

令和 8 年度医学科入学試験問題

物 理

〔注意事項〕

- 1 監督者の指示があるまで、この冊子を開いてはいけない。
- 2 解答用紙に受験番号と氏名を必ず記入すること。
- 3 この問題冊子の本文は、12 ページからなっている。落丁、乱丁及び印刷不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
- 4 この問題冊子の白紙と余白は、適宜下書きに使用してもよい。
- 5 解答は、すべて別紙「解答用紙」の指定された場所に記入すること。
- 6 解答欄には解答のみを記すこと。
- 7 この問題冊子は持ち帰ること。

1 [1], [2]の文中にある空欄 (1) ~ (5) に入る適切な数式を答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視するものとする。

[1] 図1-1のように、水平な天井の2点P, Qに、同じ長さ l の伸び縮みしない軽い糸の上端が固定されており、それぞれの糸の下端には質量 m の小球がつるされている。2つの小球はばね定数 k の軽いばねでつながれており、ばねの自然の長さを L とする。図1-1のように、天井に沿って水平右向きに x 軸をとり、 y 軸は鉛直上向きにとる。原点 O は点P, Qの x 座標がそれぞれ $-\frac{L}{2}$, $\frac{L}{2}$ となるようにとる。 x 座標の値が小さい小球から順に小球1, 2とよび、それぞれの x 座標を $x_1 - \frac{L}{2}$, $x_2 + \frac{L}{2}$ とする。初めに $x_1 = -A$ および $x_2 = A$ となる位置に糸をたるませずに2つの小球を固定し、時刻 $t = 0$ に初速度を与えずに固定を外したところ、その後、2つの小球は $x_1 = -x_2$ の関係が成り立ったまま xy 平面内を運動した。ただし、 $|A|$ は l および L に比べて十分に小さく、それぞれの小球の運動は x 軸に平行な直線上の往復運動とみなせるものとする。

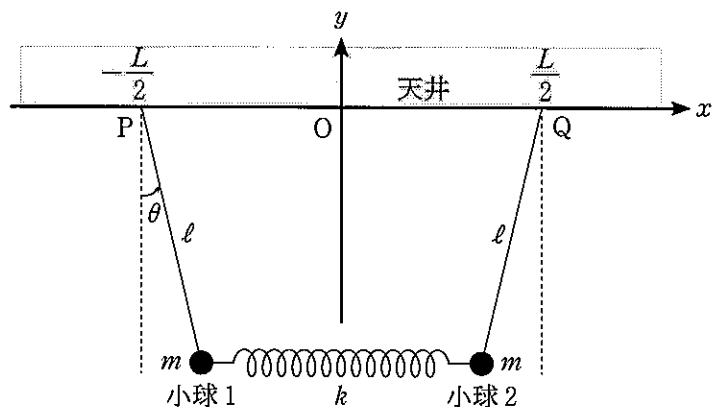


図1-1

小球1が取り付けられた糸と鉛直線とのなす角を θ (反時計回りを正とする)とすると、 $\theta \approx \sin \theta \approx \tan \theta \approx \frac{x_1}{l}$ と近似できる。このとき、小球1にはたらく重力と糸の張力の合力の x 成分は g, l, m, x_1 を用いて (1) と表せる。一方、小球1にはたらくばねの弾性力の x 成分は k および x_1 を用いて (2) と表せる。小球1の加速度の x 成分を a とすると、小球1の水平方向の運動方程式は、 g, k, l, m, x_1 を用いて $ma =$ (3) と表せる。したがって、小球1は周期 (4) の単振動を行うことがわかり、 $x_1 = 0$ となった瞬間における小球1の速さは (5) である。

- [2] 図1-2のように水平な天井の3点P, O, Qに, 同じ長さ ℓ の伸び縮みしない軽い糸の上端が固定されており, それぞれの糸の下端には質量 m の小球がつるされている。隣り合う小球はばね定数 k の軽いばねでつながれており, ばねの自然の長さはいずれも L とする。天井に沿って水平右向きに x 軸を, 鉛直上向きに y 軸をとり, いずれの小球も xy 平面内を運動するものとする。原点は点Oとする。 x 座標の値が小さい小球から順に小球1, 2, 3とよび, それぞれの x 座標を $x_1 - L, x_2, x_3 + L$ とする。つり合いの位置($x_1 = x_2 = x_3 = 0$)からの小球の変位 x_1, x_2, x_3 の大きさはいずれも ℓ および L に比べて十分に小さく, それぞれの小球の運動は x 軸に平行な直線上の往復運動とみなせるものとする。

