

平成 20 年度前期日程入学試験学力検査問題

理 科

平成 20 年 2 月 25 日 13:30~16:00 (150 分)

物 理…… 4 ~19ページ, 化 学……20~33ページ

生 物……34~49ページ, 地 学……50~59ページ

志 望 学 部	試 験 科 目
理 学 部 農 学 部	物理, 化学, 生物, 地学のうちから 2 科目選択
医 学 部 歯 学 部	物理, 化学, 生物のうちから 2 科目選択
薬 学 部 工 学 部	物理(指定), 化学(指定)

注 意 事 項

1. 試験開始の合図があるまで, この問題冊子, 解答用紙を開いてはいけない。
2. この問題冊子は, 59 ページである。問題冊子の白紙のページや問題の余白は草案のために使用してよい。なお, ページの脱落, 印刷不鮮明の箇所などがあった場合には申し出ること。
3. 解答は, 必ず黒鉛筆(シャープペンシルも可)で記入し, ボールペン・万年筆などを使用してはいけない。
4. 解答用紙の受験記号番号欄(1 枚につき 2 か所)には, 忘れずに受験票と同じ受験記号番号をはっきりと判読できるように記入すること。
5. 解答は, 必ず選択した科目の解答用紙の指定された箇所に記入すること。
6. 解答用紙を持ち帰ってはいけない。
7. 試験終了後, この問題冊子は持ち帰ること。

物 理

- 1 水平な地面に高さ h の水平な台を図1のように固定し、質量 m の小物体1をその台上の点Pに置いた。点Pの鉛直上方に r だけ高い点Oに長さ r の糸の一端を固定し、糸の他端には、質量 M の小球2をつなぐ。いま、糸をたるませず、鉛直下向きから角度 θ ($0 < \theta \leq 90^\circ$) の位置で小球2を保持している。糸は重さが無視でき、伸び縮みせず、小球2と台との摩擦は考えなくてよい。ただし、小物体1と台との間には、点Pの右側で台の右端から l までの領域のみに摩擦が働くものとし、その動摩擦係数を μ' とする。空気抵抗は無視する。また、小球、小物体の大きさはいずれも無視でき、それらの運動は紙面内に限られるものとする。重力加速度を g として、以下の問いに答えよ。解答は、解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

