

平成 29 年度入学者選抜学力検査問題

(前期日程)

物 理

学類によって解答する問題が異なります。

指定された問題だけに解答しなさい。

学 域	学 類	解 答 す る 問 題
人間社会学域	学 校 教 育 学 類	I, II, III (3問)
理工学域	数 物 科 学 類 機 械 工 学 類 電 子 情 報 学 類 環 境 デ ザ イン 学 類 自 然 シ ス テ ム 学 類	I, II, III, IV, V (5問)
医薬保健学域	医 学 類 薬学類・創薬科学類	III, IV, V (3問)
	保 健 学 類	I, II, III (3問)

(注 意)

- 1 問題紙は指示があるまで開いてはいけません。
- 2 問題紙は本文 11 ページです。答案用紙は、学校教育学類、保健学類は I, II, III の 3 枚、数物科学類、機械工学類、電子情報学類、環境デザイン学類、自然システム学類は I, II, III, IV, V の 5 枚、医学類、薬学類・創薬科学類は III, IV, V の 3 枚あります。
- 3 答えはすべて答案用紙の指定のところに記入しなさい。
- 4 問題紙と下書き用紙は持ち帰ってください。

I [学校教育学類, 数物科学類, 機械工学類, 電子情報学類, 環境デザイン学類,
自然システム学類, 保健学類]

以下の文章が正しい記述となるように, (1), (2), (7),
(9) の中に適切な語句, あるいは人名を記入しなさい。(3),
(4), (5), (6), (8), (10) 中には以下の{ }
内の語句を選択し記入しなさい。

{ 波長, 強さ, 屈折率, 干渉, 高速性, 比例, 反比例, 直線的, 粒子, 独立,
直進, 波動, 量子仮説, 物質波仮説 }

1860 年代に電磁気学の基礎方程式が完成し, それから予言される電磁波(電場と
磁場が互いに変動しながら伝わる波)の存在は, その後の実験で検証され, 光も電
磁波の一種であると理解された。しかし, 19 世紀後半になると, 電磁気学では理
解できない現象が発見され, 20 世紀の科学革命の一つである量子力学の誕生につ
ながっていった。その代表的な一つは (1) と呼ばれ, 金属に短波長の光を当
てると, (2) がその表面から飛び出す現象である。レーナルトらの詳細な研
究によると, 以下のような特徴があることがわかった。

1. 金属に当てる光の振動数がある値 ν_0 よりも小さいと, どんなに光の
(3) を増しても, (2) は放出されない。
2. 逆に, 金属に当てる光の振動数が ν_0 よりも大きいと, (2) は光の
(3) によらず放出される。
3. 放出された (2) の運動エネルギーの最大値は, 光の (3) によら
ず, 光の振動数とともに (4) に増加する。
4. また, 当てる光の振動数を一定にし, 光の (3) を変化させると, 単位時
間あたりに放出される (2) の数は, 光の (3) に (5) して増減
する。

これらの現象は光の (6) 性と矛盾しており、電磁気学の枠組みでは説明できなかった。特に、光の (3) は光の振幅の二乗に比例していて、光は電場と磁場からなっている波なので、振幅を大きくすればいつか (2) は必ず飛び出すはずであると、考えられる。(1) 以外にも、高温度における物体から放射される電磁波の振動数とエネルギー密度の関係の測定結果は、電磁波のエネルギーは連続的な値を取ることができるという電磁気学の理論と矛盾していた。

(7) は、ある振動数 ν の電磁波のエネルギーは $h\nu$ という最小単位の正の整数倍しか取れないと仮定することによって、この測定結果を説明することに成功した。(7) の仮説は (8) と呼ばれ、 h ((7) 定数)は量子力学における最も重要な物理定数である。

一方、アインシュタインは、(7) が導入した振動数 ν の電磁波の最小エネルギーは、1個の (9) と呼ばれる粒子のエネルギーであると解釈し、振動数 ν の電磁波はこれらの粒子の集まりの流れであるとして、レーナルトらが見つけた (1) の特徴を理解することができた。この電磁波の (10) 的側面が、(1) を説明する決定的役割を果たしているのである。

II [学校教育学類, 数物科学類, 機械工学類, 電子情報学類, 環境デザイン学類,
自然システム学類, 保健学類]