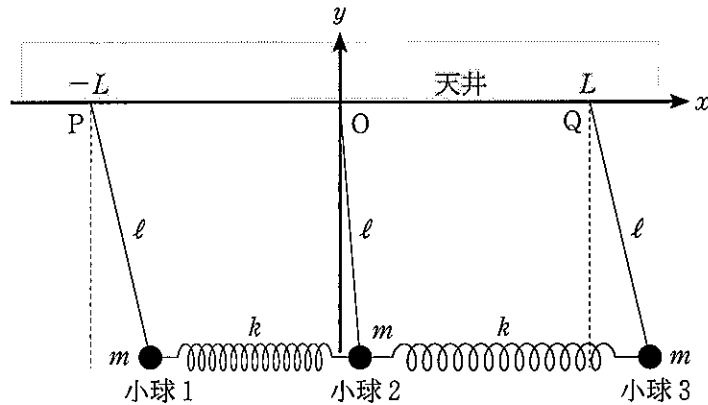


図1-2

時刻 t における小球1, 2, 3の変位が, 一定の角速度 ω を用いてそれぞれ $x_1 = A_1 \sin \omega t, x_2 = A_2 \sin \omega t, x_3 = A_3 \sin \omega t$ と表されたとする。以下では, A_1, A_2, A_3 の値によって3種類の場合分けを行い, それぞれの場合における ω の値を求める。

$A_1 = A_2 = A_3$ の場合の ω を求めるために小球1の運動に着目する。小球1の加速度の x 成分を a とすると, 小球1の水平方向の運動方程式は, g, k, ℓ, m, x_1 の中から必要なものを用いて $ma = \boxed{\quad (6) \quad}$ と表せる。したがって, $\omega = \boxed{\quad (7) \quad}$ と表せる。

次に、 $A_1 = A_3 \neq A_2$ の場合の ω を求める。 g, k, ℓ, m, A_1, A_2 を用いると、時刻 t に小球 1 にはたらく力の x 成分は $\boxed{(8)}$ $\times \sin \omega t$ 、小球 2 にはたらく力の x 成分は $\boxed{(9)}$ $\times \sin \omega t$ と表せる。小球 1, 2 の加速度の x 成分をそれぞれ a_1, a_2 とするとき、小球 1, 2 の水平方向の運動方程式は、 g, k, ℓ, m, A_1, A_2 を用いて、それぞれ $ma_1 = -\boxed{(10)}$ $\times x_1$ 、 $ma_2 = -\boxed{(11)}$ $\times x_2$ と表せる。これら 2 つの運動方程式から、 ω を g, k, ℓ, m, A_1, A_2 を用いて 2 通りに表せる。それらの ω が等しいことから、 A_2 は A_1 を用いて $A_2 = \boxed{(12)}$ と表せる。したがって、 ω は g, k, ℓ, m を用いて $\omega = \boxed{(13)}$ と表せることがわかる。

最後に、 $A_1 = -A_3$ の場合の ω を求める。このとき、常に $x_3 = -x_1$ が成り立つため、小球 1, 3 の加速度の x 成分をそれぞれ a_1, a_3 とすると、 $a_3 = -a_1$ の関係が成り立つ。このことと、小球 1, 3 の水平方向の運動方程式もあわせて考えると、 $A_2 = \boxed{(14)}$ となることがわかり、 ω は g, k, ℓ, m を用いて $\omega = \boxed{(15)}$ と表せる。

2 [1]～[3]の文中にある空欄 (1) ～ (4) に入る適切な数式を答えよ。

[1] 内部抵抗の無視できる起電力が V_1 , V_2 の直流電源と、抵抗値が R_1 , R_2 , R_3 の3つの抵抗からなる図2-1の回路がある。各抵抗に流れる電流 I_1 , I_2 , I_3 は、その流れの向きを図の矢印のようにとると、 V_1 , V_2 , R_1 , R_2 , R_3 を用いて $I_1 =$ (1) , $I_2 =$ (2) , $I_3 =$ (3) と表せる。

