

平成28年度入学試験問題

理 科

(注 意 事 項)

1. 問題冊子は指示があるまで開かないこと。
2. 届け出た選択科目以外は解答してはならない。
3. 問題冊子のページ及び解答紙は次のとおりである。「始め」の合図があったら届け出た選択科目についてそれぞれを確認すること。

科 目	問 題 冊 子	解 答 紙	
	ペ ー ジ	解答紙番号	枚 数
物理基礎・物理	1 ～ 16	31 ～ 33	3
化学基礎・化学	17 ～ 32	34 ～ 38	5
生物基礎・生物	33 ～ 54	39 ～ 43	5
地学基礎・地学	55 ～ 67	44 ～ 48	5

4. 各解答紙の2箇所を受験番号を記入すること。
5. 解答はすべて解答紙の所定の欄に記入すること。
6. 計算その他を試みる場合は、解答紙の裏又は問題冊子の余白を利用すること。
7. この教科は、2科目250点満点(1科目125点満点)です。なお、医学部保健学科(看護学専攻)については、2科目100点満点に換算します。

物 理 基 礎 · 物 理

- [1] 大きさが無視できる2つの小物体 A と B の運動について、以下の問いに答えよ。小物体 A, B はともに同一の直線上を運動し、すべての摩擦ならびに空気抵抗およびバネの質量は無視できるものとする。また、衝突はすべて弾性衝突とする。(45点)

問 1. 図 1 に示すような、小物体の発射装置を考える。図 1(a) に示すように、質量 M_A の小物体 A は、一端を壁に固定されたバネ定数 k のバネに取りつけられ、水平な床の上に置かれている。図 1 に示すように x 軸を選び、バネが自然長のときの小物体 A の位置を x 座標の原点 $x = 0$ とする。

次に、質量 M_B の小物体 B を小物体 A に接触させながら x 軸の負の方向に移動させ、図 1(b) に示すように、小物体 A の位置が $x = -x_0$ ($x_0 > 0$) となったときに静止させた。時刻 $t = 0$ で小物体 B を静かに離れたあとの2つの小物体の運動について、以下の問いに答えよ。ただし、原点 $x = 0$ において、小物体 A と小物体 B の間に作用する抗力は 0 となり、 $x > 0$ の領域においては小物体 A と B は独立に運動する。解答は、特に指定のない限り M_A, M_B, k, x_0, t の中から必要なものを使って表すこと。

- (1) 小物体 A が原点 $x = 0$ を初めて通過するときの速さ v_0 を求めよ。
- (2) 小物体 A が原点 $x = 0$ を初めて通過する時刻 t_0 を求めよ。
- (3) 時刻 t_0 以降の小物体 A の位置を表す関数 $x_A(t)$ の式を示せ。必要であれば、解答に t_0 を用いてもよい。
- (4) 時刻 t_0 以降の小物体 B の位置を表す関数 $x_B(t)$ の式を示せ。必要であれば、解答に t_0 を用いてもよい。

