ。容器内に空気はない。

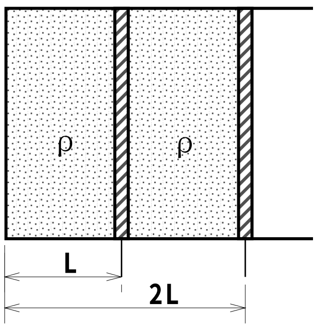

図2．４３

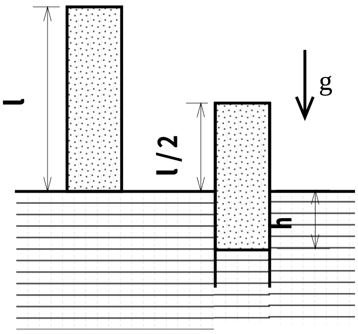

図2．４４

２．４６　温度Ｔの円筒容器内にピストンの上部に、飽和蒸気がある。ピストンを等温過程で押し込むことで凝縮する蒸気の質量を求めよ。この際の仕事量をＡとする。蒸気のモル質量はμ。

２．４７　温度Ｔの円筒容器内のピストンの下に飽和蒸気がある。ピストンの等温圧縮において、熱量Ｑが発生した。この過程での全仕事を求めよ。蒸気のモル質量はμ、水の気化熱はλ。

第３節　熱過程図。熱過程におけるエネルギー保存法則

２．４８　理想気体がｐ－ｖ座標系に表示（図２．４８）された過程状態１→２→３→４→１を行う。この過程を、ｐ－Ｔ座標系で描写せよ。

２．４９　ｐ－Ｔ座標系で、１モルの気体のサイクル過程図が、長方形ＡＢＣＤを形成している。ここで、辺ＢＣとＡＤは圧力Ｐ１，ｐ２、辺ＡＢとＣＤは温度T_1，T_2である。気体の最大体積と最小体積を求めよ。気体定数はＲとする。

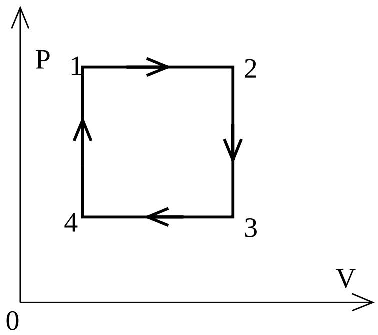

図2．４８

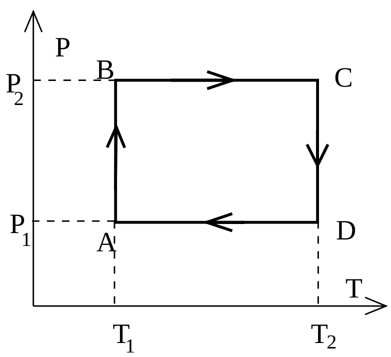

図2．４９

２．５０　１モルの理想気体が、ｐ－Ｔ座標系で描写されている状態１→２→３→４→１の順次過程を行う（図２．５０）。ここで、$T_1 = T_3 = 2T_0$、$T_4 = T_0$、$T_2 = 4T_0$，$p_1 = p_2 = 2p_0$，$p_3 = p_4 = p_0/2$である。この１サイクルで気体のなす仕事Wを求めよ。

２．５１　１モルの理想気体が図２．５１に描写されたｐ－Ｖ座標系で過程を行う。直線部分１－２と３－４の延長線は座標の原点を通過し､曲線部１－４と２－３は等温である。この過程をＴ－Ｖ座標系で描写し、体積V_1と$V_2 = V_4$が概値として、V_3を求めよ。

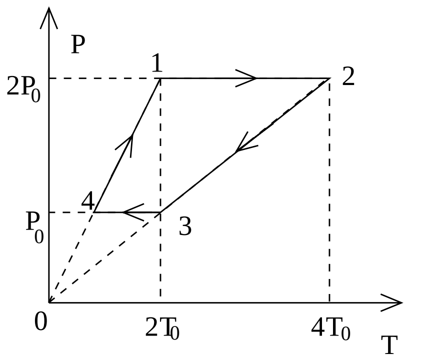

図２．５０

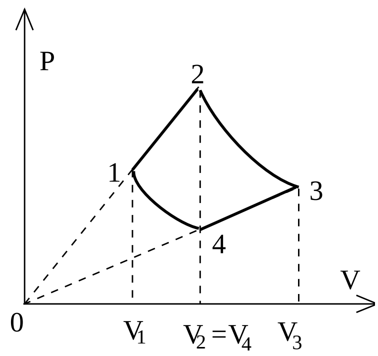

図２．５１

２．５２　内部エネルギーＵ＝ｃＴである１モルの気体が図２．５２で描写している過程を行う。気体は順次１→２→３を経由する。この過程で、気体に吸収される熱量Ｑを求めよ。体積V_1，V_2、及び圧力P_1，P_2は概値とする。

２．５３　図２．５３のＰ－Ｖ図に、気体の膨張過程が描写されている。気体は圧力Ｐ、体積Ｖの状態１から、圧力Ｐ／２，体積２Ｖの状態２に移行する。気体のもらう熱量Ｑを求めよ。線分１－２は直線である。

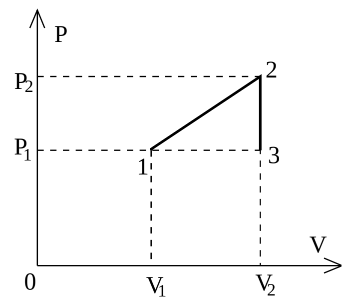

図２．５２

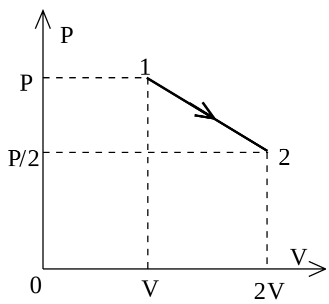

図２．５３

２．５４　内部エネルギーＵ＝（３／２）ＲＴの１モルの理想気体を最初は加熱し、続いて冷却する。Ｐ－Ｖ状態図で閉サイクル１→２→３→１で、１－２，３－１は直線部分であり、各々Ｐ軸とＶ軸に平行である。２－３は等温線である。冷却過程において、気体から放出される熱量Ｑ’を求めよ。状態１での気体の圧力と体積はP_1とV_1、状態２での気体の圧力はP_2である。

２．５５　両端が閉じている断熱性円筒容器が質量Ｍのピストンで仕切られている。ピストンの両側には１モルの気体が入っており、その内部エネルギーはＵ＝ｃＴである。気体と容器の合計質量はｍ。短時間の衝撃で、ピストンの軸方向に速さｖを与える。ピストンの動きが静まったとき､気体の温度はどれだけ変化しているか。ピストンと容器との摩擦、ピストンの熱容量は無視する。

２．５６　長い密閉したパイプ中に、質量ｍのピストンが２つあり、それらの間に理想気体が入っている。理想気体の質量はピストンの質量に比較して充分に小さい。パイプの他の部分は真空である。最初、右側のピストンは速さｖ、左側のピストンは速さ３ｖを有していた（図２．５６）。パイプの壁とピストンは熱不導体であるとして、気体の最高温度を求めよ。最初、気体の温度はT_0。１モルの機体の内部エネルギーはＵ＝ｃＴ。摩擦は無視する。

２．５７　垂直に立っている滑らかな円筒容器内に、重さのない面積 S のピストンがあり、大気圧P_0、温度T_0の空気が入っている。容器の内部は、小さい穴の開いた固定された水平の仕切で、２つの同じ体積に分割されている。ピストンの上に、質量ｍの錘を載せる。その作用により、ピストンはゆっくりと仕切まで沈む。壁とピストンは熱を伝えないものとして、容器内部の空気の温度を求めよ。気体１モルの内部エネルギーはＵ＝ｃＴ。

２．５８　２つのフラスコが栓付きのパイプで連結され、栓は閉じている。フラスコ内には同じ温度$T_1=T_2$であるが、異なった圧力の空気が入っている。栓を開けた後、空気の一部分は片方のフラスコから、他方に移る。時間が経過すると、両方の圧力は等しくなる、気体同士の動きは停止し、フラスコの一方の温度がT'_1となる。この時、他方のフラスコ内の気体の温度はどうなるか。空気１モルの内部エネルギーはＵ＝ＣＴ。連結パイプの体積は無視する。壁との熱交換は考慮しない。

２．５９　断面積が S の垂直に立っている円筒容器内に、質量ｍのピストンがあり、その下に気体が入っている。気体は仕切により、２つの同じ体積に分割されている。容器の下の部分の気体の圧力はＰ，外部の圧力はP_0、容器内の２つの部分の気体の温度は同じでＴ。仕切を取り外すと、ピストンはどれだけ移動するか。１モルの気体の内部エネルギーはＵ＝ｃＴ。容器の２つの部分の高さはｈ。容器の壁とピストンは熱を伝えない。摩擦は無視する。

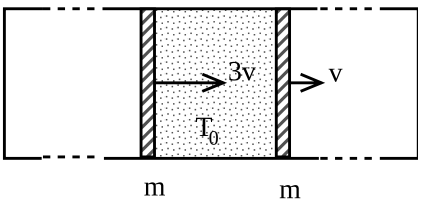

図２．５６

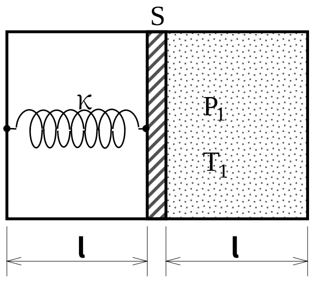

図２．６０

２．６０　長さ２ｌ、断面積 S の熱絶縁材料で密閉された円筒容器の真ん中に、ピストンが取り付けている（図２．６０）。容器の右半分には温度 T_1、圧力 P_1 の気体が入っている。左側は真空である。ピストンは左側の端面に、バネ定数κのバネで接続されている。ピストンを放したとき、達成さっる気体の温度 T2 を求めよ。バネの自然長は２ｌ、気体１モルの内部エネルギーは U=cT。摩擦、容器とピストンの熱容量は無視する。

２．６１　熱絶縁性の長い円筒容器があり、垂直に立っている。底から高さｈの所に質量ｍのピストンが糸で吊されている。ピストンの下には１モルの気体があり、最初はこの気体の圧力は大気圧P_0で、温度はT_0である。ピストンを高さ２ｈまで持ち上げるために、気体にどれだけの熱量を与えるべきか。気体１モルの内部エネルギーは U=cT。摩擦、容

器とピストンの熱容量は無視する。

２．６２　ピストンで密閉された水平に配置された熱絶縁性の円筒容器内に、大気圧Ｐ０の半分の圧力で、温度Ｔの１モルの気体が保持されている。ピストンは容器の容量を増加させるように自由に動くことができ、逆方向には、す突破で動きが押さえられる（図２．６２）。気体の体積を２倍とするためには、気体にどれだけの熱量が必要か。。気体１モルの内部エネルギーは U=cT。

２．６３　長さが同じｌの２つのシリンダがあり、断面積はＳとαＳで、直結している（図２．６３）。両方のシリンダの中間にピストンがあり、固体棒で連結している。３つの各室に理想気体が入っている。気体の温度は３室で同じＴ。第１室の圧力はＰ，第３室の圧力はβＰ。摩擦は小さく無視することができる。ピストンは釣り合いの位置にある。系に熱量Ｑを加えて加熱するが、全３室の温度は等しくなるように加熱する。第１室の圧力の変化を求めよ。気体１モルの内部エネルギーは U=cT。シリンダとピストンの熱容量は無視する。

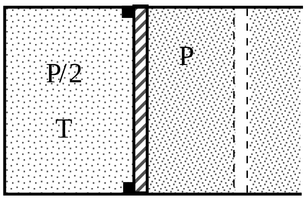

図２．６２

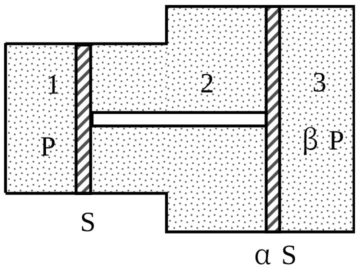

図２．６３

２．６４　質量Ｍのピストンで密閉された水平にあるシリンダ容器の内部に気体が入っている。気体を加熱する。等加速で動いてピストンは速さｖを得た。気体に加えた熱量を求めよ。１モルの気体の内部エネルギーはＵ＝ｃＴ。容器とピストンの熱容量と外部の圧力は無視する。

２．６５　ピストンのついた水平に配置している断面積 S のシリンダ容器内に、１モルの気体が圧力 Ｐ $_0$、温度 T_0 で入っている。外気圧は常にいっていで P_0（図２．６５）。外部の熱源を用いて気体を加熱する。ピストンは動き始める。この際、滑り摩擦力はｆである。熱量の半分が更に気体に送り込まれ、その分が容器の壁とピストンの間の摩擦に諸費されるものとして、外部熱源から気体が得た熱量 Q に対する、気体の温度 T の依存性を求めよ。この依存性のグラフを描写せよ。１モルの気体の内部エネルギーはＵ＝ｃＴ。容器とピストンの熱容量は無視する。

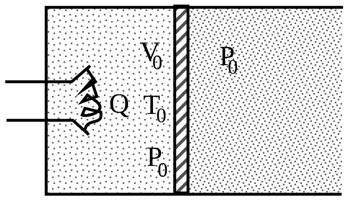

図２．６５

第３章　電気と磁気

第１節　電界強度、ポテンシャル、静電場エネルギー

３．１　帯電していない金属製の円筒が、中心軸の周りに一定の角速度ωで回転している。中心軸から距離ｒだけ離れた円筒内での電界強度Ｅを見いだせ。電子の荷電量をｅ、質量をｍとする。

３．２　地表面では、平均的な電界強度Ｅは１２０Ｖ／ｍで、地表面に対して垂直方向を向いている。これより、地球の総電荷量Ｑを見いだせ。地球の半径Ｒ＝６４００ｋｍ、真空の誘電率ε_0＝８．８５×10^{-12}Ｆ／ｍ。

３．３　辺が無伸縮性の糸でできている菱形の頂点に荷電q_1，q_2，q_1，q_2があり、釣り合い状態にある。荷電q_1のある頂点のなす角度を求めよ。

３．４　地球の重力場に垂直に位置している半径Ｒのリングに沿って、全て同じ質量ｍの小球が転がることができる。
（１）どの様な荷電量を与えると、見込み角度が１２０°の水平な弦の両端に２つの球が配置するであろうか。弦がリングの上にある場合と、下にある場合について考察せよ。
（２）３つの球があり、それらが正三角形を作る。２つの球は自由に動くことができ、その電荷量は各々ｑ。もう一つの球は固定され、その電荷量は未知である。この固定球が、リングの垂直な直径の最上点にある場合と最下点にある場合について考察せよ。
（３）２つの球がリングの垂直直径の両端に固定されている。その荷電量はq_1，q_2である。もう２つの可動球にどの様な荷電量を付加すると、これら４つの球が正方形の頂点に位置するか。
（４）４つの球があり、それらは正方形の頂点を形成するとする。そのうち、２つの可動球は同じ荷電量を有している。残りの２つは見込み角が９０°をなす水平な弦の両端に固定されている。さて、この２つの固定球にどの様な荷電量を付加しなければならないか。弦がリングの中心より上にある場合と下にある場合について考察せよ。

３．５　地球の重力場に垂直に位置し、表面電荷密度σを有する無限平面に、一様に帯電した球（質量ｍ、荷電量ｑ）を糸で固定する。糸の張力Ｔと垂線に対する糸の傾斜角度αを求めよ。耐電平面の電界強度はＥ＝σ／（２ε_0）で与えられる。

３．６　２枚の無限平行導体板がある。２枚の板を一体とみなした状態で、総表面電荷密度は１枚目でσ１，２枚目ではσ２である。各々の板の両面での電荷密度を求めよ。

３．７　導線でできたリングに電気量ｑを帯電させると割れてしまう。リングの直径を３倍、導線の直径も３倍した新しいリングとした。この新しいリングが割れるためにはどれだけの電気量を付加しなければならないか。

３．８　一様に帯電した棒ＡＢがＯ点に電界強度E_0を作り出し、その電位がφ_0に等しい（図３．８）。ＡＯＢ面内に、同型で同じように帯電した棒Ａ’Ｂ’を配置したならば、Ｏ点における電界強度と電位はどうなるか。ここで、ＡＯ＝ＢＯ＝Ａ’Ｏ＝Ｂ’Ｏ、Ａ’Ｂ’とＡＢは垂直。