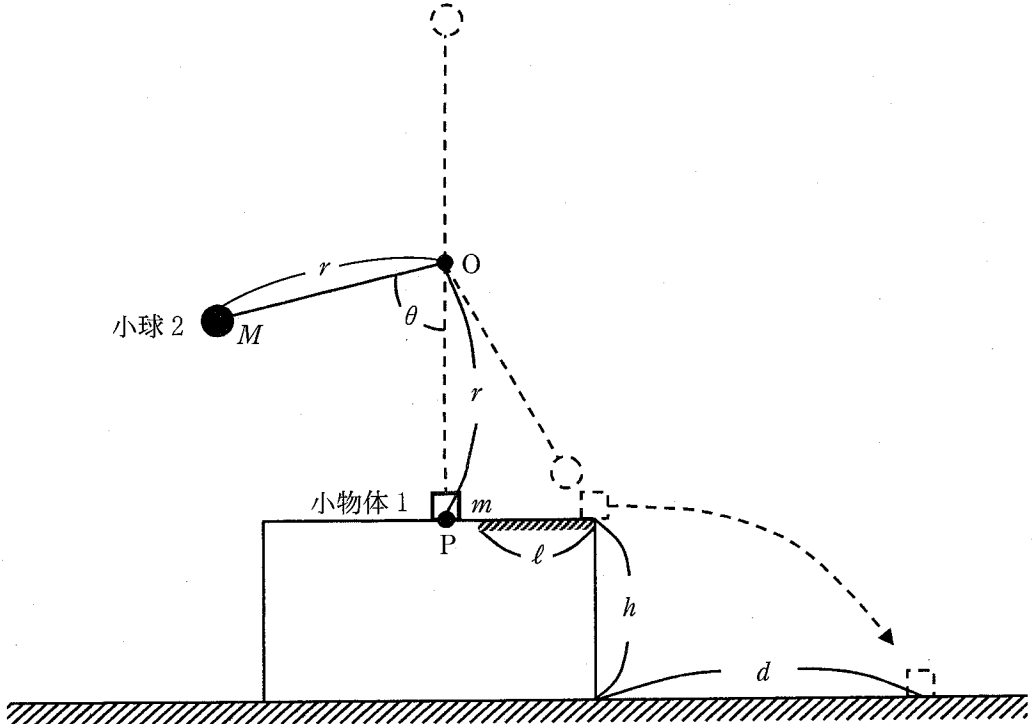


図 1

問(1) まず、小球2を初速度0で放した場合について考える。ただし、速度は水平右向きを正とする。

- (a) 小物体1に衝突する直前の小球2の速度 v_2 を、 m, M, g, r, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 衝突直後、小物体1と小球2は水平方向に速度 v_1', v_2' で運動をはじめた。はねかえり係数を e として、 v_1', v_2' を、 e, m, M, g, r, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 小物体1が台の右端から飛び出すために必要な v_1' に対する条件式を、 m, v_1', μ', g, ℓ の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 問(1)(c)が成立するとしたとき、台の右端から小物体1の最初の落下点までの距離 d を、 $h, r, \ell, m, M, g, e, \theta, \mu'$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (e) 小球2は衝突後に単振り子運動をした。ここで、 $\theta = 60^\circ, M = 3m, e = 1$ としたとき、小球2の最高点における復元力(単振り子運動の接線方向の力)の大きさ F を、 M と g を用いて表せ。

問(2) 次に、小物体1と小球2を図1の元の位置に戻し、小球2を接線右下方向に初速度 v_0 で放した場合について考える。

- (a) 小物体1に衝突する直前の糸の張力 T を、 M, g, r, v_0, θ の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 小球2が点Oのまわりを糸のたるみなく回転するためには、衝突直後の小球2の速度 v_2' がある条件を満たす必要がある。この条件式を、 v_2', M, g, r, θ の中から必要なものを用いて表せ。

2 充電されたコンデンサーに抵抗やコイルをつないで放電させると、コンデンサーに蓄えられていたエネルギーは、抵抗によって生じる熱やコイルがつくる磁場のエネルギーに変化する。ここでは、コンデンサー A(電気容量 C_A)、コンデンサー B(電気容量 C_B)、抵抗(電気抵抗 R)、コイル(自己インダクタンス L)、直流電源(電圧 V_0)を含む回路を考え、抵抗とコイルの働きを比較する。電源の内部抵抗や、回路の導線およびコイルの電気抵抗は無視できるものとする。また、電磁波の放射は考えなくてよい。このとき、以下の問いに答えよ。解答は解答用紙の所定の場所に記入せよ。また、結果だけでなく、考え方や計算の過程も記せ。

問(1) 図 1 に示す回路を考える。初期状態でスイッチ S_1 、 S_2 は開いており、コンデンサー A、B に電荷は蓄えられていなかった。

- (a) 時刻 t_0 においてスイッチ S_1 を閉じ、コンデンサー A の充電を開始した。抵抗を流れる電流 I の時間変化のおよその形を、時刻 t_0 より充電がほぼ完了するまでの範囲で解答用紙のグラフ 1 に実線で描け。また、時刻 t_0 での電流の大きさを V_0 、 R を用いて縦軸に記せ。
- (b) 問(1)(a)において電気抵抗値が R より大きな抵抗を用いた場合、電流 I の時間変化にどのような違いが現れるか、電流の時間変化のおよその形を問(1)(a)と比較できるように解答用紙のグラフ 1 に破線で描け。
- (c) 問(1)(a)においてコンデンサー A の充電が完了した後、スイッチ S_1 を開いてからスイッチ S_2 を閉じた。その後、十分に時間が経過したときのコンデンサー A の電気量 Q_A と、コンデンサー B の電気量 Q_B を、それぞれ、 V_0 、 C_A 、 C_B 、 R の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 問(1)(c)では、コンデンサー A は放電し、エネルギーを放出する。そのエネルギーの一部は抵抗でジュール熱に変化し、残りはコンデンサー B に移る。ジュール熱として最終的に失われるエネルギーの大きさ ΔE を、 V_0 、 C_A 、 C_B を用いて表せ。

