D－1

令和５年度入学者選抜学力検査問題

理　　　科

注　意　事　項

1. この冊子は，監督者から解答を始めるよう合図があるまで開いてはいけません。
2. 監督者から指示があったら，解答用紙の上部の所定欄に受験番号，座席番号を，また，下部の所定欄には座席番号をそれぞれ記入しなさい。その他の欄に記入してはいけません。
3. 選択科目は，届け出た科目について解答しなさい。それ以外の科目について解答すると失格となります。
4. 解答すべき問題の番号は，学部・学科等で異なるので，各科目の最初に書いてある注意事項の表で確認しなさい。
5. この冊子の余白の部分を計算，下書きに使用してもかまいません。
6. 解答用紙は，記入の有無にかかわらず，持ち帰ってはいけません。
7. この冊子は，持ち帰りなさい。
8. 落丁，乱丁または印刷不備があったら申し出なさい。

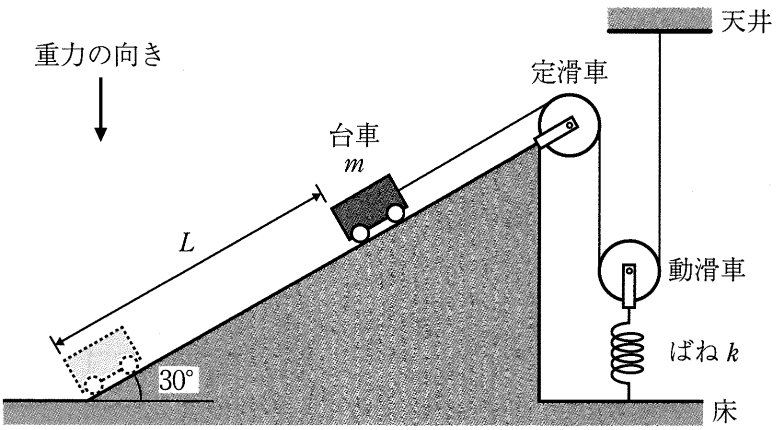
物　　理

注意　1. 志望する学部・学科等により，表に示す番号の問題を解答すること。
2. 解答は，問題文中に特に指示がない限り，**結果のみ**を解答用紙の所定の欄に記入すること。

志望する学部・学科等		解答する問題番号
国際教養学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5　6
教育学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
理学部	数学・情報数理学科，化学科，生物学科，地球科学科志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
理学部	物理学科	2　4　5　6
工学部	総合工学科(建築学コース，機械工学コース，電気電子工学コース，情報工学コース)	2　4　6
工学部	総合工学科(都市工学コース，デザインコース，医工学コース，物質科学コース，共生応用化学コース)	1　3　5
園芸学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
医学部	志望者のうち物理を選択する者	2　4　6
薬学部	志望者のうち物理を選択する者	2　4　6
看護学部	志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	物理学関連分野	2　4　5　6
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	工学関連分野(都市工学コース，医工学コース，物質科学コース，共生応用化学コース)志望者，および化学関連分野，生物学関連分野志望者のうち物理を選択する者	1　3　5
先進科学プログラム(方式Ⅱ)	工学関連分野(建築学コース，機械工学コース，電気電子工学コース，情報工学コース)	2　4　6
先進科学プログラム(総合型選抜)		1　3　5

1 図のように，傾きの角30°のなめらかな斜面上に質量 m の台車が置かれ，その台車には軽く伸び縮みしない糸の一端が取り付けられている。その糸のもう一端は，斜面の上端に固定された定滑車と，床と軽いばねでつながれた動滑車を介して，天井に取り付けられている。なお，台車，定滑車，動滑車，糸は，すべて同一の鉛直面内にあり，台車から定滑車までの糸は斜面と平行，定滑車から動滑車および動滑車から天井までの糸は鉛直で，糸がたるむことはないものとする。また，2つの滑車は軽く，なめらかに回るものとする。

