

物 理

(問 題)

2015年度

〈2015 H27090015 (物理)〉

注 意 事 項

1. 試験開始の指示があるまで、問題冊子および解答用紙には手を触れないこと。
2. 問題は2～5ページに記載されている。試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁及び解答用紙の汚損等に気付いた場合は、手を挙げて監督員に知らせること。
3. 解答はすべて、HBの黒鉛筆またはHBのシャープペンシルで記入すること。
4. 記述解答用紙記入上の注意
 - (1) 記述解答用紙の所定欄（2カ所）に、氏名および受験番号を正確に丁寧に記入すること。
 - (2) 所定欄以外に受験番号・氏名を書いてはならない。
 - (3) 受験番号の記入にあたっては、次の数字見本にしたがい、読みやすいように、正確に丁寧に記入すること。

数 字 見 本	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
---------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

- (4) 受験番号は右詰めで記入し、余白が生じる場合でも受験番号の前に「0」を記入しないこと。

	万	千	百	十	一
(例) 3825番⇒		3	8	2	5

5. 解答はすべて所定の解答欄に記入すること。所定欄以外に何かを記入した解答用紙は採点の対象外となる場合がある。
6. 試験終了の指示が出たら、すぐに解答をやめ、筆記用具を置き解答用紙を裏返しにすること。
7. いかなる場合でも、解答用紙は必ず提出すること。
8. 試験終了後、問題冊子は持ち帰ること。

[I] 質量 M の小球 A と質量 m の小球 B による鉛直方向の 1 次元運動を考えてみよう。ただし、小球 A、小球 B の大きさ、それらの運動に対する空気抵抗を無視できるものとする。重力加速度の大きさを g 、すべての速度、すべての加速度の向きは鉛直下向きを正で表すこととし、速度や加速度を解答する際はその大きさに符号を含めて答えること。以下の問に対する解答を、解答用紙の所定欄に記入せよ。

図 I-1 のように床から高さ h に小球 A を設置し、その高さからさらに距離 L 上方に小球 B を設置し、両球同時に自由落下させた。小球 A は床に衝突して跳ね返り、再び床に衝突する前に小球 A と小球 B は衝突した。なお、小球 A は床に非弾性衝突するものとしてその反発係数を e ($0 < e < 1$) とし、小球 A と小球 B は完全弾性衝突するものとする。

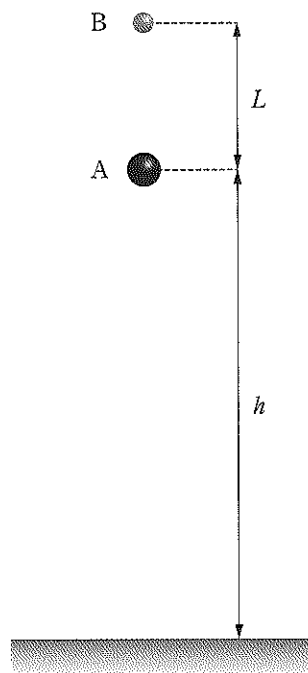


図 I-1

- 問 1 小球 A が床に衝突した直後の速度 V_1 を求めよ。
- 問 2 小球 A と小球 B が衝突する直前の小球 A と小球 B の速度 V_2 , w_2 を求めよ。なお、解答の際には記号 V_1 を用いないこと。
- 問 3 小球 A と小球 B が衝突した位置の床からの高さ H_1 を求めよ。なお、解答の際には記号 V_1 , V_2 , w_2 を用いないこと。
- 問 4 小球 A と小球 B が衝突した直後の小球 B の速度 w_3 を、記号 M , m , V_2 , w_2 を用いて表せ。
- 問 5 小球 A と小球 B が衝突した後、小球 B が鉛直上向きに跳ね返る場合を考える。小球 B が床から到達する最高点 H_2 について、 h を用いて表せ。ただし、床と小球 A の反発係数 e を $e = \frac{4}{5}$ 、小球 A の質量 M を $M = 5m$ 、距離 L を $L = \frac{9}{25}h$ とする。

つぎに図 I - 2 のように、小球 A と小球 B を自然長 L 、ばね定数 k のばねでつなぎ、小球 B を床からの高さ $h + L$ に固定した。このとき、小球 A はその重力とばねの弾性力でつり合った。その後小球 B の固定を静かに取り外すと、小球 A と小球 B はつながれたばねを伸縮させながら落下した。ばねの質量は無視でき、ばねの弾性力はずねにフックの法則にしたがうものとする。また、ばねの自然長からの変位 x は、小球 B を高さ $h + L$ に固定したときの小球 A のばねの伸びる鉛直下向きを正とする（ばねが伸びるときを $x > 0$ 、縮むときを $x < 0$ とする）。

