補足説明および問題訂正

教科：理科（医・農学部）

問題冊子および答案冊子に，次のとおり補足および訂正があります。

・物理：補足説明　２箇所

補足説明

・科目名：物理

・問題番号：問題　Ⅲ

問題冊子　　１４ページ　　問題文　冒頭　に追記

問題Ⅲのすべてを通じて，ガラス板の上面は水平である。

問題冊子　　１６　ページ　　問題文の　上　から　５　行目　に追記

・・・板２を透過する光の経路（経路２）を考える。なお，波長λの光がガラス板上面から鉛直に入射する。

Ⅰ　物　　理

問題は次のページから書かれていて，Ⅰ，Ⅱ，Ⅲの３題ある。３題すべてに解答せよ。

解答は，答案紙の所定の欄の中に書け。計算欄には，答えにいたるまでの過程について，法則，関係式，論理，計算，図などの中から適宜選んで簡潔に書け。文字や記号は，まぎらわしくないようはっきり記せ。

物理　問題 I

長さが a の剛体棒 A，長さが b のひも B，長さが c のひも C を用意する。ひも C の両端を水平な天井の点 Q と点 R に接着し，ひも C の点 P とひも B の一端を接着する。さらに，ひも B の他端には，剛体棒 A の一端を取り付ける。剛体棒 A の太さは一様であり無視できるほど細い。剛体棒 A は均質な物質からできており，その質量は m である。ひも B とひも C の質量は無視できるほど小さく，ひもは伸び縮みしない。この装置に手を触れることなくしばらく放置したところ，図 1 の位置で剛体棒 A は静止した。このとき，点 P におけるひも C の折れ曲がり角度は 90°，∠PQR の大きさは 30°，∠PRQ の大きさは 60° であった。重力加速度の大きさを g として以下の問いに答えよ。

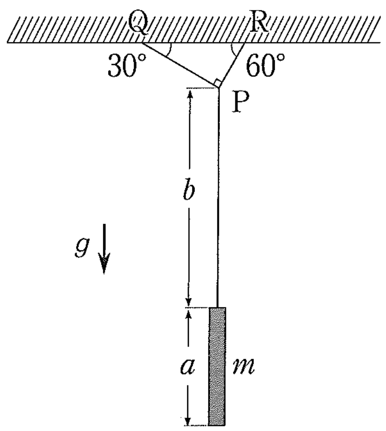


図 1

設問(1)：図2に示すように，ひもBの張力TはひもBが点Pを引く力に等しい。また，PR間のひもCの張力T_1はひもCの短辺が点Pを引く力に等しく，PQ間のひもCの張力T_2はひもCの長辺が点Pを引く力に等しい。図1の位置で剛体棒が静止しているときの張力T，T_1，T_2を，m，gのうち必要なものを用いて表せ。

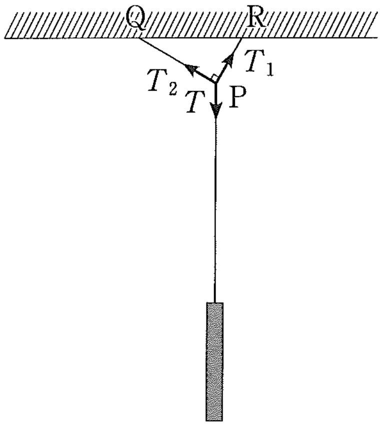


図2

設問(2)：剛体棒Aの上端と下端に水平方向に力F_1，F_2をそれぞれ加え，図3の位置で剛体棒を静止させる。このとき，ひもCの短辺PR，ひもB，剛体棒Aは鉛直面内で一直線をなした。剛体棒Aの上端と下端にはたらく水平方向の力F_1，F_2を，m，gのうち必要なものを用いて表せ。

