

〔物理基礎・物理〕〔化学基礎・化学〕〔生物基礎・生物〕

(時間：2出題科目で120分)

注 意 事 項

- 1 試験開始の合図があるまで、この問題冊子の中を見てはいけません。
- 2 出題科目、ページ及び選択方法は、下表のとおりです。

出 題 科 目	ページ	選 択 方 法
〔物理基礎・物理〕	1～3	左の3出題科目のうちから、あらかじめ届け出た2出題科目について解答しなさい。
〔化学基礎・化学〕	4～6	
〔生物基礎・生物〕	7～9	

- 3 試験中に問題冊子の印刷不鮮明、ページの落丁・乱丁および解答用紙の汚れ等に気付いた場合は、手を挙げて監督者に知らせなさい。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定の欄に記入しなさい。
- 5 問題冊子の余白は計算等に用いて構いません。
- 6 試験終了後、解答用紙のみを回収します。

物理基礎・物理

〔1〕ばね振り子に関する次の文章を読み、重力加速度の大きさを g として下の問い(問1～4)に答えよ。ただし、問2～4には簡潔な説明をつけよ。

図1のように、なめらかな水平面上で軽いばねAの一端を壁に固定し他端に質量 M の物体Bを取り付けた。さらに、Aと同じばねCをBに固定し他端に軽く伸びない糸を付け、なめらかに回る軽い定滑車を通して質量 m のおもりをつるした。すると、おもりを付けずに定滑車を通して糸を垂らしたときに比べ糸の下端が距離 a だけ下がったところでおもりは静止した。これより、ばね定数は であることがわかる。ここでは、 x 軸を図1のようにとり、Aが自然の長さ(自然長)のときのBの中心の位置を原点とする。今後、Bの位置はBの中心の位置で表す。また、ばねは x 軸に沿って伸び縮みするものとする。

図2のように、図1の状態からBやばねを動かさないようにおもりを外し糸の下端を手で支えた。その後、糸をゆっくりと距離 b だけ真下に引き下げた。このとき手がした仕事は W_1 であった。次に、図2の状態に戻し、Bが動かないように押さええた状態で糸の下端を b だけ真下に引き下げ、下端をその位置に固定した。このとき手がした仕事は W_2 であった。Bの押さえを外すとBは動き出し、Bの位置が x のときのBの運動エネルギーは K であった。また、Bの位置が x のときBにはたらく力 F は $F = -$ $\times (x -$) と表される。 $x -$ は位置 からのBの変位を表していることから、 $X = x -$ とすると $F = -$ $\times X$ と書け、この F は復元力と考えることができる。よって、Bは を中心として単振動をし、その周期は であることがわかる。

