

物 理

(問 題)

2017年度

〈2017 H29110015 (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] 図 I-1 のように、質量 M の電磁石がバネ定数 k のバネにつながれている。電磁石には質量 m の鉄球がぶら下がっているが、任意の時間で電磁石のスイッチを切って、鉄球と電磁石との間に働く磁力を 0 とすることができる。鉛直上方を正とし、バネ・電磁石・鉄球は鉛直方向のみに運動する。また、鉄球および電磁石の大きさと空気抵抗は無視できる。重力加速度を g とし、鉛直下方に重力が作用する。さらに、鉄球および電磁石は振動中に床に接触しないものとする。また、床と鉄球との反発係数を 1 とし、鉄球と電磁石との反発係数を e とする。以下の設問に対して、 M 、 m 、 k 、 g ならびにあとから述べる距離 S の中から適切な記号を用いて解答せよ。

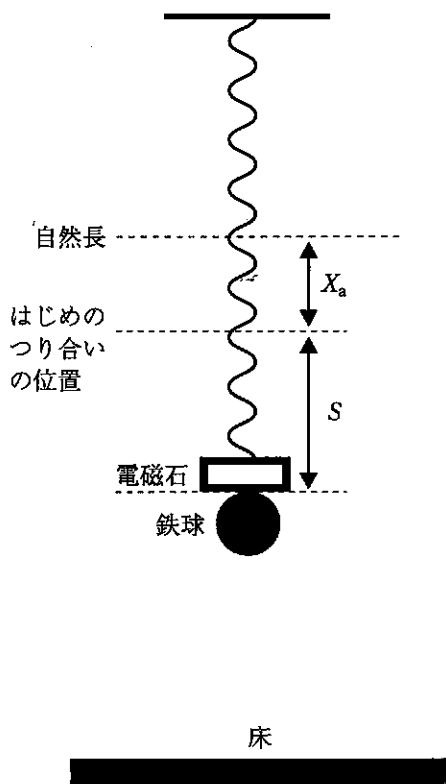


図 I-1

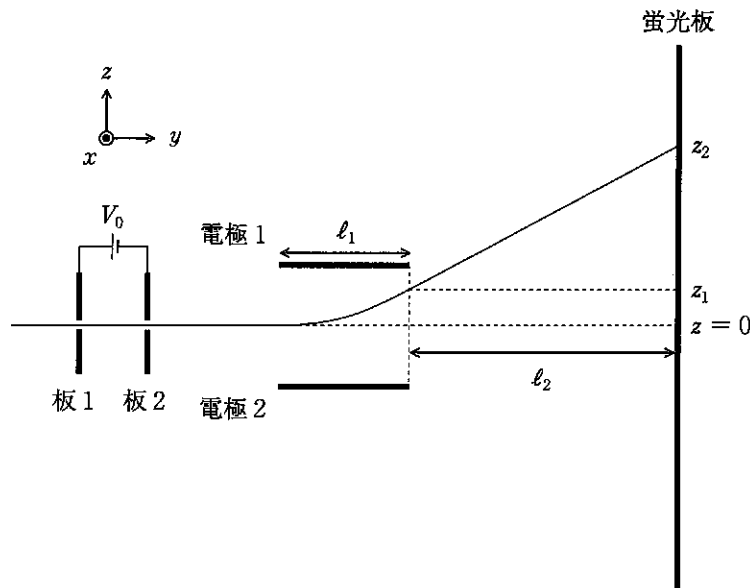
- 問 1 はじめにバネと電磁石・鉄球はつり合いの位置にあり、静止していた。このとき、つり合いの位置の自然長からの距離 X_a を求めよ。
- 問 2 次に、つり合いの位置で静止していた鉄球・電磁石を、つり合いの位置から距離 S だけ引き伸ばして初速度 0 で単振動させた。このとき、振動の周期 T_a を求めよ。また、鉄球・電磁石がつり合いの位置を通過するときの速さ V_a を求めよ。
- 問 3 単振動を開始してからちょうど $\frac{3}{4}$ 周期後に電磁石のスイッチを切ったところ、電磁石はそれまでとは異なる振幅・周期で単振動し、鉄球は重力により落下した。自然長から、電磁石の新たな単振動の中心位置までの距離 X_b と、振幅の大きさ A 、および周期 T_b を求めよ。
- 問 4 一方、電磁石のスイッチを切った後、鉄球は落下し床と衝突して鉛直上方に跳ね返り、スイッチを切ってから電磁石がちょうど 1 回振動したときに、電磁石と衝突した。スイッチを切ったときの鉄球の床からの高さ H を求めよ。

