高校物理演習２０問

物理において重要かつ受験に頻出な分野はいくつかありますが、その内、学校の先生が解説しなかった、又は、分かり易い解説をしてくれなかった分野の問題を選出してデータ化しておきました。物理が得意な生徒に是非使って欲しいです。問題自体は僕が作ったわけではありませんが、図やグラフは僕が Microsoft で作ったものなので少し見にくいところがありますがご了承下さい。解答はノートに手書きで書いておきました。生徒会室に置いておきます。データをコピーしても別に構いませんが、販売などの営利目的で用いることは固く禁じます。

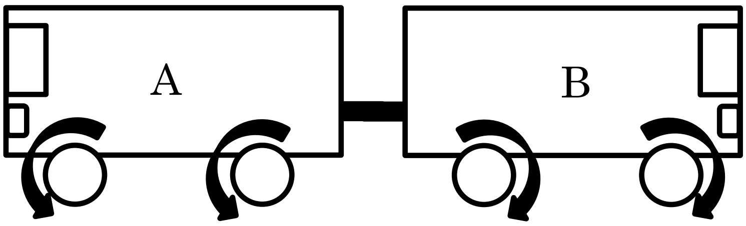
問題１「つり合いと組み合わせ滑車」........2
問題２「棒でつなげられた２物体の運動」........3
問題３「抵抗力を受ける物体の運動」........4
問題４「相対運動」........5
問題５「ベルトコンベア上の運動」........6
問題６「三角台の単振動」........7
問題７「万有引力による運動」........8
問題８「ばねでつなげられた２物体の運動」........9
問題９「浮力によるピストンの運動」........10
問題１０「カルノーサイクル」........11
問題１１「外圧が変化する気体の状態変化」........12
問題１２「ピストンでつながれた２容器の変化」........13
問題１３「ポアソンの断熱膨張」........14
問題１４「３つのスリットによる干渉」........16
問題１５「薄膜による光の干渉」........17
問題１６「波の回折」........18
問題１７「マイケルソン干渉計」........19
問題１８「誘導電場」........20
問題１９「コンデンサーの極板間に働く力」........21
問題２０「導体棒の運動」........22

問題１「つり合いと組み合わせ滑車」

Ⅰ同じ質量、同じ形の電車Ａ，Ｂを２台用意し、下図のように連結して、粗い地面の上に置く。それぞれ車輪を等速で回転させると２台とも動かなかった。

（１）Ａの車輪の回転速度を少しだけ上げげた。２台の運動はどうなるか。理由も説明せよ。

（２）車輪の回転速度を元に戻して、Ａに何人かの乗客を乗せた。２台の運動はどうなるか。理由も説明せよ。



Ⅱ下図のようにおもりと質量の無視できる滑車を組み合わせて、糸を張り、２種の組み合わせ滑車を作って静止させた。

（１）左側の組み合わせ滑車について

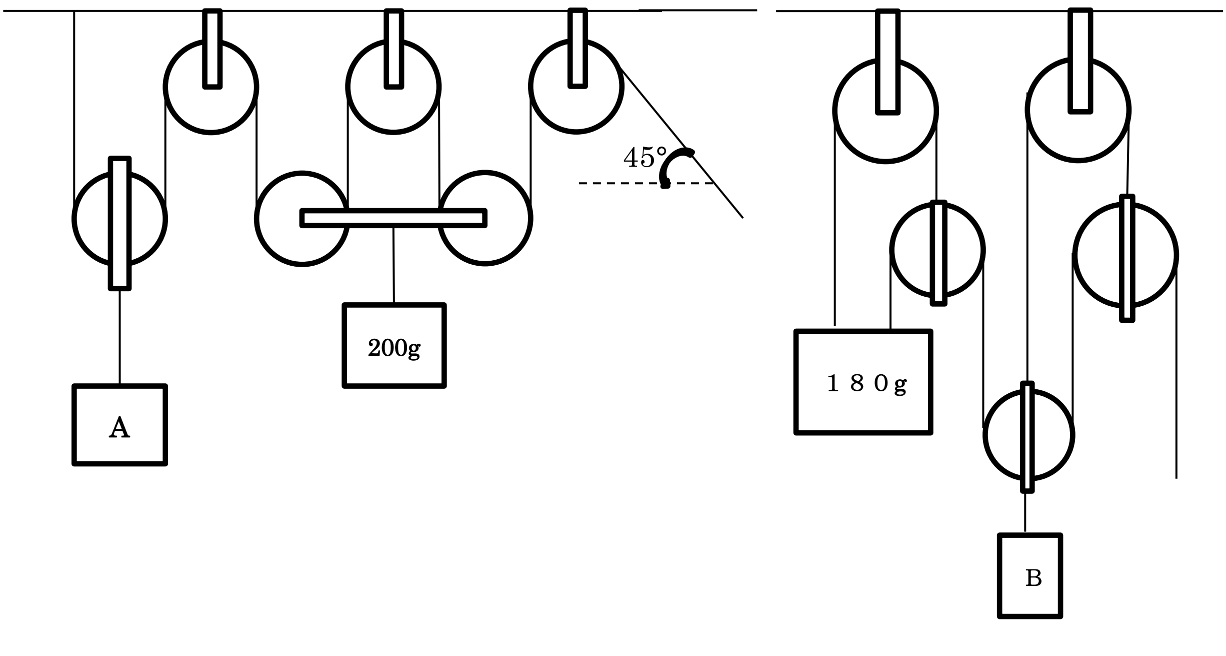
（ｉ）おもりＡは何ｇか。

（ⅱ）糸を引く力はおもり何ｇ分に相当するか。

（２）右側の組み合わせ滑車について

（ｉ）おもりＢは何ｇか。

（ⅱ）糸を引く力はおもり何ｇ分に相当するか。



問題２「棒でつなげられた２物体の運動」

両端に質量m〈ｋ ｇ〉の小球を取り付けた、長さl〈ｍ〉の棒の運動を考える。ただし、重力加速度をg〈ｍ/ｓ^2〉とし、小球の大きさ、棒の質量と太さ、空気抵抗、床からの摩擦は無視できる。また、壁や床との衝突は全て完全弾性衝突とする。

Ｉ棒を横にして床に置く。棒に垂直な方向に、棒の一端だけに外力を加えて、初速度v_0〈ｍ/ｓ〉を与える。

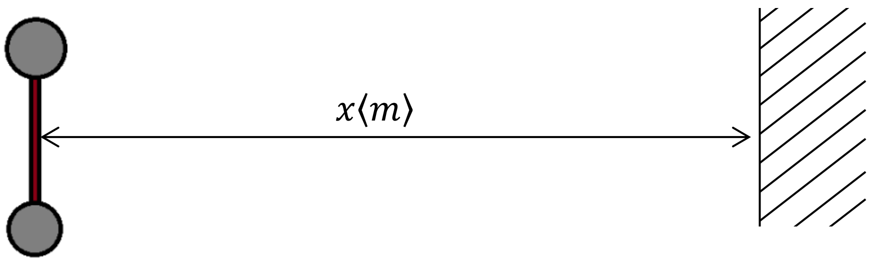
（１）物体全体の重心は一定の速度v_G〈ｍ/ｓ〉で進んでいく。v_Gを求めよ。

（２）（１）の重心から見ると、両小球は等速円運動するように見える。

（ｉ）なぜ「等速」円運動するように見えるのか。

（ⅱ）小球が棒から受ける力の大きさを求めよ。

（３）棒は最初の位置からx〈ｍ〉離れた壁に衝突し、元の位置を通過した。xを求めよ。



ⅡⅡ棒を床に垂直になるようにして壁に立てかけると、「上の小球」が初速度０で動き出し、「下の小球」を中心とする円運動を始めた。

（１）下図のようにθをおく。下図における上の小球の速さを求めよ。

（２）やがて下の小球も動き出す。このときのθを$\theta=\alpha$とする。$\cos\alpha$を求めよ。

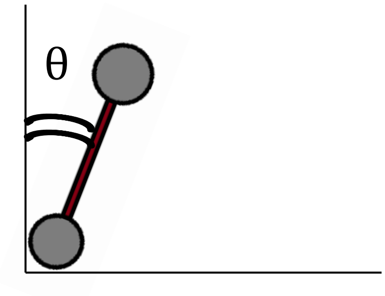
（３）（２）の後、重心から見ると、両小球は重心を中心に回転運動するように見える。

（ｉ）なぜ重心中心の回転運動に見えるのか。力の矢印を書いて説明せよ。

（ⅱ）重心の速度の鉛直成分をV〈ｍ/ｓ〉とする。このとき、この回転運動の角速度を求めよ。

（４）いずれ上の小球は床とぶつかり、その後上昇する。上の小球が最高点に達したときのθを

$\theta=\beta$　とする。α,β はどちらが大きいか。理由も説明せよ。



問題３「抵抗力を受ける物体の運動」

水平でなめらかな床の上に静止している質量M、長さlの直方体の物体に、質量mの弾丸を速度v（＞０）で水平右向きに衝突させる。ただし、物体及び弾丸の運動はつねに同一直線上で起こるものとし、速度はすべて床に対する値で右向きを正とする。

（１）次の(ⅰ)～（ⅲ）の各場合について、弾丸が衝突してから十分に時間が経過したときの物体の速度Vを求めよ。

（ⅰ）弾丸が物体内にとどまる場合（弾丸が物体に対して静止する場合）。

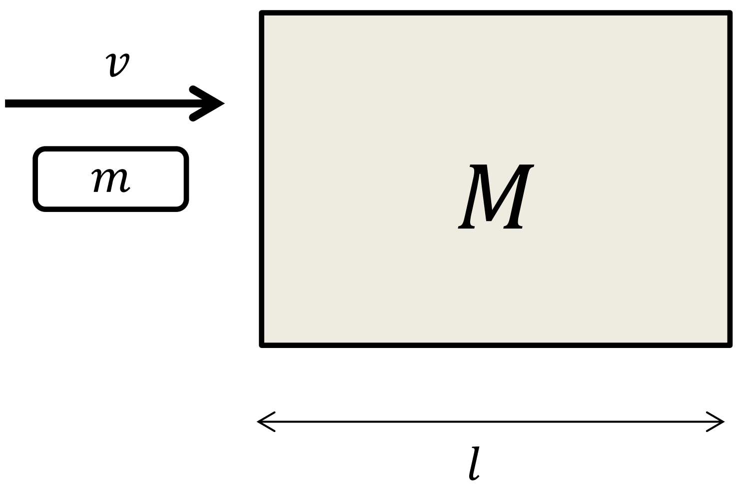
（ⅱ）弾丸が物体を突き抜け、突き抜けた直後の弾丸の速度が$\frac{v}{2}$になる場合。