問1 文章中の空欄 ～ を a, b, g, m, M から必要なものを用いて適切に埋めよ。

問2 W_1 と W_2 はどちらが大きいかに記せ。また、両者の差を a, b, g, m を用いて表せ。

問3 K を a, b, g, m, x を用いて x の関数として表せ。

問4 x のとりうる範囲を a, b を用いて表せ。また、 x と K の関係を表すグラフの概略を解答欄の図に示せ。

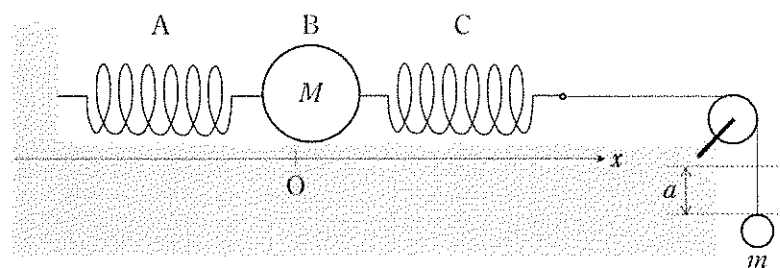


図1

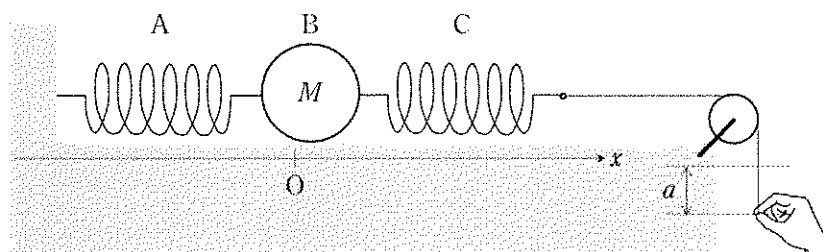


図2

〔2〕 電場(電界)中および磁場(磁界)中での電子の運動を考えるため図1の中に示す装置を用いた実験を行った。次の文章を読み、下の問い(問1～3)に答えよ。

x , y , z の各軸の向きを図1に示す通り設定する。この装置は、 z 軸正の向きに電子を射出する電子銃、平行板電極により y 方向に一樣な電場がかかる領域1、 z 軸正の向きに一樣な磁束密度の磁場がかかる領域2、および画面からなる。電子銃から射出された電子は領域1と領域2を通過し、画面に達する。電子が画面に衝突する際、画面に輝点が現れ、観測者は電子が画面に衝突した位置を知ることができる。図2は観測者が見た画面である。電場も磁場もかけない場合には輝点は画面の中心に観測される。この点を xy 座標の原点 O とし、射出された電子の速さを v 、電極間距離を d 、領域1の長さを ℓ 、領域2の長さを L 、電子の質量を m 、電気素量を e とする。ただし、装置内部は真空に保たれており、また、電場は領域1内のみ、磁場は領域2内のみかかるものとする。なお、重力と地磁気の影響は無視できるものとする。

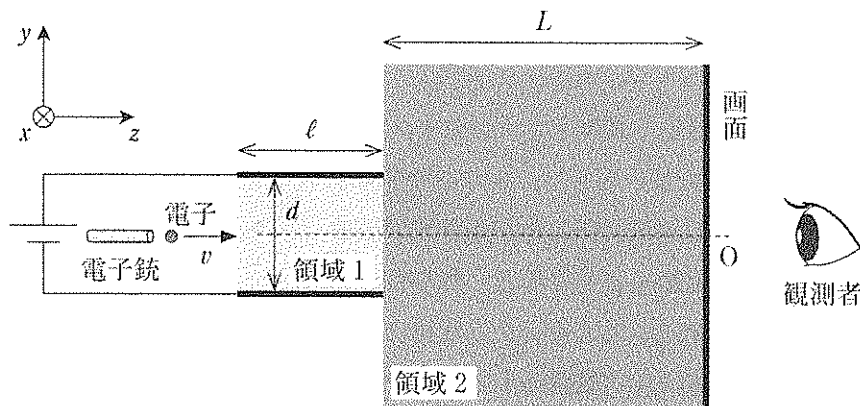


図1

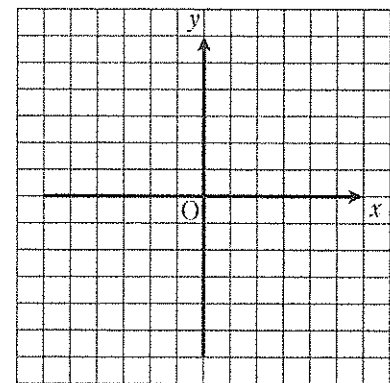


図2

磁場をかけない状況で平行板電極に電圧 V をかけて実験を行ったところ、輝点は O とは異なる座標に観測された。電子銃から射出された電子が領域1を出る時点の電子の y 座標は であり、電子の速度の y 成分は である。また、輝点の座標は $(0, \text{ア} + \text{ウ})$ である。

次に、平行板電極にかかる電圧は同じく V のまま磁場をかけて実験を行った。すると輝点は $(0, \text{ア} + \text{ウ})$ とは異なる座標に観測され、輝点の座標は磁束密度の大きさ B に応じて変化することがわかった。また、輝点が $(0, \text{ア})$ に観測される B が複数あることもわかった。そのうちの最小のものを B_0 とする。

下線部の実験事実はどのように理解できるだろうか。磁場をかけた場合の電子の運動を考える。磁場中に入射した電子は磁場と垂直な方向に常に を受ける。そのため、磁場と垂直方向での電子の運動は を向心力とする等速円運動である。一方、電子は磁場と平行方向には を受けないので等速運動をする。以上のことより電子は領域2ではらせん運動をする。等速円運動の半径と角速度は の大きさ \times に依存する。したがって、輝点の座標は B に応じて変化することがわかる。