図 2 a のように, 断熱材でできた一辺 L [m] の立方体の箱に N 個の単原子分子理想気体が封入されている。図に示すように座標軸をとり, x 軸に直交する箱の壁の 1 つを A とする。質量 m [kg] の分子が箱の壁に連続的に弾性衝突することで, 気体の圧力が生じている。箱内の分子が壁 A に衝突する様子を図 2 b に示した。分子にはたらく重力は無視できるとする。

問 1 1 つの分子が 1 回衝突することで, 箱の壁 A が分子から受ける力積の大きさを答えなさい。ただし, 分子の衝突直前の速度の x , y , z 成分をそれぞれ v_x , v_y , v_z [m/s] とする。

問 2 1 つの分子が他の分子に衝突することなく, 壁 A に衝突を繰り返すとしたとき, 分子が単位時間当たりに壁 A に衝突する回数を答えなさい。

問 3 1 つの分子が壁 A に与える力を時間的に平均したときの大きさを答えなさい。

圧力は x , y , z 方向に等しく作用することを考慮すると, 分子の速度の各成分の 2 乗の平均値は, 分子の速さの 2 乗の平均値 $\overline{v^2}$ と, $\overline{v_x^2} = \overline{v_y^2} = \overline{v_z^2} = \frac{\overline{v^2}}{3}$ の関係がある。以下の問 4 と問 5 に, N , m , L , $\overline{v^2}$ のうち必要なものを用いて答えなさい。

問 4 N 個の分子の運動エネルギーを答えなさい。

問 5 気体の圧力を答えなさい。

図 2 c に示すように圧力 p_0 [Pa] の大気中に, 断熱材でできたピストンとシリンダーが水平な床に置かれている。ピストンの壁面に直交する方向を x 軸方向とし, ピストンは断面積 S [m²] でなめらかに x 軸方向に動くとする。シリンダーは床に固定されており, 中には N 個の単原子分子理想気体が封入されている。ピストンを動かない壁 B と, ばね定数 k [N/m] のばねで x 軸に沿ってつなげた。このときばねは自然長であり, ピストンは静止していた。加熱装置によって熱量を加えてシリンダー内の気体をゆっくり熱したとき, 温度は ΔT [K] 上昇し, ピストンは Δx [m] 移動した。ピストンとばねの重さは無視できるとし, 気体定数を R [J/(mol·K)],

アボガドロ定数を N_A [1/mol] とする。以下の問いに p_0 , N , N_A , R , k , S , Δx , ΔT のうち必要なものを用いて答えなさい。

問 6 ピストンが Δx 移動したとき、シリンダー内部の気体の圧力を答えなさい。

問 7 加えた熱量を答えなさい。

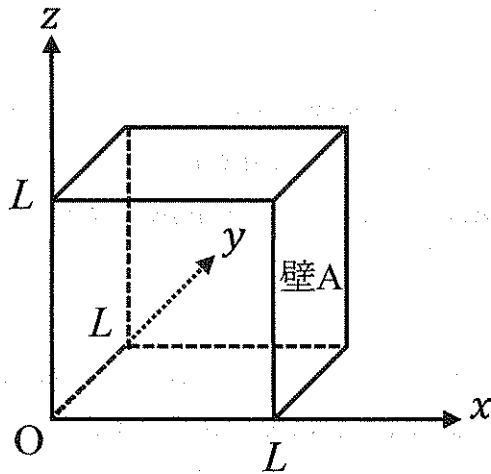


図 2 a

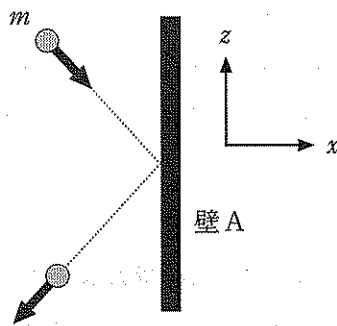


図 2 b

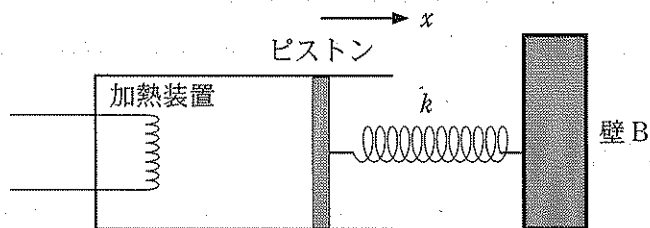


図 2 c

Ⅲ [学校教育学類, 数物科学類, 機械工学類, 電子情報学類, 環境デザイン学類, 自然システム学類, 保健学類, 医学類, 薬学類・創薬科学類]

