

令和 5 年度
入学者選抜学力試験問題
後期日程

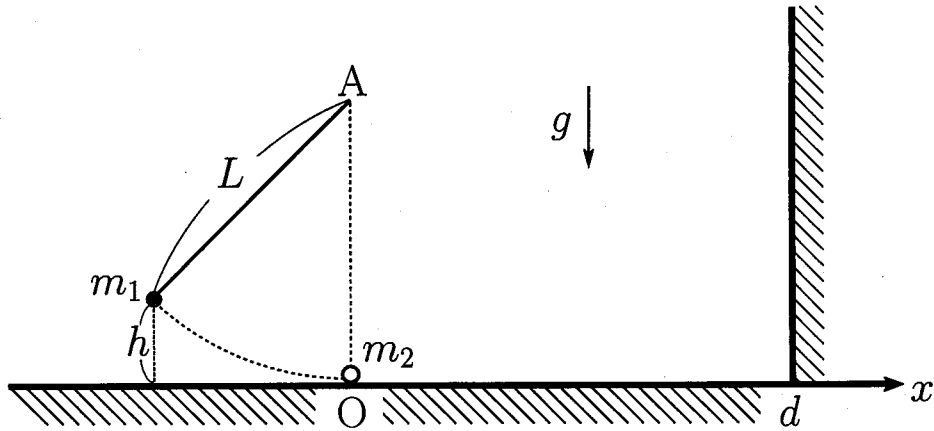
理 科

注 意

1. 解答用紙表紙の※印欄は、受験者が記入すること。
受験番号は、本学受験票の受験番号欄に記入してあるとおりに書くこと。
※印欄以外の箇所には、受験番号・氏名を絶対に書かないこと。
2. 問題冊子及び解答用紙は、「解答始め」の指示があるまで開かないこと。
3. 理学部数物科学科志願者は理科、数学から 1 教科選択し、解答用紙の表紙の選択別欄に○印を記入のうえ、選択した教科の問題を全問解答すること。なお、解答用紙の表紙の選択別欄に両教科とも○印をつけた場合は、すべての解答を無効とする。
4. 解答は、別冊子の解答用紙に記入すること。
解答用紙左上の問題番号を確認し、問題に対応する解答用紙のみに記入すること。
5. 試験終了後、この問題冊子と下書用紙は持ち帰ること。
6. 総ページ数
問題冊子—— 9 ページ
解答用紙—— 8 ページ
下書用紙—— 1 枚(数学と共用)

物 理

- I 図のように、なめらかな水平面に右向きを正として x 軸をとる。水平面上の $x = d$ ($d > 0$) の位置には鉛直な壁がある。原点 O から鉛直上方の距離 L ($0 < L < d$) にある点を A とし、点 A から長さ L の軽い糸で質量 m_1 の小球 1 をつり下げた単振り子を考える。 $x < 0$ の領域で x 軸から鉛直上方の距離 h ($0 < h < L$) の位置に、糸がたわまないようにして小球 1 を静止させる。原点 O には、質量 m_2 の小球 2 が静止している。小球 1 は点 A と x 軸を含む鉛直面内を運動し、小球 2 は x 軸上を運動するものとして、以下の問いに答えよ。ただし、重力加速度の大きさを g とし、空気抵抗は無視できるものとする。



- 問 1 小球 1 を静かに離したところ、時刻 $t = 0$ において小球 1 と小球 2 は原点 O で衝突した。
- (1) 衝突直前の小球 1 の速度の x 成分 v_1 を求めよ。
 - (2) 衝突直後の小球 1 と小球 2 は x 軸上を運動した。小球 1 および小球 2 の衝突直後の速度の x 成分を v'_1 および v'_2 として、 x 軸方向の運動量保存則を表す式を、 $m_1, m_2, v_1, v'_1, v'_2$ を用いて示せ。
 - (3) 小球 1 と小球 2 の間の反発係数 (はねかえり係数) を e ($0 < e < 1$) としたとき、 v'_2 を、 m_1, m_2, e, v_1 のうち必要なものを用いて表せ。
 - (4) $v'_1 > 0$ となる条件を、 m_1, m_2, e を用いて表せ。

