

[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。

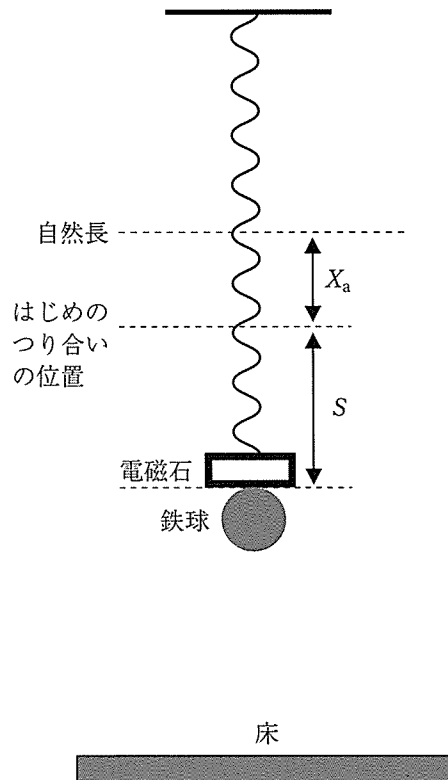


図 I-1

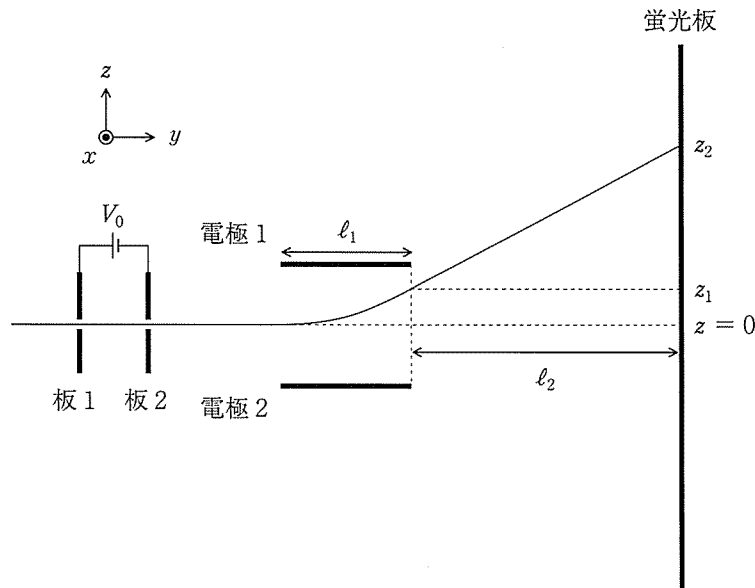
- 問1 はじめにバネと電磁石・鉄球はつり合いの位置にあり、静止していた。このとき、つり合いの位置の自然長からの距離 X_a を求めよ。
- 問2 次に、つり合いの位置で静止していた鉄球・電磁石を、つり合いの位置から距離 S だけ引き伸ばして初速度 0 で単振動させた。このとき、振動の周期 T_a を求めよ。また、鉄球・電磁石がつり合いの位置を通過するときの速さ V_a を求めよ。
- 問3 単振動を開始してからちょうど $\frac{3}{4}$ 周期後に電磁石のスイッチを切ったところ、電磁石はそれまでとは異なる振幅・周期で単振動し、鉄球は重力により落下した。自然長から、電磁石の新たな単振動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、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]

早稲田大学 教育学部
2017年度 入試問題の訂正内容

<教育学部 一般入試>

【物理】

問題冊子5ページ：[II] 問5 問題文1行目

(誤)

～さらに板1と2の間を・・・

(正)

～さらに電極1と2の間を・・・

以上