台車が静止しているときの位置をつり合いの位置とする。図のように，このつり合いの位置から，斜面の最下点までの距離を L とする。なお，距離 L，ならびに，台車から定滑車までの距離は，後述する単振動による台車の振幅に対して，十分に長いものとする。また，ばね定数を k，重力加速度の大きさを g とする。空気抵抗や摩擦は無視できるものとして，以下の問いに答えなさい。ただし，解答に用いる物理量を表す記号は，問題文中に与えられているもののみとする。



図

問 1　つり合いの位置において台車が静止しているときの，糸が天井を引く力の大きさを求めなさい。

問 2　つり合いの位置において台車が静止しているときの，ばねの自然長からの伸びを求めなさい。

問 3　台車がつり合いの位置にあるときの，ばねの弾性力による位置エネルギーを求めなさい。

台車の下端を手で支えながら斜面に沿って図の右上方向にゆっくり移動させ，ばねが自然長になったところで静かに台車から手をはなしたところ，台車は斜面に沿って単振動した。

問 4　単振動をしている動滑車と台車の振幅をそれぞれ求めなさい。

問 5　単振動をしているときの台車の最大の速さを求めなさい。

問 6　この単振動の周期を求めなさい。

ばねが自然長になり台車から手をはなした時刻を $t = 0$ とする。手をはなした後，ある時刻で台車に取り付けられた糸を切断する。なお，糸を切断する直前と直後で，台車の運動エネルギーや位置エネルギーは変化しないものとする。次の2つの問いについてそれぞれ答えなさい。

問 7　手をはなした後，台車がつり合いの位置を2回通過した直後に糸を切断した場合を考える。台車は，糸の切断後も，斜面に沿って運動を続けた。糸を切断した後に，台車の速さが最初に0になるまでのつり合いの位置からの斜面方向の移動距離と，速さが最初に0になった時の時刻を求めなさい。

問 8　糸の切断時刻を変えることで，台車が斜面の最下点に到達するときの速さを最大にしたい。そのための切断時刻と，台車が斜面の最下点に到達するときの速さを求めなさい。なお，切断時刻は，$t > 0$ の最も早い時刻とする。

2 図1のように，質量Mの台が，水平でなめらかな床の上に静止している。台の上面は，長さがLでなめらかな水平面ABと，点Oを中心に半径aの四分円（4分の1の円）の形状をしたなめらかな曲面BCからなり，∠ABOは直角である。また，水平面ABの左端Aは鉛直な壁になっている。いま，質量mの小球を水平面AB上にのせ，右向きに速さv_0を与えた。小球は台の上面から離れることはなく，台も床から離れることはないものとして，以下の問いに答えなさい。ただし，小球や台の運動は鉛直面内（図1に示す紙面内）に限られ，空気抵抗は無視できるものとする。また，重力加速度の大きさをg，小球と左端Aの壁との間の反発係数をeとする。

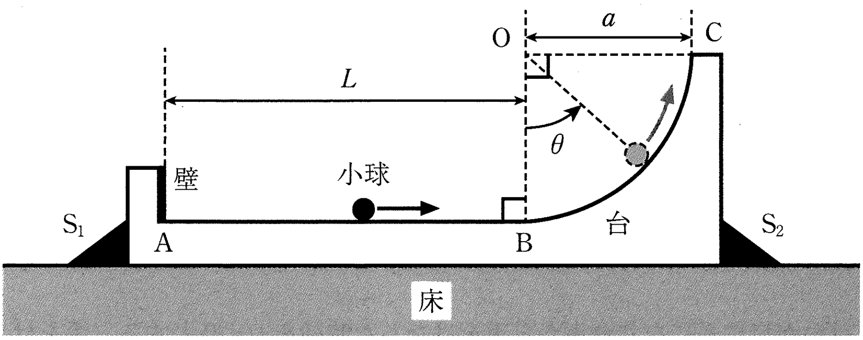


図1

はじめに，図1のように，ストッパーS_1，S_2のそれぞれで台が左，右に動くのを止めている場合を考える。小球は，水平面AB上を右に移動し，曲面BCをのぼり，点Cで速さが0となった。