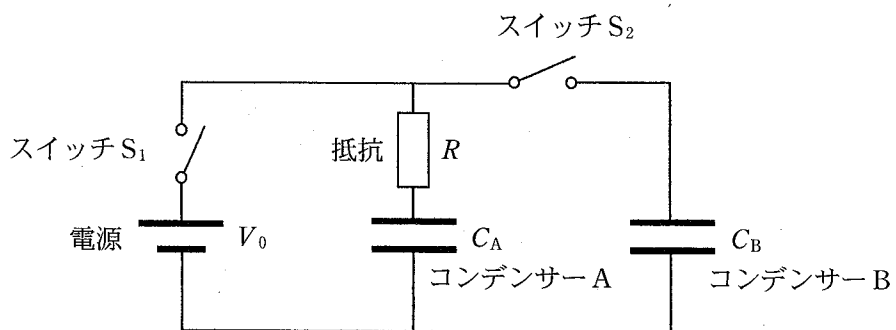


図 1

問② 次に、コイルを含む図2に示す回路を考える。初期状態でスイッチ S_1 、 S_2 は開いており、コンデンサー A、B に電荷は蓄えられていなかった。

- (a) スイッチ S_1 を閉じてコンデンサー A を充電した後、スイッチ S_1 を開いた。その後、時刻 t_0 においてスイッチ S_2 を閉じたところ、コイルに電流が流れた。その後、電流は時刻 t_1 で最大値をとり、減少に転じた。電流 I の時間変化を表すグラフとして正しいと考えられるものを、図3の(ア)~(エ)の中から一つ選び、記号で答えよ。また、時刻 t_0 における電流 I の値とその時間変化に留意して、理由を記せ。
- (b) 時刻 t_1 において、コンデンサー A、コンデンサー B にかかるそれぞれの電圧 V_A 、 V_B を、 $\frac{\Delta I}{\Delta t} = 0$ であることを考慮して求め、それらを V_0 、 C_A 、 C_B 、 L の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) 時刻 t_1 において、コンデンサー B に蓄えられているエネルギー U_B とコイルに蓄えられているエネルギー U_L を、それぞれ V_0 、 C_A 、 C_B 、 L の中から必要なものを用いて表せ。
- (d) 時刻 t_1 以降において電流 I が最初に 0 になった時刻にスイッチ S_2 を開いた。このとき、コンデンサー B に蓄えられている電気量 Q_F を、 V_0 、 C_A 、 C_B 、 L の中から必要なものを用いて表せ。
- (e) この一連の操作で、充電によって蓄えられたコンデンサー A のエネルギーをすべてコンデンサー B に移すために必要な C_A と C_B の間の関係式を求めよ。

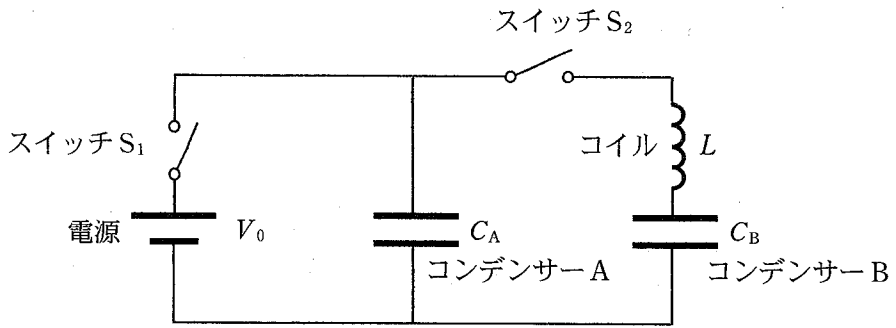


図 2

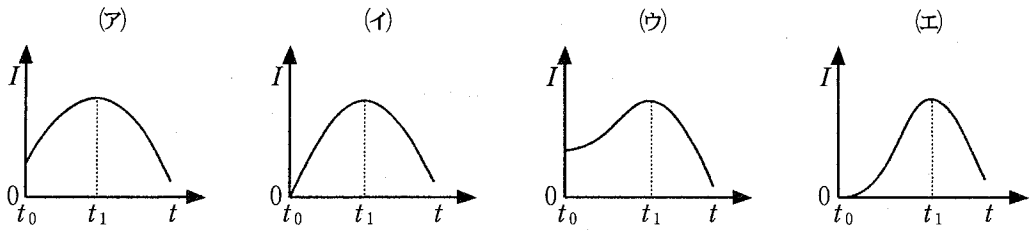


図 3

3 電磁場(電磁界)中における, 電荷 q ($q > 0$), 質量 m の荷電粒子の運動(飛行)について, 以下の問いに答えよ。荷電粒子の大きさや重力の効果は無視する。また, 荷電粒子が飛行する空間はすべて真空とする。解答は, 解答用紙の所定の場所に記入せよ。また, 結果だけでなく, 考え方や計算の過程も記せ。

