

平成 20 年度入学者選抜学力検査問題

理 科

(医 学 部)

科	目	頁	数
物	理 I・II	2 頁	～ 7 頁
化	学 I・II	8 頁	～ 11 頁
生	物 I・II	13 頁	～ 18 頁

注 意 事 項 I

この冊子には物理、化学、生物の問題がのっているが、そこから二つを選択し、解答すること。

注 意 事 項 II

- 1 試験開始の合図があるまでこの冊子を開いてはいけない。
- 2 試験開始の合図のあとで問題冊子の頁数を確認すること。
- 3 解答にかかる前に必ず受験番号を記入すること。
- 4 解答は必ず解答用紙の所定の欄に記入すること。
所定の欄以外に記入したものは無効である。
- 5 問題冊子は持ち帰ってよい。

(この頁は空白)

物 理 I ・ II

1 図1に示すように、水平面と角度 θ [rad] ($0 < \theta < \frac{\pi}{2}$)をなす斜面があり、斜面と水平面との交線上の点Oを原点とし、交線と直角な水平方向に x 軸、鉛直方向に y 軸をとる。点Oから鉛直上方 h [m]にある点A(座標 $(0, h)$)から、大きさの無視できる小球を x 軸の正の向きに速さ v_0 [m/s]で投げた(図1中の \vec{v}_0 はこのときの速度を表す)。小球の運動は xy 面内に限るものとし、以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g [m/s²]とし、空気抵抗は無視してよい。

問1 小球は、投げられてから時間 t_1 [s]後に、斜面と初めて衝突した。点Oから衝突地点Pまでの斜面に沿った距離は l [m]であった。衝突する直前の小球の速度を \vec{v}_1 [m/s]とし、その x 成分を v_{1x} [m/s]、 y 成分を v_{1y} [m/s]とする。

- (a) v_{1x} と v_{1y} を、それぞれ、 g, t_1, v_0 の中から必要な記号を用いて表せ。
 (b) l と $\tan \theta$ を、それぞれ、 g, h, t_1, v_0 を用いて表せ。

これ以降の問題では小球が点Pにおいて斜面に対して垂直に衝突した場合を考える(このとき、 $v_0^2 < gh$ が成り立っている)。

問2 衝突する直前の速度の向きが斜面と垂直であることに着目して、 $\tan \theta$ を g, t_1, v_0 を用いて表せ。

問3 問1(b)と問2の結果に着目して、 t_1 を g, h, v_0 を用いて表せ。

問4 点Pの x 座標 x_P [m]と y 座標 y_P [m]を、それぞれ、 g, h, v_0 の中から必要な記号を用いて表せ。

問5 斜面と垂直に衝突する直前の小球の速さ v_1 [m/s]を g, h, v_0 を用いて表せ。

問6 小球は点Pで斜面と垂直に衝突し、垂直にはねかえった。図2のように、小球は、はねかえってから時間 t_2 [s]後に、点Oで斜面と二回目の衝突をした。小球と斜面との間のはねかえり係数を e とする。斜面ではねかえった直後の小球の速度を \vec{v}_2 [m/s]とし、その x 成分を v_{2x} [m/s]、 y 成分を v_{2y} [m/s]とする。

- (a) v_{2x} と v_{2y} を、それぞれ、 e, g, h, v_0 の中から必要な記号を用いて表せ。
 (b) 水平方向の運動に着目して、 t_2 を e, g, h, v_0 を用いて表せ。