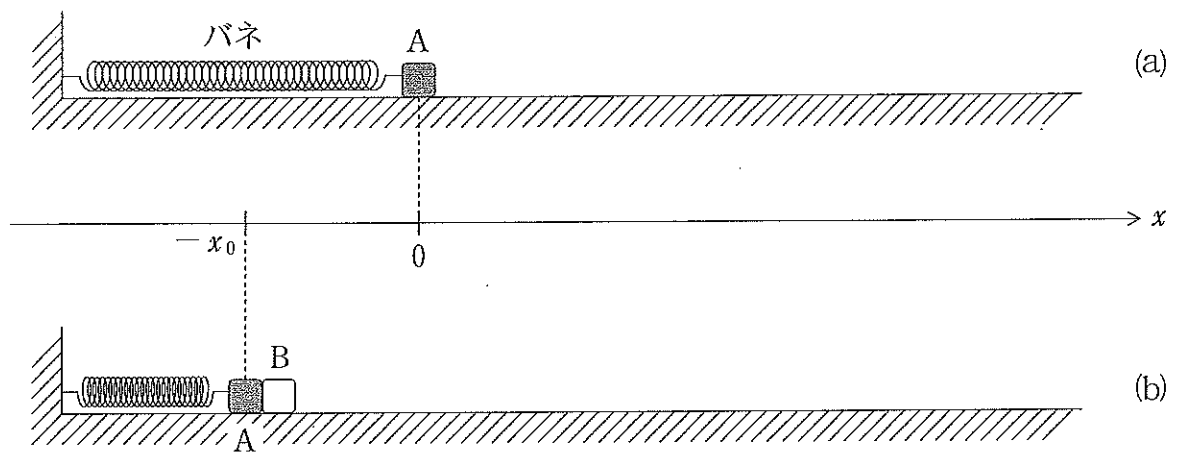


図 1

問 2. 次に、図 2 に示すように、 $x > 0$ の領域に反射壁を固定し、図 1 と同じ発射装置から小物体 B を発射して運動を観測した。発射する条件は問 1 と同一である。

反射壁を固定する位置を、 $x > 0$ の領域で図 2 に示すように発射装置に近い方から徐々に遠い位置に変えて小物体 B を発射した。この過程で、反射壁を $x = D_0$ の位置に固定したときに、以下のような小物体 A と B の周期運動が初めて観測された。

小物体 A と B は、時刻 $t = 0$ で運動を開始した。時刻 $t = t_0$ で小物体 A と離れて独立に運動した小物体 B は、時刻 $t = t_1$ で反射壁と衝突した。反射壁に衝突した小物体 B は再び小物体 A と接触し、一体となった。2 つの小物体が一体となるとき、小物体 A に対する小物体 B の相対速度は 0 であった。この後、小物体 B は小物体 A と一体となって運動し、再び発射されるという周期運動をした。

以下の問いに答えよ。解答は、 M_A , M_B , k , x_0 , t_0 の中から必要なものを使って表すこと。

- (1) 反射壁の位置 $x = D_0$ を求めよ。また、小物体 B が初めて反射壁に衝突した時刻 $t = t_1$ を求めよ。
- (2) 反射壁が位置 $x = D_0$ に固定されている場合の周期運動について、小物体 A の位置を表す関数 $x_A(t)$ と小物体 B の位置を表す関数 $x_B(t)$ の概形を、時刻 $t = 0$ から始まる 1 周期についてそれぞれ図示せよ。

このような、1 周期内に反射壁と 1 回衝突する周期運動をもれなく探したところ、反射壁を固定する位置が、 $x = D_0$, $x = D_1$, $x = D_2$, \dots , $x = D_p$, \dots のときにだけ生ずることがわかった(ただし、 $D_0 < D_1 < D_2 < \dots < D_p < \dots$)。以下の問いに答えよ。解答は、 M_A , M_B , k , x_0 , t_0 の中から必要なものを使って表すこと。

- (3) 小物体 A と B が上に述べたような周期運動をするために、反射壁の位置 $x = D_p$ が満たすべき条件を p を含む式で示せ。ただし、 $p = 0, 1, 2, \dots$ である。