問1　曲面BCの半径aをv_0，gを用いて表しなさい。

ここで，小球が曲面BCをのぼっている途中に，ストッパーS_2にはたらく力について考える。小球の位置を，図1のような四分円の中心Oを通る鉛直線からの角度θを用いて表すことにする。角度はラジアンを単位として表すものとする。

問 2　小球が角度θの位置にあるときの小球の速さv，および小球が曲面BCから受ける垂直抗力の大きさNをv_0，m，g，θのうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 3　小球が角度θの位置にあるとき，ストッパーS_2にはたらく右向きの力の大きさFをv_0，m，g，θのうち必要な記号を用いて表しなさい。また，Fをθの関数として，$0 \leqq \theta < \dfrac{\pi}{2}$の範囲でグラフに描きなさい。$F$の大きさが最大となるときの$\theta$と$F$の値をグラフ中に記入すること。

小球は，点Cに達した後，曲面BCをくだり，水平面AB上を左に移動し，左端Aの壁に衝突して，はね返った。

問 4　左端Aの壁との衝突により小球が失った運動エネルギーΔEをv_0，m，g，eのうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 5　その後，小球は，水平面AB上を右に移動し，再び曲面BCをのぼった。このとき，小球が達する最高点の水平面ABから測った高さhをv_0，m，g，eのうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，図2のように，ストッパーS_1，S_2がない場合を考える。水平面AB上にのせた小球に，右向きの速さv_0を与えた。このとき，台は静止していた。その後，小球は水平面AB上を右に移動し，曲面BCをのぼって，ある最高点Pに達した。小球や台の速度は床を基準とし，右向きを正とする。

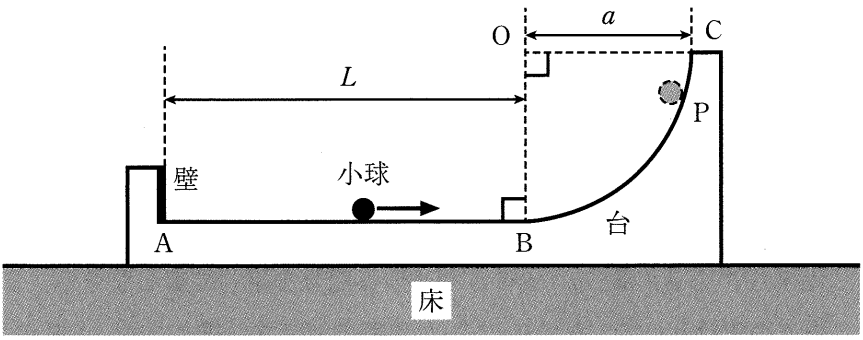


図2

問 6　最高点Pに達したときの台の速度V，および最高点Pの水平面ABから測った高さHをv_0，m，M，gのうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 7　小球が曲面BC上を点Bから最高点Pまでのぼる間に，小球が台から受けた水平方向の力積の大きさをv_0，m，M，gのうち必要な記号を用いて表しなさい。

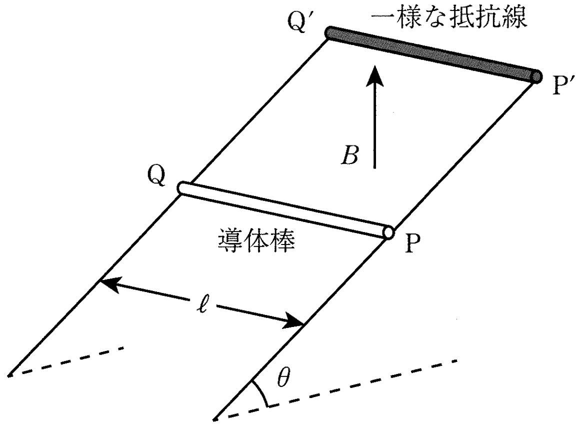
その後，小球は，曲面BCをくだり，水平面AB上を点Aに向かって移動した。

問 8　小球が点Bから点Aに移動しているときの小球の速度 v_1，および台の速度 V_1 を v_0，m，M，g のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 9　小球が点Bから点Aまで移動するのにかかった時間 T を v_0，m，M，g，L のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問10　その後，小球は，左端Aの壁に衝突して，はね返った。小球の質量 m がある値 m_1 より大きいと，左端Aの壁との衝突により小球の運動エネルギーは増加する。m_1 を M，e を用いて表しなさい。