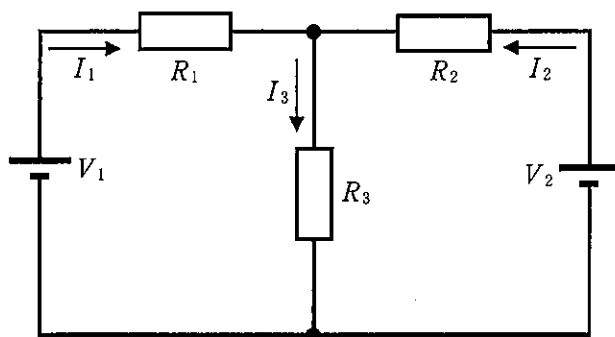


図 2-1

- [2] (1) 抵抗値がそれぞれ R_1, R_2, R_3 の3つの抵抗からなる図2-2(a)の回路がある。AB間の合成抵抗の値 R_{AB} , CA間の合成抵抗の値 R_{CA} , BC間の合成抵抗の値 R_{BC} は, R_1, R_2, R_3 を用いてそれぞれ $R_{AB} = \boxed{(4)}$, $R_{CA} = \boxed{(5)}$, $R_{BC} = \boxed{(6)}$ と表せる。
- (2) 次に図2-2(b)の回路を考える。AB間の合成抵抗の値 R_{AB} , CA間の合成抵抗の値 R_{CA} , BC間の合成抵抗の値 R_{BC} が図2-2(a)の回路のものと同じになるには, 3つの抵抗 R_A, R_B, R_C の各抵抗値は, R_1, R_2, R_3 を用いて $R_A = \boxed{(7)}$, $R_B = \boxed{(8)}$, $R_C = \boxed{(9)}$ となる必要がある。

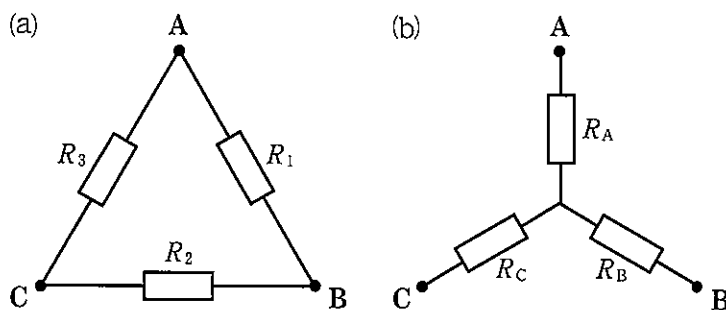


図2-2

- (3) 抵抗値 R_1, R_2, R_3, R_4, R_5 の5つの抵抗と, 点Aに対する点Bの電位が V の直流電源からなる図2-3の回路がある。(2)の結果を利用して, 点Aから点Bへ流れる電流 I は, その流れの向きを図の矢印のようにとると, $R_A, R_B, R_C, R_4, R_5, V$ を用いて $I = \boxed{(10)}$ と表せる。

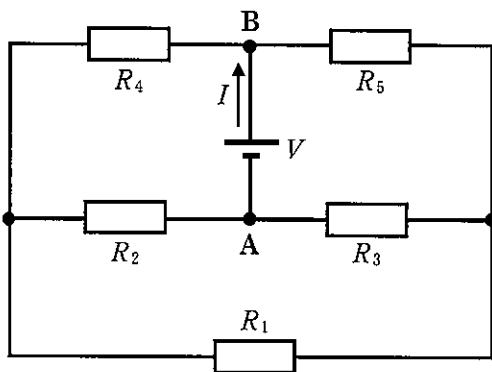


図2-3

[3] 金属の抵抗値は温度に対して比例して増加する性質があり、この性質を強くもつ金属は测温抵抗体として温度計測に利用されている。ある金属 x の抵抗値 R_x は、抵抗値 R_1 , R_2 が一定の2つの抵抗と、抵抗値 R_3 が可変の抵抗からなる図2-4のようなブリッジ回路を用い、AB間にある検流計に電流が流れなくなる抵抗値 R_3 を求めることで測定できる。その値は、 R_1 , R_2 , R_3 を用いて $R_x =$ (1) と表せる。このとき金属 x 以外の回路部は温度の影響を受けないものとする。