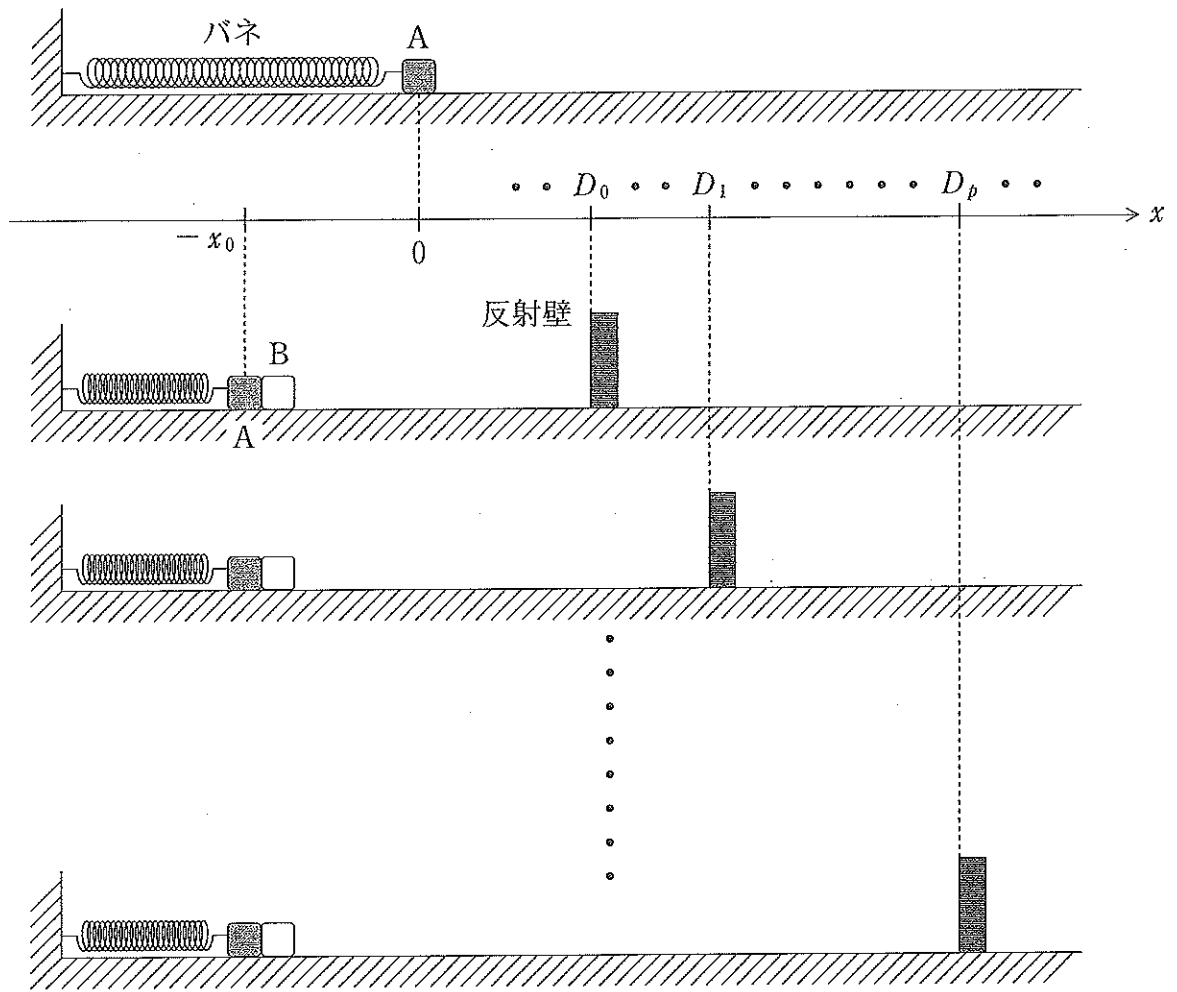


図 2

問 3. 最後に、図 3 に示すように、質量が等しい 2 つの小物体 ($M_A = M_B = M$) を用いて運動を観測した。その他の条件は、問 2 と同一である。この条件では、問 2 に記した周期運動に加えて、以下のような周期運動も観測されることがわかった。

小物体 A と B は時刻 $t = 0$ で運動を開始し、時刻 $t = t_0$ で小物体 A と離れた小物体 B は、 $x = L_p$ の位置に固定した反射壁と 1 回目の衝突をした。次に、小物体 B は $x = 0$ の位置で小物体 A と衝突した。その後、小物体 B は $x = L_p$ の位置に固定した反射壁と 2 回目の衝突をして、再び小物体 A と接触し、一体となった。2 つの小物体が一体となる時、小物体 A に対する小物体 B の相対速度は 0 であった。この後、小物体 B は小物体 A と一体となって運動し、再び発射されるという周期運動をした。

このような、1 周期内に反射壁と 2 回衝突する周期運動をもれなく探したところ、反射壁を $x = L_0, x = L_1, x = L_2, \dots, x = L_p, \dots$ に固定したときにだけ生ずることがわかった(ただし、 $L_0 < L_1 < L_2 < \dots < L_p < \dots$)。以下の問いに答えよ。解答は、 M, k, x_0, t_0 の中から必要なものを使って表すこと。

- (1) 小物体 A と B が上に述べた周期運動をするために、反射壁の位置 $x = L_p$ が満たすべき条件を p を含む式で示せ。ただし、 $p = 0, 1, 2, \dots$ である。
- (2) 反射壁が $x = L_0$ の位置に固定されている場合の周期運動における小物体 A の位置を表す関数 $x_A(t)$ の概形を図示せよ。時刻 $t = 0$ から始まる 1 周期を描き、 $x_A(t)$ の最大値を与える時刻 t とそのときの最大値を図中に記入せよ。