（ⅲ）弾丸が物体と衝突して跳ね返され、衝突した直後の弾丸の速度が$\frac{v}{2}$になる場合。

（２）（１）で、（ⅱ），（ⅲ）が起こるためにm, Mの満たすべき条件をそれぞれ求めよ。

（３）（１）の（ⅱ）の場合、弾丸が物体から受ける抵抗力の大きさFと弾丸が突き抜けるまでに物体が移動した距離Lを求めよ。

（４）（１）の（ⅱ）の場合、弾丸が木片に当たってから貫通するまでの時間を求めよ。



問題４「相対運動」

質量M、半径Rのリングと質量mの小球を床に横にして置く。下図のように小球に初速度vを与える。ただし、床・各物体の間に摩擦はないものとする。

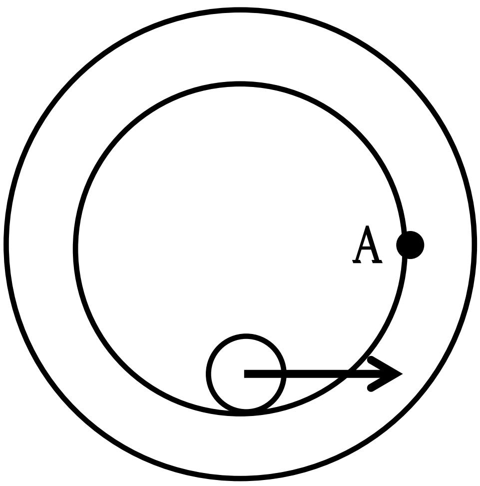
（１）小球はリングから一定の力を受けて運動する。その力の大きさを求めよ。

（２）小球が点Ａを通るとき、小球の速さを求めよ。

（３）小球がリング内を一周するのにかかる時間を求めよ。

（４）小球が一周したとき、リングはどれだけの距離を移動したか。

（５）リングはどのような運動をするか。図や式を用いて説明せよ。



問題５「ベルトコンベア上の運動」

速さvで回転するベルトコンベアが水平な床の上に置かれている。そこに、質量mの物体を乗せたときの運動を考える。ただし、重力加速度はg、物体とベルトコンベアとの間の静止摩擦係数、動摩擦係数はそれぞれμ, μ'とする。

Ⅰ　物体をベルトコンベアに乗せた瞬間、物体にベルトコンベアの回転方向と６０°をなす方向に初速度$2v$を与える（図１）。物体がベルトコンベアに対して静止するまでに、物体はどれだけ移動するか。

Ⅱ　物体を図２のようにばね定数kのばねの一端とつなげてばねが自然長の状態でベルトコンベアの上に置く。バネの他端は手で持って固定する。このときの、物体の位置を点Oとする。しばらくすると、物体はベルトコンベアに対して動き始める。このときのばねの伸びを求めよ。

Ⅲ　Ⅱの後、物体はベルトコンベアに対して運動を続け、点Oを速さVで通過した。Vを求めよ。

Ⅳ　Ⅲの後、物体はベルトコンベア上で周期的な運動をはじめた。この運動の周期Tは、vを０から少しずつ大きくしていくとどうなるか。

Ⅴ　ベルトコンベアの回転の速さはそのままで、回転方向だけを逆にしたとき、Ⅳと比べて運動の周期はどう変化するか。理由も説明せよ。

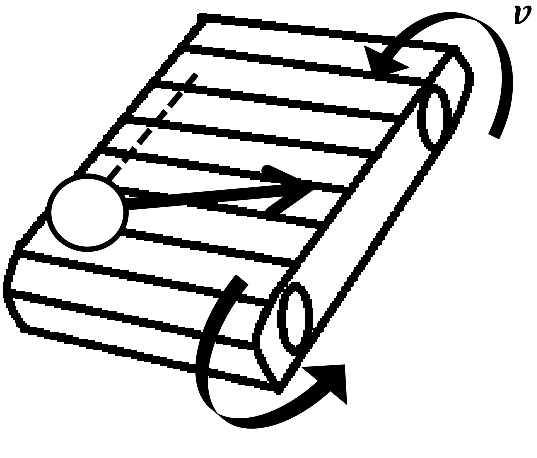


図１

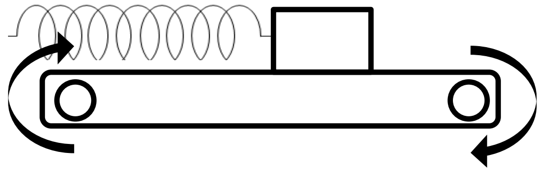


図２

問題６「三角台の単振動」

下図のように、水平面に対して角θをなす、質量Mの斜面台Ｐが壁に接触している。Ｐの一端にばね定数kのばねの一端を接続し、他端に質量mの小球Ｑを取り付けたところ、全体が静止した。ただし、物体間の接触はなめらかで、空気抵抗の影響は無視できるものとする。

（１）

全体が静止している状態で、ばねは$\boxed{\quad ア \quad}$だけ縮んでいる。このときのＱの位置を原点として、斜面上向きを正とするx軸をとる。今、Ｑに外力を加えて、Ｑを$x=-d$の位置まで押し下げて静止させた。その後、Ｑを静かに放すと、ＱはＰ上を上昇し始めた。Ｑが$x=0$の位置に達するまでの時間は$\boxed{\quad イ \quad}$であり、そのときのＱの速さは$\boxed{\quad ウ \quad}$で、Ｐが壁から受ける力の大きさは$\boxed{\quad エ \quad}$である。この直後、Ｐは壁から離れて動き出し、ＱはＰから離れることなく、運動を続けた。

Ｐが動き始めたあと、Ｑは周期的な運動をする。この時の運動について詳しく考えてみよう。Ｑが座標xの位置に来たとき、ＰがＱから受ける垂直抗力の大きさをNとする。Ｐの加速度を、水平右向きを正としてAとすると、Ｐの運動方程式は

$MA=\boxed{\quad オ \quad}$

と表される。また、このときのＰに対するＱの加速度を斜面上向きを正としてaとすると、Ｐ上からみたＱの運動方程式は

$ma=\boxed{\quad カ \quad}$

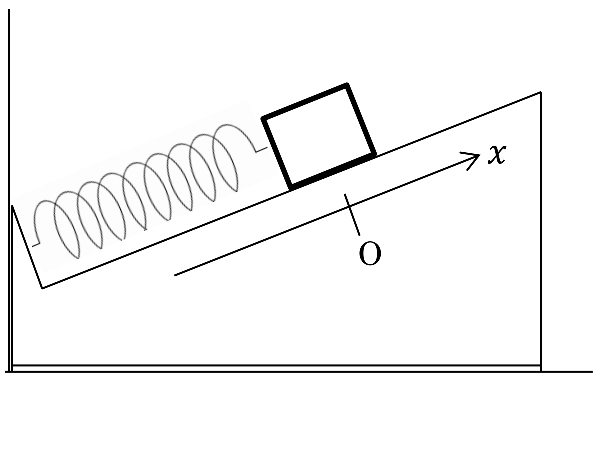
と表され、Ｐ上から見たＱの斜面に垂直な方向の力のつり合いの式は、

$\boxed{\quad キ \quad}$

と表される。よって、ＱがＰから離れない条件は　$d \leqq \boxed{\quad ク \quad}$である。また、Ｑが最高点に到達した瞬間のＰの速さは$\boxed{\quad ケ \quad}$であり、このときのＱのx座標は$\boxed{\quad コ \quad}$である。

（２）

Ｐ，Ｑを元の状態に戻し、Ｑをばねから取り外し、その後あらためてＱをばねに接触させてＰの上に置く。このとき、（１）と同様にＱを押し下げると、やはりＱは周期的な運動をする。この運動の周期は（１）の場合　サ（①より大きい②より小さい③と等しい)。また、この場合、Ｑが最高点に到達した瞬間のＰの速さは$\boxed{\quad シ \quad}$であり、このときのＱのx座標は$\boxed{\quad ス \quad}$である。



問題７「万有引力による運動」

質量Mの恒星と質量mの惑星があり、それぞれある点を中心に等速円運動している。ただし、万有引力定数をGとし、この系には一切の外力が働かないものとする。

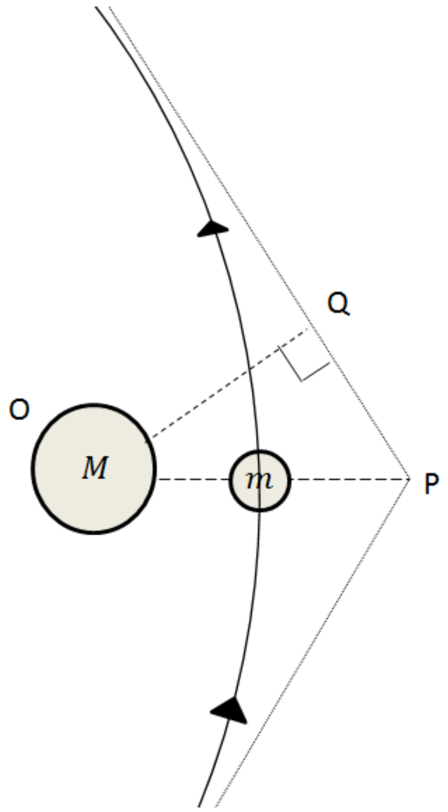
Ⅰ　恒星・惑星間の距離をRとする。それぞれの円運動の速さを求めよ。

以下、Mはmに対して十分に大きいものとする。
Ⅱ　惑星の持つ力学的エネルギーを求めよ。

Ⅲ　惑星が一瞬、力積を受けて加速し、恒星を一つの焦点とする、半長軸の長さ$a(> R)$の楕円軌道を描くようになった。このとき、惑星の持つ力学的エネルギーを求めよ。