物 理

I のつづき

問 2 問 1 で小球 1 と小球 2 が時刻 $t = 0$ で衝突した直後、2 つの小球がともに x 軸の正の向きに運動した場合を考える。衝突後、小球 1 は振れ角が小さな単振り子の運動をし、小球 2 は $x = d$ で壁に衝突した後、再び原点 O に向かって運動した。

- (1) $t = 0$ に 2 つの小球が衝突した後、小球 1 が初めて原点 O に到達した時刻 T_1 を求めよ。
- (2) $t = 0$ に 2 つの小球が衝突した後、小球 2 が壁に衝突して再び原点 O に到達した時刻 T_2 を、 v_2 と d を用いて表せ。ここで、小球 2 と壁の間の反発係数を 1 とする。
- (3) $t = 0$ に 2 つの小球が衝突した後、小球 1 が n 回目に原点 O に到達したとき、壁に衝突して戻ってきた小球 2 と正面衝突した。ここで n は偶数である。この場合の h を、 m_1, m_2, e, n, d, L のうち必要なものを用いて表せ。

物 理

II 厚さ W の平らな絶縁体の板の両面に金属フィルム F_1 , F_2 を貼り付け、真空中で 2 枚の極板 P_1 , P_2 に接触しないように中央にはさむ。極板 P_1 と P_2 の距離は $W + d$ であり、 P_1 と F_1 の距離は $\frac{d}{2}$ である。金属フィルムの厚さは W や d に比べて無視できるものとする。金属フィルムと極板はいずれも 1 辺の長さ L の正方形で互いに平行である。 P_1 と F_1 , F_1 と F_2 , F_2 と P_2 は、向かいあわせに取り付けられているため、それぞれ面積 L^2 の平行板コンデンサーとみなすことができる。真空の誘電率を ϵ_0 、絶縁体の板の誘電率を ϵ として、以下の問いに答えよ。

問 1 図 1 のように、起電力 E の直流電源を極板 P_1 , P_2 に接続した。直流電源を接続する前は極板にも金属フィルムにも電荷は蓄えられていなかったとする。

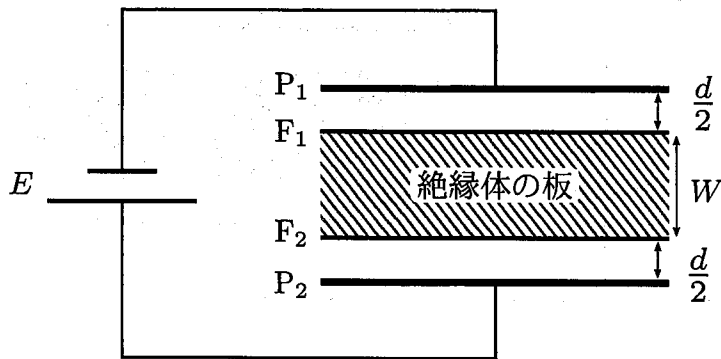


図 1

- (1) 極板 P_1 と金属フィルム F_1 からなる平行板コンデンサーの電気容量 C と、2 枚の金属フィルム F_1 と F_2 からなる平行板コンデンサーの電気容量 C' を求めよ。
- (2) 極板 P_2 に蓄えられた電気量を、 E , C , C' を用いて表せ。
- (3) 2 枚の金属フィルム F_1 と F_2 の電位差を、 E , C , C' を用いて表せ。

物 理

II のつづき

問2 問1の状況では、金属フィルム F_1 , F_2 の表面に電荷が生じても、それぞれの電気量の総量は0である。そこで図2のように金属フィルム F_1 と F_2 の間をダイオードで接続し、 F_2 から F_1 へ電流が流れることができるようにした。このダイオードでは、 F_1 に対する F_2 の電位が正のときは電流が流れ、0または負のときは流れない。また、起電力 E と E' の2つの直流電源をスイッチで切り替えて、極板に接続できるようにしてある。最初、スイッチは開いており、問1と同様に電極にも金属フィルムにも電荷が蓄えられていないとする。