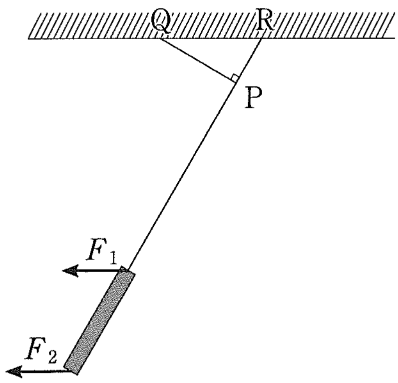


図3

設問(3)：設問(2)で剛体棒Aが静止しているときのひもの張力 T, T_1, T_2 を，m, g のうち必要なものを用いて表せ。

次に，剛体棒Aを取り外し，代わりに質量 M の大きさの無視できる小球Dをひも Bに取り付けた。ひもCの短辺PRとひもBが鉛直面内で一直線をなすように，小球を図4の位置まで手で持ち上げ，そっと手を放したところ，ひもB，ひもCがたわむことなく，小球Dは周期運動を開始した。摩擦や空気抵抗は十分に小さく無視できるものとする。

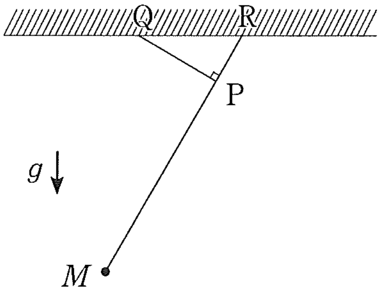


図4

設問(4)：小球Dの周期運動におけるひもBの張力 T の最大値 $T_{\max}$ と最小値 $T_{\min}$ を，M, g のうち必要なものを用いて表せ。

設問(5)：図4に示される実験を実際に行ったところ，振幅が小さいときの振り子の振動周期の近似式とは1.74％程度異なった周期が測定された。以下の文章は，近似式と測定値との違いが生じる理由を説明するものである。この文章のそれぞれの空欄に当てはまる最も適切な選択肢を，(ア)から(ス)までのなかから選べ。

「長さLのひもに質量Mの小球を取り付けた振り子を図5に示す。この振り子の周期運動において，小球は点Oを最下点とする円弧に沿って運動する。Xは点Oからの円弧に沿った質点の変位を表す。重力加速度の大きさをgとすれば，周期運動の途中，図に示す瞬間に小球にはたらく円弧に沿った方向の力Fは$F = \boxed{(あ)}$である。ここで，Xの正方向をFの正方向とする。XがLに比べて十分に小さければ，最下点Oに引き戻そうとする力$F = \boxed{(あ)}$を計算するのに，近似式$F \fallingdotseq \boxed{(い)}$を用いてよい。このとき，振り子の運動方程式は，ばね定数を$k = \boxed{(う)}$としたときの，フックの法則に従うばねに取り付けられた質量Mの小球の運動方程式と一致する。このことから，振幅が小さい振り子の振動周期の等時性が示され，振動周期の近似式$2\pi\sqrt{\dfrac{L}{g}}$が得られる。しかし，大きな振幅で振動する振り子の場合の力$\boxed{(あ)}$の大きさは，その近似式$\boxed{(い)}$の大きさと比べて小さい。したがって，図4の設定のような大きな振幅で振動する振り子の振動周期は，小さな振幅で振動する振り子の振動周期$\boxed{(え)}$い。」