問(1) 図1のように, 荷電粒子が飛行できる間隔(磁場空間)をあけて平行に並べられた2枚の平板磁石を2組用意し, 荷電粒子を加速するための間隔(電場空間)をあけてそれらを平行に配置して, 加速器を構成する。電場空間の両端には, 荷電粒子が自由に透過できる平板電極(透過型電極)が平行に設けられ, その電極には特殊電源が接続されている。この特殊電源は, 荷電粒子が電場空間内にあるときだけ透過型電極間に電圧を発生させる。その電圧の絶対値は一定であるが, 荷電粒子を加速する方向に向きが変わる。磁場は磁場空間内のみに一定かつ一様に存在し, 電場は電場空間内のみに一様に存在するものとする。座標軸は次のページの図1に示すようにとる。

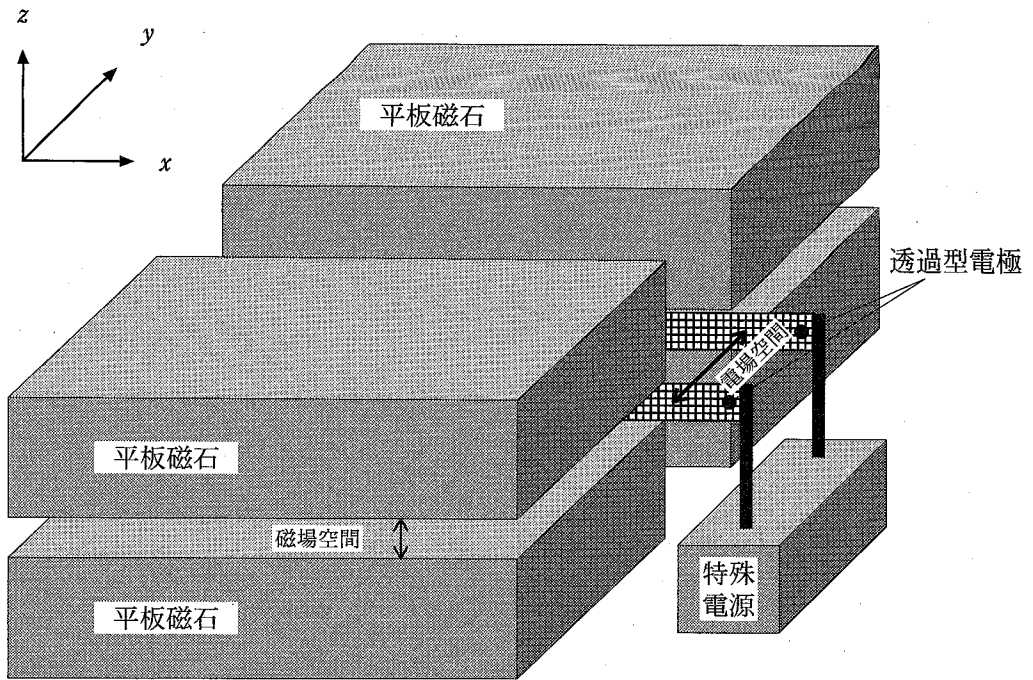


图 1

この加速器において、図2に示す電場空間内の y 軸上の a 点に荷電粒子をそつと置く。この荷電粒子は加速しながら y 軸正方向に直進し、透過型電極を抜けて磁場空間に入る。磁場空間では磁場からの力を受け、図2に示す経路にそつて飛行し、1周して e 点に到達する。荷電粒子は、その後も加速しながら飛行を続ける。この加速器の電場空間の幅を L 、透過型電極間の電圧を V 、磁場空間の磁束密度を z 軸正方向に B とする。