3 図のように鉛直上向きで一様な磁束密度 B の磁場中に，距離 ℓ だけ離れた平行な2本の長い導体レールが水平面から角度 θ ($0° < \theta < 90°$) だけ傾けて固定されている。導体レールの上端は長さ ℓ の細い一様な抵抗線 P′Q′ で接続されており，導体レールには，質量 M，長さ ℓ の細い導体棒 PQ がそれぞれの導体レールに対して垂直に置かれ，回路を構成している。この回路に関する以下の問いに答えなさい。ただし，導体棒と導体レールの間の摩擦や空気抵抗，および抵抗線以外の電気抵抗は無視でき，導体棒は回転しないものとする。また，回路を流れる電流がつくる磁場は無視できるものとする。解答においては，抵抗線を Q′ から P′ へ向かう向きを自由電子(以下，電子と書く)の速度や電流の正の向き，レールに沿って下向きを導体棒の速度の正の向きとしなさい。また，重力加速度の大きさを g とする。電子の電荷を $-e$(ただし，$e > 0$)，質量を m とする。



図

ある時刻に導体棒は，レールに沿って下向きに速さ v で運動していた。

問 1　この導体棒の運動によって発生する誘導起電力の大きさを求めなさい。

問 2　誘導起電力によって，抵抗線中に一様な電場が発生した。この電場の大きさを求めなさい。

抵抗線中の電子の運動から抵抗線の抵抗値について考える。電子の速度を c としたとき，電子は速度に比例する抵抗力 $-kc$ を受けるものとする。抵抗線中の単位長さあたりの電子の個数を n とする。

問 3　抵抗線に沿って運動する電子の加速度を a として，電子 1 個に対する運動方程式を e，v，B，θ，m，a，k，c を用いて表しなさい。

電子の速度 c は，十分時間が経った後に速度 c_1 のまま時間変化しなくなった。

問 4　このときの電子の速度 c_1 を e，v，B，θ，k を用いて表しなさい。

問 5　抵抗線中の電子の集団が速度 c_1 で運動することによる電流 I を e，m，k，c_1，n のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 6　抵抗線 P′Q′ の抵抗値を e，k，n，ℓ を用いて表しなさい。

問 7　抵抗線中で，電子の速度に比例する抵抗力が単位時間あたりに電子 1 個に対してする仕事 W，および単位時間あたりに発生する熱量 J を，それぞれ e，v，B，θ，k，n，ℓ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，導体棒の運動について考える。ある位置で静止させた導体棒を静かにはなしたところ，しばらくして導体棒の速度は v_1 のまま時間変化しなくなった。

問 8　v_1 を M，g，e，B，θ，k，n，ℓ を用いて表しなさい。

問 9　単位時間あたりの導体棒の力学的エネルギーの変化の大きさを e，v_1，B，θ，k，n，ℓ を用いて表しなさい。

4 図1のように鉛直上向きで一様な磁束密度 B の磁場中に，距離 ℓ だけ離れた平行な2本の長い導体レールが水平面から角度 θ（$0^\circ < \theta < 90^\circ$）だけ傾けて固定されている。導体レールの上端は長さ ℓ の細い一様な抵抗線 P′Q′ で接続されており，導体レールには，質量 M，長さ ℓ の細い導体棒 PQ がそれぞれの導体レールに対して垂直に置かれ，回路を構成している。この回路に関する以下の問いに答えなさい。ただし，導体棒と導体レールの間の摩擦や空気抵抗，および抵抗線以外の電気抵抗は無視でき，導体棒は回転しないものとする。また，回路を流れる電流がつくる磁場は無視できるものとする。解答においては，抵抗線を Q′ から P′ へ向かう向きを自由電子（以下，電子と書く）の速度や電流の正の向き，レールに沿って下向きを導体棒の速度の正の向きとしなさい。また，重力加速度の大きさを g とする。電子の電荷を $-e$（ただし，$e > 0$），質量を m とする。