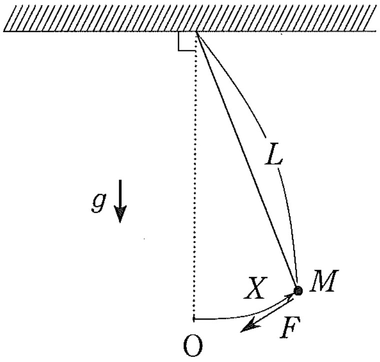


図5

選択肢：

(ア) Mg　(イ) $-\dfrac{MgX}{L}$　(ウ) $\dfrac{MgX^2}{L^2}$

(エ) $\dfrac{Mg}{L}$　(オ) $-\dfrac{MgX}{L^2}$　(カ) $\dfrac{MgX^2}{L^3}$

(キ) $Mg\cos\dfrac{X}{L}$　(ク) $-Mg\sin\dfrac{X}{L}$　(ケ) $Mg\cos^2\dfrac{X}{L}$

(コ) $Mg\sin^2\dfrac{X}{L}$　(サ) より長　(シ) より短

(ス) と等し

設問(4)で考察した小球Dの振動の水平面内での方向を x 方向とし，それと同一水平面内で直交する方向を y 方向とする。いま，x 方向だけでなく y 方向にも振動させる状況を考え，振り子を正面から見たときの様子を図6に示し，真横から見たときの様子を図7に示す。この振り子を真横から見た図7では，ひもCの長辺と短辺は重なり，長辺と短辺が1本の線のように見える。座標 x と座標 y はつりあいの位置からの小球Dの左右方向の変位と前後方向の変位を表す。なお，ひもBの長さ b と比べて，ひもCの長さ c を無視することはできない。

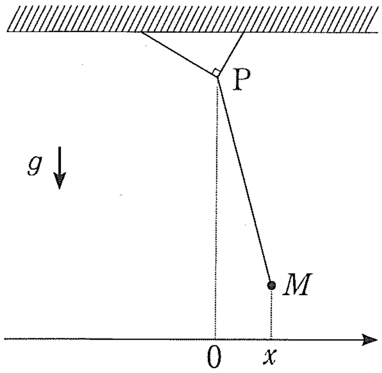


図6

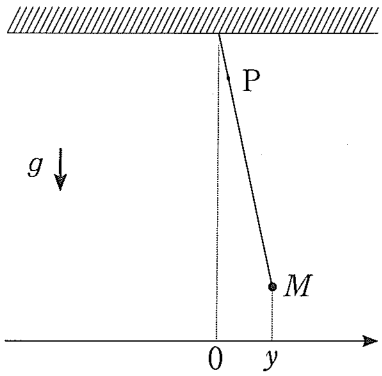
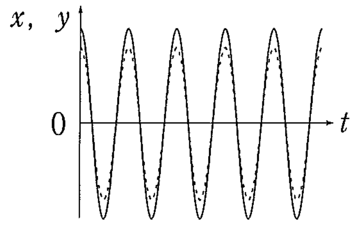
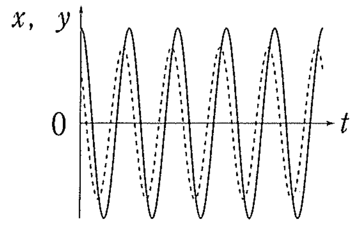


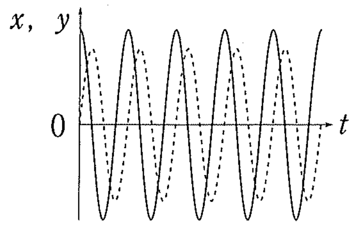
図7

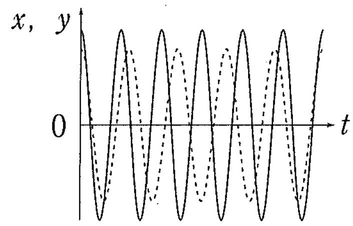
設問(6)：小球Dがx方向とy方向の両方に小さい振幅で振動している場合について，x方向の変位（実線）とy方向の変位（破線）の時間tによる変化を表すグラフとして最も適切なものを下の選択肢よりひとつ選べ。

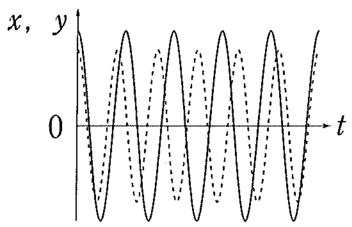
選択肢：

(ア)


(イ)


(ウ)


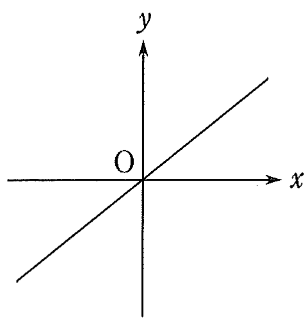
(エ)


