

2020年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
 - 2 問題冊子は「物理」2～7ページ、「化学」8～21ページ、「生物」22～31ページ、「地学」32～36ページである。解答用紙は、「物理」3枚、「化学」4枚、「生物」4枚、「地学」3枚である。脱落のあった場合には申し出ること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさずに解答すること。
 - 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ氏名、受験学部、受験番号（最後のページは、左右2か所）を忘れずに記入すること。
 - 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
 - 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
 - 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
 - 7 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第2・3志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) 数学科・生物学科・地球学科・理科選択を志望する者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから2科目を選択し、解答すること。
 - (2) 物理学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「物理」と、その他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
 - (3) 化学科を志望する者（第3志望までを含む）は、「化学」と、その他に「物理」・「生物」・「地学」のうちから1科目を選択し、計2科目を解答すること。
 - 8 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計2科目を解答すること。
 - 9 医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから2科目を選択し、解答すること。
 - 10 生活科学部食品栄養科学科の受験者は、「化学」・「生物」のうちから1科目を選択し、解答すること。
 - 11 机上に各自の「受験票」と「大学入試センター試験受験票」を出しておくこと。
 - 12 問題冊子および選択しない科目の解答用紙は持ち帰ること。
- ※ 本冊子の理科科目は以下を表す。
- | | |
|------------|------------|
| 物理：物理基礎・物理 | 化学：化学基礎・化学 |
| 生物：生物基礎・生物 | 地学：地学基礎・地学 |

物 理

第 1 問 (35点)

質量がともに M である 2 つの小球 A, B がなめらかな水平面上におかれている。A, B は質量の無視できるばね (ばね定数 k , 自然長 L_0) でつながれている。最初, 図 1 のように, ばねの長さは自然長であり, A, B は x 軸上に静止していた。そこに質量 m ($m < M$) の小球 C が x 軸上を速さ v で左から A に弾性衝突した。A, B, C は常に x 軸上を運動する。衝突後 A と C が再び衝突することはない。また, A と B が接触することはないものとする。以下の問いに答えよ。

問 1 衝突直後の A の速度 u と C の速度 v' を, M, m, v を用いて表せ。

ばねでつながれた 2 つの小球 A, B をまとめて 1 つの物体とみなして物体系 S と呼ぶことにする。この S の運動は, S の重心の運動と, 小球 A, B の S の重心に対する相対運動とに分けて考えることができる。

問 2 図 2 のように, C が S に衝突した直後の S の重心の速度 V を, M, m, v を用いて表せ。その後, S の重心の速度は変化しない。その理由を説明せよ。

問 3 C と S の間のはねかえり係数を, m, M を用いて表せ。ただし, S の重心の速度を S の速度とせよ。

衝突後における C の運動エネルギーと S の重心の運動エネルギー MV^2 の和を K とする。

問 4 衝突前に C がもっていた運動エネルギーと K との差を, M, m, v を用いて表せ。

問 5 ばねが周期的に伸びたり縮んだりしながら S は動いていく。A と B が最も離れたときの A と B の間の距離を, M, m, v, k, L_0 を用いて表せ。