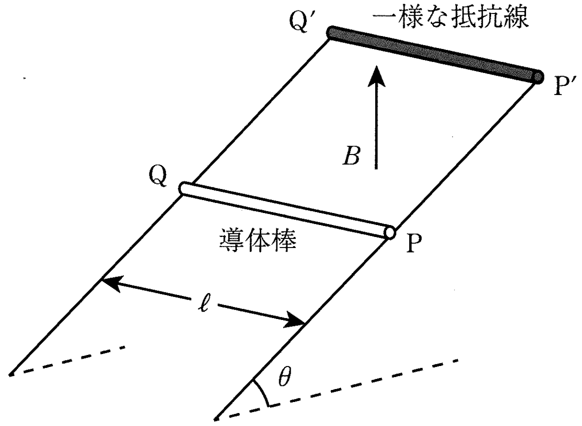


図1

ある時刻に導体棒は，レールに沿って下向きに速さ v で運動していた。

問 1　この導体棒の運動によって発生する誘導起電力の大きさを求めなさい。

問 2　誘導起電力によって，抵抗線中に一様な電場が発生した。この電場の大きさを求めなさい。

抵抗線中の電子の運動から抵抗線の抵抗値について考える。電子の速度を c としたとき，電子は速度に比例する抵抗力 $-kc$ を受けるものとする。抵抗線中の単位長さあたりの電子の個数を n とする。

問 3　抵抗線に沿って運動する電子の加速度を a として，電子 1 個に対する運動方程式を e，v，B，θ，m，a，k，c を用いて表しなさい。

電子の速度 c は，十分時間が経った後に速度 c_1 のまま時間変化しなくなった。

問 4　このときの電子の速度 c_1 を e，v，B，θ，k を用いて表しなさい。

問 5　抵抗線中の電子の集団が速度 c_1 で運動することによる電流 I を e，m，k，c_1，n のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 6　抵抗線 P′Q′ の抵抗値を e，k，n，ℓ を用いて表しなさい。

問 7　抵抗線中で，電子の速度に比例する抵抗力が単位時間あたりに電子 1 個に対してする仕事 W，および単位時間あたりに発生する熱量 J を，それぞれ e，v，B，θ，k，n，ℓ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に，図２のように抵抗線を自己インダクタンスLのコイルに取り替えた。時刻$t = 0$における導体棒の位置を原点とし，レールに沿って下向きにx軸を取った。時刻$t = 0$において静止していた導体棒を静かにはなした後の運動について考える。導体棒が位置xにあるとき短い時間Δtの間の位置の変化をΔxとし，このときの電流の変化をΔIとする。なお，$t = 0$において電流は流れていなかった。また，コイル以外の自己インダクタンスは無視できるものとする。