(オ)


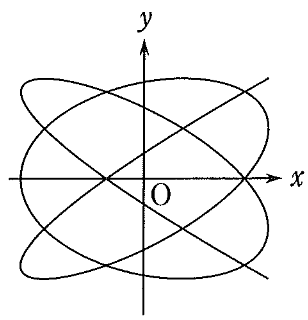
設問(7)：次に，x 方向と y 方向の両方に小さい振幅で振動している場合について，xy 平面での小球 D の軌跡を考えることにする。そのような軌跡を表すグラフとして最も適切なものを下の選択肢よりひとつ選べ。

選択肢：

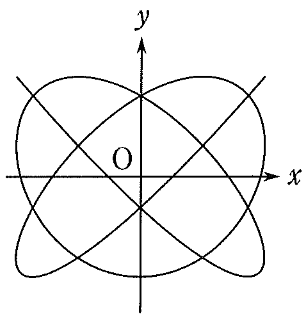
(ア)



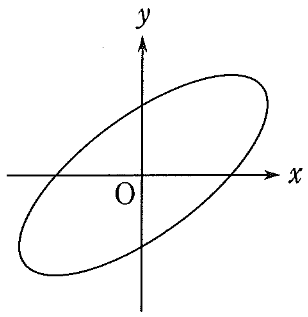
(イ)



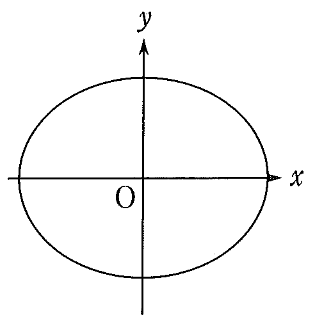
(ウ)



(エ)



(オ)



物理　問題II

絶縁体でできた円筒に面積の等しい薄い円形の金属板X，Y，Zが水平に入れられている。金属板X，Zは間隔が一定値 d となるように固定されており，金属板Yは水平を保ったまま鉛直方向上下に滑らかに動かすことができる。金属板X，Zは，それぞれ抵抗値 r の抵抗器1，抵抗器2に接続され，また，金属板Yはスイッチ1，スイッチ2を介して，それぞれ起電力 V の電池と電気容量 C のコンデンサー1に接続されている。いま，この回路で，金属板X，Yの間隔が $\dfrac{d}{3}$ となるように金属板Yを留め具で固定し，金属板X，Y，Z，コンデンサー1に電荷が蓄えられていない状態でスイッチ2を開いたままスイッチ1を閉じた(図1)。十分な時間をおいたのち，金属板Yには電気量 Q の電荷が蓄えられた。抵抗器以外の電気抵抗は無視する。また，金属板X，Y間，金属板Y，Z間の電場は一様で，周辺部分の影響は無視する。円筒の中は真空である。以下の問いに答えよ。