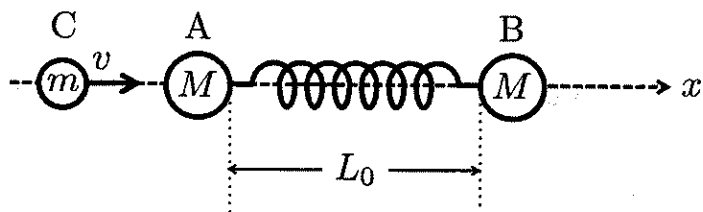


图 1

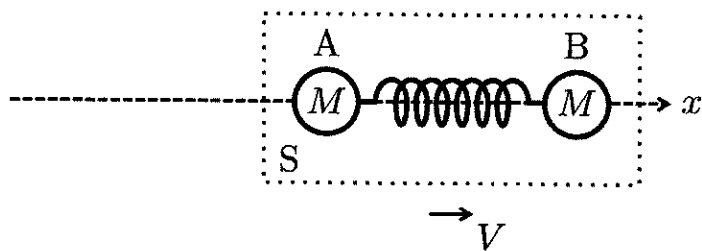


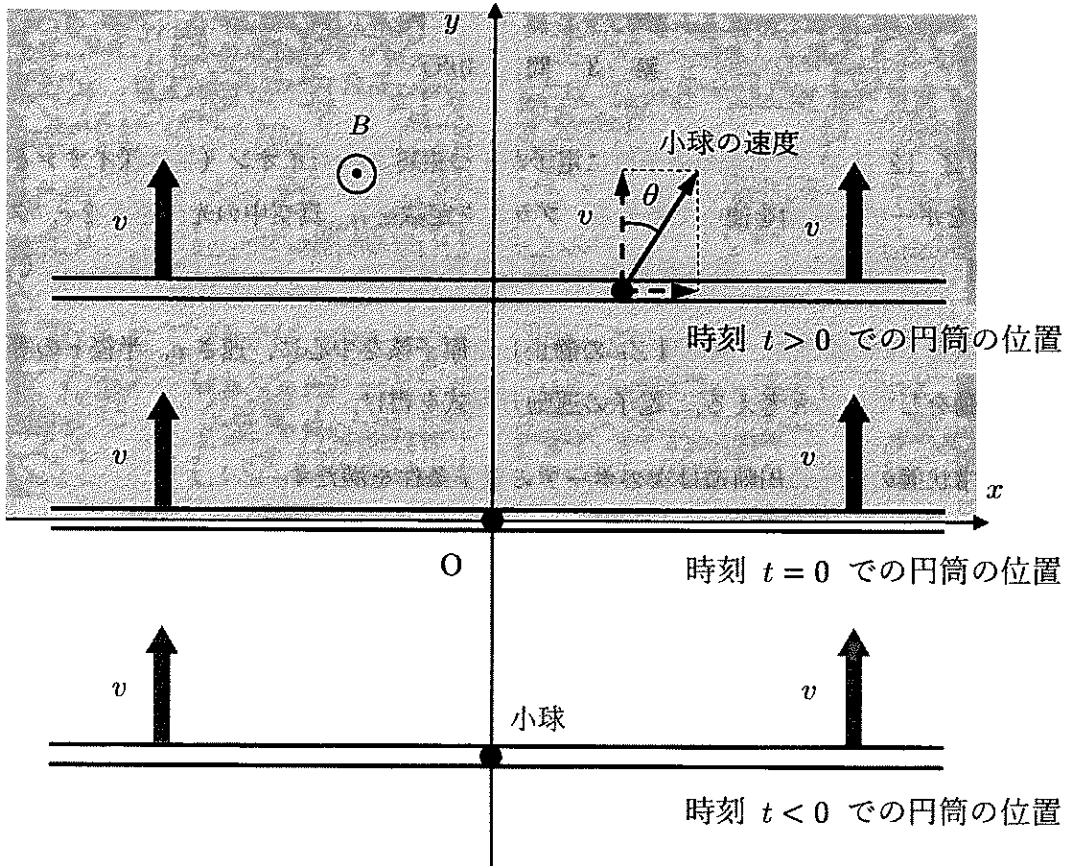
图 2

物 理

第 2 問 (35点)

図のように、水平面 (xy 平面) の $y \geq 0$ の領域に、鉛直上向き (紙面に垂直に裏から表の向き) で磁束密度の大きさ B の一様な磁場がかかっている。この水平面内で、 x 軸と平行な細くて長い円筒を $y < 0$ の領域から y 軸の正の向きに一定の速さ v で動かす。円筒の中には質量 m 、電気量 q ($q > 0$) の小球が入っていて、円筒の中心軸に沿ってなめらかに動くことができる。円筒が $y > 0$ の領域に入ると、小球は円筒の中を動き出した。円筒が x 軸に重なった瞬間を時刻 $t = 0$ とする。そのとき、小球は原点にあり、小球の速度の x 成分は 0 であった。時刻 t ($t > 0$) における小球の運動について、以下の問いに答えよ。なお、重力の影響は考えなくてよい。また、円筒は絶縁体であるとする。

- 問 1 図のように、小球の速度と y 軸の正の向きがなす角度を θ とする。小球の速さを v と θ を用いて表せ。さらに、小球にはたらくローレンツ力の大きさと、その x 成分を求めよ。
- 問 2 時刻 t での小球の座標を (x, y) とする。水平面内で小球が描く軌道を表す x と y の関係式を求めよ。
- 問 3 小球が円筒から受ける垂直抗力の向きを答えよ。また、その大きさを小球の y 座標の関数として表せ。
- 問 4 小球の y 座標が $y = 0$ から $y = y_1$ になるまでに垂直抗力が小球にする仕事を求めよ。



物 理

第 3 問 (30点)

原子番号 Z ($Z \geq 2$) の元素の原子核に電子が1つ束縛されたイオン (水素様イオンと呼ぶ) の構造をボーアの理論を使って考える. プランク定数を h , 真空中の光の速さを c , クーロンの法則の比例定数を k_0 , 電気素量を e , 電子の質量を m として, 以下の問いに答えよ.

問 1 電気量 $-e$ の電子が, 電気量 Ze の静止した原子核を中心に, 速さ v , 半径 r の等速円運動をしていると考える. 電子の運動方程式を書け.