３．９　正三角形の２辺は同じく一様に帯電した小棒からできている（図３．９）。この三角形の中心点Ｏにおいて、電位はφ_0、電界強度はE_0である。２本の棒の内の１本を取り去ったとき、Ｏ点での電位φ、電界強度Ｅの大きさとベクトルの方向を見いだせ。

３．１０　２等辺直角三角形の各頂点に３つの同じ導体球が配置されている。直角を挟ん

でいる辺は球の半径に比較して充分に長い。$l >> r$（図３．１０）。最初は、球１だけが電荷を有している。続いて、球１と２を導線で結線する。その後、導線を外す。続いて、同じ手順を球２と３で行う。そして、球３と１でも行う。このようにした結果、各球にはどの様な電荷が残っているか。

３．１１　異なる荷電量q、$-q$を持った小さな荷電体が、接地された球からl_1，l_2の距離だけ離れて配置している（図３．１１）。球の半径rは小さい。系は大地から充分離れている。荷電体から球に作用する力を求めよ。球の中心を頂点としてなす２つの荷電体のなす角度は９０°とする。

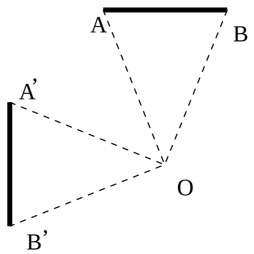

図３．８

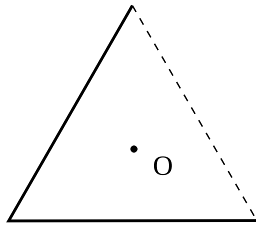

図３．９

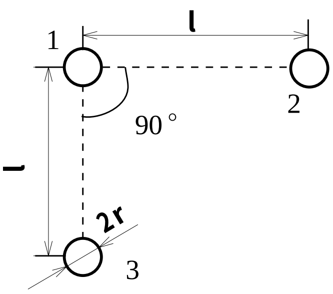

図３．１０

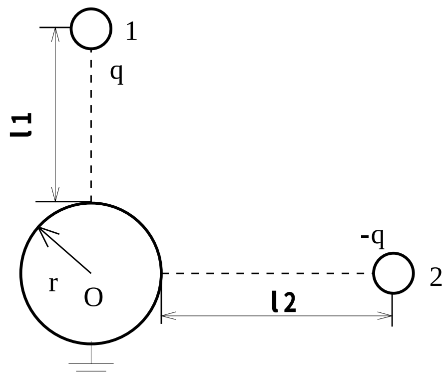

図３．１１

３．１２　両方ともqに帯電した２つの金属球が、お互いに距離l離れて配置している。最初の球を接地した後、接地電線を取り外す。２番目の球にも同様の手順を施す。再び、同じことを繰り返し続ける。２n回繰り返したとき、球の帯電量にどの様な関係があるか。ここでnは整数である。２つの球は大地から充分離れており、球の半径rはlより充分に小さいとする。

３．１３　荷電量がqで半径Rの球の内部に、半径rの接地された導体球がある。２つの球の中心は一致している。大きい球の中心から距離lにおける外側の電界強度Eを求めよ。

３．１４　荷電量eの不動の陽子の周りで、半径rの円周に沿って４個の電子（荷電量$-e$、質量m）が正方形を形成して回っている。電子の速さvを求めよ。

３．１５　電子と陽電子が不動の質量中心の周りに回転し、ポジトロニウム原子を形成している。粒子のポテンシャルエネルギーUと運動エネルギーKの関係を求めよ。電子と陽電子は荷電の法則によってのみ反発している。

３．１６　互いに異なって帯電した質量m_1，m_2の粒子が不動の質量中心の周りを、電気引力の相互作用のもとで動いている。質量m_1の粒子の速さを、その方向を変えずに瞬間的にｎ倍する。粒子がお互いに遠方に別れる最低のｎは幾らか。粒子の帯電量の大きさは等しいとする。

３．１７　水素原子をイオン化する。即ち、荷電量$e=-1.6\times10^{-19}$Ｃの荷電量を持った電子を陽子から充分に遠方に引き離すためには、どれだけの仕事を行わなければばならないか。単位をｅＶで求めよ。水素原子の直径は$d=10^{-8}$ｃｍ。$1\,\mathrm{eV}=1.6\times10^{-19}$Ｊ。

３．１８　２つの電子の各々の速度v_1，v_2は同じ平面内にあり、電子間の間隔はｌで、電子同士を結んでいる線分と角度αをなしている（図３．１８）。速度v_1とv_2の大きさがともにｖに等しいとしたら、電子が近接する最小距離は幾らか。電子の荷電量はｅ、質量はｍ。

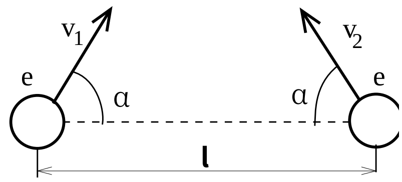

図３．１８

３．１９　振り子ＯＡは軽くて細く、かつ絶縁性の長さｌの軸でできており、その先には質量ｍの球があり、荷電量ｑを有している（図３．１９）。２つ目の球は荷電－ｑを有し、Ｃ点に固定されている。ＯＢ＝ｌで垂直。ＢＣ＝ｌで水平。球がＢ点を通過する瞬間における振り子の軸に作用する力を見いだせ。初期状態で振り子の速度はゼロ、水平から角度４５°傾いている。

３．２０　帯電した小球が伸びない絶縁糸で吊されている。糸の長さはｌ（図３．３０）。小球の質量はｍ、荷電量はｑ。支点と同じ高さで、それから距離２ｌの所に荷電－ｑが配置されている。小球が円周上を動き、最上点に達するために、最下点で小球が有するべき最低の速さを求めよ。小球の大きさは無視する。

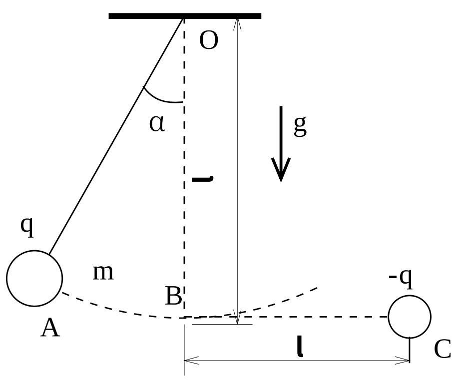

図３．１９

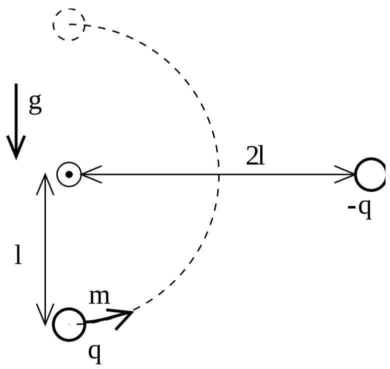

図３．２０

３．２１　同じ質量ｍである２つの小球を、重さのない長さｌの棒で接続して、電荷ｑ、－ｑを与える（図３．２１）。この系は一様な電界強度Ｅの場の中で円周に沿って動く。棒がベクトルＥの方向を向いているとき、体電球の速さはv_0である。棒が９０°回転したとき、棒に作用する張力Ｔを求めよ。重力は無視する。

３．２２　質量Ｍの丈夫で細い絶縁性リングが均一にｑだけ帯電している（図３．２２）。Ａ点付近に、リングの半径に比例すると充分小さい、大きさｌの小さい間隙がある。リングを水平に配置し、リングの中心Ｏを通過する垂直軸は自由に回転する。ＯＡに垂直に水平な一様電場Ｅをかけると、最初静止していたリングが回転する。リングの円周の回転の最大速度を求めよ。

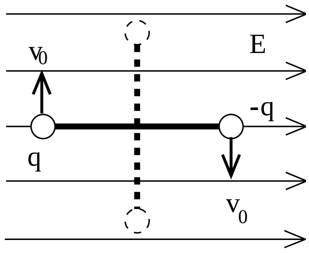

図３．２１

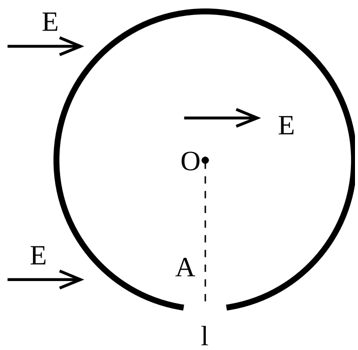

図３．２２

３．２３　質量ｍで、荷電量ｑの２つの小球が２本の棒に沿って転がる。この棒は変形せず、かつ不伝導体の同じものである。棒は垂直平面内に配置され、各々の棒は水平と角度αをなして傾斜している（図３．２３）。最初の基点から、どれだけ最高の高さまで小球は登るか。最初は、小球は静止し、お互いの間隔はＬで、棒の端から距離ｌの所に位置していた。摩擦は無視する。

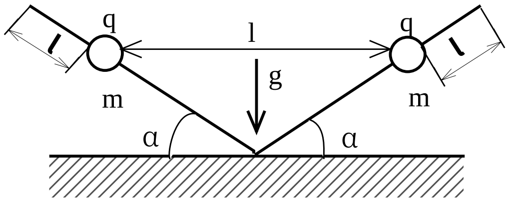

図３．２３

３．２４　質量ｍ、荷電量ｑの同じ３つの球が、長い棒に沿って転がることができる。最初、これらの球がお互いに間隔ｌだけ離れて静止していたとすれば、お互いに充分な距離に離れたとき、これらの球はどの様な速さを有するか。

３．２５　同じ質量ｍで、同じ荷電量ｑに帯電した２つの球がバネで結びついている。それらの間隔が、ｌから４ｌまで変化するように、２つの球は振動する。自由状態でバネの長さは２ｌとするとき、バネ定数κを求めよ。

３．２６　２つの小物体が、長さｌの糸で連結し、水平面においてある。各々の帯電量はｑに等しい。質量はともにｍである。糸を焼き切ると、物体は水平面上を転がる。摩擦係

数をｋとして、物体の最大速度を求めよ。

３．２７　ざらざらした水平面に荷電量q_1に帯電体が固定してある。質量ｍで荷電量q_2の物体がこの面上を移動する。最初、物体は静止し、荷電体から距離l_0離れていたとすれば、この物体は荷電体からどれだけの距離において停止するか。q_1とq_2は同符号、摩擦係数はｋ。

３．２８　質量がｍで同じ、荷電量もｑで同じ３つの物体が、軽くて伸びない長さｌの絶縁性の糸で連結され、正三角形を形成している。糸の一本を焼き切る。各々の物体の最大速度を求めよ。

３．２９　隔ＡＢ＝ｌのＡ点とＢ点に、荷電体９ｑ、－ｑが固定されている（図３．２９)。線分ＡＢに沿って、これらの荷電体に向かって、質量ｍ、荷電量ｑの粒子が動いている。この粒子がＢ点に達するためには、遠方にあったときに粒子はどれだけの最小の速さを持っていなければならないか。

３．３０　符号の異なった帯電体q_1，q_2が間隔をｌとして固定してある。q_2と同符号の荷電体q_3を有する質量ｍの粒子が、荷電体q_1の側からq_1とq_2を結ぶ直線に沿って、固定された帯電体に飛んでくる。粒子がq_1に達するためには、粒子が充分遠方にあったとき粒子の持つべき最小の速度を求めよ。

３．３１　質量ｍの小球が、バネ定数ｋのバネに吊されており、荷電ｑを持っている。初期状態時は、バネが変形しないように球を保持しておく。球の下方、距離ｈの所に－ｑに帯電した質量ｍの球がおいてある（図３．３１)。上の球を放つ。ｑの帯電量が最低で幾らの時、下の球は飛び上がるか。

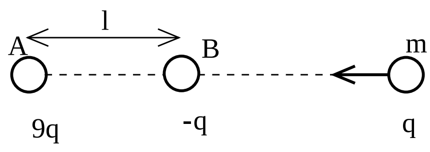

図３．２９

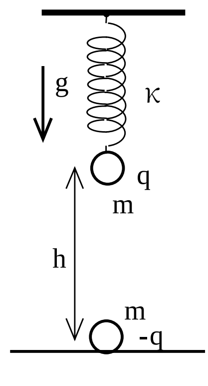

図３．３１

３．３２　荷電量ｑで質量ｍの球が、－ｑに帯電した固定した帯電体から、距離ｌだけ離れた下方にある。下の球が大地に落下するためには、球に下方向に最低どれだけの速さを付加しなければならないか。大地までの距離は充分にあり、運動は重力場で行われる。

３．３３　半径ｒの球が半径Ｒの球内にある。２つの球の中心は一致している。内球は一様に帯電し、その帯電量はq_1である。球の間で半径方向に、各々q_2にの帯電した多数の微少球が動く。微少球は球の面に順番に衝突する。内球に衝突するとき、各微少球は運動エネルギーＥｋを有している。圧力は内球への微少球の衝突によるものとし、内球における平均圧力がＰに等しいとして、外球における平均圧力を求めよ。衝突は弾性的である。荷電量q_1とq_2は同じ符号。微小球同士の相互作用は無視する

３．３４　半径ｒ＝10^{-3}ｃｍの４つの絶縁球があり、各々の中心に荷電量ｑ＝10^{-7}Ｃを有している。これらの球はお互いに接触して、直線上に配置している。これらの球配置から、ピラミッド（正四面体）を形成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。重力の影響は無視する。

３．３５　半径ｒ＝10^{-2}m、荷電量q_1＝－10^{-8}Ｃの固定されている金属球に極めて小さい穴が開けられている。球から充分に離れた距離で、v_0＝１ｍ／ｓの速さを有している質量ｍ＝10^{-6}ｋｇ、帯電量q_2＝10^{-9}Ｃの点電荷が、球の中心と穴を結ぶ直線に沿って飛行する。球の中心での点電荷の速さは幾らか。

３．３６　質量ｍ、荷電量q_1の粒子が、帯電したリングの中心軸に沿って、速さv_0で近づく。粒子がリングを通り抜けるためには、リングから充分に遠方にあるとき、粒子は最低どれだけの速さを有していなければならないか。リングの質量はm_2、半径はｒ、荷電量はq_2。リングは固定されていない。

３．３７　絶縁体性の薄い殻でできている半径ｒ、質量m_1の球が一様に帯電し、直径方向に相対して小さな２つの穴が開いている。球の電荷量はq_1。最初、球は静止している。穴と一致した直線に沿って、遠方から質量m_2，q_1とは反対符号を持った荷電量q_2の粒子が速さｖで移動してくる。q_2が球の内部にいる時間を求めよ。

３．３８　加速器の１本の軸に沿って、順々にｎ段に配置された金属製パイプ（半径はその長さに比べて充分に小さいと見なせる）内を、ある線源から発射された帯電した粒子の束が通過する。パイプは交互に、一定の周波数と電圧の電源に異なった極でスイッチングされる。１番目のパイプの長さはｌ。次のパイプの長さは、片方の加速間隙（パイプの端同士の空間）から次の加速間隙まで荷電粒子が飛行する時間内に、電場は符号を換え、再び加速を行うように選択する。パイプの間隙の長さは無視できるものとして、各パイプの長さを見いだせ。１番目の加速間隙（線源と１番目のパイプの間隙）に、粒子は速さv_0で入射し、得られる粒子の速さは光速より充分に小さいとする。

３．３９　２つの半径ｒの非金属製の球が、中心を４ｒ放して固定してある。各球の表面には荷電量q_1が一様に分布している。球を結ぶ軸上で、右側の球には２つの小穴が開いている。右側の球の穴を通過するためには球の中間に置かれた質量ｍ、荷電量q_2の粒子の最低速度はいかほどでなければならないか。荷電量q_1とq_2は同符号。

３．４０　半径ｒの２つの非金属製球が、同じ正の電荷で一様に帯電し、中心の間隔が２．４ｒ離れて固定してある。球同士の中心線に沿って、微少な穴を開ける。この中心線に沿って、球同士の中間点でほぼ０の速さの負に帯電した粒子が動きはじめる。粒子はどの位置で安定するか。