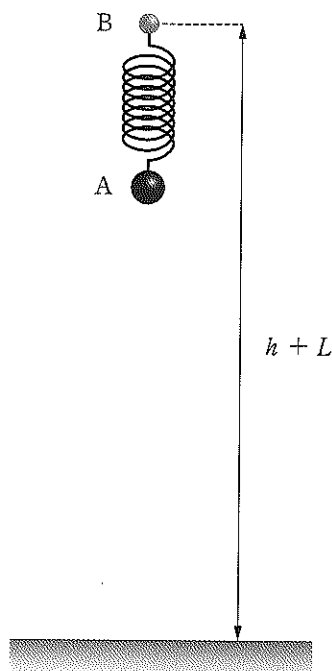
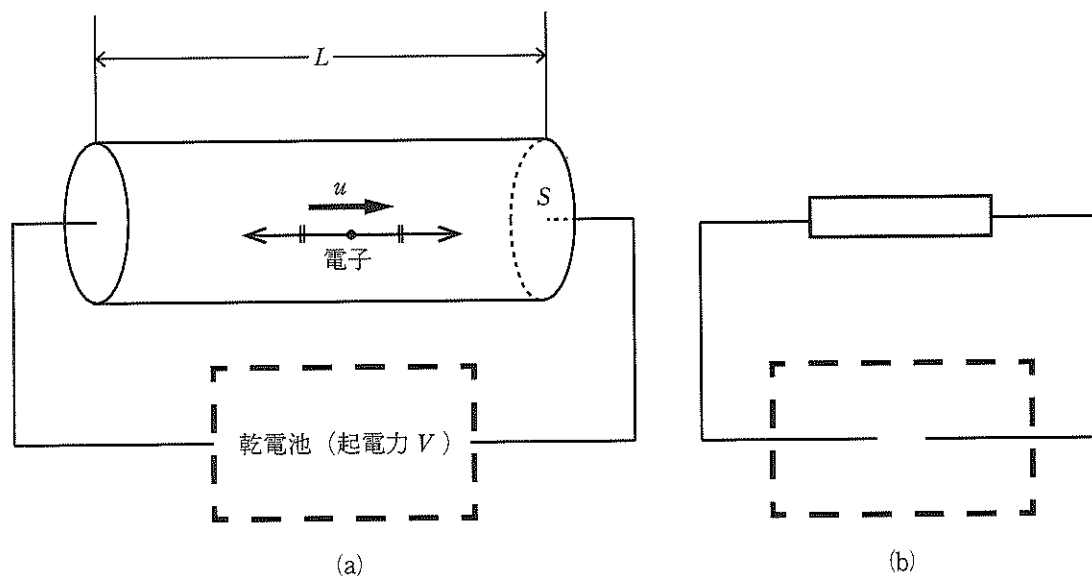


図 I - 2

- 問 6 つながれたばねを伸縮させながら落下しているときの、小球 A、小球 B それぞれの運動方程式を書き下せ。ただし、小球 A、小球 B の加速度を a_A 、 a_B とし、小球 A に働くばねの弾性力は $-kx$ と書けることに注意せよ。
- 問 7 問 6 の結果をみると小球 A と小球 B それぞれの運動は少し複雑であるため、これらの運動を調べるために重心加速度と相対加速度を導入する。ばねでつながれた小球 A と小球 B からなる系の重心加速度 a_G は、単位時間あたりの系の重心速度の変化で定義され、小球 A、小球 B の加速度 a_A 、 a_B を用いて $a_G = \frac{Ma_A + ma_B}{M + m}$ と表せる。また、小球 B からみた小球 A の相対加速度 a_{BA} は、単位時間あたりの小球 B からみた小球 A の相対速度の変化で定義され、 $a_{BA} = a_A - a_B$ と表せる。問 6 の結果を用いて、この系の重心加速度 a_G を求めよ。また、相対加速度 a_{BA} をばねの自然長からの変位 x を用いて表せ。
- 問 8 小球 A が床に衝突する瞬間のばねの長さは、高さ $h + L$ で小球 B を固定し、小球 A がつり合っている最初の状態におけるばねの長さと同じであった。このことから、落下開始から小球 A が床に衝突するまでの小球 A と小球 B の重心の移動する距離がわかり、問 7 で求めた重心加速度 a_G の式を用いると、小球 A が落下開始から床にはじめて衝突するまでの時間 T_1 を求めることができる。この時間 T_1 を求めよ。
- 問 9 小球 B からみた小球 A の相対速度は、ばねの自然長からの変位 x の単位時間あたりの変化で表せる。このことと問 7 で求めた相対加速度 a_{BA} を考慮すると、小球 B からみた小球 A の相対運動は単振動となる。この単振動の周期 T_2 を求めよ。

[Ⅱ] 導体中の電子の流れについて、まず微視的に考察してみよう。断面積 S 、長さ L の一様な金属棒が、両端に抵抗を無視できる導線でつながれている。起電力 V で内部抵抗を無視できる乾電池の両極に導線をつなぎ、金属棒中に一様な電場を作る。金属棒中の自由電子はこの電場から力を受けて運動する。しかし、真空中とは異なり、金属を構成している原子の熱運動などによって速度の大きさに比例する抵抗力を受けると考えられる。図Ⅱ-1(a)には電子が受ける二つの力がつり合った結果、一定の速度で運動しているモデルが示されている。ここで、電子のもつ電荷量の大きさを e とする。