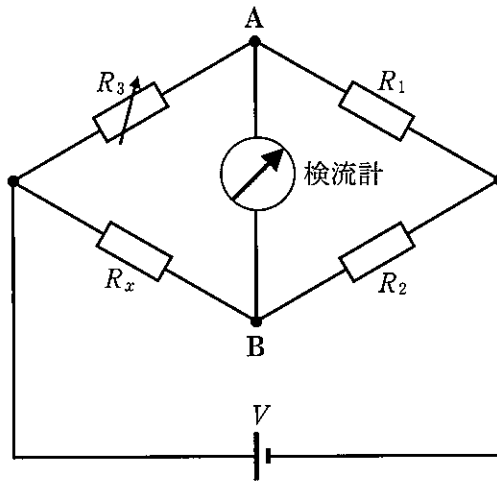


図2-4

実際には図2-5のように金属 x を回路に接続する導線があり、この導線の抵抗値も温度で変化するため、このままでは正確な金属 x の抵抗値 R_x が測定できない。金属 x の抵抗の両端の導線1, 2の抵抗値を r_1 , r_2 とする。この回路において、検流計に電流が流れなくなる抵抗値 R_3 は、 R_1 , R_2 , R_x , r_1 , r_2 を用いて $R_3 =$ (2) と表せる。このとき金属 x および導線1, 2以外の回路部は温度の影響を受けないものとする。

導線の抵抗の影響をなくすため、もう1本導線を加えた図2-6の回路を作る。この導線3の抵抗値を r_3 とすると、検流計に電流が流れなくなる抵抗値 R_3 は、 R_1 , R_2 , R_x , r_1 , r_2 , r_3 を用いて $R_3 =$ (3) と表せる。このとき金属 x および導線1, 2, 3以外の回路部は温度の影響を受けないものとする。

3つの導線の抵抗値を等しく r とし ($r_1 = r_2 = r_3 = r$), R_1 と R_2 の抵抗値を同じ R にする ($R_1 = R_2 = R$) と, R_3 は R, R_x, r から必要なものを用いて $R_3 = \boxed{(14)}$ と表せ, 導線の影響を受けずに金属 x の抵抗値 R_x を求めることができる。

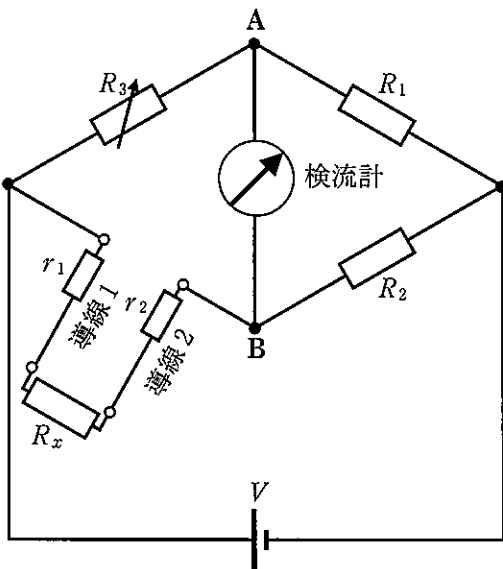


図 2-5

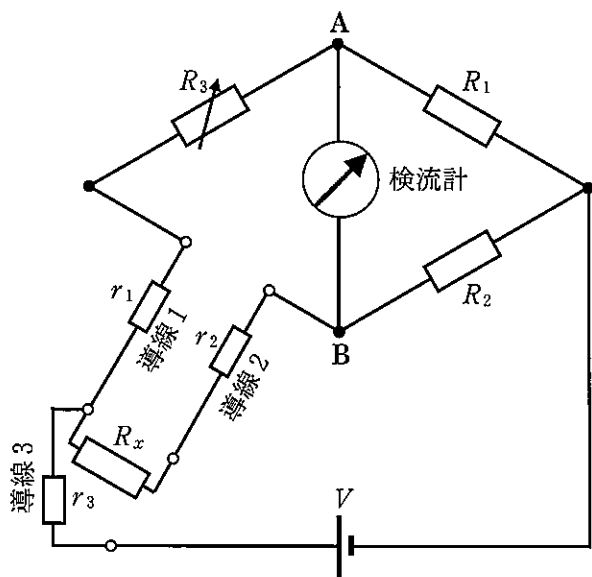


図 2-6

3 以下の文中にある空欄 (1) ~ (18) に入る適切な数式を答えよ。空欄 (s1) , (s2) は最も適切な不等号を答えよ。また空欄 (o1) , (o2) は選択肢から最も適切なものを選びその記号を答えよ。 a を任意の実数, ϵ を絶対値が1に比べて十分に小さい実数としたとき $(1 + \epsilon)^a \doteq 1 + a\epsilon$, $\sin \epsilon \doteq \epsilon$, $\cos \epsilon \doteq 1$ と近似できることを用いてよい。