図3 aのように, 水平な床の上に質量 M [kg] の台がある。台の曲面 AB は点 O を中心とする半径 R [m] の円周の一部であり, 点 A において床となめらかにつながっている。OA と OB のなす角は 90° である。床の上に置かれた大きさの無視できる質量 m [kg] ($m < M$) の小球を水平右側へ打ち出し, 点 A から台へ入射させると, 小球は曲面 AB を離れることなく運動する。小球と台の曲面 AB の間には摩擦はないとする。空気抵抗は無視し, 重力加速度の大きさを g [m/s²] として, 以下の問いに答えなさい。

はじめ, 台が動かないように床に固定した。この状態で, 小球を点 A から台へ入射させた。床と小球の間に摩擦はないものとする。

問 1 小球が点 B に到達するのに必要な初速度の大きさの最小値 v_0 [m/s] を答えなさい。

問 2 小球を $\sqrt{2} v_0$ の速さで打ち出し, 台に入射させたとき, 点 B から真上に打ち上がり, 最高到達点 P まで達した。点 P の床からの高さ, および小球が点 B を離れて点 P に到達するまでの時間を, v_0 を用いずに答えなさい。

次に, 同じ床の上に台を固定せずに置き, 再び小球を点 A から静止している台へ入射させた。床と小球, 床と台の間に摩擦はないものとする。

問 3 小球が点 B に到達したとき, 床に対する台の速さを V [m/s] とする。小球と台からなる系では, 水平方向には内力を及ぼしあっているだけである。 V は, 台に入射する前の小球の初速度の大きさの何倍であるか, 答えなさい。

問 4 小球が点 B に到達するのに必要な初速度の大きさの最小値 v_1 [m/s] を答えなさい。

問 5 小球を初速度の大きさ v_2 [m/s] で打ち出し, 台に入射させたとき, 台とともに運動する人から見て, 台上の点 B から真上に R だけ打ち上がった。このとき v_2 は v_1 の何倍であるか答えなさい。

今度は、床と台の間に摩擦があるとします。図 3 b のように、床の上に台を固定せずに置き、小球を点 A から静止している台へ入射させた。点 A での小球の速さが、問 1 で求めた v_0 であるとき、小球が点 C に達すると、台は床の上をすべり始めた。OA と OC のなす角度を θ とすると $\cos \theta = \frac{2}{3}$ であった。以下の問いには、 m, M, g, R の中から必要なものを用いて答えなさい。

問 6 小球が点 C に達したとき、小球が台から受ける垂直抗力の大きさを答えなさい。

問 7 小球が点 C に達したとき、台が床から受ける垂直抗力の大きさを答えなさい。

問 8 台と床の間の静止摩擦係数を答えなさい。

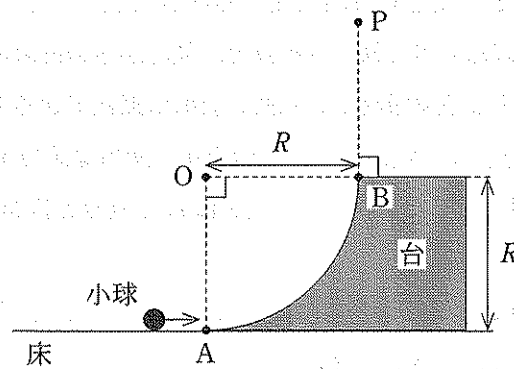


図 3 a

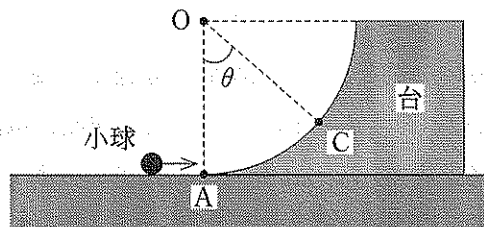


図 3 b

IV [数物科学類, 機械工学類, 電子情報学類, 環境デザイン学類, 自然システム学類, 医学類, 薬学類・創薬科学類]