図Ⅱ-1

- 問1 図Ⅱ-1(a)の破線で囲った部分には乾電池が入り、図Ⅱ-1(b)の回路を構成する。解答欄の破線で囲った部分に乾電池の働きを表す直流電源の回路図記号を描き入れよ。
- 問2 金属中の一様電場の大きさ E を求めよ。また、この一様電場から受ける力と抵抗力がつり合った結果、自由電子は一定の速度で運動することになる。自由電子の速度の大きさはすべて等しく u であるとする。抵抗力の比例定数を k として、 u を求めよ。 E と u の解答に際して、与えられた起電力 V を用いよ。
- 問3 このとき、流れる電流 I の大きさを求めよ。自由電子が単位体積あたり n 個存在するとして計算せよ。

このように、金属棒には両端に与えた電位差に比例する電流が流れる。すなわち、巨視的にみるとオームの法則が成り立っていることがわかる。

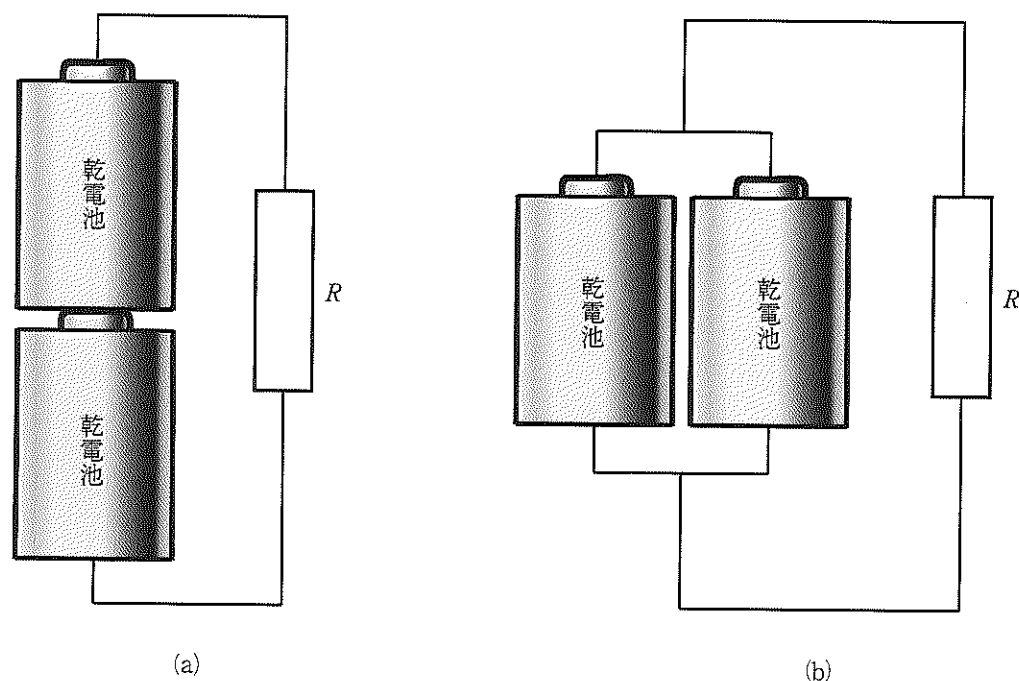
- 問4 乾電池の起電力を V [V]、金属棒の抵抗を R [Ω] とする。このとき、金属棒で消費される電力 P を求めよ。この電力 P がすべて熱に変換されジュール熱になるとして、 T 秒間に抵抗で発生する熱量 Q を求めよ。ただし、金属棒の抵抗は温度によって変わらないものとする。解答には V と R を用い、適切な単位をつけよ。
- 問5 金属棒の断面積 S を $\frac{1}{2}$ 倍、長さ L を3倍にしたとき抵抗は元の何倍になるか。

つぎに、この回路の乾電池が内部抵抗 r [Ω] を持ち、その値が無視できない場合を考えよう。

問6 この場合に金属棒を流れる電流 I_R [A] と両端間の電位差 V_R [V] を、 R , r , V を用いて表せ。

問7 乾電池の起電力 V [V] と内部抵抗 r [Ω] を一定にして金属棒の抵抗 R [Ω] を変化させるとき、金属棒での消費電力が最大になるのは R がどのような条件を満たす場合か、導出の説明を加えながら解答欄に書け。ただし、 R , r , V は温度によって変化しないものとする。

問8 図Ⅱ－2に示すように、問6、問7で用いた乾電池を2個、(a) 直列につないで抵抗 R [Ω] の金属棒と回路を作る場合、(b) 並列につないで抵抗 R [Ω] の金属棒と回路を作る場合、の2通りの場合を考える。(a), (b)の場合に金属棒で消費される電力をそれぞれ P_a , P_b とし、その値を記号 R , r , V を用いて答えよ。



図Ⅱ－2

〔以下余白〕