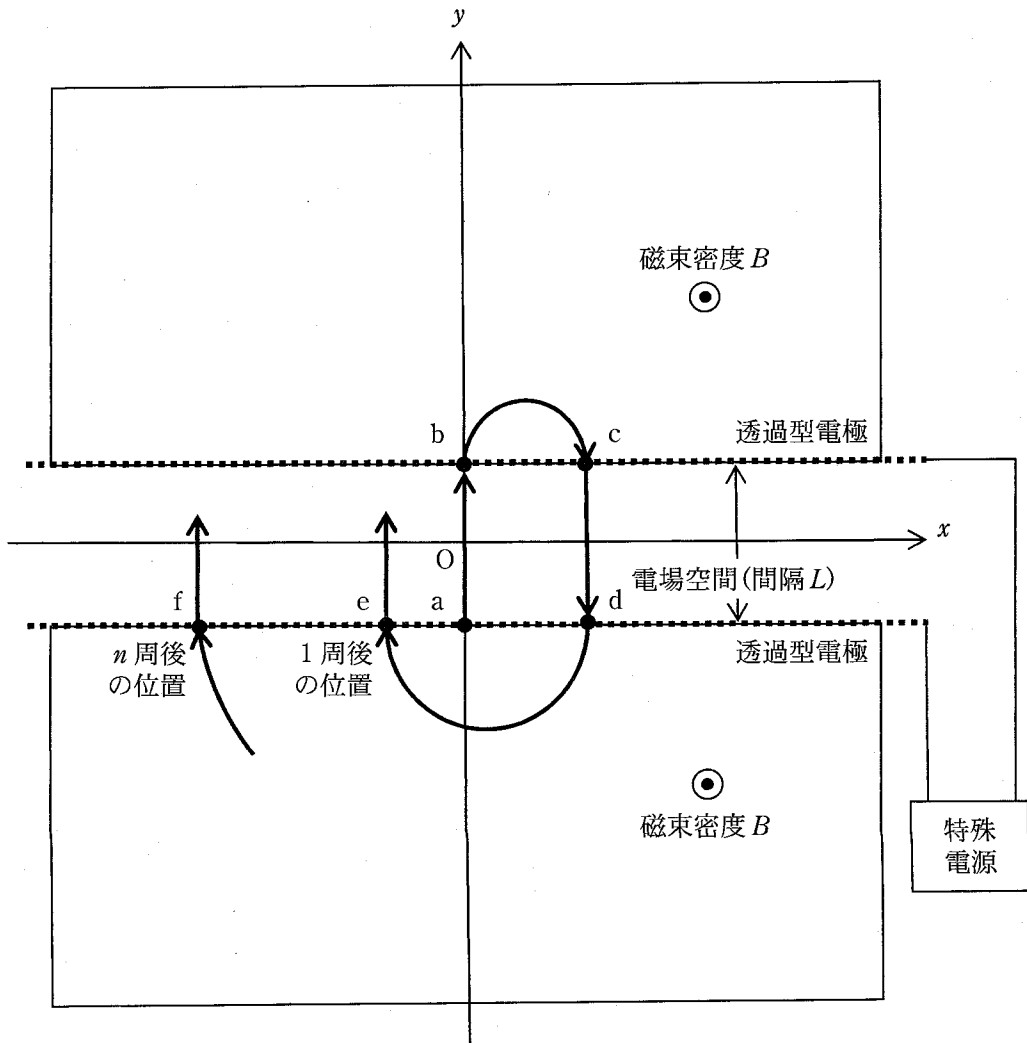


図2

- (a) ab 間での加速によって得られる運動エネルギー ΔE_{ab} を, q, m, L, V, B の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) c 点の座標 x_c を, q, m, L, V, B の中から必要なものを用いて表せ。
- (c) bc 間の飛行時間 T_{bc} と de 間の飛行時間 T_{de} の比を求めよ。
- (d) n 周後の f 点での速さ v_f を, q, m, L, V, B, n の中から必要なものを用いて表せ。
- (e) a 点で放出された荷電粒子が e 点に到達するまでの速さの変化の様子を, 横軸を飛行時間, 縦軸を速さとして, 解答用紙のグラフ 1 に実線で描け。グラフ 1 には, b 点および c 点までの飛行時間と, b 点での速さに矢印記号が記されている。
- (f) 次に, 特殊電源を電圧 V の定電圧電源に交換する。これにより, 電場空間内の電場が a 点から b 点の向きに固定される。このとき, a 点にそつと置かれた荷電粒子はどのように飛行するか。a 点からの飛行経路を, 解答用紙のグラフ 2 に実線で描け。グラフ 2 には, 特殊電源を用いた場合の a 点から e 点までの飛行経路が破線で記されている。なお, 電場空間内の電場は磁場空間に漏れないものとする。

問(2) 加速器により速さ v_1 に加速された荷電粒子を, 十分遠方に置いた電荷 $Q (Q > 0)$, 質量 M の原子核に向かって打ち出す。荷電粒子および原子核の大きさは無視でき, 飛行中はクーロン力だけが作用するものとする。真空の誘電率を ϵ とする。

- (a) 置かれた原子核が固定されている場合を考える。荷電粒子と原子核の間の最接近距離 R_S を, $q, Q, m, M, \epsilon, v_1$ の中から必要なものを用いて表せ。
- (b) 次に, 原子核が自由に動ける状態で静かに置かれている場合を考える。このとき, 荷電粒子と原子核の間の相対速度が 0 のとき最接近することを考慮して, 最接近距離 R_M を, $q, Q, m, M, \epsilon, v_1$ の中から必要なものを用いて表せ。