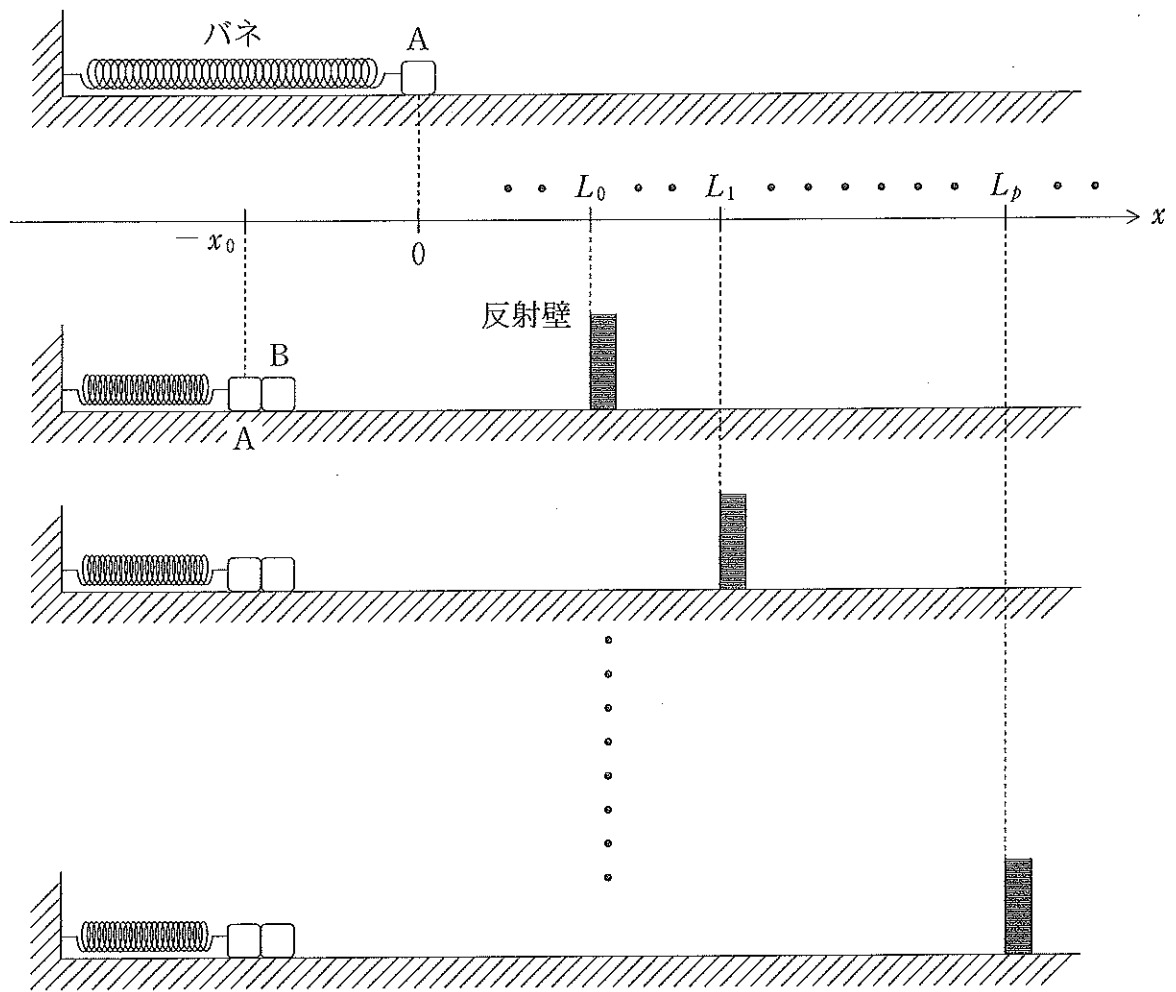


図 3

〔2〕 以下の問いに答えよ。(40点)

図1に示すように、辺 a , b [m] の長方形の断面をもった長さ l [m] の一様な導体中に電気量 $-e$ [C] ($e > 0$) をもつ自由電子が、数密度 n [個/m³] で分布しているとする。 l は a , b に比べ十分に大きいとする。導体の両端に電圧 V [V] を印加すると自由電子は導体内の電場から力を受け、加速されて進む。自由電子は金属イオン等との衝突により抵抗力を受け、やがて抵抗力が電場から受ける力とつりあって、一定の速さで移動するようになる。この抵抗力の大きさが自由電子の速さ v [m/s] に比例し、 kv (k は比例定数) で表されるものとする。 v が一定になった時点で流れる電流の大きさを I [A] とする。