図4に示すように, 透磁率 μ [N/A²] の口型の鉄心がある。鉄心は円形の断面を持ち, その断面積は S [m²] である。その鉄心に, 電気抵抗が無視できる絶縁被膜した導線を一様に N_A 回と N_B 回巻いて, ソレノイドコイル A と B を作った。コイル A は時計回りに巻かれながら進み, コイル B は反時計回りに巻かれながら進む。それぞれのコイル部分は鉄心の太さに比べて十分に長く, その長さは l [m] である。コイル A には, 起電力 E [V] の電池, 交流電源, 抵抗値 R [Ω] の抵抗 R , スイッチ SW_1 がつながれている。一方, コイル B には, 抵抗値 r [Ω] の抵抗 r とスイッチ SW_2 がつながれている。はじめに 2 つのスイッチは開かれている。回路に流れる電流は a 点と c 点を右方向に流れる向きを正とする。コイルに流れる電流によって生じる磁束はすべて鉄心内を貫き, 鉄心からの磁束の漏れはないものとする。また, 鉄心に生じる渦電流や電磁波の放射は無視できるものとする。以下の問 1 から問 3 までは μ, S, N_A, l, E, R の中から適当な記号を用いて答えなさい。

問 1 SW_1 を P 側に閉じた直後に, a 点を流れる電流と抵抗 R にかかる電圧を答えなさい。

問 2 SW_1 を P 側に閉じて十分に時間が経過した。a 点を流れる電流と抵抗 R にかかる電圧を答えなさい。また, コイル A に生じる誘導起電力を b 点の電位を基準として答えなさい。

問 3 問 2 のとき, コイル A の内部に生じている磁場の強さを答えなさい。

次に, SW_1 を Q 側に閉じた。十分に時間が経過した後に, 時刻 t [s] のときコイル A に流れる電流が $I_A(t) = I_0 \sin \omega t$ と表される交流の電流が流れていた。ここで, I_0 [A] は正とする。また, ω [rad/s] は交流電源の振動の角周波数を表す。以下の問 4 から問 7 までは, $\mu, S, N_A, N_B, l, r, I_0, \omega, t$ の中から適当な記号を用いて答えなさい。必要ならば, 任意の角度 α [rad] と β [rad] について, 次の関係があることを用いなさい。

$$\sin(\alpha \pm \beta) = \sin \alpha \cdot \cos \beta \pm \cos \alpha \cdot \sin \beta$$

$$\cos(\alpha \pm \beta) = \cos \alpha \cdot \cos \beta \mp \sin \alpha \cdot \sin \beta$$

問 4 電流 $I_A(t)$ は微小な時間 Δt [s] 経過すると $I_A(t + \Delta t) = I_0 \sin \omega(t + \Delta t)$ となる。時刻が t から $t + \Delta t$ の間にコイル A の断面を貫く磁束の変化量を答えなさい。ただし、 $\omega \Delta t$ が十分に小さいとき、 $\sin \omega \Delta t \approx \omega \Delta t$ 、 $\cos \omega \Delta t \approx 1$ となることを用いなさい。なお、この問いの答えには Δt も用いてよい。

問 5 時刻 t でのコイル A に生じる誘導起電力を b 点の電位を基準として答えなさい。

問 6 時刻 t でのコイル B に生じる誘導起電力を d 点の電位を基準として答えなさい。

問 7 コイル A 側の回路で b 点に対する a 点の電位が正のとき、コイル B 側の回路の d 点に対する c 点の電位は正か負か、いずれか正しい方を選び解答欄に ○ を付けなさい。

次に、スイッチ SW_2 を閉じて十分な時間が経過すると、コイル A に $I_A(t) = I_1 \sin \omega t$ と表される交流の電流が流れた。ここで、 I_1 [A] は正とする。以下の問いでは、 μ 、 S 、 N_A 、 N_B 、 ℓ 、 r 、 I_1 、 ω 、 t の中から適当な記号を用いて答えなさい。必要ならば、 $\sin^2 \omega t$ と $\cos^2 \omega t$ の時間平均は $\frac{1}{2}$ 、 $\sin \omega t \cdot \cos \omega t$ の時間平均は 0 であることを利用しなさい。