問1 文章中の空欄 ～ を適切に埋めよ。ただし、 には語句を入れよ。その他にはそれぞれ $d, e, \ell, m, v, B, L, V$ から必要なものを用いよ。

問2 B_0 を e, m, v, L を用いて表せ。なお、解答には簡潔な説明をつけよ。

問3 図3の曲線は、 $B = \frac{B_0}{2}$ の場合における領域2での電子の運動の xy 平面への正射影である。この曲線を参考に、 $B = B_0$ と $B = \frac{B_0}{4}$ のそれぞれの場合について同様の曲線を解答欄の図に描け。また、それらの曲線の特徴を簡潔に説明せよ。ただし、図3と解答欄の \bullet 印は $(0, \text{ア})$ を、 \times 印は $B = \frac{B_0}{2}$ の場合の輝点をそれぞれ表している。

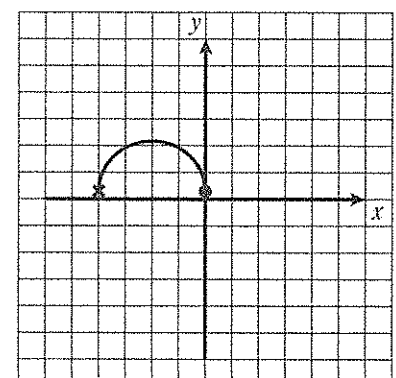


図3

〔3〕 回折格子について以下の文章を読み、下の問い(問1～4)に答えよ。ただし、問2～4には簡潔な説明をつけよ。

透過した光の干渉を利用するタイプの回折格子を「透過型回折格子」、反射による回折光の干渉を利用するタイプの回折格子を「反射型回折格子」という。以下では、回折格子の面は紙面に垂直、光は紙面に平行な向きに入射するものとする。また、文章中で用いられる角度は特に指定のない限り $-\frac{\pi}{2}$ rad 以上 $\frac{\pi}{2}$ rad 以下である。

I はじめに、図1のように、透過型回折格子の面に垂直に入射する波長 λ の単色光が、回折格子の法線(回折格子の面に垂直な直線)に対して角度 θ の向きに回折する場合を考える。ただし、 θ の符号は法線に対して左回りの角度が正、右回りの角度が負となるように定める。図1において、法線に対して θ の向きに回折する光が十分離れたスクリーン上に明線として観測される条件は、格子定数を d とすると、整数 m を用いて **ア** と表される。ここで、 m を明線の次数といい、次数 m の明線を m 次の明線という。なお、 m と θ の符号は一致しており、0 次の明線は光 L_0 (入射光と同じ向きに進む光) によってできる明線である。

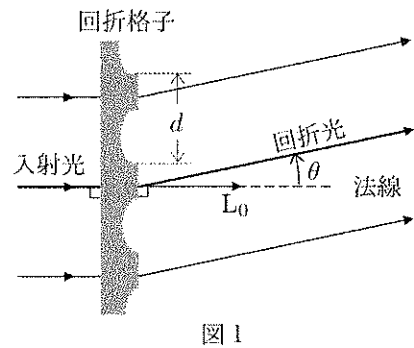


図1

次に、図2のように、透過型回折格子の面の法線に対して角度 $i (> 0 \text{ rad})$ で入射する波長 λ の単色光が、角度 φ の向きに回折する場合を考える。ただし、 φ の符号を図2のように、法線に対して光 L (入射光と同じ向きに進む光) の反対側にある回折光の法線からの角度が正となるように定める。このとき、格子定数を d とすると、隣り合う2つのスリットによる回折光の経路差は **イ** と表される。したがって、法線に対して φ の向きに回折する光が十分離れたスクリーン上に明線として観測される条件は、次数 m を用いて **ウ** と表される。なお、 m は整数で、 L に対して法線と同じ側に見られる明線の次数が正となるように m の符号を定める。このように定めることで、 m の符号と経路差の符号は一致する。