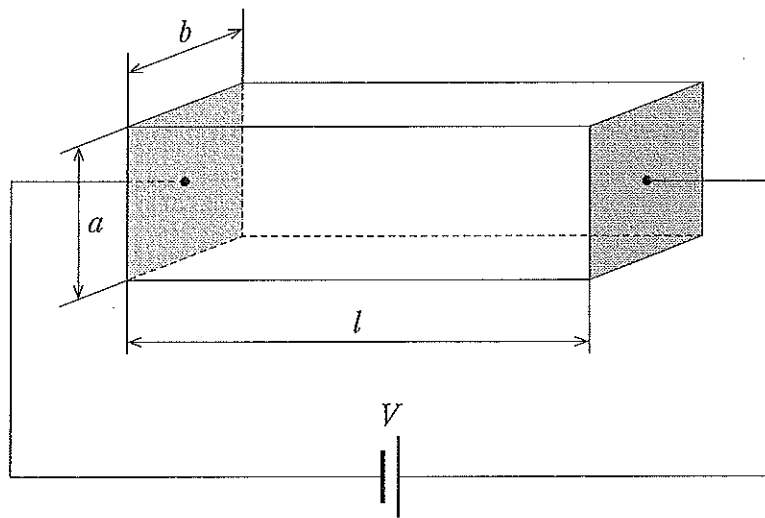


図1

問 1. 導体に流れる電流の大きさ I [A] を e , n , a , b , l , v , V , k の中から必要な記号を用いて表せ。

問 2. 自由電子が電場から受ける力と抵抗力とがつりあうときの電子の速さ v [m/s] を e , n , a , b , l , V , k の中から必要なものを用いて表せ。

問 3. 電気抵抗 $R[\Omega]$ と抵抗率 $\rho[\Omega \cdot \text{m}]$ を e, n, a, b, l, k の中から必要なものを用いて表せ。

問 4. 長さ $l = 10.0 \text{ m}$, 辺の長さ $a = b = 4.00 \times 10^{-4} \text{ m}$ の導体があり, その抵抗率が温度 $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ で $1.60 \times 10^{-8} \Omega \cdot \text{m}$ である。抵抗率の温度係数 β を $4.30 \times 10^{-3} [1/^\circ\text{C}]$ とする。なお温度 $0.00 \text{ }^\circ\text{C}$ における抵抗率を ρ_0 とすると, 温度 $t[^\circ\text{C}]$ における抵抗率は $\rho_0(1 + \beta t) [\Omega \cdot \text{m}]$ と与えられる。

- (1) 温度 $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ におけるこの導体の抵抗値を求めよ。
- (2) この導体の両端に電圧 3.00 V を印加した。このときに流れる電流の大きさと 1.00 時間あたりに発生するジュール熱を求めよ。このとき導体の温度は $20.0 \text{ }^\circ\text{C}$ に保たれているものとする。
- (3) この導体の温度 $100 \text{ }^\circ\text{C}$ における抵抗値を求めよ。
- (4) 導体の温度を上げると, その抵抗値が増加する理由を 60 字以内で説明せよ。

次にホール効果について考察する。電流の担い手(キャリア)が自由電子である場合を考える。図2のように辺の長さが各々 a , b , c [m] であるような直方体の試料に、 y 軸の正方向に大きさが I [A] の一定の電流を流し、磁束密度の大きさが B [T] の一様な磁場を z 軸の正の向きに加える。試料の自由電子の数密度は n [個/m³] であるとする。