３．４１　２つの絶縁体の球の中心が、重さの無視できる細い棒で固定されている。棒に沿って、３番目の球が転がることができる。全ての球は同型で同じ質量である。各球の表面には均一に各々荷電ｑが分布している。最初、３番目の球の中心は、左側の球の中心から距離ｌだけ、右側の球から距離２ｌだけ離れていたとして、真ん中の球の最大速度を求めよ。最初、全ての球は静止している。系全体は固定されていない。摩擦は無視する。

３．４２　質量ｍ、半径ｒの２つの球の中心が、距離１０ｒ離れて配置されている（図３．４２）。球の片方にはｑ、他方には－ｑの荷電が均一に分布している。右側の球は遠く離れた壁に糸で結びつけられている。この糸は張力Ｔまで破断に耐えうる。左側の球を放す。衝突は完全不弾性として、衝突した後の球同士の速さを求めよ。荷電は再配分しない。

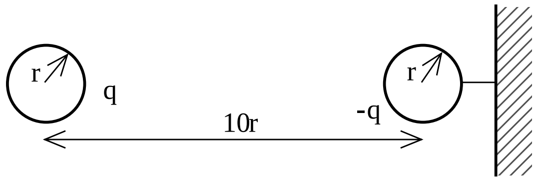

図３．４２

第２節　電気容量。コンデンサ

３．４３　平板コンデンサが、面に垂直な一様電界強度Ｅ＝１０００Ｖ／ｍの外場の中にある。コンデンサの面積Ｓ＝０．０１$ｍ^2$。コンデンサが導線で閉じられると、各々の極板にどの様な電荷が現れるか。コンデンサの極板は閉じるまで帯電していない。

３．４４　一様な外部電界Ｅの中に、平板コンデンサがある。Ｅの方向はコンデンサの場の方向と一致している。面積Ｓの極板には一様に電荷ｑと－ｑが分布している。電極を交換してコンデンサをひっくり返すためには、どれだけの仕事が必要か。電極間隔はｄ。

３．４５　面積 s, 厚さｄの導体板が一様な電場Ｅの中にあり、電界の方向は板に垂直である。電場を一瞬のうちに消したら、導体にはどれだけの熱がわき出るか。

３．４６　容量Ｃの２つの同型の平板コンデンサが、並列に接続され、電位差Ｕまで帯電されている。２つのうちの片方のコンデンサの２つの電極を遠方に引き出す。その様にしたときの他方のコンデンサの電位差とそのエネルギーを求めよ。

３．４７　？　電子が速さ$ｖ_0$で、帯電した平板コンデンサの中心線に沿って入射する（図３．４７）。コンデンサの長さはｌ。電子がコンデンサを出た時点で、極板ＡＢを横断するためには、コンデンサ中の電界を逆方向に変えるべき時間を求めよ。時間の原点は電子がコンデンサに入射した時点とする。

３．４８　電極板の間隔が２ｌである平板コンデンサの中央に、帯電したグリッドがある（図３．４８）。グリッドと正に帯電した電極板Ｂとの間の電位差は、グリッドと負に帯電した電極板Ａとの間の電位差の２倍である。極板Ａからこの面に対して角度αで、正に帯電した粒子が飛び立ち、極板Ｂからｌ／２の位置に到達する。粒子の飛び出した位置から、それがＡ面に戻ってくる地点までの間隔を求めよ。

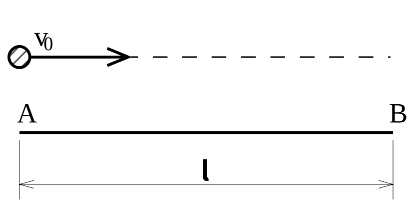

図３．４７

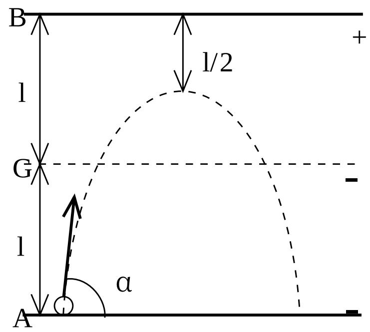

図３．４８

３．４９　平板電極からなる４極真空管がある（図３．４９）。電極の面積は全てＳで同じ。カソード K とアノード A の間隔はｌである。グリッドG_1、G_2はカソードKから距離d_1，d_2の位置にある。電圧U_1とU_2は既知である。真空管中を電流が流れないとして、G_1上の電荷量を求めよ。で

３．５０　図３．５０に描写されている回路図中の３つのコンデンサは同じ容量を持っているが、この利の４番目だけがそれらの２倍の容量を持っている。ＡとＢ点間の電位差を求めよ。電池の電圧Ｅ＝６Ｖ。

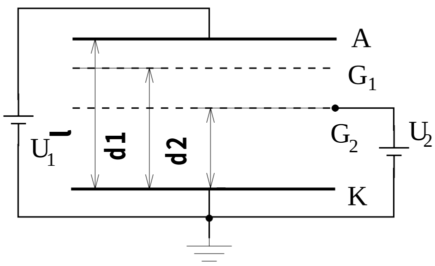

図３．４９

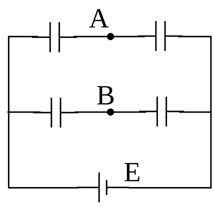

図３．５０

３．５１　図３．５１に示されている回路図中で、C_1＝５μＦ，C_2＝１０μＦである。ＡＢ間の電位差ＵＡＢ＝１６Ｖ。電位差ＵＤＦを求めよ。

３．５２　図３．５２に示しているように、コンデンサが２組の板の集合体からできている。末端の効果を無視して、このコンデンサの容量を求めよ。各電極面の面積は全て S である。電極間隔は全て等しくｄ。片側の板の枚数は整数でｎ。

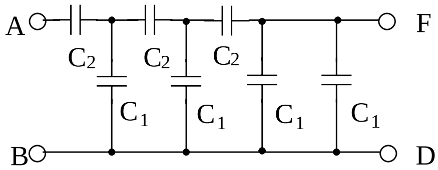

図３．５１

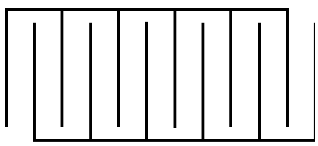

図３．５２

３．５３　容量 C の充電していないコンデンサの１つの電極を接地する。片方の電極は細長い導線で、付近に何もない電荷q_0を持つ半径ｒの導体球に接続する。球にはどれだけの電荷が残るか。

３．５４　半液ｒとＲを持った２つの導体球が、お互いに充分に離れていて、容量Ｃのコンデンサの被膜と接続している（図３．５４）。半径Ｒの球を被膜から外した後、この球の荷電Ｑを与える。この充電後、再び接続する。半径Ｒの球にどれだけの荷電が存在するか。

３．５５　図３．５５に示しているように、容量C_1、C_2，C_3のコンデンサが抵抗のある回路に接続されている。コンデンサに蓄えられる荷電量を見いだせ。電圧Ｕと抵抗Ｒは既知である。

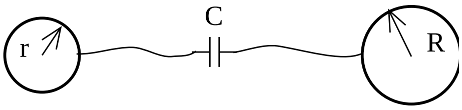

図３．５４

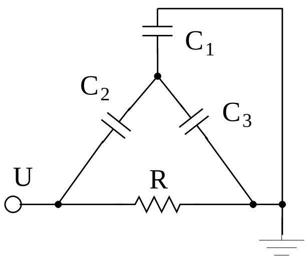

図３．５５

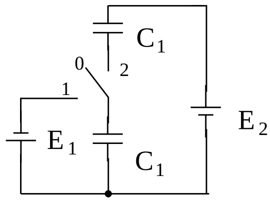

図３．５６

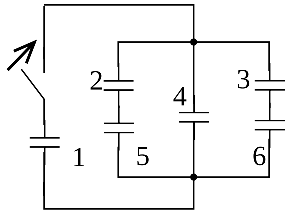

図３．５７

３．５６　図３．５６に示しているように、容量C_1，C_2のコンデンサが接続されている。最初、スイッチは中間位置（０）にあり、コンデンサは充電していない。スイッチを１側とし、少し時間が経過した後、２側とする。容量C_1のコンデンサにはいかほどの電位差が生じるか。

３．５７　電圧Ｕで充電した容量Ｃのコンデンサに、図３．５７で示しているように、同じ容量でできたコンデンサでできている蓄電池を接続する。６つのコンデンサの各々の荷電量を見いだせ。

３．５８　図３．５８に示している回路中のスイッチは、短時間内に、状態１と２に順次切り替わる。１回のスイッチングでのコンデンサの家電の変化量が極わずかなものとすれば、スイッチの切り替えが充分の回数行われた後、コンデンサにはいかほどの荷電が存在するか。Ｒ１，Ｒ２，Ｅ１，Ｅ２，Ｃは既知。

３．５９　図３．５９ａに描写されている回路に、周期Ｔで繰り返す、長さτの矩形パルス（図３．５９ｂ）を与える。１周期での長さでは、コンデンサの電圧は極わずか変化するものとして、充分時間が経過した後のコンデンサの電圧を求めよ。Ｕ，R_1，R_2は既知。

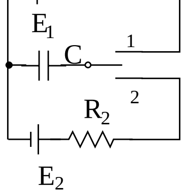

図３．５８

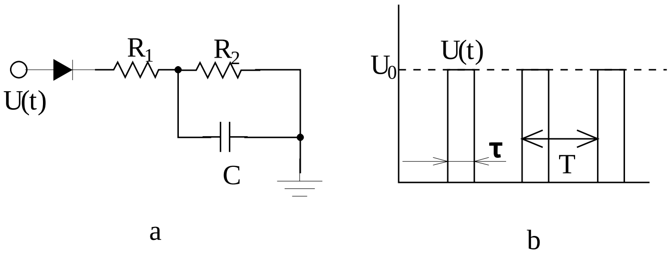

図３．５９

３．６０　容量Ｃの３つのコンデンサに、荷電q_1，q_2，q_3を与える（図３．６０）。コンデンサを結線する。コンデンサに残っている荷電量を求めよ。

３．６１　図３．６１に示しているように、コンデンサ１，２，３を接続する。コンデンサ１は無充電、コンデンサ２，３は充電しておく。３つのコンデンサの接続においては、コンデンサ２と３は異なった極板同士を互いに接続する。コンデンサ１にコンデンサ２を接続したときには、荷電量q_{12}が生じ、コンデンサ１にコンデンサ３を接続したときには、コンデンサ１に荷電量q_{13}が現れるとして、コンデンサ２と３と、コンデンサ１を接続した際に、コンデンサ１に現れる荷電量を求めよ。コンデンサの容量は各々C_1，C_2，C_3。

３．６２　面積 s の２つの導電性ピストンが絶縁体製のシリンダー内で平板コンデンサを形成している。内部は空気で満たされており、その気圧はP_0。ピストンを符号が異なる電荷ｑ、－ｑで充電すると、ピストン間隔は何倍となるか。摩擦は無視する。空気の温度は一定とする。

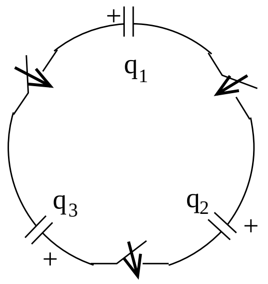

図３．６０

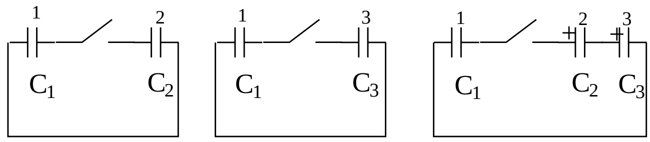

図３．６１

３．６３　３枚の同型の平板Ａ、Ｂ，Ｃが間隔d_1，d_2でお互いに平行に配置されている（図３．６３）。最初、平板Ａに荷電ｑが有り、Ｂ，Ｃは帯電していない。その後、ＢとＣに起電圧Ｕの電池をつなぐ。その後、Ａ，Ｃを導線で結線する。各平板に誘起される荷電量を求めよ。各平板の面積はＳ。

３．６４　面積Ｓの４つの同型の金属板１，２，３，４がおのおのq_1，$-q_1$，q_2，$-q_2$の電荷を持ち、等間隔離れて設置されている（図３．６４）。外側の板１，４を導線で結線する。内側の板２と３の間の電位差を求めよ。間隔ｄは板の大きさと比較して小さい。

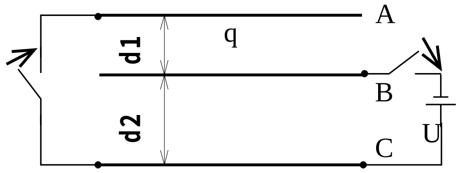

図３．６３

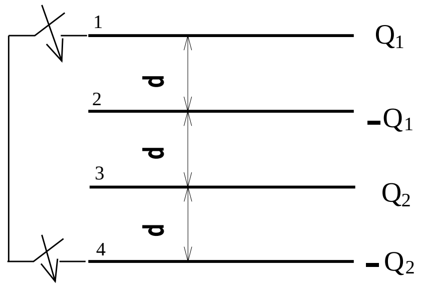

図３．６４

３．６５　各々の容量Ｃの２つの平板コンデンサを並列に接続し、電位差Ｕまで充電した後、電源から外す。２つのうちの片方のコンデンサの電極はお互いに向かって自由に動くことができる。このコンデンサの電極間隔が半分になったとき、電極の速さを求めよ。各々の電極の質量はM。重力は無視する。

３．６６　平板コンデンサを電圧Ｕの電源に接続する（図３．６６）。電極の面積はＳ、電極の間隔はｄ₁。下の電極には面積Ｓ、厚さ２ｄ、質量ｍの金属板が押しつけられている。金属板を放す。この板が上の電極に衝突する時の速さを求めよ。重力は無視する。

３．６７　図３．６７に示している回路図で、最初スイッチＫは閉じる。電圧Ｕ＝３Ｖまで充電したコンデンサは同じ容量を持っている。スイッチを開き、可変コンデンサの容量をＣ／２まで下げ、その後スイッチを閉じる。そして、再びスイッチを開き、可変コンデンサの容量を前の値Ｃまでとする。そして、スイッチＫを閉じる。どれだけの熱量が抵抗で発生するか。

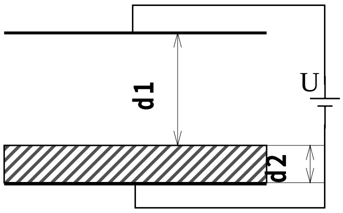

図３．６６

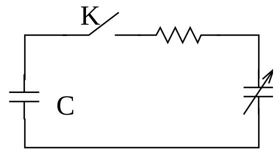

図３．６７

３．６８　図３．６８に示している回路図中で、コンデンサC_2の電圧はＵ、コンデンサC_1とC_2は充電していない。スイッチＫは交互に状態Ａ側とＢ側に閉じる。多数回の切り替え後、どれだけの熱量が抵抗で発生するか。

３．６９　３つの同型の面積Ｓの金属板Ａ，Ｂ，Ｃが間隔d_1，d_2でお互いに平行に配置している（図３．６９）。板Ｂ，Ｃには荷電ｑと－ｑがあり、板Ａは帯電していない。スイッチＫを閉じ、抵抗を経由して、板ＡとＣを接続する。抵抗で発生する熱量を求めよ。

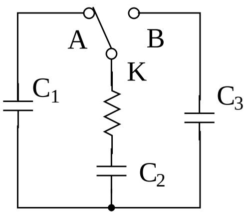

図３．６８

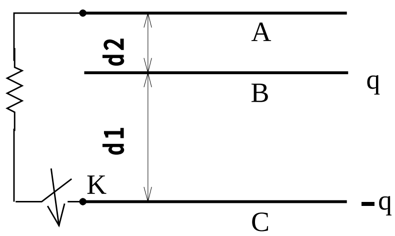

図３．６９

第３節　回路。直流と交流

３．７０　？　外半径ｂ、壁の厚さｄの導電性パイプから、正方形の断面ｄ×ｄの針金を準備する。パイプの両端に電極を取り付けたときのパイプの持つ抵抗値に対する金属の抵抗値の関係を求めよ。