Ⅳ　Ⅲで、惑星に与える力積が十分に大きいと、惑星の持つ力学的エネルギーは０よりも大きくなるので、惑星は無限遠に飛んでいく。このとき、力積を与えられた直後の惑星の速度をV,無限遠での惑星の速度をvとする。惑星は恒星を１つの焦点とする双曲線軌道を描くが、「双曲線の性質」より、２焦点からの経路差は一定値$2b$をとる（b> 0）。このとき、下図で、ＯＰ＝$\boxed{\quad ア \quad}$、ＰＱ＝$\boxed{\quad イ \quad}$が成り立つ。次に、面積速度一定の法則を用いると、恒星と双曲線の漸近線との距離は$\boxed{\quad ウ \quad}$と表せる。さらに、力学的エネルギーの保存則と三平方の定理を用いると、このとき、惑星の持つ力学的エネルギーは$\boxed{\quad エ \quad}$である。

Ⅴ　Ⅲで、惑星に与える力積をうまく調整すると、惑星の持つ力学的エネルギーは０になった。この後、惑星はどのような軌道を描くか。簡潔に説明せよ。



問題８「ばねでつなげられた２物体の運動」

質量mの小球を両端に取り付けた、ばね定数kのばねがある。

問１　なめらかで水平な床の上を、ばねは自然長lのままこの物体が初速度vで壁に対して垂直にすべって、壁と完全弾性衝突した。

（１）衝突後にばねが最も縮んだ瞬間のばねの長さを求めよ。

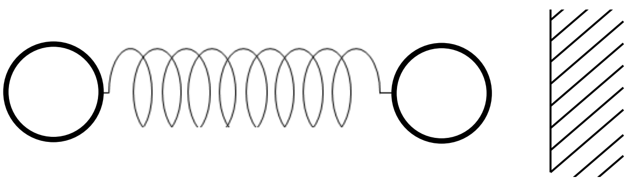
（２）右の小球が最初に壁に衝突してから、次に衝突するまでの時間を求めよ。

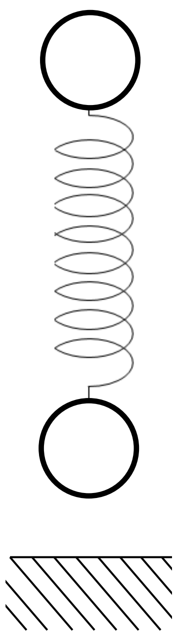
（３）各小球の位置と物体の重心位置の時間変化をグラフに表せ。

問２　ばねを自然長lのまま下の小球の高さhのところから、初速度０で水平な床に対して垂直な方向に落とすと、下の小球は床と完全弾性衝突した。

（１）どのように跳ね返るかについて、問１（３）の場合と比較して概略を説明せよ。このとき、下の小球が２度目の衝突をするまでの時間にわたって、各小球の位置と物体の重心位置の時間変化の概要をグラフに表して説明せよ。

（２）衝突を繰り返した後、物体の重心の高さが、落下前の物体の重心の高さまで戻るか否かについて、理由を添えて説明せよ。





問題９「浮力による運動」

大気圧Pの下で、空気が入った容器を、十分な体積の水に浮かべて静止させると下図のようになった。この容器の上面を２つの方法で容器外の水面と同じ高さにする方法を考える。１つ目の方法では、直接容器に外力を加えて容器をゆっくり沈める。２つ目の方法では、容器の上に質量の無視できるピストンを取り付け、ピストンに外力を加えることで、容器をゆっくり沈める。ただし、水の密度をρ、容器の底面積をS,重力加速度をgとし、容器に加わる浮力の影響は無視できるものとする。

（１）容器の質量を求めよ。

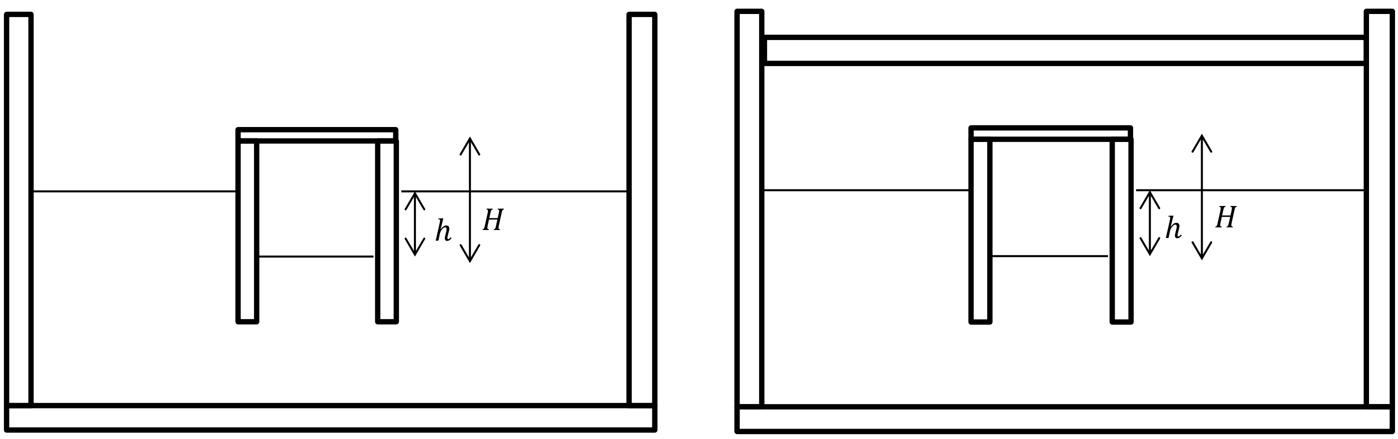
（２）水の体積が十分に大きければ、一連の操作において、気体の温度は一定であるとみなせる。その理由を簡潔に説明せよ。

（３）それぞれの方法について、容器内外の液面の差はどれだけ変化するかを説明せよ。また、どちらの変化量の方が大きいか。

１つ目の方法と比べると、２つ目の方法で容器の上面の高さを調整するのは非常に難しい。その理由を考える。

（４）容器の上面が容器外の水面と同じ高さになった状態（状態Ａ）から、さらにxだけ低い位置になったとき、容器内の水面の高さは状態Ａのときと比べてどれだけ変化するか。ただし、xおよび水面の高さの変化量は微小量として良い。

（５）（４）のとき、容器に働く合力（下向き正）をxを使って表せ。また、２つ目の方法で容器の上面の高さを調整するのが難しい理由を簡潔に説明せよ。



問題１０「カルノーサイクル」

１mol の理想気体が図のような状態変化を行うものとする。まず過程①では理想気体が一定の温度 T_2 に保たれて、その体積が V_1 から V_2 まで増大し、その間に理想気体は外部から熱量 Q_1 を受け取り、外部に対して仕事 W_1 を行う。次に、過程②では、理想気体の断熱膨張が起こり、その温度が T_2 から T_1 まで下降するあいだに理想気体は外部に対して仕事 W_2 を行う。さらに、過程③では、温度 T_1 の等温圧縮が起こり、理想気体が外部へ熱量 Q_3 を放出し、また外部から仕事 W_3 を受け取る。最後に過程④では、断熱圧縮が起こり、理想気体が外部から仕事 W_4 を受け取る。解答には気体定数 R を用いて良い。

（１） Q_1 と W_1、 Q_3 と W_3、それぞれの関係式を記せ。

（２） W_1、 W_3 を求めよ。

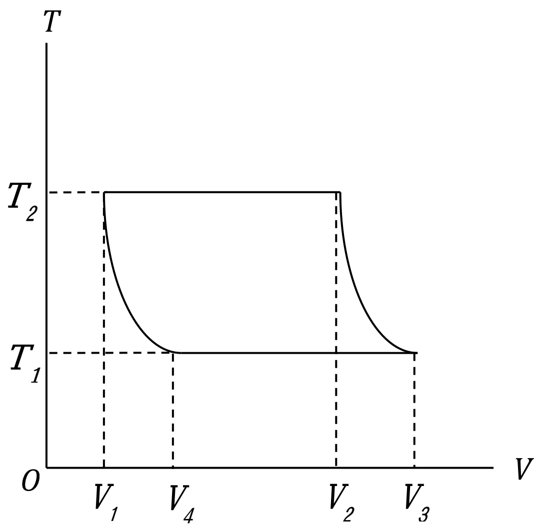
（３）理想気体の定積モル比熱を C_v とする。 W_2,、 W_4 を求めよ。

（４）②、④の断熱変化において、「$TV^{\gamma-1}$ ＝一定」が成立する。$\gamma-1$ は R と C_v を用いてどのように表されるか。

（５）（４）の関係式を用いて、 V_2/V_1 を V_3、 V_4 を用いて表せ。

（６）（５）の結果に基づいて、 W_3/W_1 を求めよ。

(7) この熱機関の熱効率を求めよ。



問題１１「外圧が変化する気体の状態変化」

図のように、圧力がＰの大気中で鉛直に立てられたシリンダーの中に、単原子分子理想気体が、断面積Ｓのピストンによって封じられている。ピストンの質量は無視できるが、その上には密度ρの液体が入れられていてつりあいが保たれている。最初、シリンダー底面からピストン下面までの距離と、ピストン上面から液体表面までの距離はともにＨであり、液体表面は容器の縁すれすれの位置にあった。この状態を「状態１」と呼ぶことにする。

　気体と、シリンダー及びピストンとの間の熱の移動、また、ヒーターの体積、ヒーターの熱容量、ピストンや液体とシリンダーの間の摩擦は無視できる。重力加速度をgとする。

Ⅰ　状態１から気体をゆっくりと加熱すると、シリンダー底面からピストン下面までの距離が$H+x(0<x<H)$、ピストン上面から液体表面までの距離が$H-x$になった。この状態を「状態２」と呼ぶことにする。

（１）状態１から状態２に変化する間の気体の内部エネルギー変化を求めよ。

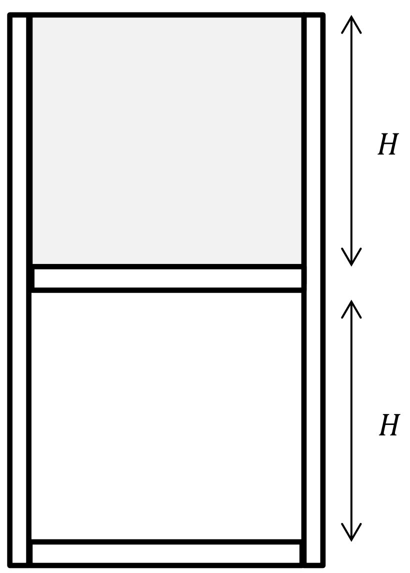
（２）状態１から状態２の間にヒーターが気体に加えた熱を求めよ。

Ⅱ　気体を加熱し続けると、ピストンはゆっくりと上昇し、$x=H$になった。

（１）気体を「加熱し続けて」、$x=H$になるためには、ρはある値ρ_0より小さいことが必要である。

ρ_0を求めよ。

（２）$\rho=\rho_0$のときを考える。$x=H$のときの気体の温度をT_0、$0<x<H$のときの気体の温度の最大値をT_1とおく。T_0：T_1を求めよ。