問7 e を g, h, v_0 を用いて表せ。

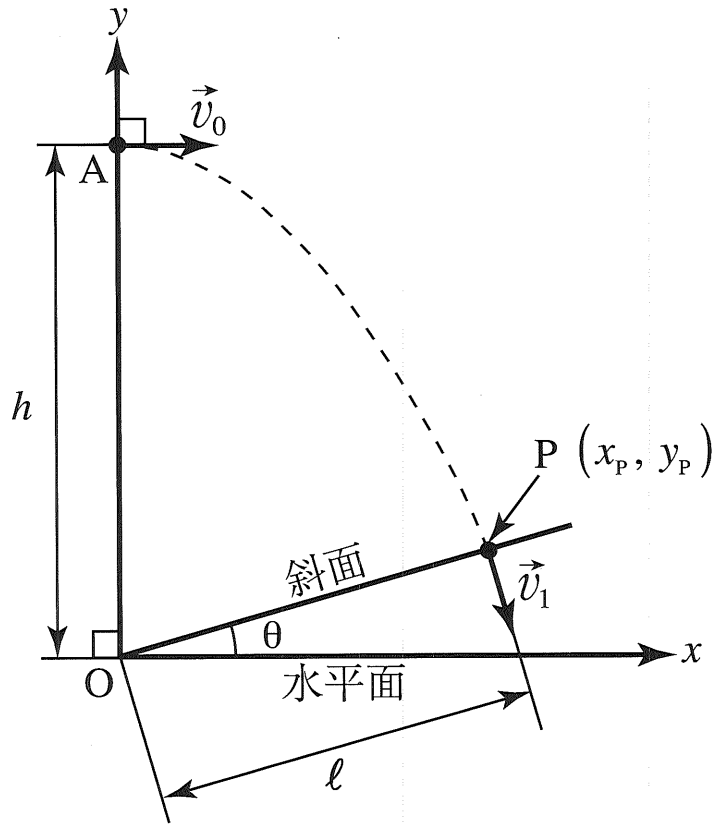


图 1

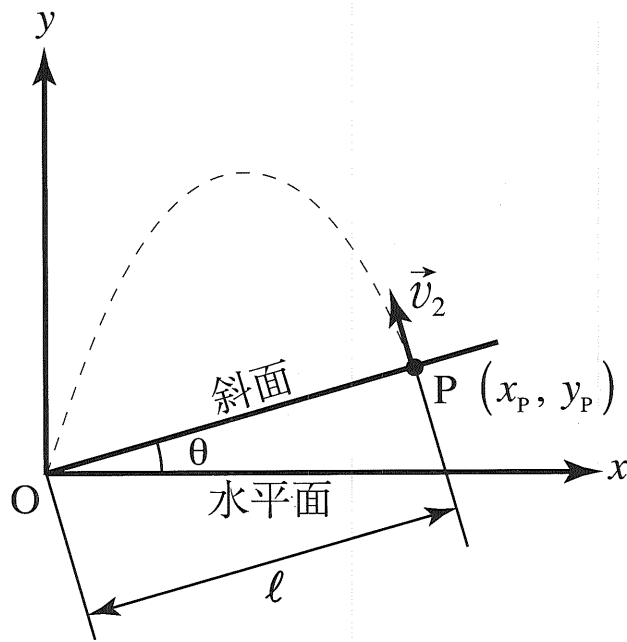


图 2

2 次の文章を読み、下の問いに答えなさい。

電気と磁気に関する現象を、自由電子(伝導電子)に基づいたモデルを用いて考察する。なお、重力による影響は考えなくてよいものとする。

図1に示すように直方体の試料を考え、辺の方向に座標軸を設定する。試料の x 、 y 、 z 方向の長さを、それぞれ、 l [m]、 a [m]、 b [m]とする。 x 軸方向と垂直な試料の両端には電極が取り付けられており、電極は電圧 V_0 [V]の電池に導線で接続されている。このため、試料内には電場(電界) \vec{E}_0 [N/C]が生じる。導線と電極の電気抵抗が無視できて、試料内で電場 \vec{E}_0 が一様であるとすると、電場の大きさ E_0 [N/C]は、 V_0 と l を用いて、

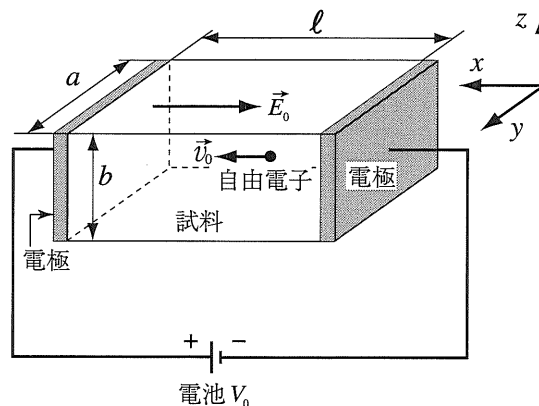


図1

$$E_0 = \boxed{1} \quad (1)$$

となる。物質中を通過する自由電子(電荷 $-e$ [C])には、速度に対して逆向きの抵抗力が働く。その結果、電場からの力と抵抗力がつり合い、自由電子は一定の速度で運動することになる。このとき、自由電子の速さが v_0 [m/s]で、抵抗力の大きさが kv_0 [N] (k は比例定数)であるとすると、試料中の自由電子の速さは、 k 、 e 、 V_0 、 l を用いて、

$$v_0 = \boxed{2} \quad (2)$$

と表すことができる。また、単位体積あたりの自由電子の個数が n [個/ m^3]であるとすると、電極間に流れる電流 I [A]は、 e 、 v_0 、 n 、 a 、 b を用いて、

$$I = \boxed{3} \quad (3)$$

と書くことができる。式(2)と(3)の結果から、試料の抵抗率 ρ [$\Omega \cdot m$]は、 k 、 e 、 n を用いて、

$$\rho = \boxed{4} \quad (4)$$

と表すことができる。

次に、試料を xy 平面に垂直で一様な磁場(磁界)の中に置く。試料内の磁束密度は、大きさ B [T]で磁場と同じ向きである。図2に示したように、 x 軸の正の向きに運動する自由電子が y 軸の正の向きの力 \vec{f} を受けるとすると、磁場の向きは $\boxed{5}$ である。磁場から自由電子に働く力の大きさ f [N]は、 e 、 v_0 、 B を用いて、