３．７１　格子は同じ部分からできている（図３．７１）。各部分の抵抗値はＲ＝１Ω。ＡＢ間の抵抗値を求めよ。

３．７２　図３．７２に示している回路の点ＡとＢの間の抵抗値を、スイッチを開いたときと閉じたときとで求めよ。各辺及び正方形内の対角線の抵抗値はＲ＝１Ω。

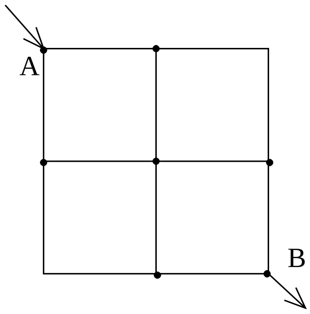

図３．７１

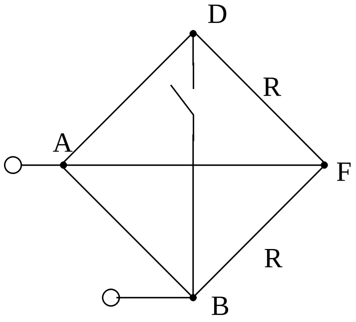

図３．７２

３．７３　針金でできている立方体の隣り合う頂点間の抵抗値を求めよ。立方体の稜の各々の抵抗はＲ＝１Ω。

３．７４　針金でできている立方体において、一つの面内の対角線の位置にある頂点間の抵抗を求めよ。各稜の抵抗はＲ＝１Ω。

３．７５　長さｌの２本の導線において、それらの端ＡＡ’からｘの距離で絶縁が壊れ、この地点で導線間に若干の有限の抵抗を誘起している（図３．７５）。破壊した場所の検索のために、３つの測定を行う。端子ＢとＢ’を開いた状態での点ＡとＡ’間の抵抗はR_1、ＢＢ’を閉じた状態での抵抗はR_2。点ＡとＡ’を開いた状態での点ＢとＢ’間の抵抗はR_2。距離ｘを求めよ。

３．７６　加速では、粒子束は速さｖで半径ｒの円軌道上を動く。粒子束で形成される平均電流はＩである。粒子束の荷電量を求めよ。

３．７７　両端が接地されている一様な棒に、電子ビームが衝突する。その際、単位時間に、棒の単位長さに、電子の一定量が衝突する（図３．７７）。棒の中間点（Ａ点）と棒の端（Ｂ点）の間の電位差を求めよ。棒の抵抗はＲ。接地部分ＤＦを流れる電流はＩ。

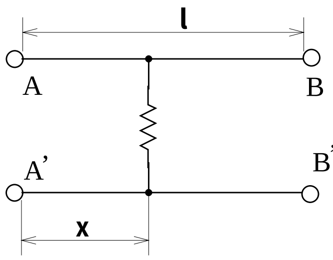

図３．７５

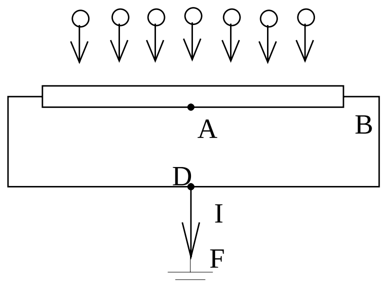

図３．７７

３．７８　導線ＡＣＢは点Ａ，Ｃ，Ｂが正三角形の頂点になるように曲げられている（図３．７８）。辺ＡＣとＣＢの中間に断面積が半分の導線でできた連絡線ＥＦが接続している。点ＡとＢに電圧Ｕ＝３Ｖをかける。連絡線での電圧降下分を求めよ。

３．７９　図３．７９で示している回路図で、点ＡとＢの間の電圧Ｕを求めよ。抵抗Ｒと電流Ｉは既知である。

３．８０　図３．８０に示している回路図で、回路の入力部に電圧１６０Ｖをかけたとき。点ＡとＢ間の電圧を求めよ。

３．８１　図３．８１に示しているように、抵抗と電圧計が交流回路に接続されている。点ＡとＡ’との間の電圧は、点ＢとＢ’との間の電圧の半分である。抵抗Ｒを既知として、抵抗R_xを求めよ。

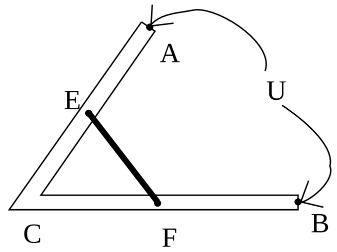

図３．７８

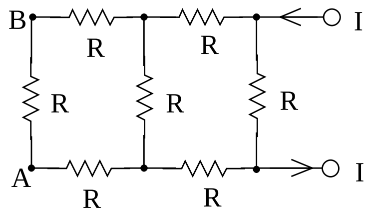

図３．７９

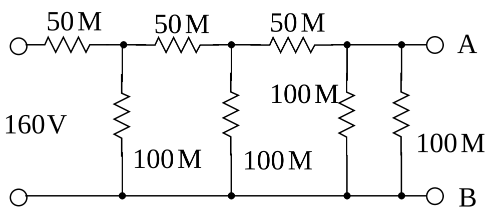

図３．８０

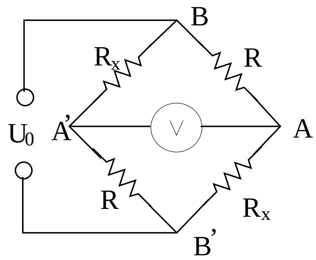

図３．８１

３．８２　抵抗値がＲ１の抵抗、交流抵抗値が$R_2=R_{02}-cU$の素子がある。ここで、Ｕは素子での電圧降下、ｃはある定数。これらを直列に接続する。その入り口に電圧U_0をかけたとき、回路に流れる電流を求めよ。素子での電圧降下量Ｕは未知である。

３．８３　電気機器を断面積Ｓ＝１ mm^{2}の２本の導線で電源に接続する。装置のスイッチを入れたとき、装置での電圧は電源の供給場所での電圧より１０％小さい。電圧の減少を１％とするためには、同じ長さの導線の断面積を幾らにしなければならないか。

３．８４　抵抗値が R である導線を連結して、N 個のランプを結線し、電圧U_0の電源に接続する（図３．８４）。フィラメントの加熱において、ランプが消費する電流I_0はランプにかかっている電圧に依存しないものとして、導線の抵抗Ｒを求めよ。ここで、最後のランプにかかっている電圧は０．９×U_0である。

３．８５　内部抵抗ｒ＝１Ωを有する電池と、抵抗Ｒ＝１００Ωからなる回路に、電津系を接続する。最初は、抵抗に並列に（図３．８５ａ）、次に抵抗に直列に（図３．８５ｂ）。電圧計の指針は同じであった。電圧計の抵抗を求めよ。

３．８６　３つの電池をＲ＝１０Ωの抵抗に接続する最初はこれらを並列に、次には直列に接続する。とすると、抵抗で消費される電力は、後者が前者の４倍大きい。１つの電池の内部抵抗を求めよ。

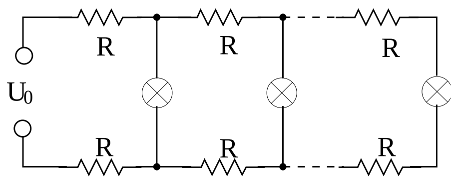

図３．８４

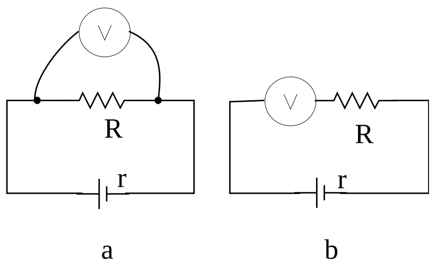

図３．８５

３．８７　図３．８７に示している回路図に結線している電圧計が指示する電圧を求めよ。電池の起電圧と内部抵抗はE_1，E_2，r_1，r_2である。負荷の抵抗はＲ。

３．８８　図３．８８に示されている回路図中の高抵抗電圧計が指示する電圧を求めよ。抵抗R_1，R_2，R_3，R_4と電圧U_0は既知である。

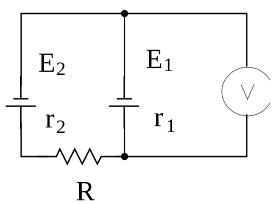

図３．８７

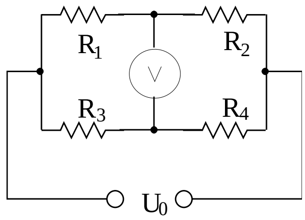

図３．８８

３．８９　図３．８９に示している星形の電気回路で、全ての稜は抵抗値Ｒである。同じ時間内に、稜ＢＤ，ＢＣ，ＣＤ，ＡＢ，ＢＥで発生する熱量の関係を求めよ。稜ＢＤの抵抗値がゼロ、かつ稜ＣＤの抵抗値が２倍となると、これらの関係はどうなるか。

３．９０　図３．９０に示しているように、星形の回路網が接続されている。稜ＡＣの抵抗は０、稜ＢＣの抵抗は３Ｒ、残りの稜の抵抗はＲ。稜ＡＣを流れる電流と回路全体で消費される電流を求めよ。

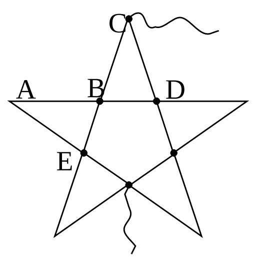

図３．８９

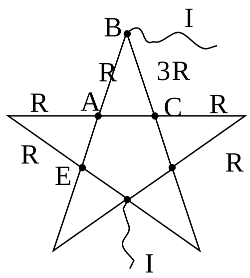

図３．９０

３．９１　誘電率εで比抵抗率ρの物質で充填された平板コンデンサが、電圧Ｅ、内部抵抗Ｒの電源に接続される。コンデンサの漏れ抵抗をコンデンサに貯まる電荷量を求めよ。導線の抵抗は無視する。

３．９２　正方形の板でできている平板コンデンサの中を、金属板が一定の速度Ｖで動く。コンデンサは抵抗と電源に直列に接続しており、その抵抗値はＲ、電圧はＥである（図３．９２）。抵抗で消費される電力を求めよ。コンデンサの電極間隔はＤ。動く金属板の面積はコンデンサの面積ｌ×ｌに等しく、その厚さはｄ。

３．９３　容量Ｃのコンデンサ、抵抗値R_1，R_2の抵抗が、図３．９３に示しているような回路結線をしている。回路に一定の電流が流れるものとして、コンデンサの電荷量を求めよ。電圧U_0は既知である。

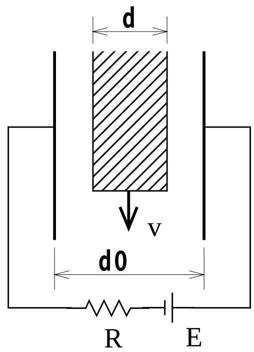

図３．９２

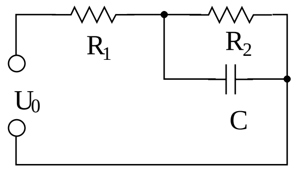

図３．９３

３．９４　容量C_1，C_2のコンデンサ、抵抗値Ｒ１，Ｒ２、Ｒ３の抵抗が、図３．９４に示されている回路を形成している。コンデンサに蓄積する電荷量を求めよ。電圧Ｕ０は既知である。

３．９５　容量C_1，C_2、C_3のコンデンサ、抵抗値R_1，R_2の抵抗が、図３．９５に示されている回路を形成している。コンデンサに蓄積する電荷量を求めよ。電圧U_0は既知である。

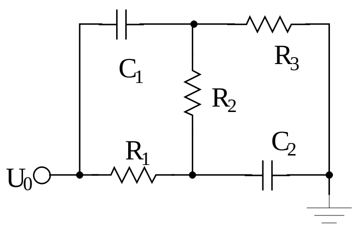

図３．９４

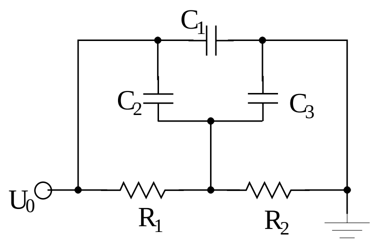

図３．９５

３．９６　容量Ｃのコンデンサ、抵抗値Ｒの抵抗が、図３．９６に示されている回路を形成している。コンデンサに蓄積する電荷量を求めよ。電圧U_0は既知である。

３．９７　容量Ｃのコンデンサ、抵抗値Ｒの抵抗が、図３．９７に示されている回路を形成している。接地側のコンデンサの電荷量を求めよ。電圧U_0は既知である。

３．９８　（１）充電している容量Ｃのコンデンサを可変抵抗で閉じる。抵抗を通過する電流が、コンデンサが完全に放電しきるまで一定値であるための抵抗の時間依存性を求めよ。可変抵抗の初期値はR_0。

（２）充電したあ可変容量のコンデンサを抵抗値Ｒの抵抗で閉じる。コンデンサが完全に放電しきるまで回路を流れる電流が一定であるための容量の時間依存性を求めよ。コンデンサの初期容量はC_0。

３．９９　図３．９９に示しているように、抵抗１，２，３がダイオードとともに回路を形成している。抵抗３で消費される電力を求めよ。交流電源の電圧はＵ、全ての抵抗の抵抗値はＲ。

３．１００　図３．１００に示しているように、２つの抵抗Ｒ１，Ｒ２と２つのダイオードが電圧Ｕの電源に接続している。回路で消費される平均電力を求めよ。

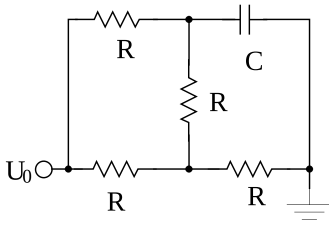

図３．９６

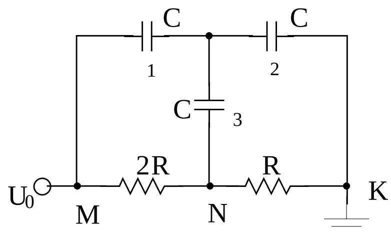

図３．９７

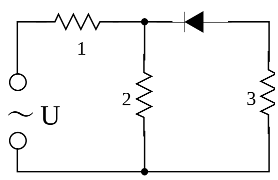

図３．９９

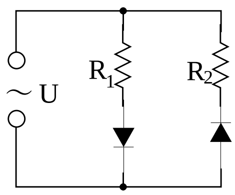

図３．１００

３．１０１　図３．１０１のａに示している回路図において、交流電源の電圧振幅は２２０Ｖ，振動数は５０Ｈｚ。一定の電圧を供給する直流電源の内部抵抗は無視できる。ｂとｃのグラフはダイオードにかかる電圧に対するダイオードを通過する電流の依存性を示している。左の回路図のダイオードとして、ｂ、ｃに示している２種のダイオードを使用する。各々のダイオードを使用したときにおいて、抵抗値Ｒの抵抗における最大の電圧降下と、回路電流がゼロでない周期の部分を求めよ。

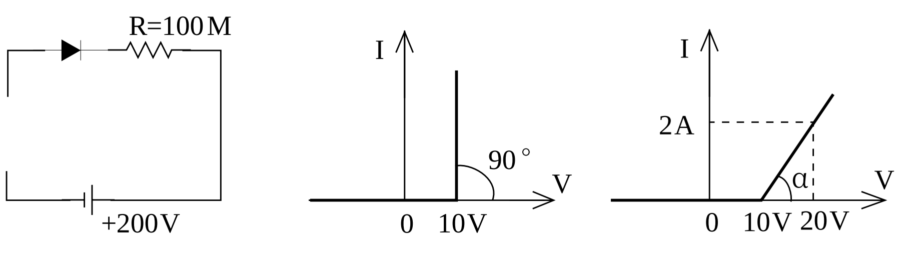

図３．１０１

３．１０２　抵抗が一定である加熱用渦巻き線に、一定の電流を流す。この一定電流とともに同時に渦巻き線に交流（その振幅は一定電流の１０％）を流すと、単位時間に渦巻き線で発生する平均熱量は何％変化するか。

３．１０３　真空中に孤立している金属球が抵抗値Ｒの抵抗を経由して接地している。この球に電子ビームが飛来する。電子の速さは遠方でｖ。単位時間にn_t個の電子が球に衝突する。単位時間に球に発生する熱量はどれだけか。電子の質量と荷電はｍとｅ。

３．１０４　質量Ｍの平板コンデンサが電極板を水平にして、バネで吊されている。この時、バネの伸びはΔｌであった。コンデンサの電極板に平行に電子ビームが入射し、出口で水平と角度α傾くとき、バネの更なる伸び分を求めよる。電子ビームの電流はＩ、電子の初速度はv_0。