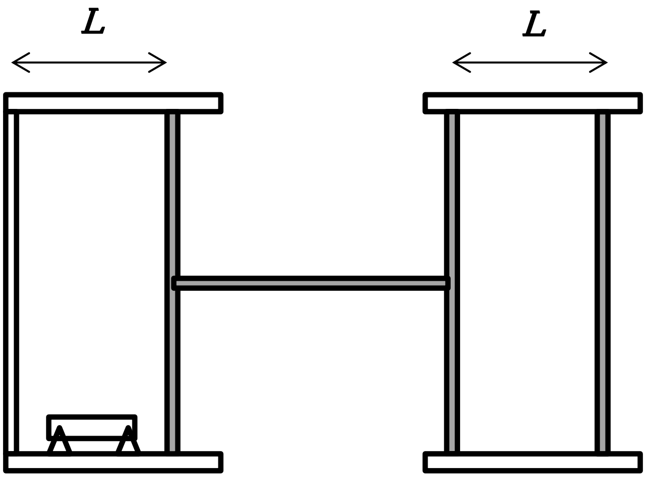
問題１２「ピストンでつながれた２容器での状態変化」

図のように、大気中に、断面積がともにＳの円筒容器Ａ，Ｂを、その中心軸が水平になるように固定する。Ａは一端が閉じており、Ｂは両端が開いている。さらに、ピストンａ，ｂを用いてそれぞれの円筒に単原子分子理想気体を封入する。ａは、Ａ内のピストンとＢ内のピストンを連結棒でつないだもので、ピストンａ，ｂは、気密を保ったまま、なめらかに円筒の内面に沿って水平方向に移動できるものとする。円筒Ａ、およびピストンａ，ｂは断熱材でできているが、円筒Ｂは熱をよく通す物質ができており、円筒Ａの底には体積の無視できるヒーターが取り付けてある。大気は、圧力がＰ、絶対温度がＴで一定に保たれ、初め、円筒Ａ，Ｂ内の気体はともに、圧力がＰ、絶対温度がＴ、気柱の長さがＬであったとする。

（１）ピストンａ，ｂを自由に動けるようにして、はじめの状態から、ヒーターを用いてＡ内の気体をゆっくりと温めて絶対温度を２Ｔにした。この間のピストンａの移動距離x_1、およびＡ内の気体がピストンａにした仕事W_1をそれぞれ求めよ。

（２）全体をはじめの状態に戻し、ピストンｂを固定してから、ヒーターを用いてＡ内の気体をゆっくりと温めて絶対温度を２Ｔにした。この間のピストンａの移動距離x_2、およびＡ内の気体がピストンａにした仕事W_2をそれぞれ求めよ。ただし、Ａ内の気体の圧力と体積の変化を表す曲線を直線で近似して良いものとする。

（３）全体をはじめの状態に戻し、ピストンｂを固定し、円筒Ｂ全体を断熱材で包んでから、Ａ内の気体を温めて絶対温度を２Ｔにした。この間のピストンａの移動距離x_3、およびＡ内の気体がピストンａにした仕事W_3を求めよ。ただし、（２）で用いた近似は使えず、最後の状態でのＢ内の気体の絶対温度は、（本来はポアソンの式を用いて求めるが、ここでは）６T/５とみなしてよい。



問題１３「ポアソンの断熱膨張」

図のように、１つの面が開いた断面積Ｓの直方体型の断熱容器に断熱仕切り板Ｈを用いて単原子分子の理想気体を封じ込める。図１のように容器の辺に沿ってx, y, z軸を定める。Ｈは容器の中で気密性を保って摩擦なしにx軸方向へ動かすことができる。

（１）はじめ、断熱仕切り板Ｈの位置は、容器の底面から距離Ｌの位置にあり、封じた気体の分子数はＮで、気体分子１個の質量はmである。いま、Ｈを分子の平均の速さに比べて十分小さい一定の速さu（uはv_xに対して十分に小さい）でゆっくりx軸の正の向きに動かす場合を考えよう。このとき、速度のx成分v_xの分子がＨと１回弾性衝突をして、その速度のx成分が$\boxed{\quad\text{ア}\quad}$に変化した。衝突によるこの分子の運動エネルギーの変化$\varDelta e$は$\boxed{\quad\text{イ}\quad}$と表せる。（微小量は無視して良い）。Ｈが底面から距離Ｌの位置に静止している場合には、短い時間$\varDelta t$の間にこの分子がＨに衝突する回数は$\boxed{\quad\text{ウ}\quad}$回なので、$\varDelta t$の間の気体の内部エネルギーの変化量⊿Ｕは、Ｎ，$m$, $\overline{v^2}$（速度の二乗平均），Ｌ，u, $\varDelta t$を用いて$\boxed{\quad\text{エ}\quad}$と表せる。一方、はじめの気体の体積をＶ,時間$\varDelta t$の間の体積変化を⊿Ｖとすると、$\varDelta t$は$\boxed{\quad\text{オ}\quad}$と表せる。したがって、以下の関係式が成立する。

$\boxed{\quad\text{カ}\quad}$×⊿Ｕ/Ｕ+⊿Ｖ/Ｖ＝０・・・①

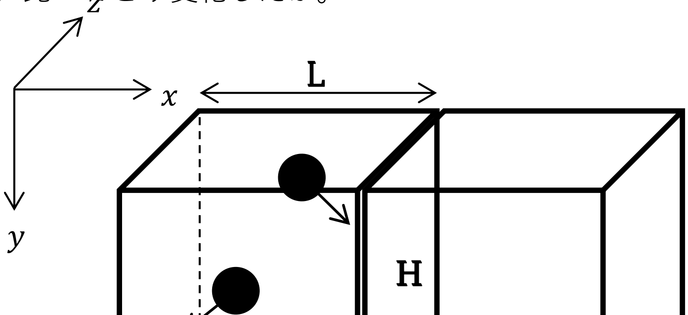
問１　①を使って、ポアソンの式を証明せよ。

（２）この断熱容器の開いている面を断熱板で閉じて、２室容器を作る（気体が入っている方をＡ、他方をＢとおく）。なお、Ｈには交信機を取り付け、外部からの信号で、気体が通れるだけの隙間を開けられるようにする。

問２　Ｈを固定したまま、Ｈの隙間を開けた。気体の温度は最初と比べてどう変化したか。

問３　断熱容器をＡがＢよりも上になるように傾ける。Ｈはゆっくりと動いて、Ａの体積は次第に大きくなった。Ｂの体積が０になったとき、気体の温度は最初と比べてどう変化したか。

問４　断熱容器をＡがＢよりも下になるように傾ける。Ｈの隙間を開けると、Ｈはゆっくりと動いて、Ａの体積は次第に小さくなった。Ａの体積が０になったとき、気体の温度は最初に比べてどう変化したか。



問題１４「３つのスリットによる干渉」

図のように、単色光源の近くに単スリットを置くことで、等間隔 d/２で並んだ３つの十分に細いスリットの列に対して、波長 λ の光の平面波を垂直に入射させる。このとき、スクリーンに生じる干渉縞を調べる。なお、スクリーンはスリットの列に平行で、両者の距離は d より十分に大きく、図中の角度 θ は十分に小さいとする。また、単色光源及び単スリットは３つのスリットから十分に離れており、入射光は平行光とみなせるものとする。

（１）なぜ光源の近くに単スリットを置くのか。以下の語句のいずれかを用いて説明せよ。

〈語句〉　振動数　波長　速さ　位相　光路　回折　波連　干渉　原子　周期

はじめに、真ん中のスリット S_0 を閉じた場合を考える。スクリーン上の点Ｐにおける、時刻ｔでの波の変位は、スリット S_1, S_2 からの波の重ねあわせとして、

$$U_{1+2}(P,t) = A\sin\left[2\pi\left\{\frac{t}{T}-\frac{1}{\lambda}\left(x_0-\frac{\varDelta x}{2}\right)\right\}\right]+A\sin\left[2\pi\left\{\frac{t}{T}-\frac{1}{\lambda}\left(x_0+\frac{\varDelta x}{2}\right)\right\}\right]$$

と表せる。なお、x_0とはスリット S_0 からの点Ｐまでの距離を表す。

（２）$\varDelta x(>0)$とは何を表しているのか。また、$\varDelta x$を θ で表せ。

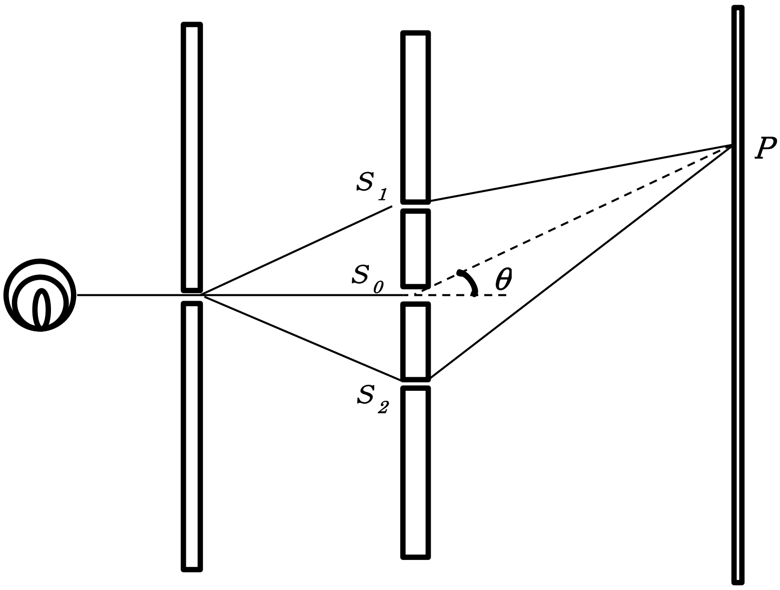
（３）点Ｐにおける、合成波の振幅を求めよ。また、スクリーン上で明るさが最大及び最小となる位置における、合成波の振幅を求めよ。

