物　　　　理

I　空所を埋め，問いに答えよ。すべての物体はなめらかな水平面上に置かれており，運動はすべて紙面内で行われ，物体の大きさはすべて無視してよいものとする。（配点 60）

（1）　ばね定数 k の軽いばねの一端を固定し，他端に質量 m_0 の小球 P を取り付ける。図 1 のように，小球 P に質量 M の小物体 Q を押し付けて，ばねが自然長から d だけ縮んだ位置で静かにはなすと P，Q は動きだし，ばねが自然長に戻ったとき，小物体 Q は小球 P からはなれた。小物体 Q がはなれた後，小球 P は単振動を続けた。

問 1　ばねを自然長から d だけ縮めるときに外力がした仕事を求めよ。

問 2　小球 P からはなれた直後の小物体 Q の速さを求めよ。

問 3　ばねの伸びが最大になるとき，小球 P の速さとばねの自然長からの伸びを求めよ。

問 4　小球 P と小物体 Q が動きはじめてから，小物体 Q が小球 P からはなれるまでにかかる時間を求めよ。

（2）　図 1 のように，小球 P から十分にはなれた地点に質量 m の小物体 R が静止している。小物体 Q は小球 P からはなれた後，この小物体 R と弾性衝突した。この衝突前の小物体 Q の速さを v_Q で表すとする。

問 5　弾性衝突後の小物体 Q の速さを v_Q を用いて示せ。

問 6　弾性衝突後，小物体 Q がはね返されるための質量 M と m がみたすべき不等式を示せ。

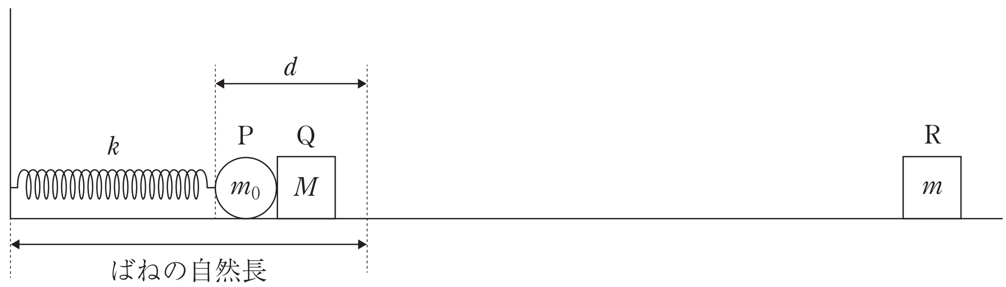

図 1

（3） 小球Pからはなれた小物体Qは速さ v_Q で進み，（2）とは異なり，小物体Rと完全非弾性衝突した。この衝突後，合体した小物体QとRの速さは， $\boxed{\quad ア \quad}$ $\times\, v_Q$ となる。衝突前の小物体Qの運動エネルギーを E で表し，衝突後の合体した小物体QとRの運動エネルギーを E' で表すと，

$$\frac{E'}{E} = \boxed{\quad イ \quad} < 1$$

となり，衝突後の運動エネルギーは，衝突前に比べて減少している。

（4） 小物体Qが速さ v_Q で小物体Rと完全非弾性衝突した後，合体した小物体QとRは水平面上を進み，図2のように，ある間隔をあけて静止している（$n-1$）個の小物体Rと（$n-1$）回の完全非弾性衝突を行った。これらの衝突後，合体した小物体Qと n 個の小物体Rは，水平面となめらかにつながっている角度が θ のあらい斜面に，速さ $V = \boxed{\quad ウ \quad} \times v_Q$ で進入し，そのまま斜面をすべりあがった。斜面の下端から上端までの距離を L とし，動摩擦係数を μ とする。また，重力加速度の大きさを g とする。合体した小物体が斜面の上端を越えないためには，V がある値 $\overline{V}$ 以下である必要がある。

問7 $\overline{V}$ を L，g，θ，μ を用いて示せ。

問8 $V \leqq \overline{V}$ が成り立つためには，何個以上の小物体Rを用意する必要があるのかを示す n についての不等式を M，m，v_Q，$\overline{V}$ を用いて示せ。