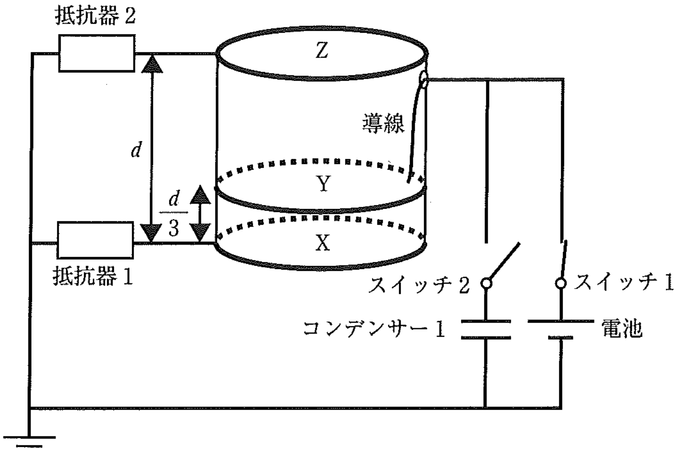


図1

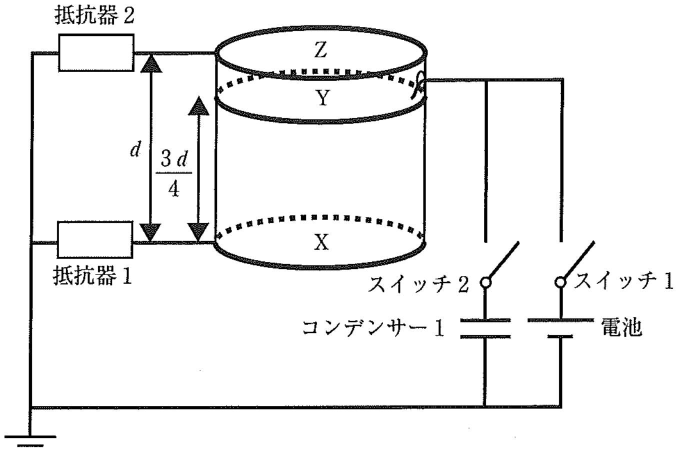
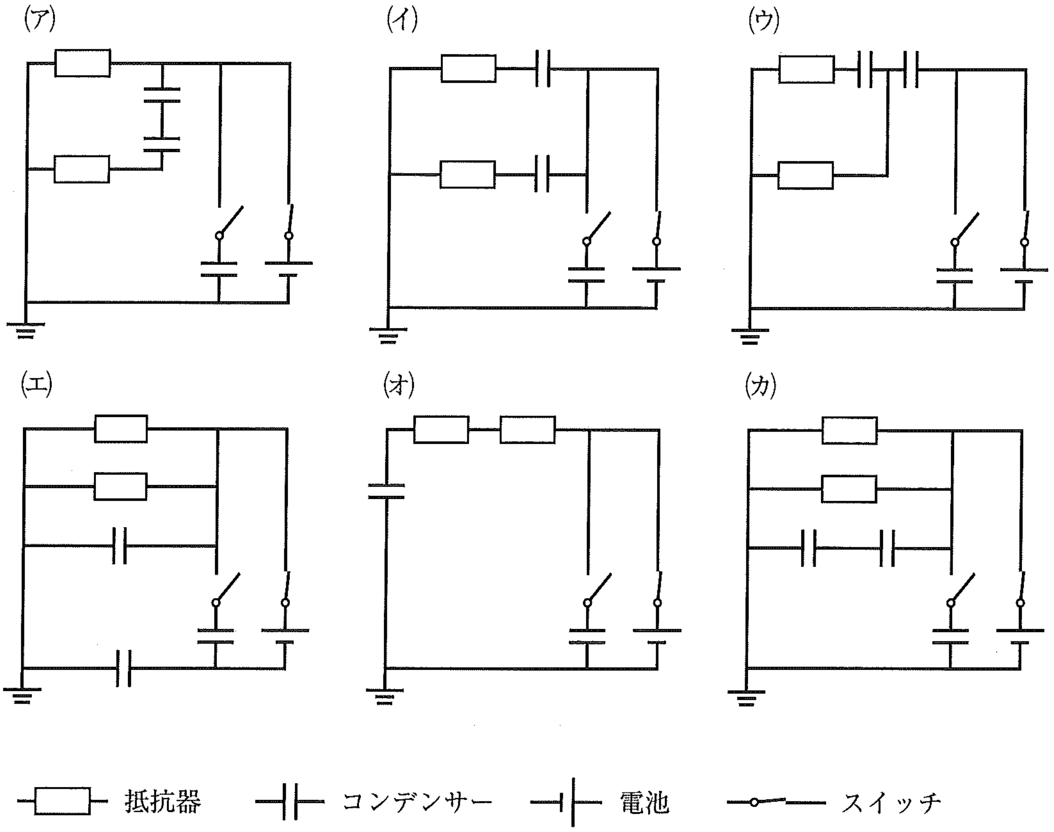