３．１０５　電子ビームが平板コンデンサに、その電極板に平行に速さv_0で飛び込む（図３．１０５）。単位時間に、どれだけの電子が正に帯電した電極に衝突するか。ビームは長方形の断面をしており、その高さは電極間隔ｄに等しく、幅はｘである。単位体積当たりの電子数はn_v。コンデンサには電圧Ｕがかかっており、ビームの運動方向の電極の長さはｌ。

３．１０６　電子ビームが速さv_0で、電極板の隙間を入り口で完全に埋めながら、平板コンデンサに飛び込む。コンデンサには直列に抵抗Ｒの抵抗があり、電圧Ｅの乾電池電源に接続している。抵抗を流れる電流を求めよ。電極板の間隔はｄ、ビームが動く方向の電極の長さはｌ、幅はｂ。単位体積当たりの電子数はn_v。負に帯電しているコンデンサの電極板は接地されている。

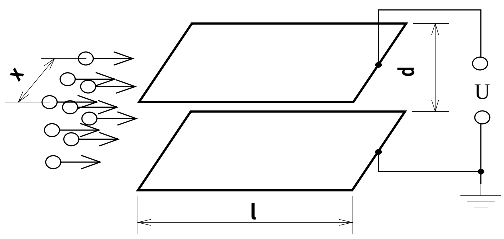

図３．１０５

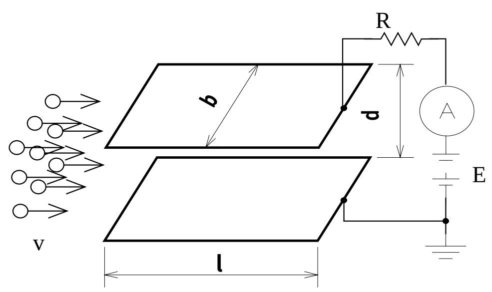

図３．１０６

３．１０７　カソードとアノードは平行平板である２極真空管（図３．１０７）において、流れる電流Ｉと加電圧Ｕの間に、$I = cU^{3/2}$の関係がある。ここで、ｃは未定数。ダイオードにかかる電圧が２倍となると、電子のアノード表面への衝突によって生ずるアノードでの圧力は何倍増加するか。カソードから飛び出すときの電子の初速度は無視する。

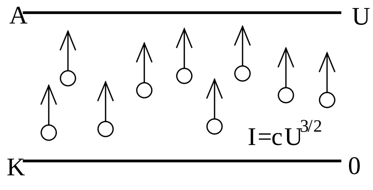

図３．１０７

第４節　電磁誘導。電流と磁場との相互作用

３．１０８　長さｌの４本の同じ導線が継ぎ手で端が結びつけられ、正方形を形成している。この正方形は磁束密度Ｂの一様な磁場のもとに置かれている。磁場は正方形の面に垂直である。この正方形の対角頂点を、正方形が直線上になるまで引っ張る。各辺の抵抗がＲ／４ならば、辺の一つに直列に接続した電流計を、どの様な荷電が流れるか。

３．１０９　電流の流れている円形コイルが磁束密度$B=B_0 \sin\omega t$　の交流磁場の中にある。磁場はコイルの面に垂直である。コイルを、２つの同型のリングからできている８の字型に変える。この際、コイルの導線は面から出て行かないとする（図３．１０９）。この様にすると、コイルを流れる電流の大きさは何倍となるか。コイルのインダクタンスは無視する。

３．１１０　単位長の抵抗値ρの導線で作られている円形コイルが磁束密度Ｂの一定で均一な磁場の中にある。Ｂはコイルの面に垂直である。このコイルを、同じ面内で、２つの同じリングからなる８の字型に変える（前問の図３．１０９を参照）。この時、どれだけの荷電が導線を流れるか。

３．１１１　抵抗値Ｒを有する直径ｄの導線リングが交流磁場内にあり、その磁束密度はリング面に垂直である。磁束密度は時間t_1の間に、世路からＢの値まで線形的に増加し、その後、時間t_2の間に、ゼロまで線形的に減少する。リングにどれだけの熱量が発生するか。

３．１１２　半径ｒ、磁場は軌道面に垂直にかかっている円形加速器において、細い陽子ビームが動いている。粒子が１周りするときの電流を求めよ。初期のビーム電流はI_0とする。容器内の全陽子数はｎ。陽子が加速されるように、陽子ビームの軌道に沿って、磁束密度は一定の速さで変化する（$\Delta\phi/\Delta t=E$）。陽子の質量と荷電はｍとｅ。陽子の速さは光速より充分遅い。

３．１１３　質量ｍ、半径ｒの不導体リングが均一に分布した少量電荷ｑを持ち、自分の軸の周りに自由に回転することができる。リングはその面に垂直な磁場の中に置かれている。磁場の磁束密度はリングの中心領域ｌ＜ｒでは２Ｂ、リングの外部ではＢに等しい。磁場は一様にゼロまで減少し始める。磁場が消滅したとき、リングはどの様な速さを獲得するか。最初はリングは静止していたものとする。

３．１１４　半径Ｒの導電性リングに、直径に沿って導電性連絡線が付いている（図３．１１４）。左右の半円に、容量C_1，C_2のコンデンサを配置する。時間とともに線形に増加する磁束密度$B=B_0\cdot t/T$の磁場内に、リング面を磁場に垂直にして、リングを置く。ある時間に、連絡線を外し、直ぐ磁場の変化を停止する。コンデンサに蓄えられる電荷量を求めよ。

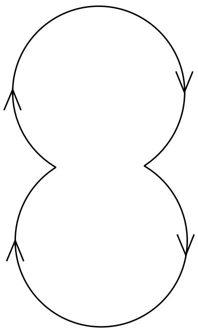

図３．１０９

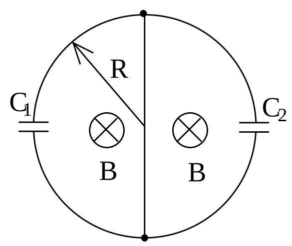

図３．１１４

３．１１５　２本の平行導線レールが間隔ｌ＝０．１ｍ離れて、平面内に配置されている。その平面内に、垂直に磁束密度Ｂ＝１Ｔの磁界が一様にかかっている。レールは動かない導線で結線されており、この導線の抵抗はR_0＝３Ω。他に２つの導線、抵抗R_1＝１Ω、R_2＝２Ωがあり、動かない導線からお互いに反対側に速さv_1＝０．３ｍ／ｓ、v_2＝０．２ｍ／ｓで動く。動かない導線を流れる電流を求めよ。

３．１１６　導線ＥＦは一定の速さｖで、導線ＡＣ，ＡＤを閉じながら動く。ＡＣ、ＡＤのなす角度はα（図３．１１６）。系の面に垂直に、一定で一様な磁束密度Ｂがかかっている。点Ａから点Ｃまで導線ＥＦが動いている時間において、回路で発生する全熱量を求めよ。導線ＥＦの単位長当たりの抵抗はR_1。導線ＡＣとＡＤの抵抗は無視する。ＡＣ＝l_0，ＥＦとＡＣは垂直、ｖとＥＦは垂直。

３．１１７　導線ＯＤは半径ｌの円弧ＡＤＣに沿って滑ることができる（図３．１１７）。円弧の面に垂直に、一定で一様な磁束密度Ｂがかかっている。棒ＯＤを一定の角速度ωで回転するためには、導線ＯＤに垂直にＤ点でどの様な力を加えなければならないか。

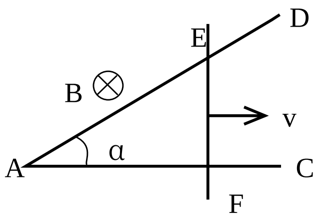

図３．１１６

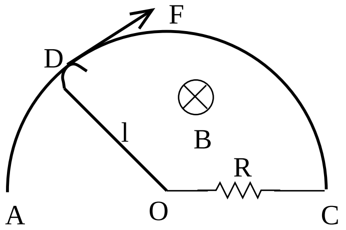

図３．１１７

３．１１８　辺の長さl_1，l_2、その質量をm_1，m_2を辺とした導電性長方形の枠があり、長さl_1の辺の１つを不動として、水平軸の周りに自由に回転することができる。枠は垂直で一様な磁束密度Ｂの中にある。枠が地球の重力場の中で動かずに、水平と角度αをなして傾いているとき、枠に流れる電流を求めよ。

３．１１９　π型の導電性枠が水平軸に吊され、一様な垂直磁界中にある。磁界の磁束密度はＢである（図３．１１９）。枠は長さｌ、質量ｍの棒と、２本の長さｌで重さが無く丈夫な棒でできている。枠に、電流I_0、時間長τの短時間パルスを流す。初期状態に対する枠の最大傾斜角度を求めよ。τ時間内における枠の変位は充分に小さい。

３．１２０　垂直方向に一様で一定の磁束密度Ｂの磁界が作られている。長さｌの糸に吊された質量ｍ、荷電量ｑの球が円周に沿って運動する。糸は垂直と角度αをなしている（図３．１２０）。球の運動の角速度を求めよ。

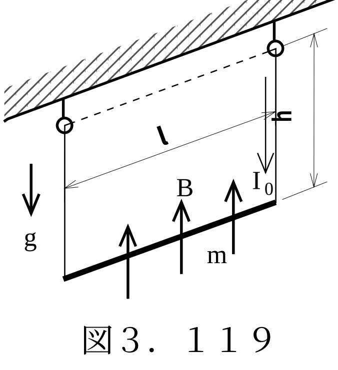

図３．１１９

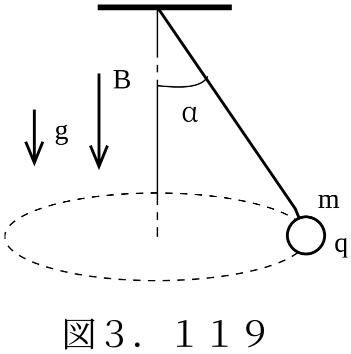

図３．１１９

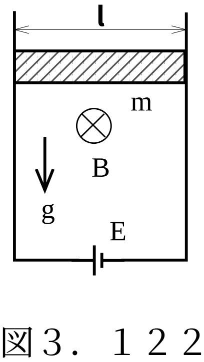

図３．１２２

３．１２１　質量ｍ、長さｌの水平導線が、電気的接触を壊すことなく、２本の垂直導線製棒に沿って転がることができる。棒はお互いに間隔ｌの位置にあり、下部は容量Ｃのコンデンサで接続している。運動面に垂直に、一定で一様な磁束密度Ｂの磁界がかかっている。棒の加速度を求めよ。回路形成の部品の抵抗、摩擦は無視する。系は地球の重力場中にある。

３．１２２　質量ｍの水平導線棒が２本の垂直な導線軸に沿って電気的接触を壊すことなく滑ることができる。軸は間隔ｌ離れており、下部には電圧Ｅの電池が接続されている（図３．１２２）。運動面に垂直に磁束密度Ｂの一様で一定の磁場がかかっている。棒の上昇速度を求めよ。導線棒の抵抗はＲ。導線軸の抵抗と電流源の抵抗は無視する。系は重力下にある。

３．１２３　水銀が満たされたプール中に、このプールの両端面に平行に電極が沈められている。電極の大きさは端面の面積の大きさと一致する。電極間隔はｌで、プールの長さに等しく、電極の大きさより充分小さい。プールの底には垂直に磁束密度Ｂの磁界が一様にかかっている。電極に電圧Ｕを翔と、水銀の表面は水平に対してどれだけの角度で配位するか。水銀の比抵抗率はγ、その密度はρ。

３．１２４　磁気ポンプは、高さｈ＝０．１ｍ、導電性の対向した２つの壁の長方形断面をした容器からできている（図３．１２４）。壁の間隔はｌ＝０．０５ｍ。導電絵師の壁の電位差はＵ＝１Ｖ。２枚の不導体製の壁に垂直に、磁束密度Ｂ＝０．１Ｔの一様磁場がかかっている。容器の下部は水銀の表面に触れている。上部は不導体製の垂直なパイプに接続されている。水銀はどれだけの高さまで上昇するか。水銀の比抵抗率はγ＝１０^{-6}Ωｍ、密度はρ＝１４×１０^{3}ｋｇ／$ｍ^{3}$。自由落下の加速度はｇ＝１０ｍ／$ｓ^{2}$。

３．１２５　質量ｍの少し帯電している物体に長さｌの糸が取り付けられ、垂直面内で円運動をすることができる。磁束密度Ｂの一様な磁界が、この面に垂直にかかっている（図３．１２５）。舞台が完全な円運動を完遂する物体の最下点における最大速度は幾らか。物体の荷電は正であり、ｑに等しい。

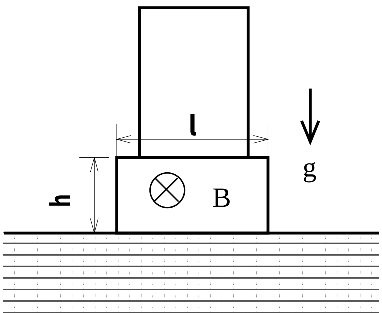

図３．１２４

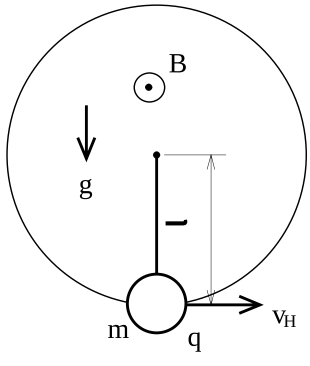

図３．１２５

３．１２６　トランスの一方のコイルはＮターン、他方は１ターン。このトランスを起電圧Ｅの交流電源に接続する。出力コイルの内部抵抗ｒの電流計を接続する。この時の接点１と２はコイルを抵抗値$Ｒ_1$と$Ｒ_2$の部分に分ける（図３．１２６）。電流計の指示値を求めよ。磁束流の拡散は無視する。

３．１２７　容量Ｃの充電したコンデンサがインダクタンスＬのコイルと接続している。回路電流が時間に直線的に比例するとして、コンデンサの容量の時間依存性を見いだせ。

３．１２８　容量Ｃのコンデンサとインダクタンス$Ｌ_1$，$Ｌ_2$のコイルが、図３．１２８に

示しているような回路を形成している。インダクタンスを持っているコイルの電位差の初期値をU_0としたとき、回路の最大電流を求めよ。インダクタンスＬのコイル内の磁界のエネルギーは$LI^2/2$。

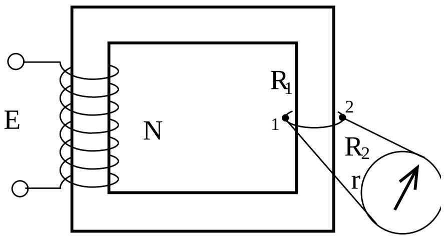

図3．１２６

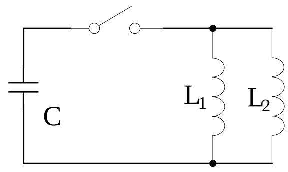

図3．１２８

第１節　反射。鏡

４．１　長さがL，高さがHの部屋の壁に平面鏡が吊されている。鏡の掛かっている壁から距離ｌの所に立っている人が鏡を見る。この人の背後にある壁の全高をこの人が見るためには、鏡の最小の高さは幾らとすべきか。

４．２　２人が垂直な壁から距離l_1，l_2の所に立っている。彼らの間隔はl_0。１人が大声で短い言葉を発する。２番目の人が、こだまの先頭と一致して言葉の最後を聞くためには、声を発する人はどれだけの間、言葉を出さなければならないか。音速はｃ。

４．3　自動車が長い壁の脇を速さｖで動いている。壁は角度αで車から遠ざかっている。車から壁までの距離がｌとなったとき、運転手は短い警笛を鳴らす。運転手がこのこだまを聞くまで自動車はどれだけの距離を進むか。空気中の音速はｃ。

４．４　凹面の球状金属鏡が太陽の方向を向いて、鏡の中心から鏡の軸上、距離ｌ野天に光の焦点が合っている。この時、鏡の温度はt_1。鏡が温度t_2まで加熱されるとすれば、像は鏡の中心からどれだけの距離にあるか。鏡は固定されている。金属の温度線膨張係数はα。

４．５　その断面が半球である半円柱鏡（シリンドリカル鏡）を、鏡の光学軸に平行な一様な光束の中に置く。鏡で反射される光束の経路間の最大角度（分散角度）を求めよ。

４．６　半径Ｒの球を内側から銀メッキをし、切断面が球の中心から距離Ｒ／２となるようにこの球を切断する。切断によりできた断面円の中心に点光源を置く。この球面鏡によって反射される高専間の最大角度幅を求めよ。