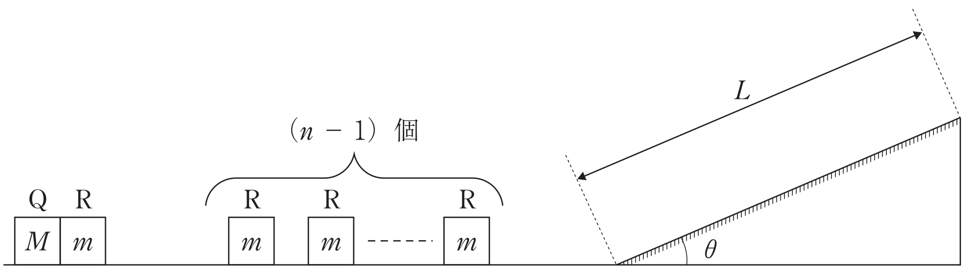

図2

Ⅱ 空所を埋め，問いに答えよ。 ウ と エ は選択肢{　　}の中から適切なものを選べ。
（配点 45）

図1のような直方体のp型半導体があり，x，y，z 方向の辺の長さをそれぞれ ℓ，w，h とする。図1に示すようにp型半導体の右側面をR面，左側面をL面とする。このp型半導体の x 軸に垂直な面に電源を接続し，x 軸の正の向きに大きさ I の電流を流す。z 軸の正の向きに磁束密度の大きさ B の一様な磁場（磁界）をかけたときの半導体内での電気伝導について考える。p型半導体は，構成する原子間で結合する電子が不足してできた正孔（ホール）と呼ばれる正電荷とみなせる荷電粒子（電気量 q）が電流の担い手（キャリア）となり，電流が流れると考えることができる。このp型半導体の単位体積あたりの正孔の個数を n とする。

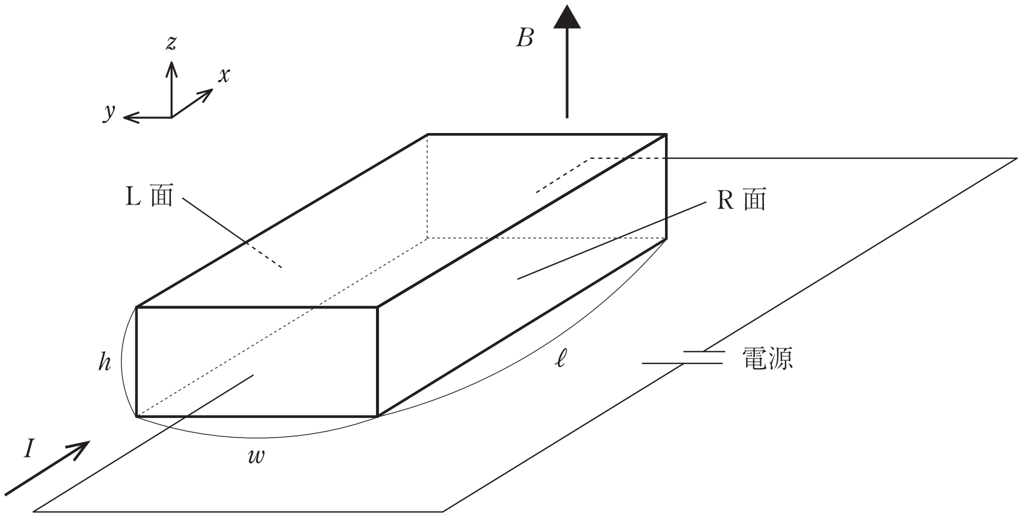

図1

まず，磁場がかかっていない状態（$B = 0\,\mathrm{T}$）では，p型半導体内で正孔は電源による電場（電界）を受け，平均の速さ v で動き，電流が流れる。この電流 I の大きさは ア である。この状態で磁場をかけた。磁場がかかった状態でも正孔は平均の速さ v で動くとすると，正孔は，磁場によって大きさ イ のローレンツ力を ウ {L，R}面に向かう向きに受ける。そのため， ウ 面は エ {正，負}に帯電した状態になり，L−R面間に電場が生じる。L−R面間の電場の大きさは，正孔にはたらくローレンツ力と電場による力がつり合った状態で決まり，これら2つの力がつり合うと，その後，正孔は直進すると考えられる。このつり合いの関係からL−R面間に生じる電場の大きさは オ と求まり，L−R面間に生じる電位差 V_{H} は カ と表すことができる。V_{H} は I を用いると キ と表される。この関係を用いると，半導体中における n を調べることができる。