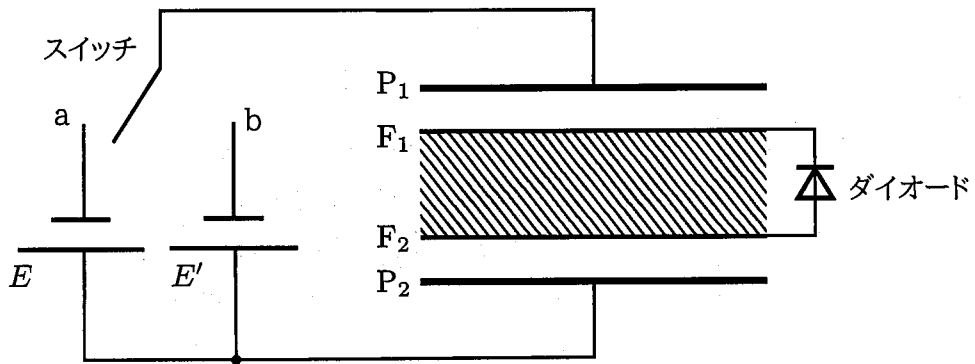


図2

- (1) 図2のスイッチを a 側に入れて起電力 E の直流電源を極板 P_1 , P_2 に接続すると、最初にダイオードに電流が流れたがしばらくすると流れなくなった。電流が流れなくなったとき、極板 P_2 に蓄えられた電気量を、 E , C , C' のうち必要なものを用いて表せ。
- (2) このとき3つのコンデンサーに蓄えられた静電エネルギーの和を、 E , C , C' のうち必要なものを用いて表せ。

物 理

II のつづき

問3 問2でダイオードに電流が流れなくなった後、スイッチをb側に切り替えて起電力 E' の直流電源を接続する。以下では、 W が d に比べて十分大きく、 $C' = 0$ とみなすことができるとする。また、直流電源の内部抵抗は無視してよい。

- (1) 切り替えた直後にダイオードに電流が流れるために E' が満たすべき条件を、理由とともに示せ。
- (2) (1) で求めた条件を満たさず、かつ、 E' が E と異なる場合、ダイオード内部に生じる状態について以下の語を用いて説明せよ。

p型, n型, ホール, 電子

ただし、ホールは正孔とも呼ばれる。

- (3) (1) で求めた条件を満たし電流が流れる場合には、電流がしばらくダイオードに流れ、再び流れなくなる。スイッチを切り替えてから電流が流れなくなるまでに、起電力 E' の直流電源がした仕事、およびダイオードで消費されたエネルギーを、 E , E' , C を用いて表せ。

物 理

Ⅲ 電子の波動性に関する以下の問いに答えよ。ただし、電子の質量を m 、電子の電気を $-e$ ($e > 0$)、プランク定数を h とする。

問 1 次の文章中の空欄 1 ~ 4 に適当な数式を入れよ。ただし、4 は、 m 、 e 、 h と文章中の d 、 θ 、 n を用いて表せ。

電子は粒子であると同時に波動性をもっており、電子の物質波（電子波）の波長 λ は、 h と電子の運動量の大きさ p を用いて

$$\lambda = \text{1}$$

と表される。図 1 のように、 d の間隔で配列している金属内部の結晶面（原子の配列した面）を考える。真空中に置かれた金属の結晶面と θ の角をなす方向から電子を入射させると、 θ の角で反射する。電子波が金属の表面で屈折せずに直進するとした場合、X 線と同様に考えれば、電子波が干渉して強めあうとき、隣り合う結晶面で反射した電子波の道のりの差 2 が波長 λ の整数倍 $n\lambda$ ($n = 1, 2, 3, \dots$) に等しくなり、ブラッグ反射の条件がみたされることが考えられる。