水中に小さい物体 P があるときその物体 P の空気中からの見え方を考える。空気の屈折率を 1, 水の屈折率を $n (> 1)$ とする。水面に沿って右向きに x 軸を, 物体 P を通る鉛直線上に上向きに y 軸をとり, この xy 平面で考えるものとする。物体 P の位置の座標を $(0, -h) (h > 0)$ とする。水中にある物体 P から出た, すなわち物体 P で反射した光はあらゆる方向に出ると考えられ, その一部が観測者 W の目に入り観測者 W は物体 P を認識する。

[1] 初めに, 図 3-1 のように観測者 W が物体 P の真上にいるときを考える。観測者 W の位置の座標を $(0, H) (H > 0)$ とする。水面上の点 $O'(d, 0) (d > 0)$ は原点 $O(0, 0)$ からの距離が十分に近い点とする ($\frac{d}{h} \ll 1$)。物体 P から出て原点 O を通る光は鉛直線上をさらに進み観測者 W の目に入る。また, 物体 P から出て点 O' を通る光も, 点 O' が原点 O に十分に近い点であるため観測者 W の目に入り物体 P から出た光と認識されるものとする。このとき, 観測者 W には点 Q の位置の虚像が物体 P として見える。点 O' での入射角と屈折角をそれぞれ $\alpha, \beta (0 < \alpha < \frac{\pi}{2}, 0 < \beta < \frac{\pi}{2})$ とする。いったん点 O' の原点 O からの距離が十分に近いことは用いないとすると, 距離 d と物体 P の水面からの距離 h との間には $d =$ (1) が成り立ち, 屈折の法則 $n \times$ (2) = (3) が成り立つ。これらより, はじめに設定した通りに点 O' は原点 O から十分に近い距離にある点とすると, α, β も十分に小さいとみなせるため, 点 Q の水面からの距離 h_Q は $h_Q =$ (4) となるのがわかる。

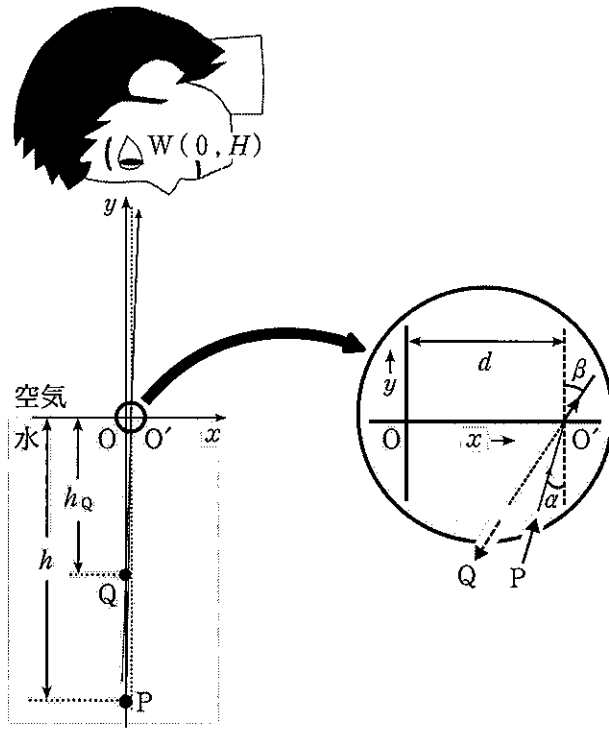


图 3-1

[2] 次に、図 3-2 のように観測者 W の位置の座標が (L, H) ($L, H > 0$) の場合も光の屈折から虚像 Q の位置は物体 P と観測者 W の位置から決まることを確かめる。