問１　磁場がかかっている状態で図１に示す p 型半導体を同じ形状と寸法をもつ n 型半導体で置き換えた。このとき n 型半導体の L − R 面間に生じる電場の向きを答え，その向きになる理由を述べよ。ただし，以下の２つの語句を必ず用いること。

語句：　　ローレンツ力　　　　電子

ここで，n 型半導体は各辺の長さが $h = 0.50\ \mathrm{mm}$，$w = 2.0\ \mathrm{mm}$，$\ell = 8.0\ \mathrm{mm}$ の直方体であるとする。

問２　n 型半導体に起電力 0.20 V の電源が接続され，電流 $I = 10\ \mathrm{mA}$ であるとき，磁場がかかっていない状態（$B = 0\ \mathrm{T}$）における n 型半導体の抵抗率を計算せよ。単位は〔Ω･m〕とする。ただし，n 型半導体以外の部分の抵抗は無視できるものとする。

問３　この n 型半導体に対して，電流 $I = 10\ \mathrm{mA}$ を流した状態で z 軸の正の向きの磁場を変化させたとき，磁束密度 B〔T〕に対する電位差 V_H〔mV〕を測定した結果を図２に示す。この n 型半導体の単位体積あたりのキャリアの個数を求めよ。単位は〔個/m^3〕とする。ここでキャリア１個の電気量の大きさを 1.6×10^{-19} C とする。

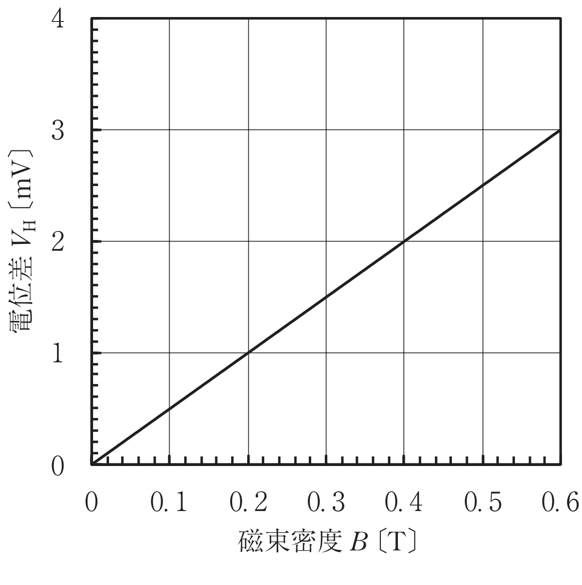

図２

Ⅲ 空所を埋め，問いに答えよ。 ア と エ は選択肢{　　}の中から適切なものを選べ。（配点 45）

図 1 は光の干渉実験装置の断面を示したものである。装置全体は空気中にあり，空気の屈折率を 1 とする。板 A，板 B およびスクリーンは互いに平行で，板 A にはスリット S_0 が，板 B にはスリット S_1 と S_2 がある。S_1 と S_2 は S_0 から等距離の位置にあり，S_1 と S_2 との間隔は d である。S_1 と S_2 の中点を C とし，S_0 と C を結ぶ直線がスクリーンと垂直に交わる点を O とする。光源 Q は，この直線上にある。スクリーン上の点を P とし，$\overline{\mathrm{OP}} = x$，$\overline{\mathrm{OC}} = L$ とする。d と x は L に比べて十分に小さい。

光源 Q から波長 λ の単色光を S_0 に当てると，スクリーン上に明暗の縞模様が観察できた。この縞模様は，S_1 と S_2 を通過して回折した 2 つの光が干渉することで生じたもので，S_1 と S_2 から出た 2 つの光の経路差が半波長の ア {偶数，奇数}倍になると，スクリーン上に明線が現れる。