４．７　曲率半径ｒの凹面鏡の趣向がくじく上に点光源Ｓがおいてある。点光源の鏡までの距離はｄ＝（３／４）ｒ。平面鏡が凹面鏡の主光学軸に垂直においてある。最初、点Ｓを出た光が片方の鏡で反射され光がもう一方の鏡でも反射され、再び点Ｓに焦点を結ぶためには、凹面鏡からどれだけの距離ｘに、平面鏡を置かなければならないか。

４．８　（１）半径ｒの球面鏡の中心に、点光源Ｓがある。鏡を水平に真二つに切断し、その上半分を趣向がくじくに沿って距離ｒ引き離す（図４．８）。光源の２つの像の間の距離を求めよ。
（２）球面鏡の中心に光源Ｓをおく。鏡を真二つに切断する。この２つをもとの状態での鏡の主光学軸から距離ｈだけ対象に引き離す。各々の鏡の中の光源の像間の距離を求めよ。

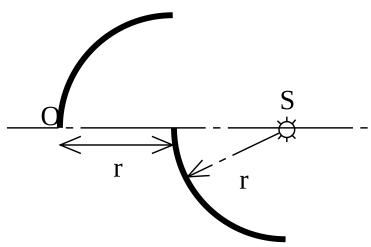

図４．８

４．９　厚さ１ mm のカドミニウム板を中性子線が通過するとき、その粒子数は１５％減少するが、その速さは変化しない。中性子線のどれだけの割合が、厚さ８ mm のカドミニウム板を通過するか。

４．１０　強度I_0の光束が平行平板に、その面に垂直に当たる。板を通り抜けた光の強度を求めよ。各々の板の表面での光の反射係数はＲ。板での光の吸収は無視する。

第２節　屈折

４．１１　平らで透明な板の束に光線が角度αで入射する。各板の屈折率は出射側よりｋ倍小さい。光はどの様な最小入射角であると板の束を通り抜けないか。１番上の板の屈折率はｎ、板の枚数はＮ。

４．１２　水槽の上に吊されている光源からの光が、開口角度２αの円錐状に出ている。高さh_0の水槽は水で満たされ、その上に水に触れるように厚さｈの平らなガラスがある。ガラスを取り払い、水を移すと、水槽の底で光の跡の半径はどれだけ変化するか。ガラスと水の屈折率はｎ、n_0（＜ｎ）。

４．１３　光が伝搬している半径r_0のパイプに同じ半径の球を閉じこめる。半径ｒ（＜r_0）の球の内部は光の吸収物質で満たされている。吸収領域の外皮は屈折率ｎのガラスでできている。光のエネルギーのどれだけの割合が球を通過するか。球の中心と光を吸収する領域は一致している。外皮による光の反射は無視する。

４．１４　断面に垂直に光伝送路を伝搬する光が、曲部の表面から外へ漏れ出ないようになるためは、屈折率ｎ＝４／３の透明物質で作られている光伝送路の曲部の外半径をどの様にしなければならないか（図４．１４）。光伝送路の直径はｄ＝１ mm。

４．１５　屈折率ｎ＝１．３の物質中を細い平行光線が伝搬する。光線の断面積は円形である（図４．１５）。この光線が球状の空洞に出会う。その直径は光軸と一致し、古銭の直径より大きい。空洞の出口で光線は何倍に広がるか。

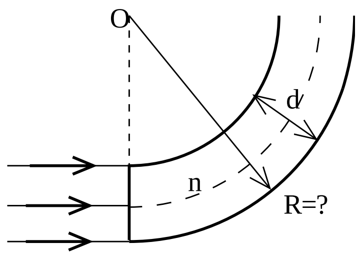

図４．１４

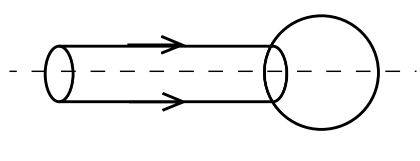
図４．１５

４．１６　屈折率ｎの液体で満たされた容器の側壁に半径ｒの小さい穴が開いて、底から液体が流れ出している。穴の軸に沿って細い光線が水平に進んでいる。液面が穴の上どれだけの高さｈの時、内部で一度も全反射することなく、光線は流れから出ることができるか。屈折率ｎは充分に大きい。流れの断面積の変化は無視する。

４．１７　平面上に半径r_0＝０．２ｍの円が描かれている。ガラスの円錐が円の中心にその頂点を押し当て、その軸は平面に垂直になっている。円錐の軸に沿って充分な遠方より円を観察したとき、視認できる円の半径は幾らか。円錐の頂角は２α＝６０°。円錐の基底の半径ｒ＝r_0＝０．２ｍ。ガラスの屈折率はｎ（＞ｓｑｒ（２）＝１．４１）。

４．１８　屈折率ｎのガラス半球を、その対称軸に平行に通過する細い光束が、凸面表面から距離ｘの所に集光する。逆側から光が進んだとすれば、半球の表面からどれだけの距

離の所に集光するか。光束と主光学軸との間の角度は小さいとみなす。これと次の問題の解答にあたって、角度αは小さくて、ｓｉｎα＝ｔａｎα＝αとみなす。

４．１９　半径ｒのガラス球の前に点光源 S を置く。この点光源Ｓの像Ｓ'が球の反対側の同じ距離にあるようにするためには、ガラス球と点光源の距離はどうとるべきか。ガラスの屈折率はｎ。像は光学軸の近傍にあり、細い光束で作られるものとする。

４．２０　両側が平凸レンズで閉じられた完全な円筒容器に水を満たす。レンズの主光学軸は円筒の軸と一致する。レンズの軸に沿って平行光束が入射する。レンズ間の距離がどの様であれば、光束は装置から平行光線として出ることができるか。

４．２１　半径ｒ＝０．１ｍのガラス球の内部に、その中心から左側の表面付近に点光源Ｓがある（図４．２１）。球からでた光束の半径がｒとなるのは、球の中心から右側にどれだけの距離か。ガラスの屈折率はｎ＝２。

４．２２　半径ｒのガラス球の内部に、点光源Ｓがあり、全ての方向に等しく光を放射している。球は、Ｓ点から出る光の半分を周りの空間に出している。球の中心からＳ点までの距離を求めよ。球による光の吸収は無視する。ガラスの屈折率はｎ＝１．５。

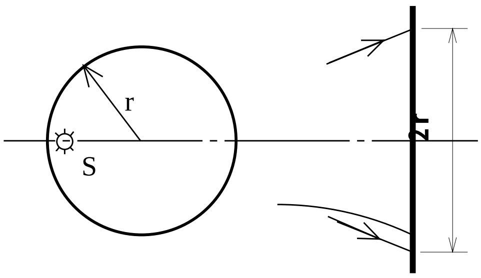

図４．２１

第３節　レンズ

４．２３　焦点距離F_1=１ｃｍ、F_2=５ｃｍの２つの集光レンズが共通の光学軸を有し手いる（図４．２３）。レンズ間の距離は焦点距離の和に等しい。１番目のレンズに、光学軸に平行に幅ｄ＝１ｃｍの光束が入射する。２番目のレンズから距離F_1＋F_2にあるスクリーンにどの様な大きさの痕跡が残るか。

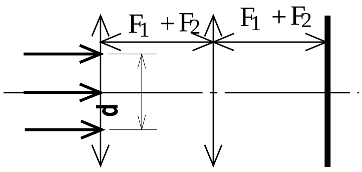

図４．２３

４．２４　焦点距離Ｆ＝５ｃｍの集光レンズの主光学軸に沿って、レンズの両側にある２つの光源がお互いに近づいている。１番目の光源の速さはｖ＝２ｃｍ／ｓ。最初、これらの光源がレンズからl_1＝２０ｃｍ、l_2＝１５ｃｍの距離にあるとき、１番目の光源が２番目の光源の像と出会うまでに、どれだけの時間が経過するか。

４．２５　近距離で蟻を撮影するとき、実験者は接写レンズを使用する。この接写レンズはカメラの対物レンズをｌ＝７．５ mm の距離だけ前方に移動する。即ち、フィルムから

対物レンズまでの距離は７．５ mm だけ長くなる。対物レンズの距離目盛りに、距離ｂ＝１．０５ｍの値が指示されているとき、ピントの合った像が得られた。対物レンズの焦点距離は F=５０ｃｍ。蟻は対物レンズからどれだけの距離にいるか定めよ。対物レンズは薄いものとみなす。メモリに示される距離ｂは、接写レンズを使用しないときの物体から対物レンズまでの距離を示している。

４．２６　絞り付きの集光レンズの主光学軸上、レンズから距離ｌの所に点光源がある。レンズの他方側にはスクリーンがあり、そこに光源の像のピントが合う。光源からレンズを更に距離ｄだけ遠ざけたとき、スクリーン上の光跡の半径を求めよ。レンズの絞りの半径はＲ，レンズの焦点距離はＦ。

４．２７　ランプとスクリーン、それらの間にレンズがある。レンズの位置が２箇所の所で、ランプの明瞭な像がスクリーン上にできる。レンズの焦点距離を求めよ。レンズの２点間の距離はｌ、ランプとスクリーン間の距離はＬ。

４．２８　（１）厚めの両凹ガラスレンズが水中にある。水中でのこのレンズの焦点距離はＦ。レンズの光学軸上、レンズから距離Ｆ／４、３Ｆ／４に立っている棒の像の長さを求めよ。レンズの中央部分を不透明な円で遮蔽すると像はどうなるか。その遮蔽の大きさはレンズの表面積の半分である。レンズの内分は空気であり、その器壁は薄い。
（２）厚めの両凸ガラスレンズが水中にある。光学軸上、レンズに密着している棒の像の長さを求めよ。棒の長さはレンズの焦点距離Ｆに等しい。レンズの内部は空気であり、その器壁は薄い。にある

４．２９　缶に満たされた液体の表面上に焦点距離Ｆの平凸レンズが浮いている（図４．２９）。レンズから距離Ｌ離れたレンズの光学軸上にある点光源 S の像が缶の底にあるとき、缶中の液面の高さｈを求めよ。液体の屈折率はｎ、距離 L はレンズの直径より充分に大きい。

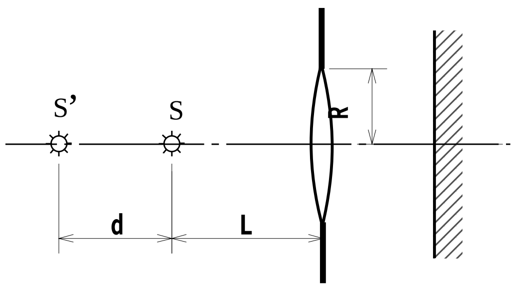

図４．２６

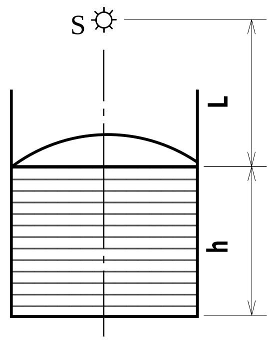

図４．２９

４．３０　両凹ガラスレンズが深さｈの水中においてある。その光学軸は水面に垂直である。レンズに向かって下方に、細い平行光束が向いている。光束は光学軸に沿って伝搬する。光が集光する点のレンズからの距離を求めよ。水中でのレンズの焦点距離はＦ（＞ｈ）。水の屈折率はｎ。光束と光学軸との間の角度は小さいとみなす。

４．３１　レンズの光学軸ＯＯ’上に、点Ａを通り、図の面に垂直な軸の周りに角速度ω で回転する平面鏡が配置されている（図４．３１）。鏡に平行光線が入射し、反射した後、スクリーン上に結像する。光学軸上にあるＢ点を光跡が通過する瞬間におけるスクリーン上での光跡の速さを求めよ。スクリーン面は光学軸に垂直である。レンズの焦点距離はＦ。

４．３２　ガラス製円錐、レンズ、スクリーンが図４．３２で示しているように配置され

ている。レンズの光学軸は円錐軸と一致し、スクリーンに垂直である。スクリーンとレンズの間隔はレンズの焦点距離に等しい。光学軸に沿って、細い平行光線が左から円錐に入射している。スクリーン上で、光線の形状と最大の大きさを求めよ。ガラスの屈折率はｎ。円錐の基底と母線の間の角度はα。角度αは小さい。

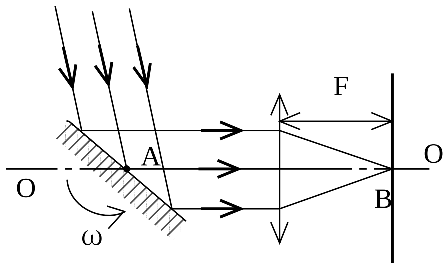

図４．３１

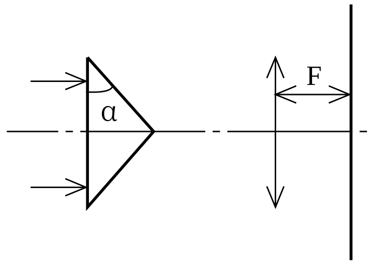

図４．３２

４．３３　開口角度２αの円錐の頂点を、焦点距離Ｆを持つルーペレンズを通してみる。レンズはその頂点から距離ｄ（＜Ｆ）の所にある。ルーペを通して見る円錐の開口角度を求めよ。レンズの光学軸は円錐軸と一致する。

４．３４　カメラで遠方の物体を撮影する。対物レンズから焦点距離の３倍の所に長さ２ｌの薄い定規を置く。定規の面はカメラの光学軸に垂直である。対物レンズは直径２ｒ（＜２ｌ）の薄いレンズである。フィルム上の像、即ち被写体から出る光束がフィルム上に跡を残す長さを求めよ。

４．３５　カメラと対象物との間隔がｄとし、２通りの方法で撮影する。最初は対物レンズの焦点距離を３倍とし、次に５分の１とする。両方の場合において、フィルム上の像の明るさが同じとするためには、対物レンズの絞りの直径を何倍としなければならないか。両方の場合において、対物レンズの直径はｄより充分に小さいものとみなす。

４．３６　焦点距離Ｆの対物レンズを用いて、地球から月の撮影をする。半径r_1の円上の付きのぼやけた像が得られた。付きのピントのあった像は半径r_2でなければならない。ピントのあった像を得るためには、フィルムをどれだけの距離移動させなければならないか。レンズの極刑はＤ。月からの光が到着する領域を像の領域とみなす。対物レンズの絞りによる回折は考慮しない。

４．３７　平行光束が板を通り抜けた後、散乱される（図４．３７）。板の各点による光の最初の方向からの最大偏向角度はα。焦点距離Ｆのレンズを板の後ろに置くと、得られる光跡の最小半径はどれだけか。

４．３８　焦点距離Ｆの平凸レンズの平面側を銀メッキする。得られた鏡の焦点距離を求めよ。光はガラスの方から入射する。

４．３９　焦点距離Ｆの同型の２つのレンズを、光学軸が角度αをなすように配置し、１番目のレンズの光学軸が２番目のレンズの中心を通るようにする（図４．３９）。１番目のレンズの光学軸上、距離Ｓの所に点光源を置く。点光源と、２つのレンズによりできる像との間の距離を求めよ。レンズ間の間隔はＦ。

４．４０焦点距離Ｆの同型の２つのレンズを、光学軸が角度αをなし、２番目のレンズの光学軸が１番目のレンズの中心を通るように配置する（図４．４０）。１番目のレンズの焦点に点光源Ｓを置く。点光源と、２つのレンズによりできる像との間の距離を求めよ。

レンズ間の間隔はF。

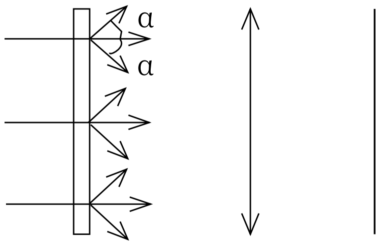

図４．３７

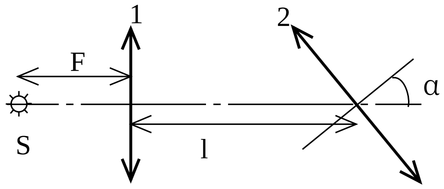

図４．３９

４．４１　焦点距離Ｆの同型の２つのレンズがお互いに距離 F 離れて配置している（図４．４１）。１番目のレンズの光学軸は２番目のレンズの光学軸に平行で、それから距離ｈ離れている。１番目のレンズからその光学軸上距離２Ｆ離れている点光源Ｓとこれら２つのレンズによるその像との間の距離を求めよ。