問5 鉄球と電磁石が衝突した直後の、鉄球と電磁石の運動量 P_b , P_c をそれぞれ求めよ。電磁石のスイッチは切ったままであるとし、 $e = 0.5$ とする。

問6 一方、鉄球と電磁石が衝突した瞬間に電磁石のスイッチを入れ、鉄球・電磁石を再びくっつけた場合を考える。その直後の、電磁石・鉄球の運動量 P_d を求めよ。

[Ⅱ] 電子や陽子，イオンなどの荷電粒子を電場中に置いて，その荷電粒子を加速する装置のことを加速器と呼び，種々の研究に用いられている。荷電粒子が電場や磁場中を通過する際に曲がることを利用して，加速器では加速した荷電粒子の軌道を調節することが可能である。いま， α 粒子 (He^{2+} イオン) を加速器で加速して電場や磁場をかけた際の軌道について，図Ⅱ－1 に示す装置を用いて検討した。

まず，初速が無視できる大きさの α 粒子を小穴のあいた板 1 の穴に導き，板 1 と小穴のあいた板 2 の間に V_0 の電位差を与え， α 粒子を加速する。この加速方向を y 方向とする。板 2 の小穴を通過した α 粒子が， α 粒子の進行方向と直交する z 方向に等間隔だけ離して 2 枚の電極板（電極 1 と電極 2）の中心 ($z = 0$) を通過するようにした。電極 1 と 2 の間には， $+z$ 方向に一樣な電場 E_0 が印加できるようになっており， y 方向の長さは ℓ_1 である。この区間を通過する際に α 粒子は進路を曲げられ，電極からさらに ℓ_2 だけ離れた位置に設置された蛍光板に到達し， α 粒子が衝突すると発光する。その発光点の位置を確認することにより， α 粒子の軌道について検討した。電場は電極 1 と 2 の間のみに，かつ z 方向にのみ働くものとし，外部に漏れることはなく，電極の両端においても z 方向のみに電場がかかるものとする。また， α 粒子が曲げられたとき，電極に衝突することはないものとする。これら一連の装置はすべて真空中にあり，重力および地磁気の影響は無視できるものとする。また，電気素量を e ， α 粒子の質量を M として，以下の設問に対する解答を解答用紙の所定欄に記入せよ。



図Ⅱ－1

- 問 1 小穴のあいた板 2 を通過した直後の α 粒子の速度 v を M ， e ， V_0 を用いて表せ。
- 問 2 一樣な電場が作用している電極 1 と 2 の間の長さ ℓ_1 の区間を α 粒子が通過するのにかかる時間 t_0 を ℓ_1 ， M ， e ， V_0 を用いて表せ。
- 問 3 α 粒子が ℓ_1 の区間を通過したときの z 座標 z_1 を ℓ_1 ， E_0 ， V_0 を用いて表せ。
- 問 4 α 粒子が蛍光板に到達したときの z 座標 z_2 を ℓ_1 ， ℓ_2 ， M ， E_0 ， V_0 を用いて表せ。

問5 次に、同じ電極を用いて一様な電場を印加したまま、さらに板1と2の間を通過する間、ある方向に一様な磁場 B をかけたところ、 α 粒子はどの方向にも曲がることなく y 方向に直進した。このとき、追加した磁場の向きを $(+x, -x, +y, -y, +z, -z)$ の中から1つ選べ。また追加した磁場の大きさ B を M, e, E_0, V_0 を用いて表せ。

次に、ヘリウム原子から1つだけ電子を取り除いた He^+ イオンの内部構造について考える。ただし、電子の質量を m 、クーロンの法則の比例定数を k 、プランク定数を h 、光の速度を c として以下の設問に対する解答を解答用紙の所定欄に記入せよ。

問6 電子が原子核の周りを半径 r の位置で電子と原子核のクーロン力により等速円運動していると考えたとき、電子の力学的エネルギー E を k, e, r を用いて表せ。

問7 「電子軌道の円周の長さが電子波の波長の整数倍となる」というボーアの量子条件を適用して、その条件を満たすときの電子の軌道半径 r_n を m, k, e, h と自然数 n を用いて表せ。

問8 上記問7の条件を満たす状態にある電子が、もっとも低いエネルギー状態（基底状態、 $n = 1$ ）から1つエネルギーの高い状態（励起状態、 $n = 2$ ）に光を吸収して励起されるとき、その吸収される光の波長 λ を m, k, e, h, c を用いて表せ。

[以 下 余 白]