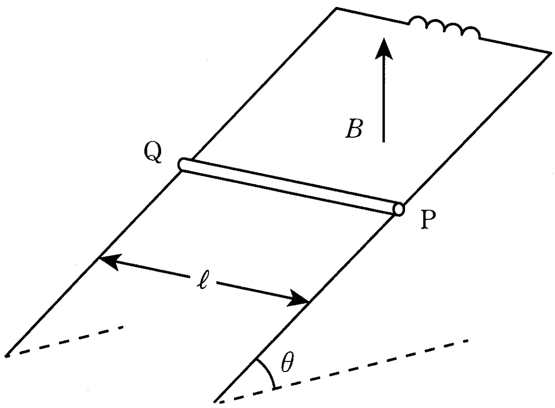


図２

問８　電流と導体棒の位置の変化は$\Delta I = D\Delta x$と表すことができる。DをB，θ，ℓ，Lを用いて表しなさい。

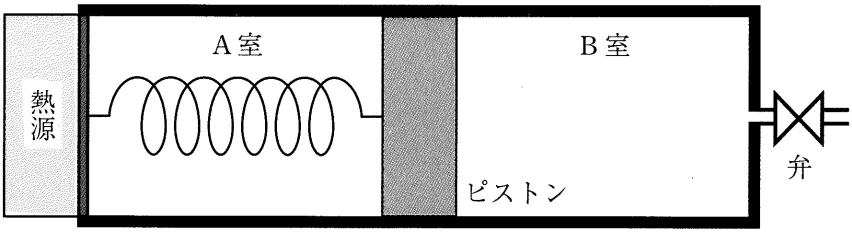
前問により，任意の時刻の電流は$I = Dx$と表せることがわかる。

問９　導体棒が位置xにあるときの導体棒の加速度をAとしてx軸方向についての運動方程式をM，A，g，B，θ，ℓ，L，xを用いて表しなさい。

問10　導体棒は単振動をし，導体棒の位置は$x = \alpha + \beta\cos\omega t$（ただし，$\omega > 0$）と表すことができる。$\alpha$，$\beta$，$\omega$をそれぞれ$M$，$g$，$B$，$\theta$，$\ell$，$L$のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問11　前問のように導体棒の位置が表されるとき，その速度は $-\omega\beta\sin\omega t$ と表すことができる。時刻 t において，コイルに蓄えられているエネルギーと導体棒の力学的エネルギーの合計を求めなさい。ただし，導体棒の位置エネルギーの基準は $x=0$ とする。また，<u>解答には M，L，α，β，ω を用いないこと</u>。

5 図のように，なめらかに動くピストンによってA室とB室に区切られたシリンダーが水平に置かれている。A室には物質量 n の単原子分子理想気体が封入されている。A室ではピストンがシリンダーの左壁と体積の無視できる細いばねでつながれており，左壁には熱源が取り付けられている。この熱源により，A室の気体の温度をゆっくりと変化させることができる。また，この左壁以外からの熱の出入りはない。一方，B室の右壁には弁が取り付けられており，B室の気体の圧力を自由に調整できる。シリンダーの断面積を S，ばねの自然長を ℓ，ばね定数を k，気体定数を R として以下の問いに答えなさい。ただし，解答に用いる物理量を表す記号は，問題文中に与えられているもののみとする。



図

はじめ，A室の気体の圧力は p で，ばねは自然長より d だけ伸びた状態であった(状態Ⅰ)。

問 1　このときのA室の気体の温度を求めなさい。

問 2　このときのB室の気体の圧力を求めなさい。

次に，状態Ⅰから，ばねの長さが変化しないようにB室の気体の圧力を調整しながら，熱源によりA室の気体をゆっくりと加熱したところ，A室の気体の圧力は $2p$ となった(状態Ⅱ)。

問 3　このときのA室の気体の温度を求めなさい。

問 4　この過程でA室の気体がピストンにした仕事を求めなさい。

問 5　この過程におけるA室の気体の内部エネルギーの変化量を求めなさい。

次に，状態IIから，A室の気体の圧力 $2p$ を一定に保つようにB室の気体の圧力を調整しながら，A室の気体をゆっくりと加熱したところ，ばねの伸びが $2d$ となった(状態III)。

問 6　この過程でA室の気体がピストンにした仕事を求めなさい。

問 7　この過程における，ばねの弾性力による位置エネルギーの変化量を求めなさい。

問 8　この過程でA室の気体が熱源から受け取った熱量を求めなさい。

さらに，状態IIIから，B室の気体の圧力を一定に保つようにして，A室の気体をゆっくりと冷却したところ，ばねの伸びが d となり，さらに冷却を続けたところ，ばねの長さが自然長となった。

問 9　ばねの伸びが d となったときのA室の気体の圧力を求めなさい。

問10　ばねの長さが自然長となったときのA室の気体の温度を求めなさい。

6 光の屈折と反射について，以下の問いに答えなさい。

A

図1のように屈折率 n_1 の媒質Ⅰと屈折率 n_2 の媒質Ⅱが水平な境界面で接している。いま，点A，Bがそれぞれ媒質Ⅰ，Ⅱ中にある場合を考える。点Aは点Bの真上にあり，点A，Bはそれぞれ境界面から距離 d_1，d_2 だけ離れた位置にある。媒質Ⅱ中の点Bを始点として長さ ℓ の棒を水平に置き，この棒を点Aから見ることを考える。棒の他端の位置を点Cとし，点Cを出て点Aに到達する光が媒質Ⅱから媒質Ⅰに入射する際の入射角を i，屈折角を r とする。棒の長さ ℓ は距離 d_1，d_2 に対して十分小さく，したがって i，r も十分小さい。屈折率は $n_2 > n_1$ である。なお，角度はラジアンを単位として表すものとし，必要であれば，$\theta\,(\theta > 0)$ が十分小さいときに成り立つ近似式 $\sin\theta \fallingdotseq \tan\theta \fallingdotseq \theta$ を用いてよい。