図2

設問(1)：図1の回路を別の形に描きかえたものとして最も適当なものを以下の選択肢から選べ。

選択肢：



設問(2)：金属板Xに蓄えられている電気量 Q_X と金属板Zに蓄えられている電気量 Q_Z を，Q，V，r，d のうち必要なものを用いて表せ。

設問(3)：金属板X，Yからなるコンデンサーの電気容量 C_X と金属板Y，Zからなるコンデンサーの電気容量 C_Z を，Q，V，r，d のうち必要なものを用いて表せ。

設問(4)：スイッチ1を閉じてから金属板Yに電気量 Q の電荷が蓄えられるまでに電池がした仕事を，Q，V，r，d のうち必要なものを用いて表せ。

設問(5)：スイッチ1を閉じた後，金属板Yに電気量 Q の電荷が蓄えられるまでに抵抗器1，抵抗器2によって消費されたエネルギーの総和を，Q，V，r，d のうち必要なものを用いて表せ。

次にスイッチ1を開いてから，金属板Xと金属板Yの間隔が $\frac{3}{4}d$ となるように金属板Yを動かして固定した(図2)。

設問(6)：金属板X，Yからなるコンデンサーの電気容量 C'_X と金属板Y，Zからなるコンデンサーの電気容量 C'_Z を，Q，V，r，d のうち必要なものを用いて表せ。また，金属板Yの電位 V_Y として正しいものを以下の選択肢から選べ。

選択肢：

(ア) V	(イ) $\frac{9}{8}V$	(ウ) $\frac{27}{8}V$	(エ) $\frac{9}{16}V$
(オ) $\frac{81}{16}V$	(カ) $\frac{9}{32}V$	(キ) $\frac{27}{32}V$	(ク) $\frac{27}{64}V$

次にスイッチ2を閉じて十分時間をおいた。

設問(7)：金属板Yに蓄えられている電気量を，Q，V，r，d，C のうち必要なものを用いて表せ。

再びスイッチ2を開いてスイッチ1を閉じ，十分な時間をおき，その後スイッチ1を開いてスイッチ2を閉じ，十分な時間をおいた。同様の操作を繰り返すと，コンデンサー1の極板間の電圧がやがて一定値 V_2 に収束した。

設問(8)：V_2 を，Q，V，r，d，C のうち必要なものを用いて表せ。

物理　問題III

屈折率 n のガラス板が真空中に置かれ，その上面から鉛直に波長 λ の光が入射する。このときガラスの表面に様々な媒質で作られた薄膜をつけることで，反射光や透過光の強さを変えることができる。

設問(1)：図1のように，透明で屈折率 n_A（$1 < n_A < n$）の媒質で作られた，厚さ t_A の薄膜Aをつけた。薄膜Aの表面からの反射光と，薄膜Aとガラス板の間の面からの反射光が弱めあった。このとき，t_A が満たすべき条件を求めよ。必要に応じて λ，n，n_A，および0以上の整数 m を用いてよい。

設問(2)：図2のように，透明で屈折率 n_B（$1 < n < n_B$）の媒質で作られた，厚さ t_B の薄膜Bをつけた。薄膜Bの表面からの反射光と，薄膜Bとガラス板の間の面からの反射光が強めあった。このとき，t_B が満たすべき条件を求めよ。必要に応じて λ，n，n_B，および0以上の整数 m を用いてよい。