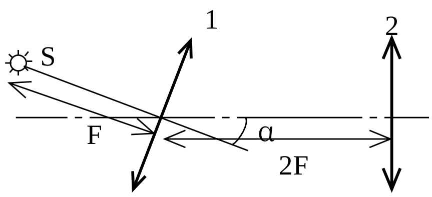

図４．４０

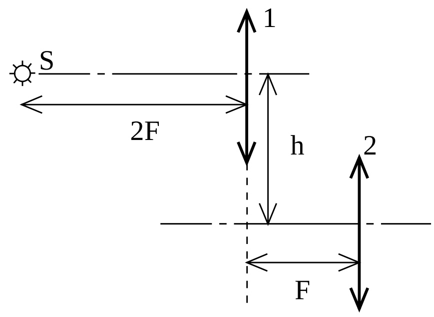

図４．４１

４．４２　焦点距離 F のレンズの非我利側、距離５Ｆ／３の所に、直径Ｄ０＝２ｃｍの円形の穴のある不透明スクリーンがある。レンズの右側、距離３ F/4 の所には平面鏡がある（図４．４２）。スクリーンと鏡はレンズの光学軸に垂直であり、光学軸は穴の中心を通っている。左からスクリーンに垂直に平行光線が入射する。スクリーン上の光跡の直径を求めよ。

４．４３　２枚の平面鏡が角度９０°の２枚鏡を作っている。焦点距離Ｆのレンズをその角度の所に、レンズの光学軸が各々鏡と４５°となるように立てる（図４．４３）。レンズの半径はｒ＝Ｆ。レンズの光学軸上、距離ｄ＝１．５Ｆの所に点光源Ｓがある。光学軸上にできる光源の像の片方の位置を求めよ。

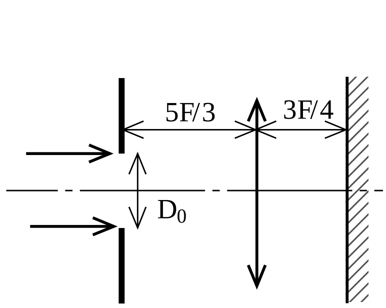

図４．４２

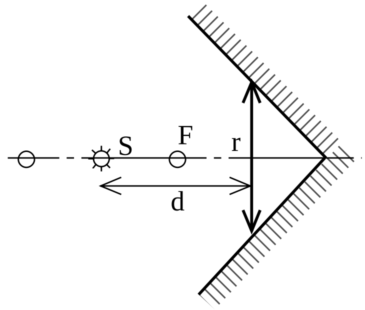

図４．４３

４．４４　焦点距離 F のレンズと頂角が９０°の円錐鏡でできているシステムで、天候眼 S の像を求めよ（図４．４４）。円錐の軸はレンズの軸と一致している。円錐の頂点とレンズとの距離は２Ｆ。光源とレンズとの距離は３Ｆ／２。

４．４５焦点距離 F のレンズと半径 R の凹面鏡がお互いに距離ｄ離れて配置されている。それらの光学軸は一致している。点光源Ｓの像が自分自身と一致するためには、点光源を光学軸上、レンズからどれだけの距離に置けばよいか。

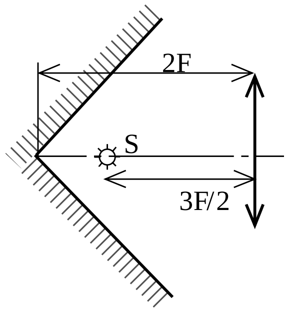

図４．４４

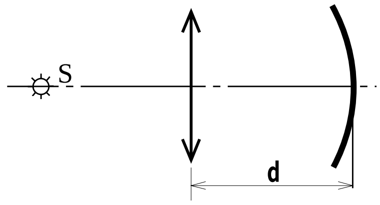

図４．４５

４．４６　焦点距離 F のレンズと半径 R の球面鏡からできている光学系がある。球の中心は光学軸上、レンズからｄの距離離れている（図４．４６）。光学軸上にある点光源Ｓの像が自分自身と一致するためのレンズから点光源までの距離を求めよ。

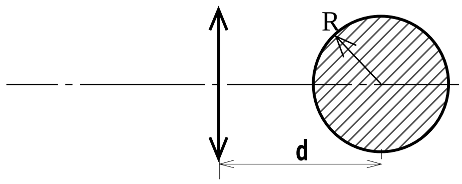

図４．４６

第４節　光度測定法

４．４７　机の上ｈの高さに明るく輝くランプが吊されている。机の照度がｎ分の１倍小さくなるのは、ランプの真下の机の点からどれだけの距離となるか。

４．４８　２枚の平面鏡が角度９０°で２面鏡を作っている。点光源Ｓを図４．４８のように鏡からｌと２ｌの所に置く。垂直の鏡から距離２ｌの所に、それに平行にスクリーンを置く。水平の鏡からは距離ｌ離れているこのスクリーン上の点の照度を求めよ。光源の輝度はＪ。

４．４９　スクリーンがその面に垂直に入射する太陽光で照らされている。光の経路上に、頂角αのガラスプリズムを置く（図４．４９）と、スクリーンの照度はどの様に変化するか。光の入射する面はスクリーン面に平行である。ガラスの屈折率はｎ。プリズム面からの反射はないものとする。。

４．５０　歪んだ形状の平面鏡の破片Ａにより、垂直の壁上の点ＢとＣで、太陽光の木漏れ日が光っている。Ｂ点での光の斑点は円形であり、その中心での照度は、散乱光でのみ照らされた壁の部分より２倍大きい。Ｃ点に当たっている光の斑点の照度はいかほどか。光線ＳＡ、ＡＢ、ＡＣは同じ垂直面内にあり、ＡＢは水平、角度ＳＡＢ＝角度ＢＡＣ＝４５°。

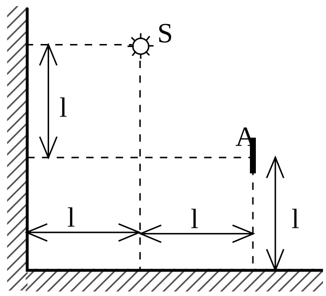

図４．４８

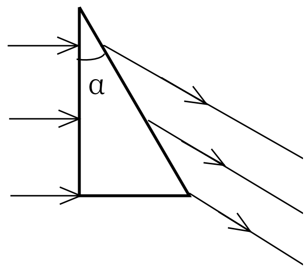

図４．４９

４．５１　半径ｒの球面鏡の前方、その焦点に点光源Ｓが有り、光源からｌの距離に小さい板が置いてある。その面は鏡の光学軸に垂直である（図４．５１）。板の左右の照度の関係を求めよ。板は光学軸の上方高さｈの所にある。

４．５２　満月における照度は、日中の照度の何倍か。月と太陽は水平線の上に同じ高さにあるとする。月は自分に入射する太陽光のη＝０．０７分を平均して散乱し、真球とみなす。月から地球までの距離はｌ＝４×１０^{5}ｋｍ、月の半径はｒ＝２０００ｋｍ。

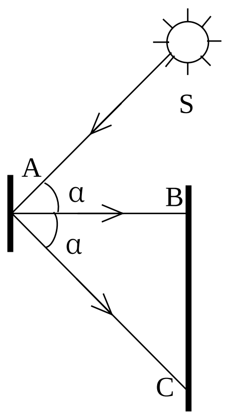

図４．５０

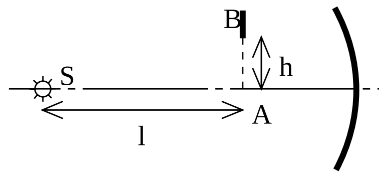

図４．５１

第５章　設問と評価

　ここにおける「設問と評価」は学生の大半にとって、新しい形式の問題である。課題の解決のためには、考察中の課題の物理現象を理解し、この現象の簡単な物理モデルを構築し、物理量などの意味ある値を選び出す必要がある。結果として、現実に相応する結果を得なければならない。

５．１　走りながら砲丸を投げると、どれだけ遠方まで投げられるか、評価せよ。

５．２　軽くて着心地の良い宇宙服を着た宇宙飛行士は、月面上をどれだけの速さで駈けることができるか、評価せよ。

５．３　満杯の浴槽からの水の流出時間について評価せよ。

５．４　高度１０ｋｍを飛んでいる飛行機に乗っている乗客が、日の出を見る。飛行機の直下の地表にいる観測者は、どれだけの時間が経過した後、日の出を見るか、評価せよ。

５．５　高度差１ｋｍの断崖の所で、全速で走ってきた車が自由落下する。着地するまでにこの車がひっくり返る回転数を評価せよ。

５．６　水平に超音速飛行している飛行機が、飛行経路の上空１００ｍの所にそびえ立つ障害物と出会う。衝突を避けるために、パイロットが高度を稼ぎ始めなければならない障害物からの最短距離を評価せよ。

５．７　赤道上で、真上に発射された砲弾は、最高点で垂直線からどれだけの方向に変位するか、評価せよ。

５．８　ヘリウムが満たされた気球の大きさを評価せよ。気球の荷物揚力は１００ｔとする。

５．９　湖の上で、低空でホバリングしているヘリコプターの下の水面の穴の深さを評価せよ。

５．１０　海洋の全ての水が蒸発したとすれば、、大気圧はどの様になるか評価せよ。

５．１１　深さ１０ｋｍの坑道における空気圧を評価せよ。

５．１２　水上スキーで滑ることのできる最小の速さを評価せよ。

５．１３　自転車で坂道を登坂するとき、チエーンの張力を評価せよ。

５．１４　木こりがマサカリを丸太に振り下ろした。マサカリは丸太に半分まで填り込んだ（図５．１４）。マサカリの刃が締め付けられている力を評価せよ。

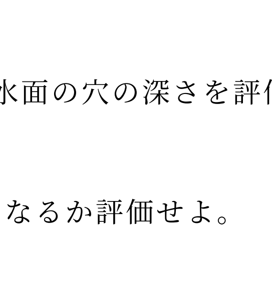

図５．１４

５．１５　濡れた下着が肩ひもで物干し竿に吊されている。肩ひもの張力を評価せよ。

５．１６　水の入ったバケツを、手に持って、その水がこぼれないように垂直面内で回転する。最低どれだけの周期で回転させなければならないか評価せよ。

５．１７　体操選手が鉄棒で大車輪回転を行う。最下点にあるとき、彼はどれだけの力を鉄棒に作用しているか、評価せよ。

５．１８　頭の中で、下げ錘（垂直方向を定める鉛の錘付き糸）に沿って真っ直ぐに進むとしよう。この直線は、地球の中心からどれだけの距離離れるか。中緯度で評価せよ。

５.１９　海洋の表面から地球の中心までの距離は、極点と赤道でどれだけ違っているか、評価せよ。

５．２０　太陽の平均物質密度を評価せよ。

５．２１　開花したパラシュートで降下中のスカイダイバーの速さを評価せよ。

５．２２　バスをひっくり返すことができる風の最低の速さを求めよ。

５．２３　前進中の自転車の前輪が穴に落ち込んだ。乗り手が自転車とともに頭からひっくり返る時の自転車の最低速さを評価せよ。

５．２４　よそ見をしている自転車乗りが、垂直な壁に正面衝突した。タイヤが金属製リムまでこの衝撃で変形する場合の自転車の最低速さを評価せよ。

５．２５　速さｖ＝３０ｋｍ／ｈで動いている自動車が電柱に衝突し、ボンネットに深さｌ＝３０ｃｍのへこみができるとき、車中の運転手を支えている安全ベルトの張力を評価せよ。

５．２６　トラックが道路上で、等速運動から急ブレーキをかけたとき、トラックの前輪にかかる圧力の変位を評価せよ。

５．２７　トラックの急ブレーキの際に、熱として放出される仕事率を評価せよ。

５.２８　競輪のゴールに際して、自転車乗りがどれだけの馬力を出しているか評価せよ。

５．２９　地表近傍で、雨滴が距離１ｍを飛行する際における空気抵抗の力のなす仕事率を評価せよ。

５．３０　バッタが跳躍する際に出す馬力の、その質量に対する関係を評価せよ。

５．３１　釘をハンマーの打撃５回で壁に打ち込んだ。これを引き抜くためには、首の頭にどれだけの力を加えなければならないか、評価せよ。

５．３２　２階の窓から跳躍して着地する際に、人の足が出す平均の力を評価せよ。

５．３３　砲丸の投てきの際における選手の力を評価せよ。

５．３４　仰向けに置いてあった熊手の刃を人が踏んでしまった。熊手の柄が人の頭を打つ速さを評価せよ。

５．３５　紙の上で文字をボールペンで書くときのペンの圧力について評価せよ。

５．３６　下方を滑らかなピストンで閉じられた長いパイプに弾丸を装填し、バイカル湖に沈める。水圧は弾丸を最大どれだけの速さまで加速するか、評価せよ。

５．３７　潜水艦の船体に小さな穴が開いた。それから流れ込む海水の速さを評価せよ。

５．３８　射撃の際に発生する銃身内の火薬気体の圧力について評価せよ。砲身から出る際の弾丸の速さを８００ｍ／ｓとしてみよ。

５．３９　小口径のライフル銃から飛び出す鉛製の弾丸が、標的とした鉄板に衝突するときの仕事率評価せよ。

５．４０　雨滴が静止している壁への衝突の際に、約１０６Ｐａの圧力を与える。雨滴はどれだけの速さで飛んでいたのか。

５．４１　地球の中心での圧力を評価せよ。

５．４２　散水自動車がブレーキをかけた際のタンク内の最大圧力を評価せよ。自動車の速さはｖ＝３０ｋｍ／ｈ、制動距離はｌ＝５ｍとしてみよ。

５．４３　薪に投げ込まれた薬莢から飛び出した弾丸の速さを評価せよ。この薬莢を武器に装着したときの弾丸の速さを８００ｍ／ｓとしてみよ。

５．４４　教室内の空気分子の全運動エネルギーに等しいエネルギーを、室温の水に与えるとすれば、どれだけの質量の水を沸騰まで加熱させることができるか、評価せよ。

５．４５　もし、突然水分子間の相互作用が消失したとすれば、水の入った栓付の瓶はどれだけの速さを獲得するか、評価せよ。

５．４６　地面に横たわっているサッカーボール内部の全ての空気分子が、ある瞬間、垂直上方向の速度を持ったとしよう。ボールはどれだけの高さまで飛び上がるか、評価せよ。

５．４７地球の大気中の酸素のどれだけの部分が、２０億トンの石炭（この数値は１年当たりの石炭の世界生産量にほぼ近い）の燃焼において消費されるか。

５．４８　室内で、空気の側から人間に作用している力を評価せよ。

５．４９　講義室の温度を１０℃上昇させると、どれだけの質量の空気が講義室から流れ出すか、評価せよ。

５．５０照明用電球は薄くて脆いガラス球で作られ、内部に不活性ガスが充填されている。どの様な考えをもとにして、充填するガスの圧力が選択されているのか。この圧力を評価せよ。