次に、スリット S_0 を開ける。

（４）点Ｐにおける、合成波の振幅を求めよ。

（５）スクリーン上には、明線と暗線とが生じるが、明線については、比較的強い明線と弱い明線とが交互に生じる。この理由を答えよ。

（６）強い明線は弱い明線の何倍明るいか。また、強い明線が生じる$\varDelta x$を全て求めよ。



問題１５「薄膜による光の干渉」

図１のように、屈折率$n(>1)$で厚さがdの薄膜と、間隔がndの空気層が平行に重なっている装置がある。薄膜には、上から順に、$1,2,3,\ldots,k$と番号をつける。この装置に、波長λの平行光を入射角iで入射させると、光の一部はそれぞれの媒質の境界面で反射し、一部は屈折しながら進行する。これらの光を上から順に、光１，光２，光３，・・・，光$2k-1$，光$2k$と呼ぶ。ただし、薄膜の左右の幅は十分に大きく、境界面で２度以上反射した光の影響は無視できる。

Ⅰ　薄膜２の上面に光を完全に吸収する物質を入れると、光$k(\geqq 3)$はなくなる。この状態で、光１と光２の干渉についてのみ考える。

（１）光１と光２が強め合う条件式を求めよ。

（２）光の入射角を$i=0$とし、波長λを変えながら光の強度を調べたところ、図２のようになった。このとき、λ_1〈ｎｍ〉の値を有効数字３桁で求めよ。

Ⅱ　Ⅰで入れていた物質を取り除き、今度はそれを薄膜３の上面に入れる。この状態で、光１，光２，光３，光４の干渉についてのみ考える。

（１）光１と光３が強め合う条件式を求めよ。

（２）光の入射角を$i=0$とし、波長λを変えながら光の強度を調べた。このとき、λ＝８００ｎｍと$\lambda=\lambda_1$〈ｎｍ〉のそれぞれで、４つの光全てが強め合うかどうかを答えよ。

（３）（２）のとき、$\lambda_1<\lambda<$８００（単位はｎｍ）において、強度が極小になるλの値を全て求めよ。

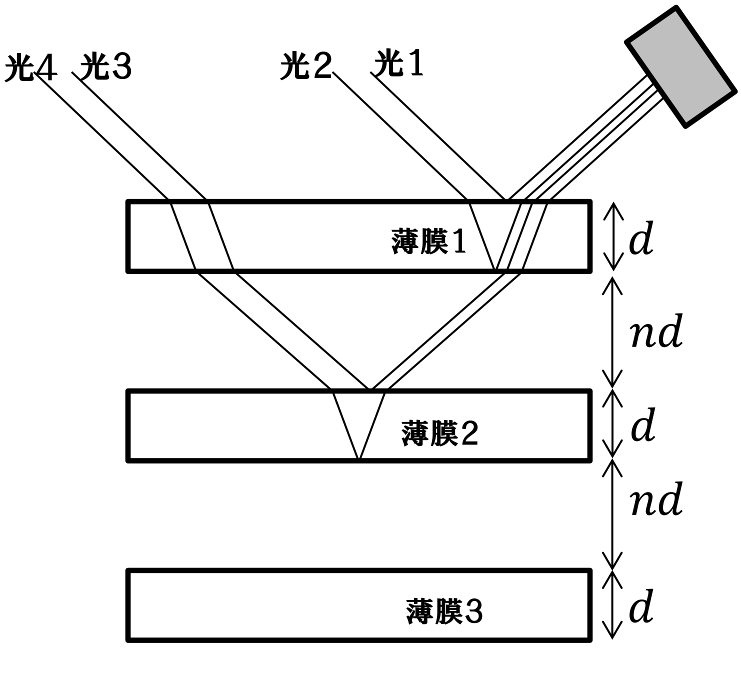


図１

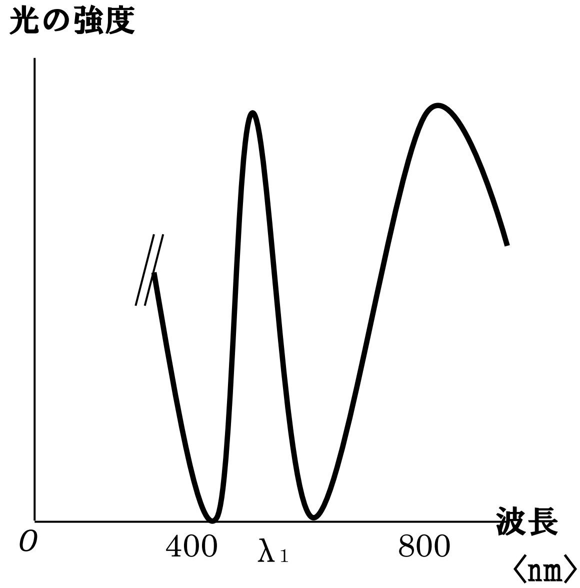


図２

問題１６「波の回折」

図のように、平面波が波と平行に設けられている防波堤の開口部において回折している。開口部の幅はhとする。なお、波の速さは不変とし、防波堤による波の反射は無視できるとしてよい。

Ⅰ　波の回折は、波に関するどのような原理または性質により説明されるか。

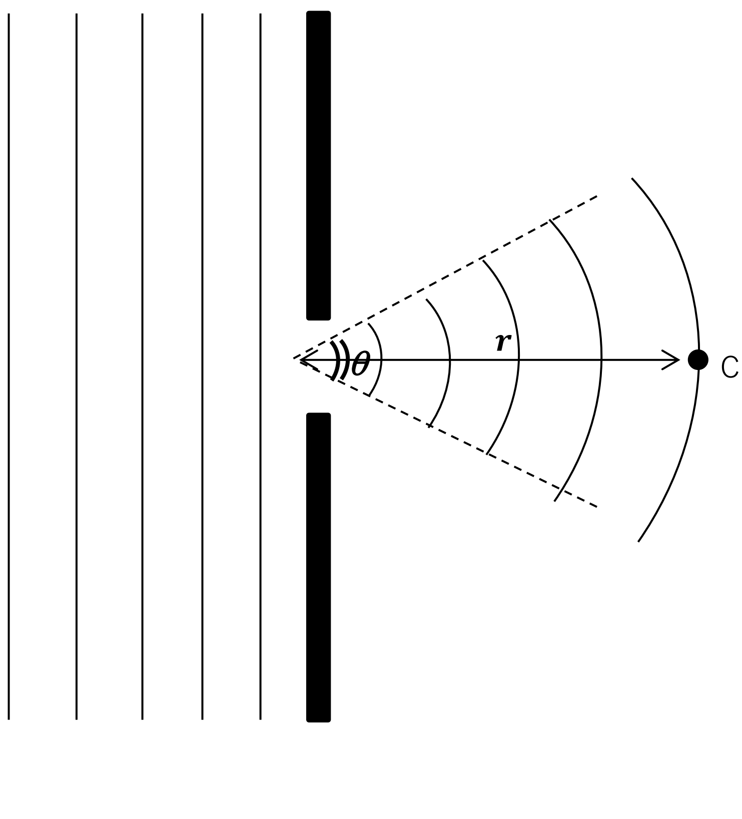
開口部の中心から防波堤と垂直に距離rだけ離れた点Ｃを考える。以下、rがhよりかなり大きいとしてよい。

Ⅱ　点Ｃでの波の振幅は、hの何乗に比例するか。

開口部を通過した波は、開口部の中心を頂点とする、頂角θの扇形に広がると近似できる。

Ⅲ　図におけるθは、hの何乗に比例するか。ただし、波のエネルギーは保存され、振幅の２乗と、扇形の弧の長さとに比例して変化することを用いて良い。

Ⅳ　点Ｃを防波堤から遠ざけていく。点Ｃでの波の振幅は、rの何乗に比例して変化するか。



問題１７「マイケルソン干渉計」

真空中に、図のようなマイケルソン干渉計をおく。波長λの平行光線を半透鏡Ｈに入射角４５°で入射する。Ｈに入射後そのまま透過し、鏡M_1で反射したあと、Ｈで反射してスクリーンに向かう光と、Ｈで反射し、さらに鏡M_2で反射した後、Ｈを透過してスクリーンに向かう光の干渉について考える。初め、２つの光は弱め合い、スクリーン全体は暗くなっている。ただし、Ｈの厚さは無視でき、M_1，M_2での反射光は垂直にスクリーンに当たるものとする。

Ⅰ　初めの状態（スクリーン全体が暗い状態）から、M_2をスクリーンから遠ざかる向き（図３で上向き）に少しずつ平行移動していったところ、スクリーン全体が明るい状態と暗い状態を交互に繰り返した。このとき、Ｎ回目にスクリーン全体が暗くなるまでの、M_2の移動距離を求めよ。（はじめの状態をＮ＝０とする）

Ⅱ　図の破線のように、M_2を反時計回りに角度θだけ傾けたところ、スクリーン上には明暗の干渉縞が現れる。

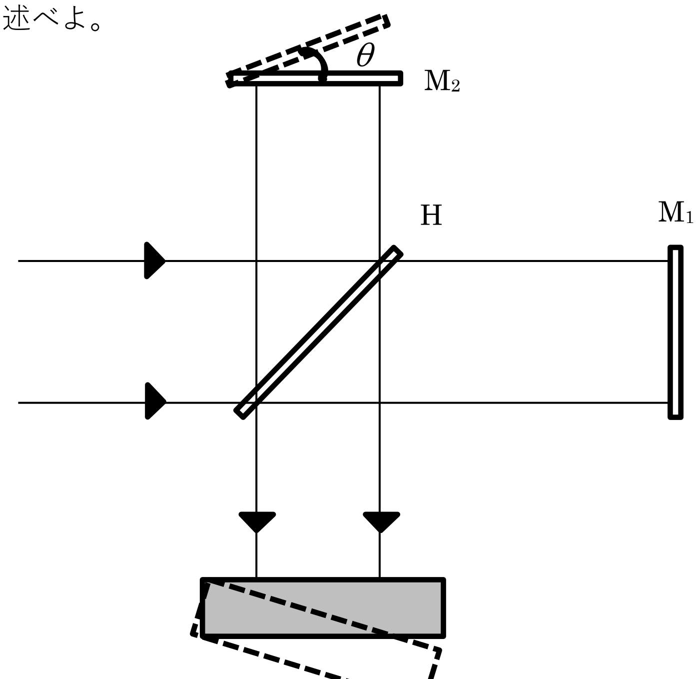
（１）このときの、M_2で反射した光のスクリーンへの入射角を求めよ。

（２）このとき、M_2で反射した光のうち、スクリーン上で紙面に沿って距離xだけ離れた光の経路差を求めよ。

（３）スクリーン上で隣り合う明線の間隔を求めよ。

Ⅲ　Ⅱの状態で、M_2を傾けたまま、M_2をスクリーンから遠ざかる向きに少しずつ平行移動していくと、スクリーン上の干渉縞の間隔、および位置はそれぞれどのように変化するか。理由とともに簡潔に述べよ。