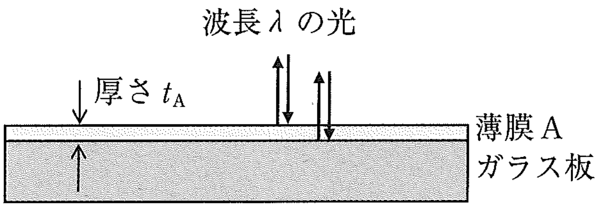


図1

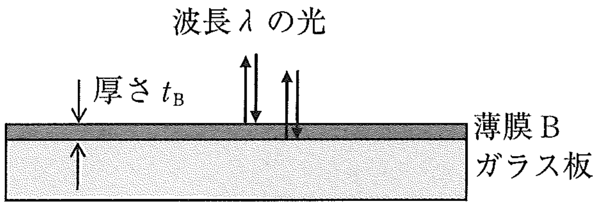


図2

設問(3)：図3のように，ガラス板の上に薄膜Aをつけ，さらにその上に薄膜Bをつけた。薄膜の屈折率および厚さは，設問(1)，(2)の値と等しいとする。以下の文を読み，｛　｝の中の選択肢㋐～㋒から，正解を一つずつ選び，記号で答えよ。

薄膜AとBの間の面と，薄膜Aとガラス板の間の面からの反射光は，(あ)｛㋐強めあう，㋑影響しあわない，㋒弱めあう｝。この薄膜Bの上に，さらに薄膜AとBを交互につけてゆき多層にすると，合わさった反射光は(い)｛㋐より強くなる，㋑変わらない，㋒より弱くなる｝と同時に透過光は(う)｛㋐より強くなる，㋑変わらない，㋒より弱くなる｝。

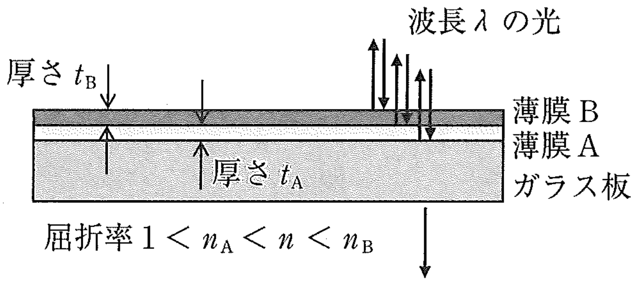


図3

次にガラス板を透過する光の光路について考える。図4のように，屈折率 n で厚さの異なるガラス板を2枚用意した。板1の厚さを t，板2の厚さを $t-u$ とし，図中のように，ガラス板と平行な面Ⅰと面Ⅱを定義する。ただし $t > u > 0$ とする。このとき，板1を透過する光の経路(経路1)と，板2を透過する光の経路(経路2)を考える。

設問(4)：面Ⅰと面Ⅱを横切る間の光路長について，経路1のそれが経路2のそれよりどれほど長いかを示せ。必要に応じて λ，t，u，n を用いてよい。

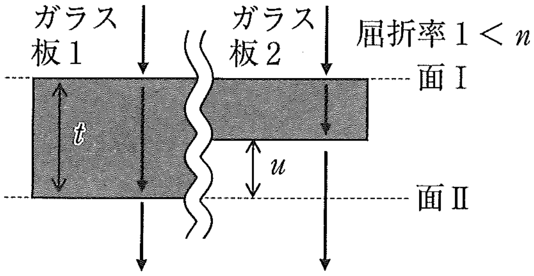


図4

次に光を透過させつつ，干渉も起こさせるよう，特殊な加工をしたガラス板を用いた観測装置を考える。図5左に全体像を示した。真空中に特殊なガラス板を置き，上方鉛直方向から波長 λ の平行光を直径 D に細く絞って入射させる。ガラス板の上面は平らで，下面には上面と平行な階段状の構造が刻まれている。この刻みは，図5右に示すような間隔 d と傾斜 θ を持っている。このとき，簡単のため，段の中央を透過する光が，隣の段の中央を透過する光と干渉すると考える。ここで d は λ より十分に大きく，D より十分小さいとする。ガラス板とスクリーン間の距離は，入射光の直径 D に比べて十分大きく，図5左のように微小角だけ傾いた光は，スクリーン上で鉛直光と容易に区別できる。設問(5)，(6)，(7)に答えよ。なお，以下の公式および近似式を用いてよい。

$$\sin(x+y)=\sin x\cos y+\cos x\sin y,\quad \cos(x+y)=\cos x\cos y-\sin x\sin y,$$

$$\tan(x+y)=\frac{\tan x+\tan y}{1-\tan x\tan y}$$

$|x|$ が1より十分小さいとき，$\sin x \fallingdotseq x$，$\cos x \fallingdotseq 1$，$\tan x \fallingdotseq x$