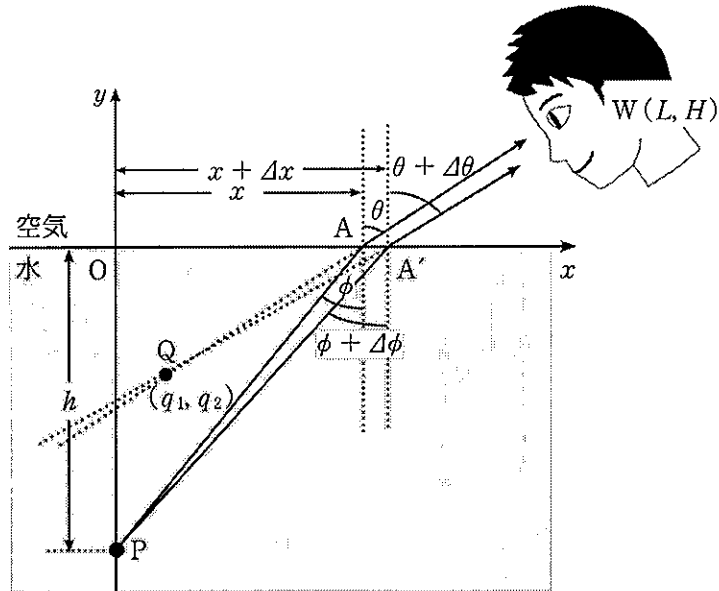


図 3-2

物体 P から出た光は水面上の点 $A(x, 0)$ を通過して観測者 W の目に入るものとする。また、点 A から十分に近い水面上の点 $A'(x + \Delta x, 0)$ を通過する物体 P から出た光も観測者 W は見ることができるものとする ($x > 0, x + \Delta x \leq L, \left| \frac{\Delta x}{h} \right| \ll 1$)。光線 PAW の入射角を ϕ , 屈折角を θ とする。光線 PA'W の入射角, 屈折角をそれぞれ $\phi + \Delta\phi, \theta + \Delta\theta$ とする ($\phi > 0, \theta < \frac{\pi}{2}, |\Delta\phi| \ll 1, |\Delta\theta| \ll 1$)。点 A での入射角と屈折角の関係は $n \times \boxed{(5)} = \boxed{(6)}$, さらに点 A' での入射角と屈折角の関係も用いると, $\Delta\phi$ と $\Delta\theta$ の関係は, $n, \cos \phi, \cos \theta$ を用いて $\Delta\phi = \boxed{(7)} \times \Delta\theta$ となることがわかる。物体 P の虚像 Q の位置の座標を $Q(q_1, q_2)$ とする。点 Q と点 A の位置から $x - q_1 = \boxed{(8)}$ となり, 同様に点 Q と点 A' の位置から得られる関係式も用いると, Δx と $\Delta\theta$ の関

係は q_1, q_2, n, θ から必要なものを用いて表すと $\Delta x = \boxed{(9)} \times \Delta\theta$ となる。次に Δx と $\Delta\phi$ の関係を求める。物体 P と点 A の位置から $x = \boxed{(10)}$, さらに物体 P と点 A' の位置の関係式も用いると, n, ϕ から必要なものを用いて $\Delta x = \boxed{(11)} \times \Delta\phi$ となる。以上の関係式より, q_2 は点 A での入射角 ϕ , 屈折率 n , 物体 P の深さ h により $q_2 = \boxed{(12)}$ と決まることがわかる。さらに, q_1 も同様に ϕ, n, h を用いて $q_1 = \boxed{(13)}$ と表せる。また, 入射角 ϕ は臨界角を超えないという条件から不等式 $\sin \phi \leq \boxed{(14)}$ が成り立ち, q_1, q_2 にもそれぞれ不等式 $q_1 \boxed{(s1)} \boxed{(15)}$, $q_2 \boxed{(s2)} \boxed{(16)}$ が成り立つ。これらの不等式から虚像 Q の位置は実際の物体 P の位置と比べて, 深さは $\boxed{(o1)} \{a. \text{ 浅く, } b. \text{ 等しく, } c. \text{ 深く}\}$, 水平方向は $\boxed{(o2)} \{a. \text{ 手前, } b. \text{ 同じ, } c. \text{ 奥}\}$ になることがわかる。

ここまで虚像 Q の位置座標 (q_1, q_2) を屈折率 n , 物体 P の位置座標 $(0, -h)$ および点 A での入射角 ϕ を用いて表わした。最後に, 入射角 ϕ が物体 P と観測者 W の位置から決まることにより虚像 Q の位置は物体 P と観測者 W の位置で決まることを確認する。入射角 ϕ は物体 P から出た光が観測者 W へ到達する屈折光線 PAW で決まっている。また, ϕ の代わりに点 A の位置座標の x を用いることもできる。そこで, 点 A での屈折の法則を物体 P, 観測者 W および点 A の位置座標の x を用いて表すと, n, h, H, L, x の間に関係式 $n^2 H^2 x^2 = (L - x)^2 \times \boxed{(17)}$ が成り立つことがわかる。この x に関する $\boxed{(18)}$ 次方程式の解についてここではこれ以上の説明はしないが, 方程式には実数解があることが示される。すなわち, x は物体 P と観測者 W の位置, および屈折率 n で決まることが示される。その x で ϕ も決まるので, 虚像 Q の位置は物体 P と観測者 W の位置で決まることが確認できたことになる。