Ⅳ　M_2をはじめの状態に戻して、初めの状態（スクリーン全体が暗い状態）から、時計回りに微小な角度θだけ傾ける。スクリーン上での明暗の様子はどう変化するか。理由とともに簡潔に述べよ。



問題１８「誘導電場」

真空中に、原点Ｏとx軸およびy軸をとり、$-l < x < 0$の領域Ｉにはy軸の正の向きの強さEの一様な電場と、紙面裏から表の向きに磁束密度B_1の一様な磁場をかける。また、$x > 0$の領域 II には紙面表から裏の向きに磁束密度B_2の一様な磁場をかける。いま、質量m、電荷$+q(> 0)$の陽イオンを加速して領域Ｉへ入射させる。陽イオンを初速０から速さv_0に加速させるための電圧は、$\boxed{\quad ア \quad}$と表される。位置$(-l, 0)$から、領域Ｉに向けて、x軸の正の向きに速さv_0で入射した陽イオンは領域Ｉ中では等速直線運動をした。このことから、v_0はEとB_1で表される。その後、陽イオンは領域 II に入って等速円運動をし（図１）、半円を描いてy軸上のある位置に達した。この位置のy座標は$\boxed{\quad イ \quad}$である。（イ以降、解答にv_0を用いてはならない）

次に、加速電圧を$\boxed{\quad ウ \quad}$倍にすることで、入射させる陽イオンの速さを$2v_0$にしたところ、陽イオンは図２のような軌道を描いて運動した。

この運動を以下のように考える。陽イオンの速度ベクトルをvとし、それを２つのベクトルv_0、v_1に分解する。このとき、陽イオンがv_0で動くことで磁場から受けるローレンツ力と電場から受ける力は打ち消し合う。よって、v_0で動く観測者から見ると、陽イオンは速さv_1で動き、磁場からローレンツ力だけを受けているように見える。このとき、$v_1 = \boxed{\quad エ \quad} \times v_0$である。また、陽イオンが領域Ｉに入射してから領域Ｉを出るまでの時間は$\boxed{\quad オ \quad}$である。その後、陽イオンは領域 II に入って等速円運動をし、y軸上のある位置に達した。この位置のy座標は$\boxed{\quad カ \quad}$である。

そして、陽イオンは再び領域Ｉに入った。陽イオンの速度のx成分がはじめて０になったとき、陽イオンの速さは$\boxed{\quad キ \quad}$と表せる。ただし、この間、陽イオンは領域Ｉから出ることはないものとする。

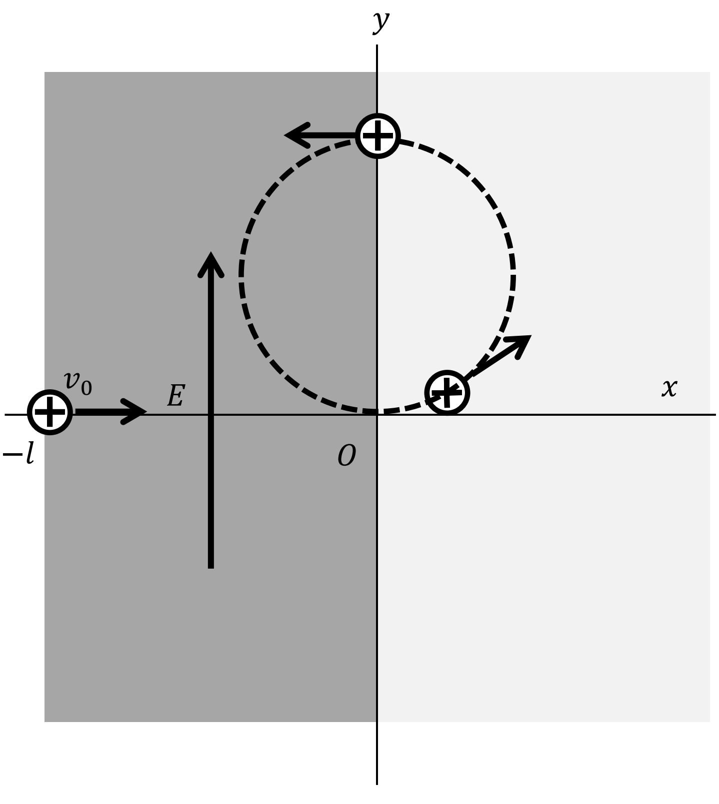


図１

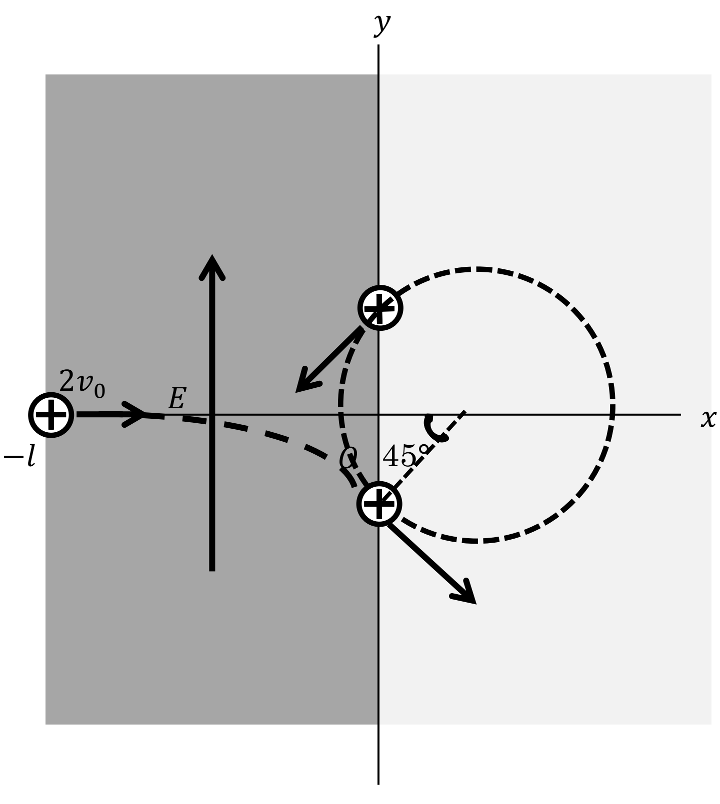


図２

問題１９「コンデンサーの極板間に働く力」

空気中に、同じ長方形の２枚の導体極板Ａ，Ｂが間隔dで向かい合わせに配置された平行板コンデンサーを作る。空気の誘電率をεとし、極板の端における電場の乱れは常に無視できる。

Ｉ図１のように、極板Ａ，Ｂの辺の長さをa, lとし、極板間に起電力Vの電池とスイッチを直列につなぐ。スイッチを閉じて十分に時間が経ってからスイッチを開いたとき、コンデンサーに蓄えられたエネルギーは［　ア　］である。この後、極板に外力を加え、極板間の間隔を$d+\Delta d$まで微小変化させたとすると、この変化によるコンデンサーのエネルギーの変化は［　イ　］である。よって、極板間には互いに引き合う力が働いており、単位面積あたりの極板間引力は、極板間に働く電場の強さEを用いて［　ウ　］と表せる。

II次に、図２のように、向かい合った極板の面積を変えられる平行板コンデンサーを作る。両極板はいずれも同じ幅aの２枚の薄い導体板を部分的に重ねて作られている。極板の左右の端には極板間に薄い絶縁性の側板が取り付けられており、右側の側板Ｗを左右に動かして導体板の重なりを調整できる。
（a）スイッチを閉じて十分に時間が経ってからまた開く。その後、Ｗに外力を加えて極板の長さをlから$l+\Delta l$に微小変化させた。このときのコンデンサーのエネルギーの変化量は［　エ　］である。よって、このときに極板に加えた力の大きさは［　オ　］となる。
（b）スイッチを閉じたまま、Ｗに外力を加えて極板の長さをlから$l+\Delta l$に微小変化させた。このときのコンデンサーのエネルギーの変化量は［　カ　］である。よって、このときに極板に加えた力の大きさは［　キ　］となる。
したがって、側板Ｗには［　ク　］向きの、大きさ［　ケ　］の力が働いている。
Ｗに働く単位面積あたりの力は、極板間に働く電場の強さEを用いて［　コ　］と表せるので、Ｉの力とIIの力は同種のものだと考えられる。