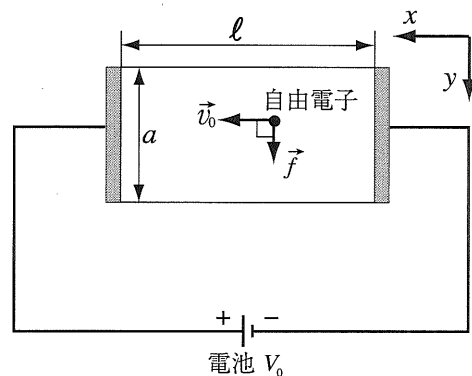


図2

$$f = \boxed{6} \quad (5)$$

となる。したがって、試料全体に含まれる自由電子が磁場から受ける力を合計すると、その大きさ F [N] は e, n, a, b, v_0, l, B を用いて、

$$F = \boxed{7} \quad (6)$$

と表すことができる。この力の大きさ F は、磁場(磁束密度 B) と垂直に置かれた長さ l の導線に電流 I (式(3)) を流したとき、導線が磁場から受ける力の大きさと同じである。

最初、 x 軸方向に動いていた自由電子は、磁場からの力によって向きを変える。自由電子には磁場からの力、電場からの力および抵抗力が働くが、短い時間で、これらの力はつり合いの条件を満たし、自由電子は図3のように斜め方向の速度 \vec{v} [m/s] を持つことになる。

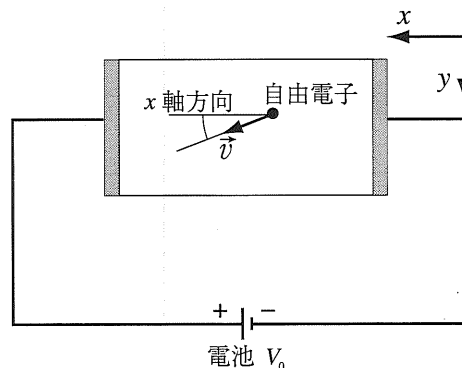


図3

自由電子が斜めに動いた結果、図4のように試料の片方の側面には負の電荷、他方の側面には正の電荷が生じる。側面の電荷は y 軸方向に電場 \vec{E}_1 [N/C] (大きさ E_1 [N/C]) を作り、自由電子は電場 \vec{E}_1 から力を受ける。最終的に、自由電子に働く力がすべてつり合い、自由電子は磁場がない場合の速さ v_0 (式(2)) で x 軸方向に進むことになる。

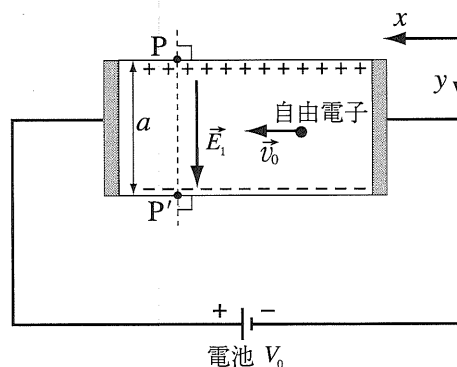


図4

新たな電場 \vec{E}_1 のため、図4に示した点 P と点 P' のような、 x 座標が同じである側面の2点間に電位差 V_1 [V] ($V_1 > 0$) が生じる。試料内で電場 \vec{E}_1 が一様だとすると、電位差 V_1 は E_1 と a を用いて、

$$V_1 = \boxed{8} \quad (7)$$

と表すことができる。この電位差 V_1 を測定するためには、正確に x 座標が同じである2点に電圧計を接続する必要がある。しかし、実際には図5のように、電位差を測定する2点 P と Q は、 x 軸方向にずれることがある。試料内には、電池が接続されているために生じる電場 \vec{E}_0 と側面に発生した電荷による電場 \vec{E}_1 が存在する。したがって、試料内の電場の合計 \vec{E} [N/C] (大きさ E [N/C]) は、図5に示したように斜め方向とな