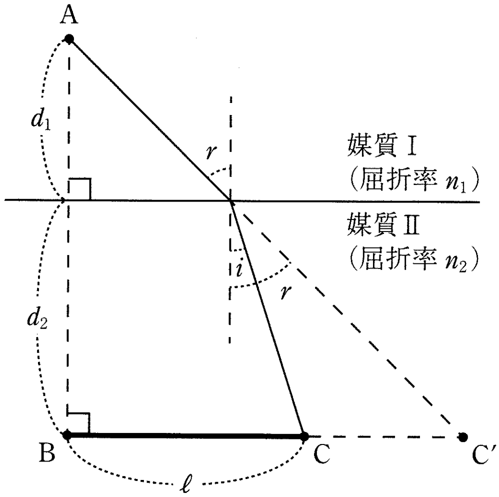


図1

点Aから見ると棒の他端は図1の点C′の方向に見える。BC′の長さを点Aから見た棒の見かけの長さとする(以下でも同様とする)。

問 1　この見かけの長さを d_1，d_2，n_1，n_2，ℓ を用いて表しなさい。

次に，図2のように長さ ℓ の棒を媒質Iの中に点Aを始点として水平に置いた。

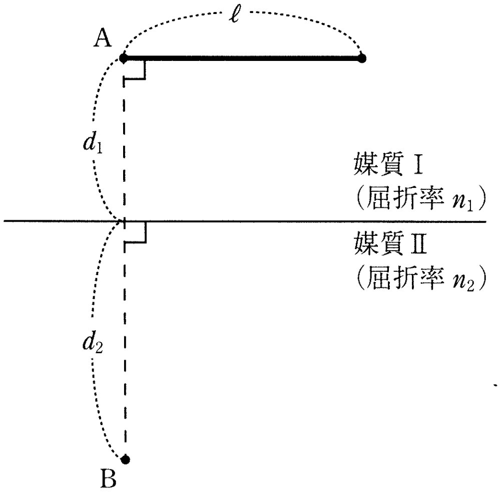


図2

問 2　点Bから見た棒の見かけの長さを d_1, d_2, n_1, n_2, ℓ を用いて表しなさい。

棒の長さ ℓ をどれだけ長くしても，点Bから見た棒の見かけの長さはある長さ ℓ_1 より長くなることはなかった。

問 3　ℓ_1 を d_1, d_2, n_1, n_2 を用いて表しなさい。ただし，この場合は入射角や屈折角が十分小さいとは限らないことに注意しなさい。

媒質IIの下に水平な境界面で接している屈折率 $n_3 (n_3 > n_2)$ の媒質IIIがある場合を考える。媒質IIの厚さを d_2 とし，媒質IIとIIIの境界から距離 d_3 だけ離れた媒質IIIの中に長さ ℓ の棒を境界面に水平に置いた。棒の始点は点Aの真下にある。

問 4　点Aから見た棒の見かけの長さを d_1, d_2, d_3, n_1, n_2, n_3, ℓ を用いて表しなさい。ただし，ℓ は d_3 に比べて十分に小さい。

B

反射と屈折の法則は，「光がある点から別の点まで進むとき，所要時間が最小になるような経路をとる」というフェルマーの原理から導くことができる。

問 1　図3のように x 軸上に平面鏡を置き，平面鏡に垂直で図の上向きに y 軸をとる。xy 平面上にある2点A，Bを考え，それぞれの位置を (a_x, a_y)，(b_x, b_y) とする。点Aから出た光が平面鏡で反射して点Bに到達するとき，光は x 軸上のどこで反射されるか考える。光の道筋は xy 平面にあるものとし，反射する点の x 座標を a_x，a_y，b_x，b_y を用いて表しなさい。ただし，a_x，a_y，b_x，b_y はすべて正である。