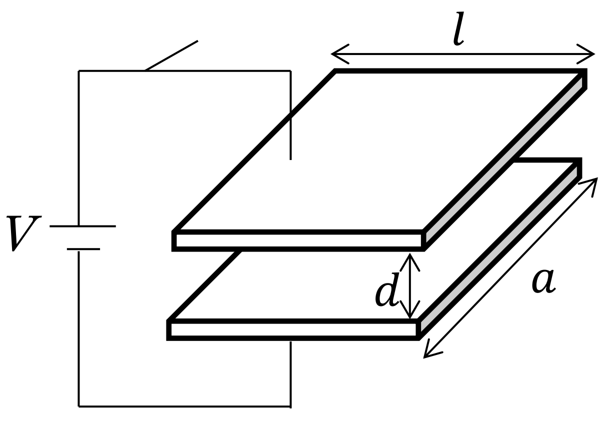


図１

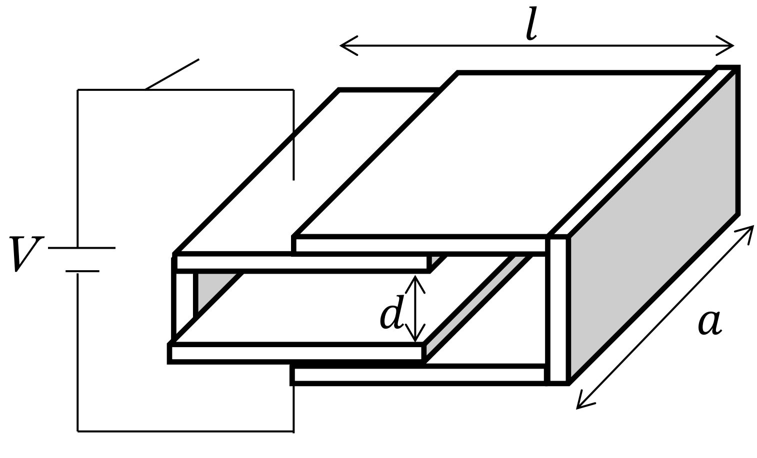


図２

問題 20「導体棒の運動」

導線で地面と角度θをなす幅lのレールを作り、地面から鉛直上向きに磁束密度Bの磁場を加える。レールの上に、質量Mの導体棒を乗せた時の運動を考える。

まず、図の破線の部分に起電力Eの電池と抵抗値Rの抵抗を接続している場合を考える。

（1）斜面下向きを正として導体棒の速度をv、加速度をaとし、導体棒に流れる電流を図の向きを正としてIとする。このとき、導体棒の運動方程式とキルヒホッフの電圧則の式を立てよ。

（2）導体棒の初速度によらず、最終的に導体棒の速度はある一定値になる。この一定値を求めよ。

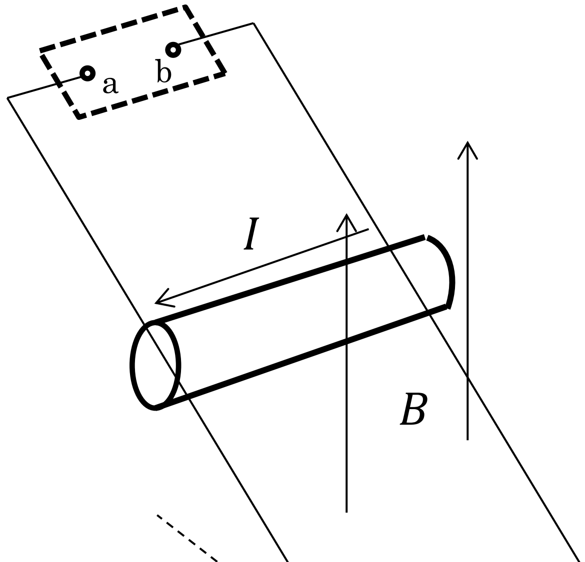
（3）（2）のとき、エネルギー保存則が成立する。どのようなエネルギーが保存されるのか。

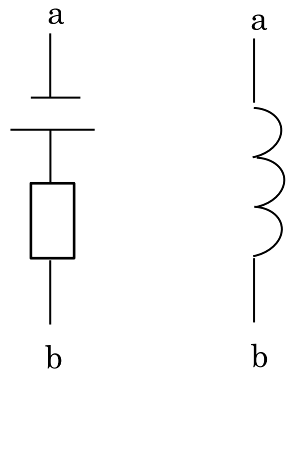
次に、図の破線の部分に自己インダクタンスLのコイルを接続している場合を考える。

（4）導体棒をそっとレール上に乗せると、導体棒は単振動をする。その角振動数を求めよ。

（5）導体棒に流れる電流も単振動をする。その振幅を求めよ。

（6）このとき、エネルギー保存則が成立する。どのようなエネルギーが保存されるのか。





以降のページでは、問題文はデータ化したが、図等が未完。
実戦１「相対運動」

図のように、水平な台の上に質量 M の箱を置き、箱内に箱の左の壁から距離 l の点に、質量 m でおおきさの無視できる物体を置く。箱の右端を軽くて伸び縮みしない糸の一端につなぎ、糸を台の右端にある軽くてなめらかな滑車にかけ、さらに、糸の他担に質量 M のおもりをつないで、全体が動かないように箱を支えておく。摩擦はどこにもなく、物体とはこの壁との衝突は男性衝突であるとして、以下の設問に答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、箱、および物体の速度や加速度は右向きを正とする。また、物体と箱の壁との衝突は瞬間的に起こり、糸はたるむことはないものとする。

問１　箱を静かに放したところ、箱は右向きに動き始めた。以下の（１）～（５）では、答えは M,m、l、g のうちから必要なものを用いて表せ。

（１）動き始めた直後の台に対する箱の加速度、および糸の張力の大きさをそれぞれ求めよ。

（２）やがて、物体ははこの左の壁に衝突する。箱を放してから第１回目の衝突までの時間、および第１回目の衝突直前の台に対する箱の速度をそれぞれ求めよ。

（３）第１回目の衝突と第２回目の衝突のあいだで、物体が箱の左の壁から最も離れる距離を求めよ。

（４）物体が箱の左の壁に第２回目の衝突をする直前の、だいに対する物体の速度、および台に対する箱の速度をそれぞれ求めよ。

（５）箱を放してから第２回目の衝突が起こるまでの間におもりに働く重力のした仕事を求めよ。

問２　箱の底面と台の上面との間に動摩擦係数 μ の摩擦力が働く場合について考える。この場合、物体とはこの左の壁との第１回目の衝突から第２回目の衝突までの時間は、問１のときの何倍か。ただし、箱は、この衝突の間、常に右向きに動き続けるものとし、箱の底面と第の上面との間以外には摩擦はないものとする。

実戦２「単振動の合成」

　床からある高さに固定された、なめらかで上面の水平な質量 M の板に小穴を開ける。さらに、図のように、一端に質量 m の小球 P をつけた軽くて伸び縮みしない糸を小穴に通して、その他端をばね定数 k の軽いばねの上端につなぎ、ばねの下端を床に固定しておく。ばねが自然長のときに小球 P はちょうど小穴の位置にあり、糸のたるみはないものとする。ここでは、水平内他の上に、小穴の位置を原点Ｏとして、図のように xy 直交座標軸を定める。糸と小穴とのあいだの摩擦は無視でき、小球 P は水平な板の上面から離れることなく運動するものとする。また、ばねは鉛直方向にのみ伸び縮みし、糸がたるむことはないものとして、以下の設問に答えよ。

　初めに、小球 P を、x 軸上の点 A（a,0）（a>0）において、時刻 t=0 の瞬間に静かに放す場合について考える。この場合、P は x 軸上で周期的な運動をする。

問１　座標（x、０）の位置を通過する瞬間の P の加速度を+x 向きを正として a0 とする。この瞬間の P の運動方程式を求めよ。

問２　P が初めて原点Ｏを通過する時刻を求めよ。

次に、P に、点 A において、＋y 向きで大きさ v 0 の初速度を与える場合について考える。

問３　座標（x、y）の位置を通過する瞬間の P の加速度の x 成分を＋x 向きを正として ax、y 成分を＋y 向きを正として ay とする。この瞬間の P の運動方程式を求めよ。

問４　P が初めて y 軸を横切った時、その位置の y 座標を求めよ。

問５　P の軌跡を x、y を用いて式で表せ。

実戦３「張力の扱い」
Ⅰ　質量 m,M の２物体を糸でつなげて、なめらかで水平な床の上に置く。それぞれに初速度 v,V を与えると、いずれ糸がぴんと張り、それぞれ速度が v'、V'になった。

（１）v'、V'をそれぞれ求めよ。
（２）M が m と比べて十分に大きいとき、v'、V'を v、V を用いて表せ。

Ⅱ　ともに質量 m の２物体 A,B をばね定数 k のばねでつなげ、なめらかで水平な床の上に置く。次に図１のように A に糸をつなげ、糸を速さ V で引き続けたところ、しばらくして糸がぴんと張り、A,B が動き始めたが、その後も糸を速さ V で引き続けた。

（１）糸が張った直後の A の速さを求めよ。
（２）しばらくして A は床に対して一瞬静止する。A が動き始めてから静止するまでの時間を求めよ。
（３）しばらくして再び糸がぴんと張り、A の速度は変化した。再び糸が張った直後の A の速さを求めよ。また、糸が最初に張ってから再び張るまでにかかった時間を求めよ。

Ⅲ　A,B、糸、ばね定数 k のばね a,b を図２のように壁に取り付けたところ、a,b とも自然長の位置から d だけ伸びてつりあった。a,b をともに x だけ右にずらすと、a,b は振動した。
（１）a の振動周期を求めよ。
（２）a,b が振動しているとき、糸の張力を求めよ。

次に、A、B を図３の位置に置いて手を離した。最初糸はたるんでおり、a は自然長なので、A は静止したままであるが、いずれ糸が張り、A は動き始めた。

（３）糸が張った直後の A の速さを求めよ。
（４）手を離してからの A の運動を、横軸を時間、縦軸を A の位置とするグラフを用いて説明せよ。

実戦４「針金を通る物体の運動」

問１　質量の無視できるなめらかで細い針金の一端を、図のように質量 M の直方体に取り付ける。この針金の他端に、質量 m で穴の開いた小物体 P を通す。P から手を放すと、P は針金を通り、直方体と完全非弾性衝突した。このとき、以下のア～オを値の大きい順に並べよ。ただし、 $\alpha < \beta$ とし、重力加速度を g とする。

（ア）点 A を通過する直前の P の速さ
（イ）点 A を通過した直後の P の速さ
（ウ）点 B を通過した直後の P の速さ
（エ）点 A を通過する直前の P の水平速度の大きさ
（オ）点 B を通過した直後の P の水平速度の大きさ

問２　針金を放物線 $y = cx^2$ (c>0)に沿って設置し、そこに P を通して手を放すと、P は原点Oを中心に振動した。P の x 座標を p として、以下の問いに答えよ。