問 8 時刻 t のとき抵抗 r に流れる電流を答えなさい。

問 9 抵抗 r での 1 周期分の平均消費電力を答えなさい。

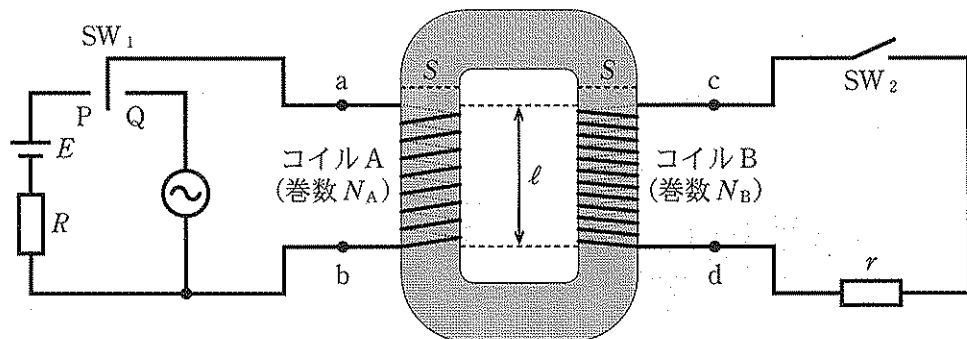


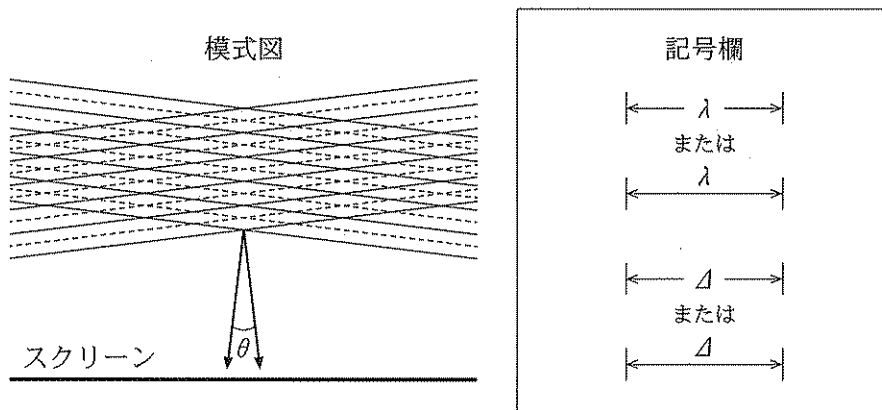
図 4

V [数物科学類, 機械工学類, 電子情報学類, 環境デザイン学類, 自然システム学類, 医学類, 薬学類・創薬科学類]

図5 aのように x - y 平面内を通る干渉する光を使った光学装置(干渉計)がある。これは、波長 λ [m]の位相のそろった平行光を出す装置(レーザー光源), 薄いハーフミラー(半透明鏡), 2つの鏡 M_1, M_2 , および検出器によって構成されている。ハーフミラーでは光の半分が反射し半分が透過し, 鏡ではすべての光が反射する。ハーフミラーから鏡 M_1, M_2 までの距離はそれぞれ L_1, L_2 [m]である。ただし L_1, L_2 はハーフミラーや鏡の大きさあるいは λ に比べ十分に長いものとする。検出器はモニターに接続され, 拡大された干渉縞とその縞に対応した光の強度を観測できる。図5 bは, 光の経路を分かりやすく誇張して描いたものである。

干渉計のハーフミラーや鏡 M_1, M_2 の傾きを調整して, モニターに干渉縞を映し出すことに成功した。このとき観測された x 方向の光の強度分布は, 図5 cのようなものであった。光の経路は x - y 平面内のみを考え, 特に指定がない限り光の経路内は真空として, 以下の問1から問8に答えなさい。

問1 波長が同じ λ で, 小さな角度 θ [rad]だけ異なる方向に進行する2つの波がある。波の山(実線)と谷(破線)を下の模式図のように描いた。記号欄の記号を参考にして, 解答欄の図中に波長 λ とスクリーンに映る干渉縞の間隔 Δ [m]の長さを示す記号を書き入れなさい。ただし模式図の矢印は2つの波が進む方向を示している。



問 2 干渉計の鏡 M_1 を、傾きを変化させずにハーフミラーの方向へゆっくりと近づけた。このとき干渉縞は、 x 方向正の向きへ移動するのが観測された。干渉縞の移動距離が、干渉縞の間隔と同じになったときの M_1 の移動距離を答えなさい。

問 3 図 5 d のように、鏡 M_1 の表面に厚さ d [m]、屈折率 n ($n > 1$) の透明薄板を装着したところ、干渉縞の間隔は変わらず、干渉縞の最も暗い部分が、透明薄板を装着する前に観測した位置とちょうど同じ位置に観測された。正の整数 k を用いて、 d 、 n 、 λ の間に成立する関係式を答えなさい。ただし透明薄板の表面による反射は考えないものとする。