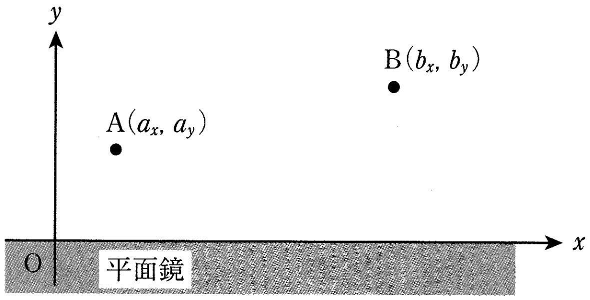


図3

問 2　次の文章の空欄 $\boxed{\quad(ア)\quad}$ ～ $\boxed{\quad(カ)\quad}$ に適切な式を入れなさい。ただし，解答に用いる物理量を表す記号は，以下の文章中に与えられているもののみとする。

図4のように屈折率 n_1 の媒質Ⅰと屈折率 n_2 の媒質Ⅱが水平な境界面で接している。媒質Ⅰ中の点Aを出た光が媒質Ⅱ中の点Bに到達する場合を考える。光は点Bに到達するまでの時間が最小になるように媒質の境界面上の点を通過する。この通過点を点Oとする。以下では屈折率は $n_2 > n_1$ とする。

いま，点Oを原点とし，2点A，Bが xy 面内に含まれるように境界面内に x 軸，これと垂直に y 軸をとる。点A，Bの座標をそれぞれ $(-a_x,\ a_y)$，$(b_x,\ -b_y)$ とする。ただし，a_x，a_y，b_x，b_y はすべて正である。

真空中の光の速さを c とすると，媒質Ⅰ中での光の速さは $\boxed{\text{(ア)}}$ であるので，光が経路AOを進むのに要する時間は $\boxed{\text{(イ)}}$ となる。同様にして経路OBを進むのに要する時間も求めることができ，光が経路AOBを進むのに要する時間は $\boxed{\text{(ウ)}}$ となる。

次に，光が点Oからわずかにずれた点 $\mathrm{O}'(\Delta x,\ 0)$ を通ると仮定する。すると，経路 AO' および経路 $\mathrm{O}'\mathrm{B}$ の距離はそれぞれ $\boxed{\text{(エ)}}$，$\boxed{\text{(オ)}}$ となる。光が経路AOBに対して経路 $\mathrm{AO}'\mathrm{B}$ を進む場合の所要時間の増分を Δt とする。Δx が十分に小さいため，$(\Delta x)^2$ が無視できることを考慮した上で h の絶対値が十分に小さいときに成り立つ近似式 $\sqrt{1+h} \fallingdotseq 1+\dfrac{h}{2}$ を用いることにより，$\dfrac{\Delta t}{\Delta x}$ は $\boxed{\text{(カ)}}$ と求まる。ここで $\dfrac{\Delta t}{\Delta x}=0$ となるという条件を課すと，屈折の法則を導くことができる。

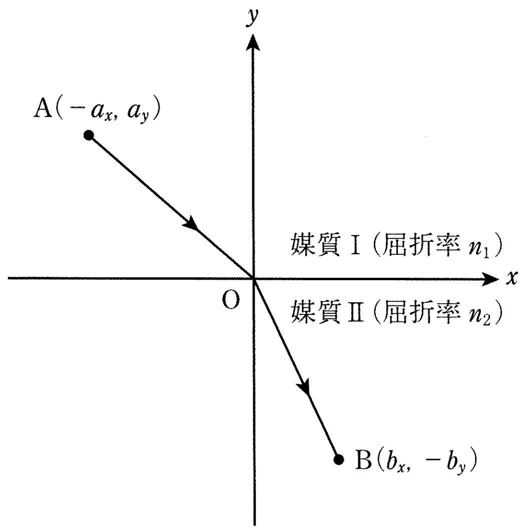


図4