（１）P の運動方程式を求めよ。

（２）P の振動周期を求めよ。ただし、p を微小として扱って良い。

P を一度止め、針金を y 軸を回転軸として角速度 ω（> 0）で回転させてから、再び P から手を放すと、P は原点Oを中心に振動した。

（３）P が原点Oを中心に振動するような ω の範囲を求めよ。

（４）P の振動周期を求めよ。ただし、p を微小として扱っても良い。

実戦５「RLC 回路」

電気容量 C のコンデンサーC、抵抗値 R の抵抗器 R,自己インダクタンス L のコイル L、順方向の抵抗値が 0 で、逆方向の抵抗値が無限大のダイオード D,およびスイッチ S を用いて、図のような回路を作った。極板の a 側の電荷を q0 とし、L を流れる電流を c→d 向きを正として I とおく。初め、S は開いており、q=qo である。

S を閉じた。

問１　S を閉じた直後(t=0)の I の値を求めよ。また、この瞬間に L に加わる電圧（d に対する c の電位）を求めよ。

問２　S を閉じてから、初めて q＝０となるまでの時間 t1 を求めよ。また、t=t1 における I の値を求めよ。

問３　０≦t≦t１において、L を流れる電流 I,および L に加わる電圧を t で表せ。

t＝t１になった瞬間、S を開いた。

問４　S を開いてから十分に時間が経過するまでの間に、L を流れる電流 I が時刻 t とともにどのように変化するかを表すグラフを、主要値とともに描け。

問５　S を開いてから十分に時間が経過するまでの間に、D を通過した電荷の総和を求めよ。また、この間に R で発生したジュール熱の総和を求めよ。

実戦６「糸でつながれた台車の運動」

図１のように、水平でなめらかな床に質量 M の車を置き、その天井の中央から、長さ L の軽くて伸び縮みしない糸で質量 m のおもりを吊るす。初め、車を静止させ、図１のように、おもりを吊るした糸を図１で鉛直方向から反時計回りに角度６０°だけ傾けた状態で、車とおもりを同時に放した。重力加速度を g とし、糸がたるむことや車が床から離れることはないものとする。

Ⅰ　車が床に固定されている場合、おもりを放した瞬間の糸の張力 S0 を求めよ。

Ⅱ　車が床に固定されていない場合、おもりを放した瞬間の車の加速度を A,糸の張力を T0 とする。

（１）床に静止した観測者から見た場合の車の運動方程式を求めよ。

（２）車とともに運動する観測者から見た場合の、おもりが受ける力の糸方向成分についての関係式を求めよ。

（３）T0 を求めよ。

Ⅲ　Ⅱの後、糸の方向が初めて鉛直になった瞬間について考える。

（１）この瞬間の車の速度、および車の最初の位置からの変位を求めよ。

（２）この瞬間の、車に対するおもりの相対速度を求めよ。

（３）この瞬間の、糸の張力を求めよ。

実戦７「電場内での荷電粒子の運動」

空間内に xyz 直交座標系を取る。この空間内には、領域ーd≦y≦d にだけ、一様に正に帯電した層があるものとする。図１には xy 平面を含む断層を示している。このとき正に帯電した層が空間につくる電場の向きは y 軸に平行で、その成分は面 y＝０に関して対称であり、x,z によらない。この電場を+y 向きを正として E とすると、E-y グラフは図２のように表され、y≧d では E=E0（E お＞０）、y≦-d では E=-E０であるとする。以下の設問に答えよ。

Ｉ　このとき y＝０を電位の基準として、電位Ｖと y 座標の関係を表す V-y グラフを、-２d≦y≦２d の範囲で図示すると、図３のようになる。

（１）図３のように、V が y＝０を除いて全て負になるのはなぜか。その理由を言葉で説明せよ。

（２）図３のように、y＝±d における電位,および y＝±２d における電位をそれぞれ求めよ。

II　図１で示すように、空間内の点Ａ（a,-d,0）,B(0,d/2,0)から荷電粒子を射出する場合について考える。ただし、重力の影響は無視できる。

（１）点Ａから、電荷 e（e＞０）,質量Ｍの陽子を大きさ vo の初速度で+y 向きに射出する場合に、陽子が y=0 まで達しないための条件を求めよ。

（２）点Ａから、電荷-e、質量 m の電子を大きさ v0 の初速度で＋y 向きに射出する場合に、電子はどのように運動するか。電子の y 座標により、適当に場合分けして答えよ。

（３）点Ｂから、II（２）の電子を大きさｖ0 の初速度で+x 向きに射出する場合、電子の描く機動を表す方程式を記せ。

実戦８「光のドップラー効果」

図のように、屈折率 n の素材でできた長さ L の光ファイバーを円形にし、その両端を大きさが無視できる、周波数 f の可視光領域のレーザー光を発生する発振器につないだ装置がある。発振器からは、光ファイバーに沿って、時計回り、及び反時計回りに伝わるレーザー光を発することができる。また、光ファイバーを１周したレーザー光は、レーザー発振器を通過して再び光ファイバー内に入射するものとする。真空内での光の速さを c とし、レーザー光の波長は光ファイバーの長さと比べると十分に小さいものとみなしてよい。

Ⅰ　装置全体を静止させた状態で、時計回りのレーザー光のみを発したところ、光ファイバーに沿って伝わるレーザー光は共振していた。

（１）f を L,c,n、および正の整数 N を用いて表せ。

（２）真空内での可視光の波長を 3.8×10-7m 以上 7.8×10-7m 以下とする。L=1.0×103m,n=1.5 のとき、可視光領域で共振が起こる場合の、Ⅰ（１）の N の範囲を求めよ。

Ⅱ　装置全体を時計回りに回転させながら、時計回りのレーザー光のみを発した。回転速度を 0 から少しずつ大きくしていくと、しばらくの間はレーザー光は共振しなかったが、速さが v0 のときに再び共振が起こった。vo を求めよ。なお、この場合の光のドップラー効果は、音源が移動し、観測者が静止している場合の音のドップラー効果と同様に考えて良い。

Ⅲ　Ⅱと同じ実験を、装置の回転方向を反時計回りにして行ったところ、しばらくの間はレーザー光は共振しなかったが、やはり速さが vo のときに再び共振が起こった。次に、時計回りと反時計回りのレーザー光を同時に発しながら、装置を速さ v０で回転させたところ、それぞれの光が共振し、その結果、光の明るさの強弱は周期的に変化した。この周期を求めよ。ただし、v0 は c に対して十分に小さく、微小量の２乗は無視して良い。

実戦９「相互誘導」

起電力 E の電池、抵抗値 r の抵抗、自己インダクタンス L のコイル A と、半径が十分に大きい２巻きのコイル B、スイッチ S1,S2 を導線でつなげて図のような回路を作る。

S1 を W 側に接続したところ、その直後の点 d の電位は Vo であった。

（１）その直後に流れる電流の時間変化率⊿i/⊿t を求めよ。

（２）A,B 間の相互インダクタンス M1 を求めよ。

S1 を開き、十分に時間が経過したあと、S1 を X 側に接続したところ、その直後の点 b の電位は V1 であった。

（３）コイル B の自己インダクタンス L2 を求めよ。

外力を加えることで、コイル B の中心軸をずらすことなく、コイル B の中心をゆっくりと点Ｏから点 p に移したところ、A,B 間の相互インダクタンスは M2 に変化した。また、十分に時間が経過したところ、回路には一定値 I0 の電流が流れた。なお、（４）〜（7）では、L1,L2,M1,M2,I0 のうちから必要なものを用いて答えよ。

（４）このとき、キルヒホッフの電圧則の式を示せ。

（５）（４）の式から、コイル A,B による合成インダクタンスを求めよ。

（６）コイル A,B に蓄えられている磁場のエネルギーの総和を求めよ。

（７）外力がした仕事を求めよ。

実戦１０「抵抗内の電子の運動」

図のように、断面積がともに S,長さがともに L の、円柱状の 2 種類の金属板 A,B を接合した電気抵抗があり、その両端に起電力 V の電池をつなぎ、電流を流す。棒 A,B の電気抵抗率を ρ_A、ρ_B、単位体積あたりの自由電子数を n_A,n_B とし、電子の電荷を -e(e>0)、質量を m とする。

Ⅰ　金属棒 A,B に定常電流が流れているとき

（１）金属棒の合成抵抗 R,回路を流れる電流の強さ I,棒の断面を単位時間に通過する自由電子の個数 N を求めよ。

（２）A を通る電子は A 内の陽イオンから抵抗力を受ける。その抵抗力の平均の大きさ f を求めよ。

(3) 金属棒 A,B 全体で単位時間に発生するジュール熱 H を求めよ。

Ⅱ　$n_A \neq n_B$ のとき、ジュール熱とは別に、２つの棒の接合部で熱が放出または吸収される。これは、接合部で自由電子の運動エネルギーが変化するためである。

（１）接合部で単位時間に放出または吸収される熱量の絶対値 Q を求めよ。

（２）$n_A > n_B$ のとき、接合部の温度はⅡ（１）の熱により、上がるか、または下がるか。

$n_A < n_B$ のときはどうか。理由もそれぞれ簡潔に述べよ。

オマケ「剛体振り子」

図のように、質量の無視できる長さ２L の細くて固い棒 PQ の中点 M と一端 Q に、ともに質量 m で大きさの無視できるおもりを取り付け、他端 P を支点として、図の鉛直面内で振動できるようにする。このような振り子を剛体振り子という。支点 P での摩擦、及び空気の抵抗は無視できるものとし、重力加速度の大きさはを g とする。

問１　振り子を、棒が水平になるまで持ち上げた後、静かに放す。その後、振り子が鉛直になった瞬間について考える。

（１）　この瞬間の振り子の角速度の大きさを求めよ。

（２）　この瞬間の、棒の中点 M に対する端 Q のおもりの速さを求めよ。また、この瞬間、中点 M に対して端 Q のおもりはどのような運動をしているのか説明せよ。

問２　問１において、振り子が鉛直になった瞬間に、棒の PM 部が中点 M のおもりに及ぼす力の大きさを S1,棒の MQ 部が中点 M のおもりに及ぼす力の大きさを S2 とする。S1,S2 を、それぞれ m,g を用いて表せ。

問３　次に、振り子がつりあいの位置（棒 PQ が鉛直で端 Q が下方になる位置）を通過する瞬間における振り子の角速度の大きさがω0 となるように、微小振動をさせる場合について考える。

（１）　振り子と鉛直方向とのなす角度が微小角θの瞬間における振り子の角速度をωとして、力学的エネルギー保存則を表す式を示せ。ただし、cosθ=1-(θ2/2)として良い。

（２）　この剛体振り子の微小振動の周期 T を求めよ。