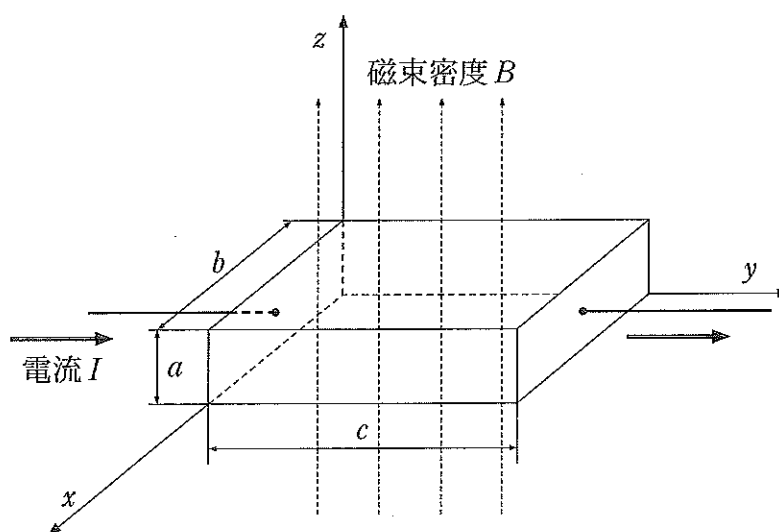


図 2

問 5. 試料中を速さ v [m/s] で y 軸に平行に動く電子 1 個にはたらくローレンツ力の大きさ f_M [N] と向きを求めよ。大きさは e , n , a , b , c , I , B , v の中から必要なものを用いて表せ。

問 6. ローレンツ力によって自由電子の分布に偏りが生じ、これによって試料の平行な 2 面の間には大きさ E [V/m] の電場が発生する。このローレンツ力によって発生する電場から電子 1 個が受ける力の大きさ f_E [N] と向きを求めよ。大きさは e , n , a , b , c , I , B , v , E の中から必要なものを用いて表せ。

問 7. 一定時間ののち問 5 の大きさが f_M [N] のローレンツ力と問 6 の電場による大きさ f_E [N] の力とがつりあう。このとき、磁束密度の大きさ B [T] とローレンツ力により発生した電場の大きさ E [V/m] との間に成り立つ関係式を記せ。

問 8. 試料に加えられた磁場の磁束密度の大きさ B [T], 流れている電流の大きさ I [A], およびローレンツ力により発生した電場に垂直な試料の 2 面間の電位差 V_H [V] を測定することによって, 試料中の自由電子の数密度 n [個/m³] を求めることができる。数密度 n を e, a, b, c, I, B, V_H の中から必要なものを用いて表せ。

[3] 以下の問いに答えよ。(40点)

図1のように、凸レンズLの光軸上に物体AA'がある。点FとF'はレンズLの焦点であり、 f は焦点距離である。点OはレンズLの中心であり、点PはA'Pが光軸に平行となるレンズL中の点である。物体AA'の位置は、レンズLの前方(左側)であり、焦点Fの外側である。

図1は、点A'から出た光の一部が進む経路を破線で示している。レンズLを通過した光は、レンズの後方(右側)で集まり、実像BB'を形成している。物体AA'とレンズLの距離を a 、実像BB'とレンズLの距離を b とする。なお、レンズの厚さは無視できるものとする。

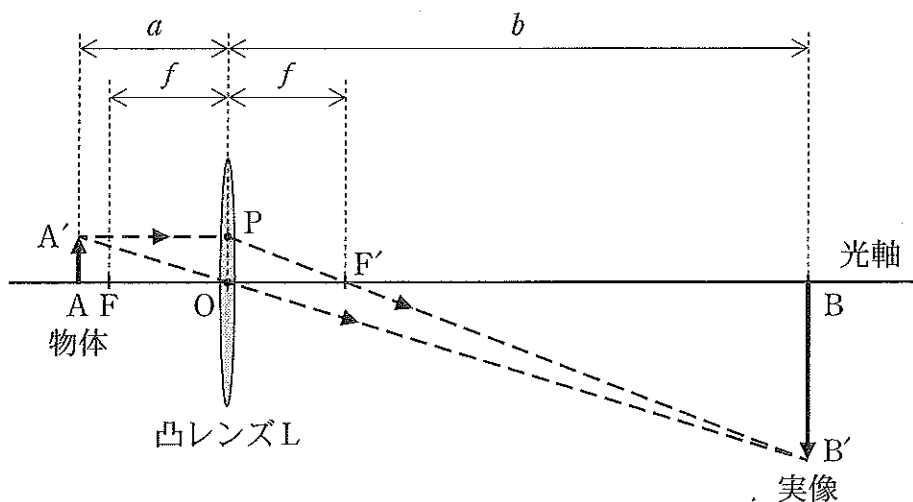


図1

問1. (①)から(⑤)に適する記号または数式を a 、 b 、 f の中から必要なものを用いて答えよ。

図1より、 $\triangle AA'O$ は $\triangle BB'O$ に相似であるため、 $\frac{AA'}{BB'} = \frac{(①)}{(②)}$ となる。また、 $\triangle OPF'$ は $\triangle BB'F'$ に相似であるため、 $\frac{OP}{BB'} = \frac{(③)}{(④)}$ である。以上より a 、 b 、 f の間にはレンズの式(⑤)が成立することがわかる。