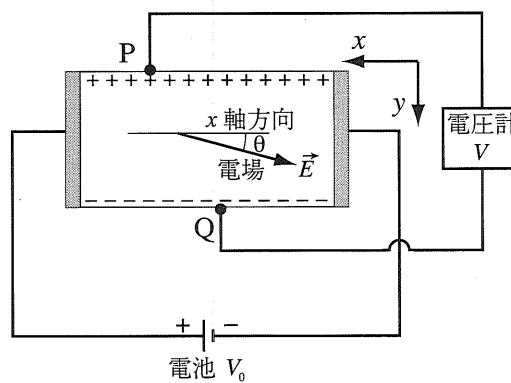


図5

る。電場 \vec{E} が x 軸の負の向きとなす角度を θ [rad] とすると、角度 θ の三角関数は、 E , E_1 , E_0 を用いて、

$$\sin \theta = \boxed{9}, \quad \cos \theta = \boxed{10} \quad (8)$$

と書くことができる。

いま、電圧計が接続されている2点PとQについて、点Pの x 座標が点Qの x 座標より Δ [m] ($\Delta > 0$) だけ大きいとする。図6と式(1), (7), (8)を参考にする^(エ)と、電圧計で測定されるPQ間の電位差 V [V] ($V > 0$) は、 V_0 , V_1 , Δ , ℓ を用いて、

$$V = \boxed{11} \times V_0 + \boxed{12} \times V_1 \quad (9)$$

となることがわかる。

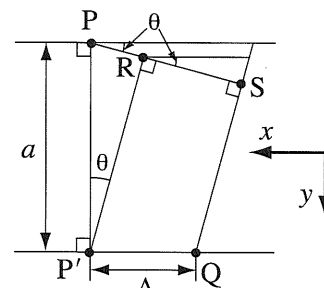


図6

試料の側面間に生じる電位差 V_1 は大変有用な情報を担っており、その値を正確に測定することが重要である。式(9)にしたがえば、電圧計で測定された電位差 V から電池の電圧 V_0 の寄与を差し引くことができるように思える。しかし、通常、測定点のずれ Δ を正確に決定することは困難である。このため、磁場の向きを逆にした測定も行い、2つの測定結果を組み合わせ^(オ)て、測定点のずれ Δ の影響を打ち消すという工夫がなされる。

- 問 1 文中の空欄に入る適切な語句、数式または数値を解答用紙の解答欄に書きなさい。
- 問 2 下線部(イ)について、自由電子に働く「磁場による力」、「電場による力」、「抵抗力」はつり合う。それぞれの力を解答用紙の図に矢印で表しなさい。なお、つり合いの様子がわかるように図示し、矢印には力の種類を書き添えておくこと。
- 問 3 下線部(エ)について、式(9)で求めた PQ 間の電位差 V は、PP' 間の電位差と P'Q 間の電位差の合計と等しい。そのようになる理由を説明しなさい。なお、説明には図 6 中の記号を用いてもよい。
- 問 4 下線部(オ)について、2つの測定結果をどのように用いて V_1 を求めればよいか。理由を明確にして説明しなさい。
- 問 5 下の文章を読んで、磁場中に置かれた試料全体に働く力について考察しなさい。試料全体に力が働くか、働かないかを明確にして、その理由を簡潔に述べておくこと。

電気と磁気について課題研究をしている生徒たちが、本文中の説明を読んで以下のような会話をした。この生徒たちは、磁場中の試料が受ける力について議論しているが、最終的な結論にはいたっていない。

生徒 A：この試料についても、フレミングの左手の法則は成り立つのではないだろうか。そうであれば、試料には電流が流れていて、磁場の中に置かれているのだから、試料は磁場から力を受けるはずだよ。

生徒 B：それは違うのではないかな。下線部(ア)のことから、磁場中の電流に働く力は、磁場中を運動する自由電子に働く力の合計だと考えられるよね。本文で議論されている試料の場合、試料を磁場中に置いて電流を流すと、図 4 のように試料の側面に電荷がたまって、自由電子は新たな電場から力を受けることになる。この結果、下線部(ウ)に書かれているように、試料中の自由電子に働く力はつり合って、自由電子に働く力の合計はゼロとなってしまう。だから、試料は磁場から力を受けないはずだよ。

生徒 C：君たちの結論は正反対だね。どちらが正しいのだろう。たしかに、B 君が言ったように、自由電子が磁場から受ける力と試料側面の電荷から受ける力はつり合ってしまうかもしれないね。でも、自由電子が試料側面の電荷から力を受けるのだったら、試料側面の電荷はその反作用の力を受けるはずだよ。そうだとすると、試料全体に働く力はどのようになっているのだろうか。