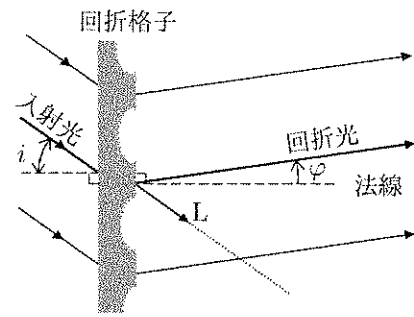


図2

では、反射型回折格子を使ったときの明線が観測される条件はどのように表されるだろうか。図3のように、法線に対して角度 $i' (> 0 \text{ rad})$ で入射する波長 λ の単色光が、角度 φ' の向きに回折する場合を考える。ただし、 φ' の符号を図3のように、法線に対して光 L' (反射の法則にしたがって反射する光) の反対側にある回折光の法線からの角度が正となるように定める。このとき、格子定数を d とすると、隣り合う2つのスリットによる回折光の経路差は **エ** と表される。したがって、法線に対して φ' の向きに回折する光が十分離れたスクリーン上に明線として観測される条件は、透過型回折格子の場合と同じように定めた次数 m' を用いて **オ** と表される。

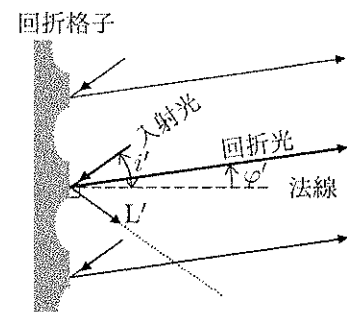


図3

問1 文章中の空欄 **ア** ~ **オ** を $d, i, i', m, m', \theta, \lambda, \varphi, \varphi'$ から必要なものを用いて適切に埋めよ。

問2 波長 λ の単色光を格子定数 d の反射型回折格子の面に垂直に入射させたとき、 $\pm n$ 次 ($n \geq 1$) までの明線は観測されたが、 $\pm(n+1)$ 次以上の明線は観測されなかった。このことから、 d の満たす条件を n, λ を用いて表せ。

II コンパクトディスク(CD)の記録面には同心円状に等間隔に溝が刻まれており、溝と溝の間の部分がスリットの役割をする。このため、レーザー光をCDに入射させたときも反射型回折格子のときと同じような明点を観測することができる。

そこで、CDを使った次のような実験を考えよう。図4のように、水平な机の上にCDの記録面を上にして置き、CDの縁に接するように十分大きなスクリーンを机に垂直に立てる。スクリーンとCDの接点をAとし、CDの中心に対してAと反対側のCDの縁からやや内側の点Bにレーザーポインターで波長 λ の光を紙面と平行な向きに入射させた。このとき、スクリーン上のAの真上の点 P_1 と P_2 に1次と2次の明点が観測された。ここでは、CDの厚みは無視できるものとする。また、CDにおける格子定数を d 、AB間の距離を D 、法線から線分 BP_1 の角度を α_1 、法線から線分 BP_2 の角度を α_2 、入射角を $\beta (> 0 \text{ rad})$ とする。

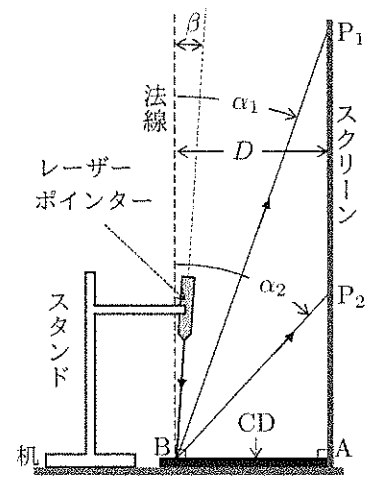


図4

問3 d と $\sin \beta$ を $\alpha_1, \alpha_2, \lambda$ から必要なものを用いて表せ。

問4 $\overline{AP_1} = 28.3 \text{ cm}$, $\overline{AP_2} = 10.0 \text{ cm}$, $D = 10.0 \text{ cm}$, $\lambda = 0.60 \mu\text{m}$ (ただし、 $1 \mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$) として、 d を有効数字2桁で求めよ。