$f = 16 \text{ cm}$, $a = 20 \text{ cm}$ の場合を考える。このとき、レンズ L の後方(右側)に形成される実像の位置にスクリーンを設置し、これを固定した。物体 AA' を動かさずに、レンズ L を光軸に沿って後方(右側)へ移動させると、ある位置でスクリーン上に再び鮮明な像が現れた。

問 2. スクリーン上に再び鮮明な像が現れたときの物体 AA' とレンズ L の距離を求めよ。また、このときのスクリーン上での像の倍率を求めよ。

次に、虫眼鏡による物体の観察方法を考える。この方法では、物体 AA' の位置は、図 2 のようにレンズ L の前方(左側)、焦点 F の内側である。AA' から出た光は、レンズ L を通過した後に広がってしまうが、レンズ L の後方(右側)から観察すると、観測者は AA' の方向に拡大された虚像(CC') を肉眼で見ることができる。

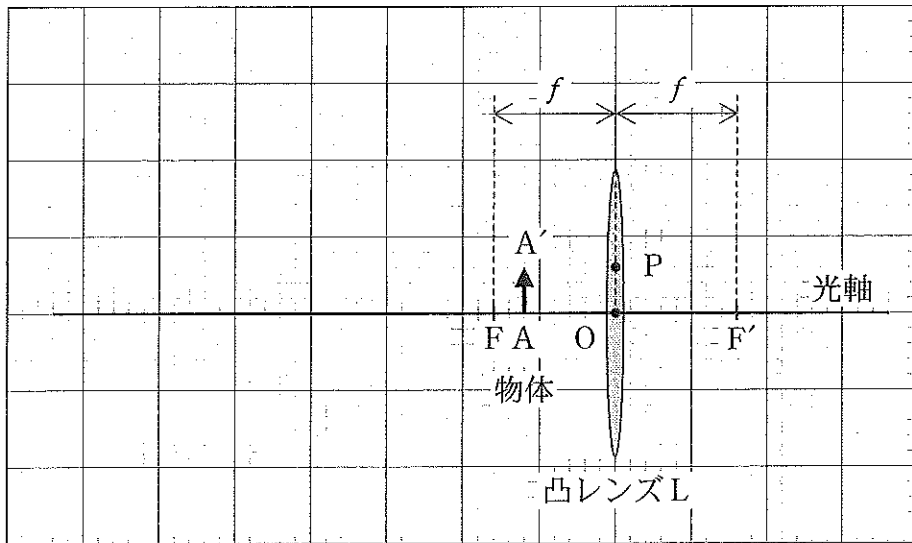


図 2

問 3. 点 A' から出て、①点 P へ向かう光が進む経路と②点 O へ向かう光が進む経路をそれぞれ解答図に示せ。さらに、③虚像 CC' の位置と大きさを作図により示せ。解答図には①, ②, ③を明記すること。

問 4. $f = 16 \text{ cm}$, AA' と L の距離を 12 cm とするとき、レンズ L と虚像 CC' の距離を求めよ。

今度は、2枚の凸レンズを組み合わせて、顕微鏡の仕組みを利用して物体の拡大像を得る。図3のように、光軸上に物体AA′、凸レンズL₁、凸レンズL₂を設置した。レンズL₁の焦点は点F₁とF₁′であり、焦点距離はf₁である。また、レンズL₂の焦点は点F₂とF₂′であり、焦点距離はf₂である。

物体AA′の位置はレンズL₁の焦点F₁の外側であり、L₁によってAA′の実像DD′が形成されている。このとき、点F₁′とDD′の距離はgである。また、DD′の位置は、レンズL₂の焦点F₂の内側である。この条件では、虫眼鏡による観察と同じように、レンズL₂の後方(右側)に実像は形成されない。顕微鏡では、観測者はレンズL₂の後方(右側)から実像DD′の方向を眺め、拡大された虚像を肉眼で観察する。この虚像をEE′とする。L₂からEE′までの距離はhである。