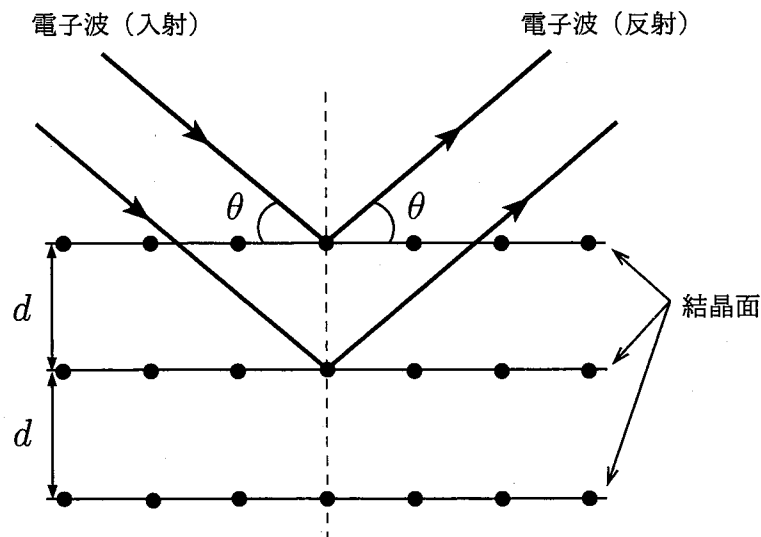


図 1

物 理

Ⅲ のつづき

問 1 のつづき

初速度 0 の電子を電圧 V で加速すると、運動量の大きさ p は、 m 、 e 、 V を用いて、

$$p = \boxed{3}$$

となる。この運動量の電子の電子波を、図 1 のように金属の結晶に入射させると、ブラッグ反射の条件より、電圧が

$$V = \boxed{4}$$

のとき、反射される電子波の強度が強くなると推測される。

物 理

III のつづき

問2 電子波の反射を詳しく調べると、金属の内部の電位が外部の電位と異なるため、実際の電子波の強めあいは、問1の文章中で推測した結果からずれた電圧で起こる。真空中において電圧 V で加速された電子が金属に入射した場合、金属の内部の電位が外部の電位より V_0 ($V_0 > 0$) だけ高いとすると、入射した電子のエネルギーは、電圧 $V + V_0$ によって加速された電子と同じエネルギーとなり、金属の表面で電子波の波長が λ から λ' に変わる。このため、電子波にとって金属は屈折率 μ ($\mu > 1$) の媒質とみなすことができ、図2のように、金属内に入る際に電子波は屈折し、金属の内部の結晶面へ θ' の角で入射する。散乱された電子波が干渉して強めあうためには、ある値以上の正の整数を n' とし、次の関係式がみたされることになる。

$$n'\lambda' = 2d \sin \theta'$$

- (1) 屈折率 μ を、 λ と λ' を用いて表せ。
- (2) 屈折率 μ を、 θ と θ' を用いて表せ。
- (3) λ' を、 λ , V , V_0 を用いて表せ。
- (4) 電子波が強めあうときの電圧 V を、 m , e , h , d , θ , V_0 , n' を用いて表せ。

物 理

Ⅲ のつづき

問 2 のつづき

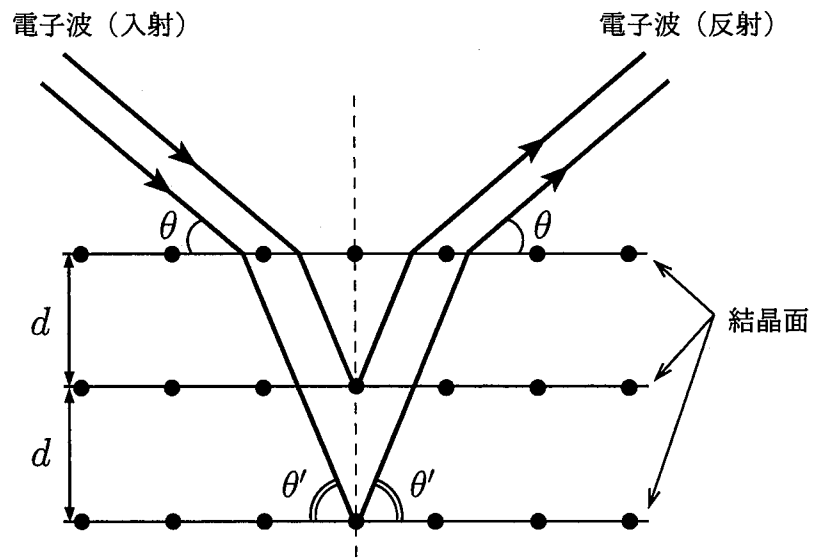


図 2