問 2 定常状態の電子の円軌道 (速さ v , 半径 r) は次のボーアの量子条件を満たす.

$$mvr = n \frac{h}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

量子数 n の定常状態にある電子の軌道半径と速さを求めよ.

問 3 量子数 n の定常状態にある電子のエネルギー準位 E_n を求めよ. ただし, 静電気力による電子の位置エネルギーは無限遠を基準にとる.

問 4 高温の天体が放射する電磁波のスペクトルを観測したところ, 波長 $\lambda_0 = 164 \text{ nm}$ (1 nm は 10^{-9} m) の輝線が見つかった. この輝線は, 水素様イオン内の電子が $n = 3$ のエネルギー状態から $n = 2$ のエネルギー状態へ遷移することにもなう光子の放出によるものであった. この輝線はどのような元素の水素様イオンから放射されたと考えられるか, Z を求めよ. リュードベリ定数を $R = \frac{2\pi^2 m k_0^2 e^4}{h^3 c} = 1.10 \times 10^7 \text{ [1/m]}$ としてよい.

さて, 前問の輝線をよく見ると図1のように λ_0 を中心に幅 $2\Delta\lambda$ の広がりがあった. これを高温の天体で, 水素様イオンが熱運動することによるドップラー効果のためと解釈してみる. 電磁波のドップラー効果は厳密には音のドップラー効果とは異なるが, 近似的には音のドップラー効果と同様に取り扱える. また, 簡単のため観測者の運動は考えない. 図2のように観測者と天体を結ぶ線を x 軸とする. 電磁波を出している水素様イオンの速さが光の速さに比べて十分小さい場合には, 観測者の測定する波長 λ は $\lambda = \left(1 + \frac{V_x}{c}\right) \lambda_0$ という近似

式で与えられる。ただし、 V_x は水素様イオンの速度の x 成分である。ここで簡単のため、水素様イオンの熱運動を、質量 M の単原子分子からなる理想気体の分子の熱運動として考えてみよう。この理想気体の絶対温度を T とする。このとき、水素様イオン 1 個あたりの運動エネルギーの平均値は $\frac{1}{2}M\overline{V^2} = \boxed{\text{(a)}}$ のように温度 T と関係づけられる。ここで、 $\overline{V^2}$ は水素様イオンの速さの 2 乗の平均値である。水素様イオンの運動が等方的であるので、 V_x の 2 乗の平均値を $\overline{V_x^2}$ とすると、 $\overline{V_x^2}$ と $\overline{V^2}$ との間には、 $\overline{V_x^2} = \boxed{\text{(b)}}$ という関係がある。さらに輝線の広がり $2\Delta\lambda$ は、 V_x が $-\sqrt{\overline{V_x^2}} \leq V_x \leq \sqrt{\overline{V_x^2}}$ の範囲にある水素様イオンによるものとする。このとき $\Delta\lambda$ は、 $\Delta\lambda = \boxed{\text{(c)}}$ という式で温度 T と関係づけられる。

問 5 文中の空欄 (a), (b), (c) に入る数式を書け。ただし、ボルツマン定数を k とせよ。

問 6 $\lambda_0 = 164 \text{ nm}$, $\Delta\lambda = 0.01 \text{ nm}$ のとき、この天体の温度 T を求めよ。ただし、 $c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$, $k = 1.38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$, $M = 6.65 \times 10^{-27} \text{ kg}$ としよ。

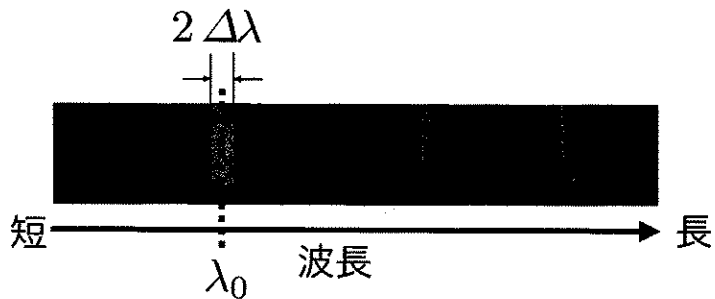


図 1 観測された電磁波のスペクトル

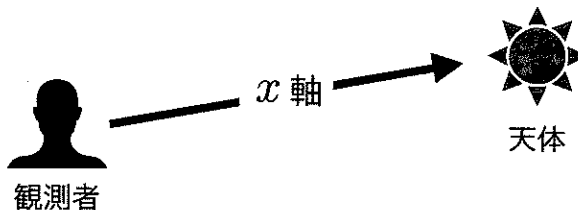


図 2