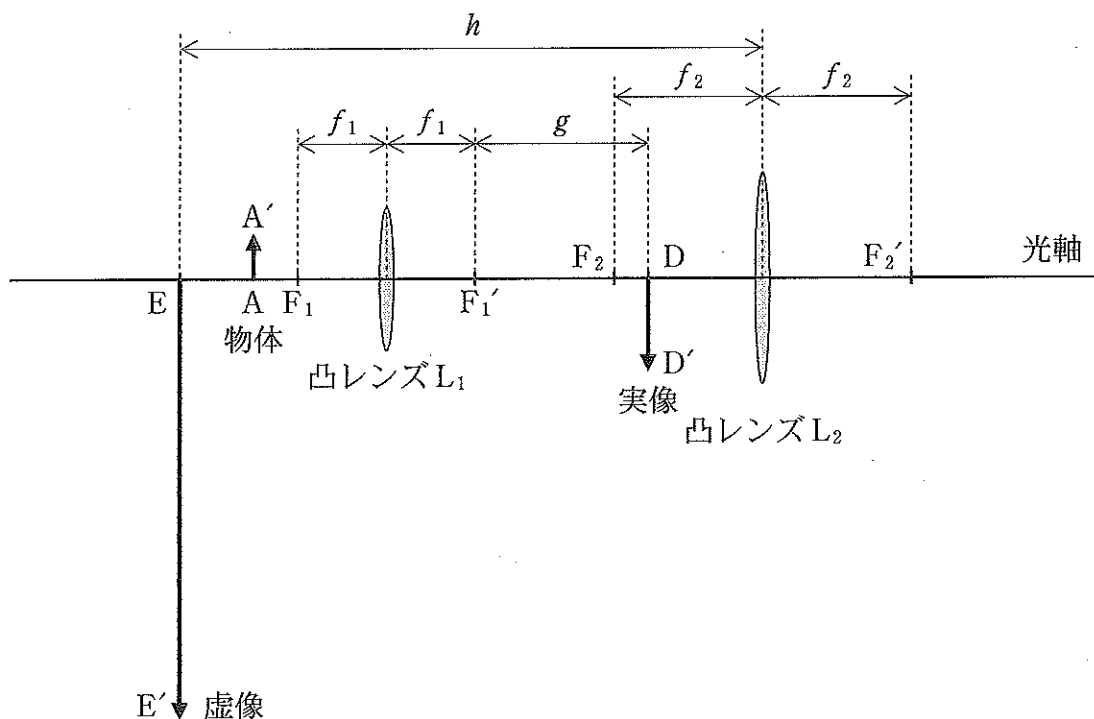


図3

問 5. 倍率 $\frac{DD'}{AA'}$ を f_1, f_2, g, h の中から必要なものを用いて表せ。

問 6. 倍率 $\frac{EE'}{AA'}$ は、レンズ L_1 の倍率と L_2 の倍率の積で表される。 $\frac{EE'}{AA'}$ を f_1, f_2, g, h の中から必要なものを用いて表せ。

次に、レンズ L_1 を焦点距離が f_3 の凸レンズ L_3 に交換した。レンズ L_3 の位置は L_1 と同じであり、また $f_3 < f_1$ である。物体 AA' を光軸に沿って適切な位置に移動させると、虚像 JJ' が虚像 EE' と同じ位置に形成された。

問 7. 物体 AA' はどの方向に移動させたか。また、倍率 $\frac{JJ'}{AA'}$ と $\frac{EE'}{AA'}$ はどちらが大きいか。正しい組み合わせを番号で答えよ。

①	物体 AA' を右へ移動させた	$\frac{EE'}{AA'} > \frac{JJ'}{AA'}$
②	物体 AA' を右へ移動させた	$\frac{EE'}{AA'} < \frac{JJ'}{AA'}$
③	物体 AA' を左へ移動させた	$\frac{EE'}{AA'} > \frac{JJ'}{AA'}$
④	物体 AA' を左へ移動させた	$\frac{EE'}{AA'} < \frac{JJ'}{AA'}$

問 8. 倍率 $\frac{JJ'}{AA'}$ を f_1, f_2, f_3, g, h の中から必要なものを用いて表せ。