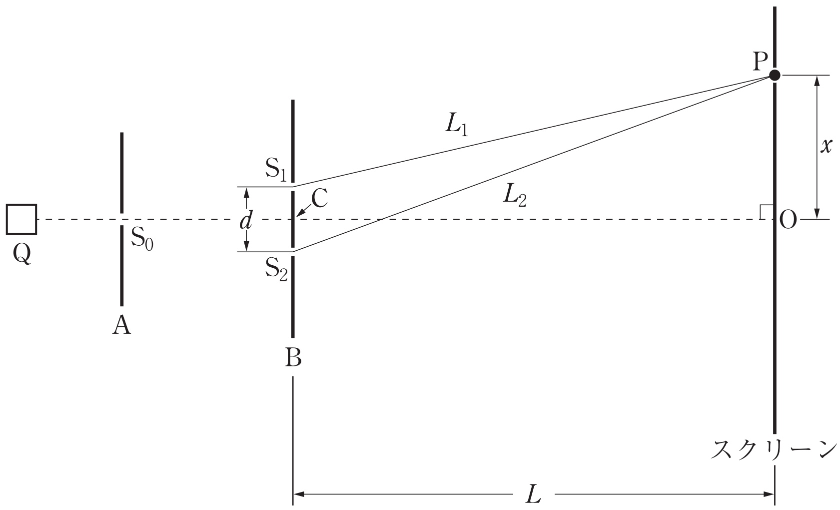

図 1

スクリーン上の点 P に到達する 2 つの光の経路差を求めてみよう。S_1 と S_2 から点 P までの距離を，それぞれ $\overline{S_1P} = L_1$，$\overline{S_2P} = L_2$ とすると，経路差は次式で表される。

$$|L_2 - L_1| = \sqrt{L^2 + \left(x + \boxed{\text{イ}}\right)^2} - \sqrt{L^2 + \left(x - \boxed{\text{イ}}\right)^2}$$

$$= L\sqrt{1 + \left(\frac{x + \boxed{\text{イ}}}{L}\right)^2} - L\sqrt{1 + \left(\frac{x - \boxed{\text{イ}}}{L}\right)^2} \quad \text{—— ①}$$

ここで，$|h| \ll 1$ の時に成立する近似式 $(1 + h)^{\alpha} \fallingdotseq 1 + \alpha h$ を用いると，①式は次のように表される。

$$|L_2 - L_1| \fallingdotseq \frac{dx}{L} \quad \text{—— ②}$$

問１　①式から②式を導出する過程を記せ。

点Ｏの位置には明線が現れる。この点Ｏの明線を０番目としたとき，点Ｏから m 番目（$m = 0, 1, 2, \cdots$）の明線までの距離 x は，d，m，L および λ を用いて次のように表される。

$$x = \boxed{\text{ウ}}$$

問２　スクリーン上の隣り合う明線と明線の間隔を Δx とする。$\lambda = 6.50 \times 10^{-7}$ m，$d = 0.050$ mm，$L = 170.00$ cm のとき，有効数字を考慮して Δx を求めよ。

問３　図１の状態で，板Ｂとスクリーンとの間に屈折率 n（$n > 1$）の無色透明な物質をみたすと，スクリーン上の隣り合う明線と明線との間隔が変化して $\Delta x'$ となった。この時の $\dfrac{\Delta x'}{\Delta x}$ を求めよ。

装置から無色透明な物質を完全に取り除き，図１のように装置全体を空気中に置いた。今度は，図２のように厚さ b で屈折率 n（$n > 1$）の薄い無色透明の板を直線 S_0S_1 に対して垂直に置いたところ，スクリーン上の明線が，図１の紙面内で $\boxed{\text{エ}}$ {上方，下方}へ移動した。

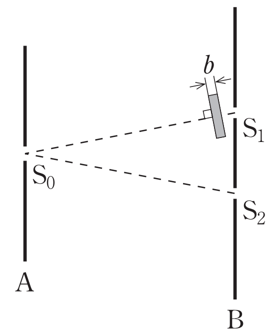

図２

問４　無色透明の板を置く前の点Ｏに位置していた明線が移動した距離を求めよ。

問５　図１の状態で，光源Ｑを，波長 λ の単色光から白色光に換えたところ，$m = 0$ 番目以外の明線ではスペクトルが観察できた。点Ｏから m 番目（$m = 1, 2, \cdots$）の明線では，赤色と紫色のどちらがより点Ｏに近い位置に現れるか答えよ。さらに，そのように考えた理由も説明せよ。