５．５１　缶の中一杯に質量ｍ＝１００ｇの氷の塊が入り、その上から蓋が密着して閉じている。氷が溶けた後、間から蓋を引き離すために必要な最小の力を評価せよ。

５．５２　背中に吸い付けられている医療用吸い付き弾を背中から引き離すために必要な力評価せよ。

５．５３　松林の中を去っていく明るい服を着た人を、どのくらいの距離で見失うか、評

価せよ。藪はない。

５．５４　サッカーで強烈なシュートをする際、選手の足とボールとの衝突の時間を評価せよ。

５．５５　空気マットレスを真ん中で９０°折り曲げるために、マットレスの端に加えなければならない力を評価せよ。

５．５６　サウナの炉中の赤熱した石に、杓子から水を少し注いだ。サウナ室内の圧力の変化を評価せよ。

５．５７　散弾の弾がポンプのソース内に入り込んだ（図５．５７）。ポンプの取っ手に力を加えたとき、この弾の飛び出す速さを評価せよ。

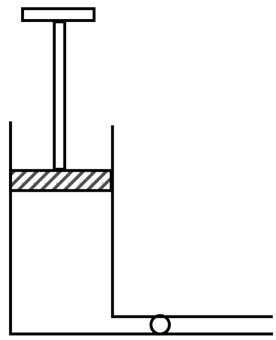

図５．５７

５．５８　パイプを通して、口で吹き飛ばす空気の速さを評価せよ。

５．５９　側壁に１ｃｍの穴が開いた有人衛星の内部の圧力が半分になる時間を評価せよ。

５．６０　自転車用空気入れの何往復で、サッカーボール内に必要な圧力まで空気を付けることができるか、評価せよ。

５．６１　子供の玩具である空気風船を熱い空気で膨らませる。風船内部の温度が幾らになれば、風船は浮き上がるか評価せよ。

５．６２　爆発物１ｔの水深１ｋｍでの水中爆発において形成される空洞の最大半径を評価せよ。爆発物１ｇの爆発エネルギーは約４Ｊとする。

５．６３　人間の目の網膜表面で、光感覚細胞同士の最近接距離を評価せよ。

５．６４　映画フィルムの解像度の性能は、フィルム面上に塗布されている感光剤の結晶の大きさに依存している。従って、結晶を微細化することで、解像度を増大させることができる。映画館のスクリーン上で、観客が像の鮮明度が増大したことに気が付くようになる結晶の限界の大きさを評価せよ。

５．６５　２本の鉄道の線路が一体となって見えるのはどれだけの距離か評価せよ。

５．６６　人の目の網膜上での、講義室の黒板の所に立っている人の像の大きさを評価せよ。

５．６７　眼鏡のレンズは、大洋から来る光のエネルギーを単位面積当たり何倍増加させるか、評価せよ。

５．６８　ＬＰレコードの音声記録溝の大きさを評価せよ。

第６章　問題－演示

演示問題においては、講義室内で実演をしながら物理現象を説明することになる。ここで重要なのは、現象の本質を理解し、様々な要因の中から重要な因子を引き出し、指摘することである。

６．１　糸で天井から垂直に吊されている釘ある。この釘に磁石を横から近づけると、傾斜することを説明せよ。

６．２　釘を曲げたり、その軸の周りに回しながら引き抜くと、釘が簡単に引き抜けることを説明せよ。

６．３　図６．３を見よ。糸で吊された球が、水平方向に動いている円形の物体と衝突する。球が円形物体との衝突後、球の反発の様子を説明せよ。

６．４　高いところから転がってくる球１が並んでいる２つの球２，３の所にやってくる。その後、左端の球３が突き放され、球１，２は停止する。実験に変更を加える。球１は球２までやって来ないで、それらの間においた厚いゴムパッキンにやって来る（図６．４）。ゴムパッキンを経由しての衝突では、球２，３は一緒に突き放される。前半と後半における球の動きの相違について説明せよ。

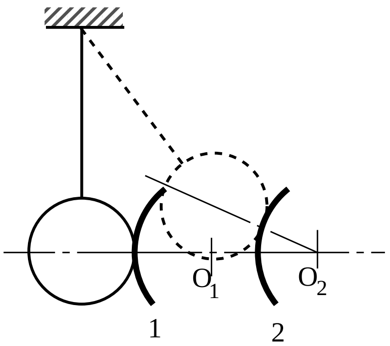

図６．３

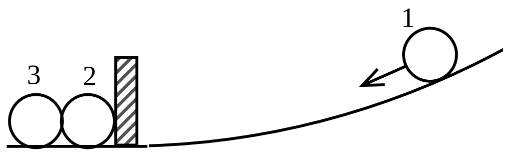

図６．４

６．５　机の上を滑ることができる台に、糸付きの錘が吊されている。一方向に糸で引っ張り、錘を揺らす。これを２通りの方法で行う。最初の場合（図６．５ａ）は、傾いた状態から振り子の運動は自由に行われる。２番目の場合（図６．５ｂ）は、台の中心付近に付けた障害物で振り子の運動は制限される。これら２つの場合において、台の動きの特徴の相違について説明せよ。

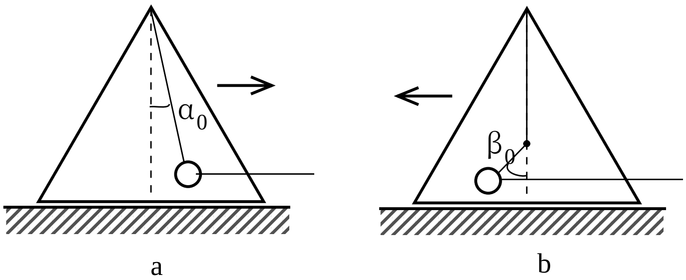

図６．５

６．６　斜面上に木片があり、それに滑車を通した糸が固定されている。糸の下端には錘が固定されている（図６．６）。吊されている錘を自由にしても木片は動かない。が、錘

を小刻みに揺り動かすと、木片が動き始める。現象を説明せよ。

６．７　斜面上に、３本のローラーが等間隔に配置している。両端のローラーは簡単に空回りをし、真ん中のローラーは固着している。真ん中と下のローラーの間に角材を載せると、角材は滑り落ちる。だが、角材を上と真ん中のローラーの間に載せると、角材は滑り落ちない。現象を説明せよ。

６．８　円筒型容器１が、プラスチック軸２に被さっている（図６．８）。混合燃料４を転化するため、軸に沿って電気回路３の導線が導かれている。まず始めに、円筒型容器がない状態で、混合気体に点火を実演する。そして、円筒型容器を被せる。１番目の処方として、軸を軽いバネ状の導線５に固定する。混合気体に点火する。円筒型容器は飛び去る。２番目の処方として、軸をバネではなく、重い台に固定する。点火すると円筒容器は非常に高く飛び去る。この効果を説明せよ。

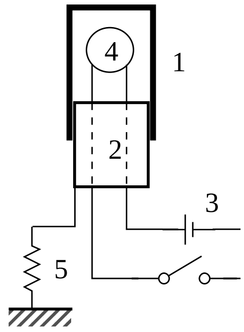

図６．８

６．９　水の入った容器の下に接続されているホースは、２つの同じ大きさの穴で終わっている。２つの穴を開放すると、同じ高さの２つの噴水が流れ出る。穴の片方を閉じると、他方の噴水の高さは初めは極めて大きくなるが、直ぐに小さくなり、最初の場合と同じでとどまる。この現象を説明せよ。

６．１０　垂直に置かれた上部が密閉されたシリンダに、下部から滑らかなピストンを差し入れる。このピストンに錘を固定すると、ピストンは簡単にシリンダから抜け落ちる。しかし、シリンダ内に水を入れると、重い錘としてもピストンは殆ど動かなくなる。現象を説明せよ。

６．１１　水が少しは言っている密閉容器内に、玩具の潜水夫が浮いている。容器にパイプを付ける。パイプから空気を吹き込むと潜水夫は沈む。吹き込みを止め、パイプを開放したままにすると、潜水夫は浮き上がる。が、時折潜ったままとなる。玩具の振る舞いを説明せよ。

６．１２　バーナーの炎がくすぶっている。垂直なガラスパイプを上に置くと、煤は姿を消すが、しかし、パイプの上端を閉じると、再び現れる。現象を説明せよ。

６．１３　２本の同型の瓶がほぼ完全に水で満たされている。そのうちの１本に、パイプの上端の穴を手で閉じながら、そこまで達するように瓶に差し入れる。２本の瓶を同時に逆さまにし、それと同時に、閉じていたパイプの穴を解放する。パイプの付いた瓶の方が早く水が流れ出る。現象を説明せよ。

６．１４　可動ピストンで閉じられた容器内に、気体とアセトンでしめらせた綿が入っている。ピストンを下げ、容器内の体積を圧縮する。容器内の圧力の変化特性を説明せよ。圧力は液体圧力計で測定するものとする。

６．１５　詰めたいフラスコに熱湯を注ぎ、その口に風船を取り付ける。フラスコを揺り動かして止めると、風船は膨らむが、その後縮む。再びフラスコを揺り動かすと、膨張効果が繰り返されるが、少し弱くなる。現象を説明せよ。

６．１６　２つの同型の容器を、熱湯で同じ温度まで加熱する。この際、水で注ぎ洗いをしておき、他方は乾いたままである。この後、口を下にして、２つの容器を冷水につける。冷却が済んだ後、容器内に引き込まれた水の量が顕著に異なる。現象を説明せよ。

６．１７　沸騰水の入ったフラスコとコンロから外す。沸騰が停止する。大きめの銅棒が貫いているゴム栓でフラスコの口をしっかりと締め留と、沸騰再開する。現象を説明せよ。

６．１８　着色された液体の入った容器に細いガラス管が立ち、液中が見えるようになっている。加熱用コンロに容器を載せて加熱する。管中の液柱の高さは最初は下にさがるが、その後上昇する。現象を説明せよ。

６．１９　？？一定電圧下にあるＺ字型の回転器具の回転が、器具と電気的接触のある導電性の骨組みを被せると何故停止するかを説明せよ。

６．２０　平板コンデンサの電極間に軽い金属球を吊す。コンデンサに一定の電圧を加えると、電極の一方に引きつけられ、それに触れ、それから他方に押しやられる。このような飛び移りが短時間に繰り返される。現象を説明せよ。

６．２１　接地した金属球と帯電した金属球の間に、帯電していない金属球を絶縁糸で吊り下げる。帯電球の移動に伴う非帯電球の動きを説明せよ。

６．２２　導電性の車輪が垂直面内で、車軸の周りに自由に回転することができる。車輪の軸とそのリムの間に、一定の電位差がある。車輪に磁石を近づけると、車輪は回転し始める。磁石の極を変更すると、回転の方向は逆に変わる。現象を説明せよ。

６．２３　コイルに鉄製の棒を差し入れる。棒にリングを被せる。最初、リングは緊密なアルミニュームで、その次にはすかすかのアルミニュームで行う。コイルの交流を流すと、リングの振る舞いは全く異なる。現象を説明せよ。

６．２４　２つの磁気コイルを、それらの軸が一致するよう近接して配置し、交流を流す。コイルの間に、順番に銅板と鉄板を差し入れる。コイルの間に銅板を差し入れたときには、引っ張り合っていたコイル同士が反発するのは何故か。銅板の代わりに鉄板を差し入れると、この様子が変わるのは何故か。

６．２５　銅線でできたコイルを永久磁石の磁極の間で振動させる。コイルの両端を開放したときと短絡したときで、どの様に振動が異なるか。観測される現象を説明せよ。

６．２６　実験台の上に、２つの拡声器（音源）がある。最初、片方の拡声器のスイッチを入れ、そして切る。次に、他方の拡声器のスイッチを入れ、そして切る。両方の拡声器の音の大きさと高さは耳で聞いて同じである。両方の拡声器を同時にスイッチを入れると、音の大きさがゆっくりと振動するのが聞こえる。この振動は何故起こるのか。

６．２７　音波の振動数の交流が流れている弦に沿って磁石を動かす。弦の音の大きさが変化する。この現象を説明せよ。

６．２８　円筒パイプ内に、その一端に取り付けている拡声器１を使用して一定振動数の音波の振動が発生している（図６．２８）。ピストン２の移動でパイプの長さが変わる。パイプの側壁にマイク３があり、増幅器４を系津市手パイプからの信号を拡声器５に送る。ピストンを移動させると、拡声器５の音声の大きさが何故変化するのかを、説明せよ。この実験装置を、パイプ中の振動過程のパラメータの決定のために利用できるであろうか。

６．２９　音声周波数の発振器１１から電圧を拡声器２とオシロスコープの水平偏向板に送る（図６．２９）。オシロスコープの垂直偏向板には、拡声器２で発生する音波の受信

器であるマイク４からの信号を送る。拡声器４に相対的にマイク２の移動に伴うオシロスコープの画面上で観察される変化の原因について説明せよ。この実験装置を音速を定めるために使用することができるか。

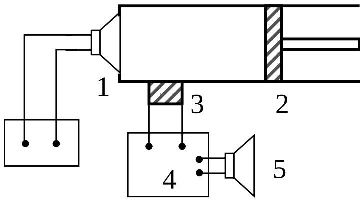

図６．２８

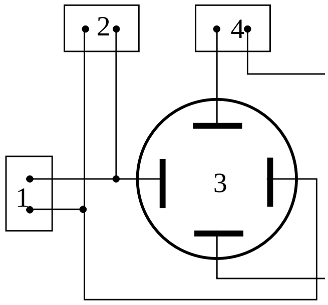

図６．２９

６．３０　２つの誘導コイルと電球でできている電気回路に交流電源を接続する。コイルの片方に、鉄製の挟み物を入れると、電球の輝度が上がる。他方のコイルの入れると、電球の輝度は低下する。このような電気回路を作図せよ。また回路の動作の現象を説明せよ。

６．３１　電球を同じ輝度で光らす電圧の異なった２つの電源がある。誘導コイルの出力端子への短時間の結線で、片方の電源もに強いアーク放電をする。観察される現象を説明せよ。

６．３２　図６．３２で示している回路に結線された電球はスイッチ２を閉じたときより、スイッチ１を閉じたときの方が弱く光るのは何故か。

６．３３　円周付近に１個の目印を書き入れた円盤が回転し、パルス光のランプ（ストロボランプ）で照らされる。ランプの光のもとで、３つの目印が１２０°の角度で配置しているのが見える。観察したこの様子から、円板の回転速度を求めよ、ランプのパルス周期は既知である。

６．３４　２枚の平らで平行な鏡の間に、光源－電球を置く（図６．３４）。電球をつけると、スクリーン上に明暗の縞が現れる。実験の様子を描写し、現象を説明せよ。

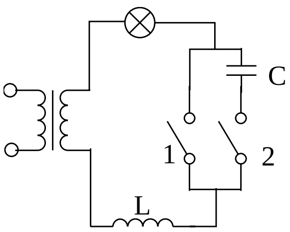

図６．３２

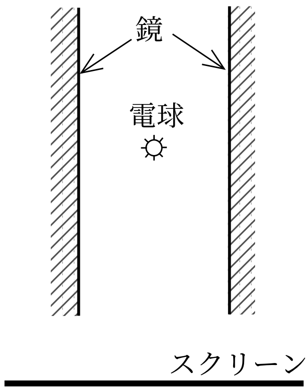

図６．３４

６．３５　平らで薄いガラス板の束を通過して光が水に入射し、スクリーン状に文字を作る。水がないとこの文字は消える。効果を説明せよ。

６．３６　光源にスイッチを入れ、受光素子の電流を調整する。その後、光路上に厚くて平らで透明なガラス板を置く。最初は光源は通常の白熱電球である。その後に、光源として平行光線源を用いる。前者では、板を入れた後では光電流は増大し、後者では減少する。効果を説明せよ。、

６．３７　レンズを通して光がスクリーンに当たると、明るいリングで縁取られた黒い輪がよく見える。観測される現象を説明せよ。

６．３８　白熱電球のフィラメントが対物レンズでスクリーン上に投射されている。レンズを不透明に材料でできた帯で隠す。最適なピントが合う位置から電球を動かすと、像は特徴的な変化をする。観察される現象を説明せよ。

６．３９　ランプとレンズの間に、水の入った壁の平らなパットがおいてある。スクリーンにランプのフィラメントのピントのあった像が見えている。パットを取り去ると、像は不鮮明になる。現象を説明せよ。

６．４０　ぴかぴかの缶詰缶に、平らな凹みがあり、そこからスクリーン上に光が反射している。缶に冷たい液体を注ぐ。反射光が消失する。現象を説明せよ。

６．４１　厚いガラス板の上に、微少角度で細い光束を入射させると、スクリーン上に異なった明るさの光跡が幾つか見える（図６．４１）。現象を説明せよ。

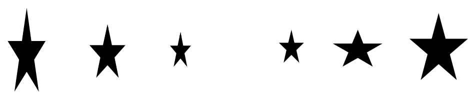

図６．４１

６．４２　レーザー光が透明で平らな板に垂直に入射する。板の表面は光を全方向に散乱するようになっている。板上には次のような模様が見られる。中央にまぶしい点。明瞭な輪郭境界のある暗い輪と、この輪の外に明るい光の輪。現象を説明せよ。

６．４３　ミルクの入った垂直円筒形のガラス容器に、細くて強い光束を、容器の軸に沿った方向から通過させる。また軸に垂直な方向からも通過させる。それらの強度を記録しておく。その後、ミルクを希釈すると、軸方向に沿った光の強度は変化がなく、垂直方向の光の強度は極めて大きくなる。現象を説明せよ。