問 3 に続き、透明薄板に対して、次のような研磨作業を繰り返し行った。1 回の研磨作業毎に干渉縞を観測した。

研磨作業：透明薄板を取り出して、研磨器を使って板の厚さを薄くする。このとき 1 回の研磨で同じ厚さに一定量の研磨ができる。研磨後、透明薄板を鏡 M_1 の表面に再び装着する。

問 4 研磨作業後に観測される干渉縞は、 x 方向正負のどちらの向きに移動して観測されるか、正または負で答えなさい。

問 5 作業を 10 回繰り返したとき、干渉縞がその間隔の 1 つ分移動したことが分かった。このとき 1 回の研磨作業で薄くできる厚さを答えなさい。

問 6 別の研磨器で研磨したため、透明薄板が平行板ではなく、図 5 e のように、 x 方向へ行くほど板厚が厚くなるくさび状に研磨された。そこで、透明薄板を鏡 M_1 とともに x 方向正の向きへ平行移動させながら、干渉縞を観測した。干渉縞が、その間隔の 4 分の 1 だけ移動したときに、透明薄板を l [m] だけ移動させていた。このとき図 5 e の角度 φ [rad] はいくらか答えなさい。ただし φ は非常に小さく $\tan \varphi \approx \varphi$ としてよい。

問 7 赤色のレーザー光源を使っていたが、青色のものに取り換えた。このときも干渉縞が観測されたが、縞模様に変化が表れた。色の違い以外に、その変化を書きなさい。

問 8. 赤色のレーザー光源に戻したところ、干渉縞が観測された。その後、ハーフミラーや鏡 M_1 , M_2 の傾きと位置を再度調整したところ、縞模様の間隔が広がっていき、モニター全体が最も暗くなった。 M_1 のみを調整してモニター全体を最も明るくするには、 M_1 をどのように調整すればよいか書きなさい。

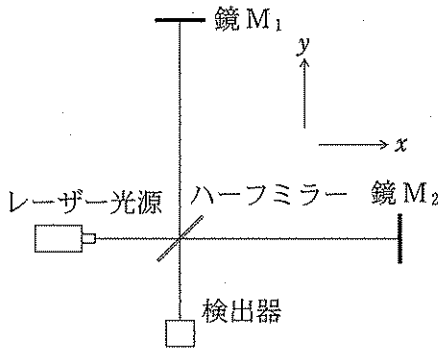


図 5 a

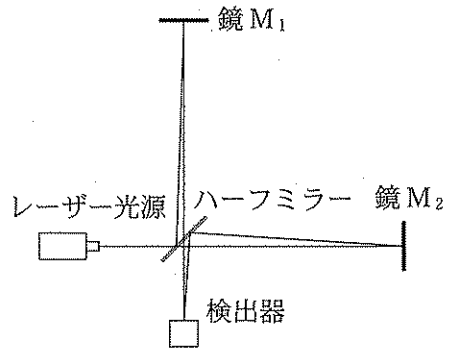


図 5 b

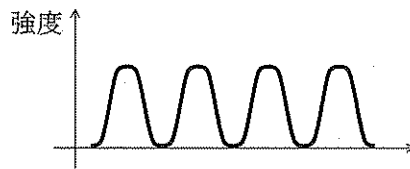


図 5 c

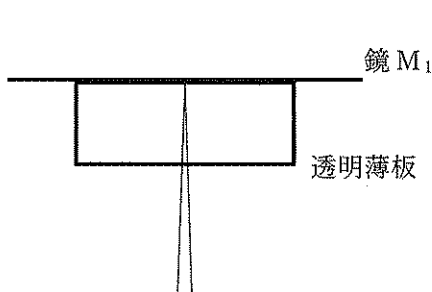


図 5 d

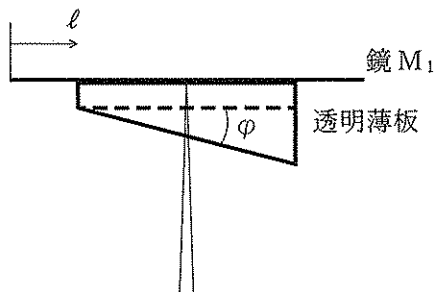


図 5 e