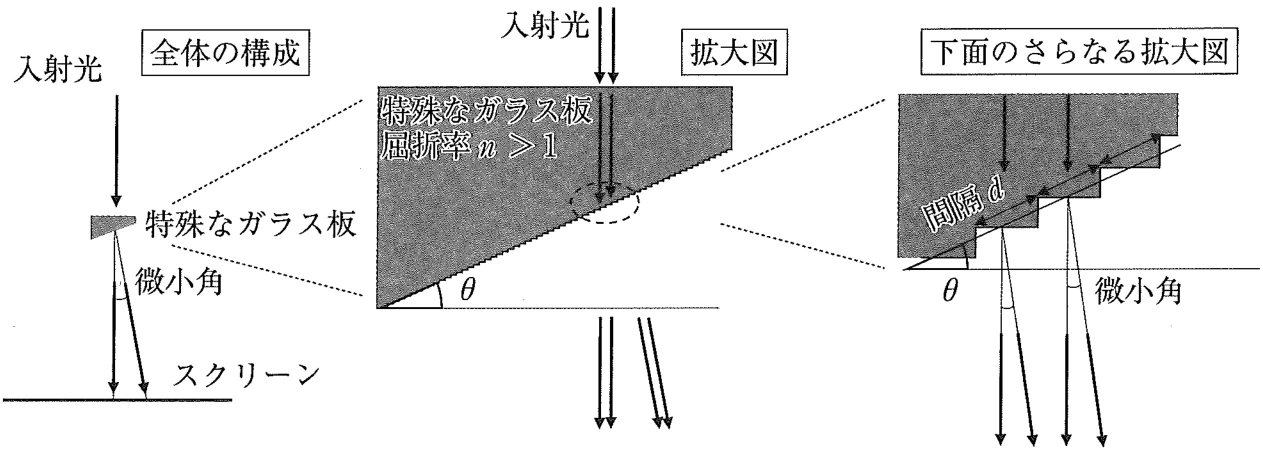


図5

設問(5)：真空中で波長 λ の光が，このガラスに鉛直に入射し，そのまま鉛直に透過するときを考える。隣り合う段の間での光路差と波長 λ の関係から，光が干渉で強め合う条件を以下の選択肢の中からひとつ選択せよ。ただし本設問以降では，m は1以上の整数とする。

選択肢：

(ア) $\dfrac{d}{n \sin\theta} = m\lambda$

(イ) $\dfrac{d}{n \sin\theta} = \left(m - \dfrac{1}{2}\right)\lambda$

(ウ) $d(n-1)\sin\theta = m\lambda$

(エ) $d(n-1)\sin\theta = \left(m - \dfrac{1}{2}\right)\lambda$

(オ) $\dfrac{n \sin\theta}{d^2} = m\lambda$

(カ) $\dfrac{n \sin\theta}{d^2} = \left(m - \dfrac{1}{2}\right)\lambda$

設問(6)：鉛直からの微小角を，図5に示すように定義した。設問(5)の条件が満たされているとき，光が干渉で強めあう，正の微小角 α の最小値を求めよ。必要に応じて d，m，θ，λ を用いてよい。

設問(7)：設問(5)の条件が満たされている状態から，波長だけをλから$\lambda + \varDelta\lambda$に徐々に変化させた。ただし$\varDelta\lambda > 0$とし，屈折率$n$は変化しないものとする。このとき鉛直方向で強めあっていた光は，微小角βの方向へ移動した。βと$\varDelta\lambda$の関係を示せ。必要に応じてd，m，θ，λ，$\varDelta\lambda$を用いてよい。