

令和6年度入学者選抜学力検査問題

理 科

物 理 1 ページ～23 ページ

化 学 24 ページ～35 ページ

生 物 36 ページ～58 ページ

注 意 事 項

1. この冊子は、監督者から解答を始めるよう合図があるまで開いてはいけません。
2. 監督者から指示があったら、解答用紙の上部の所定欄に受験番号、座席番号を、また、下部の所定欄には座席番号をそれぞれ記入しなさい。その他の欄に記入してはいけません。
3. 選択科目は、届け出た科目について解答しなさい。それ以外の科目について解答すると失格となります。
4. 解答すべき問題の番号は、学部・学科等で異なるので、各科目の最初に書いてある注意事項の表で確認しなさい。
5. この冊子の余白の部分を計算、下書きに使用してもかまいません。
6. 解答用紙は、記入の有無にかかわらず、持ち帰ってはいけません。
7. この冊子は、持ち帰りなさい。
8. 落丁、乱丁または印刷不備があったら申し出なさい。

物 理

- 注意** 1. 志望する学部・学科等により、表に示す番号の問題を解答すること。
2. 解答は、問題文中に特に指示がない限り、**結果のみ**を解答用紙の所定の欄に記入すること。

志 望 す る 学 部 ・ 学 科 等		解 答 す る 問 題 番 号			
国際教養学部	志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	6
教育学部	志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	
理学部	数学・情報数理学科，化学科，生物学科，地球科学科志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	
理学部	物理学科	2	4	5	6
工学部	総合工学科(都市工学コース，デザインコース，物質科学コース，共生応用化学コース)	1	3	5	
工学部	総合工学科(建築学コース，機械工学コース，医工学コース，電気電子工学コース)	2	4	6	
情報・データサイエンス学部		2	4	6	
園芸学部	志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	
医学部	志望者のうち物理を選択する者	2	4	6	
薬学部	志望者のうち物理を選択する者	2	4	6	
看護学部	志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	
先進科学プログラム (方式Ⅱ)	物理学関連分野	2	4	5	6
先進科学プログラム (方式Ⅱ)	工学関連分野(都市工学コース，物質科学コース，共生応用化学コース)志望者，および化学関連分野，生物学関連分野志望者のうち物理を選択する者	1	3	5	
先進科学プログラム (方式Ⅱ)	工学関連分野(建築学コース，機械工学コース，医工学コース，電気電子工学コース)，および情報・データサイエンス関連分野	2	4	6	
先進科学プログラム (総合型選抜)		1	3	5	

- 1 同じ質量 m を持つ 2 つの物体 A, B を接合した物体 AB が、図 1 のように水平面上に置かれている。ばね定数 k 、自然長 ℓ の軽いばねを物体 B の一端につなぎ、ばねの他端は水平方向に自由に動くことができる台につなぐ。

図 1 のように、水平面上に原点 O、右向きを正とする x 軸をとる。物体 AB と台は x 軸上を運動するものとし、それらの位置は x 座標を用いて表すこととする。このとき、物体 AB の大きさは無視できる。また、物体は、 $x \leq 0$ の位置にあるときに水平面から摩擦力を受ける。一方、 $x > 0$ においては摩擦力を受けない。 $x \leq 0$ における静止摩擦係数を μ とする。重力加速度の大きさを g とし、以下の問いに、 m, k, ℓ, μ, g のうち必要な記号を用いて答えなさい。ただし、空気抵抗は無視できるものとする。

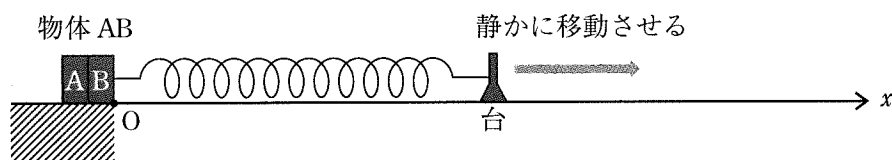


図 1

はじめ、物体 AB は $x = 0$ の位置にあり、物体 AB と台が静止していた。台を静かに x 軸の正の向きに移動させると、ある地点で物体 AB が動き出した。

問 1 物体 AB が動き出すときの自然長からのばねの伸びを求めなさい。

物体 AB が動き始めると同時に、台を固定した。その後、図 2 のように、物体 AB が点 O からもっとも離れた位置に到達した。ただし、物体 AB が台に達することはないものとする。

問 2 このときの物体 AB の x 座標と、物体 AB が動き始めてからその位置に到達するまでの時間をそれぞれ求めなさい。

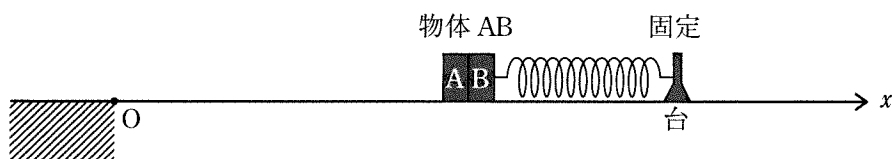


図 2

問 2 の直後、物体 A と物体 B の接合を解除した。この接合解除の前後において、物体 A と物体 B それぞれの運動エネルギーや弾性力による位置エネルギーは変化しないものとする。その後、物体 B は物体 A を押しながら左側に運動し、ある地点で図 3 のように分離した。

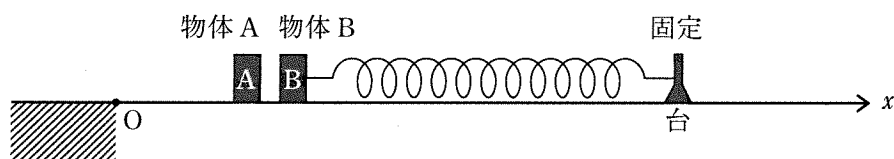


図 3

問 3 分離したときのばねの自然長からの伸びと、物体 AB が点 O から動き始めてから分離するまでの時間をそれぞれ求めなさい。

問 4 分離直後の物体 A の速さを求めなさい。

以下の問いでは、分離した時刻を $t = 0$ とする。

問 5 分離後の物体 A が点 O に到達する時刻を求めなさい。

問 6 分離後の物体 B の位置 x は、

$$x = C \sin \omega t + x_0$$

と表すことができる。定数 C , ω , x_0 を求めなさい。ただし、 $\omega > 0$ とする。

- 2 図1のように、質量 m の探査機が質量 M の惑星からの万有引力を受けて、そのまわりの楕円軌道(円軌道ではない)上を運動している。惑星の中心は点 O で静止しているものと見なしてよい。探査機は点 A で惑星と最接近し、そのときの惑星と探査機の距離は R 、探査機の速さは V_0 であった。また、探査機は惑星との距離が R' となる点 B で惑星との距離が最大となり、そのときの速さは V_0' であった。惑星には大気がなく、惑星および探査機の大きさは無視できるものとする。惑星の質量 M は探査機の質量 m に比べて十分に大きく、他の惑星等の引力の影響はないものとして、以下の問いに答えなさい。なお、万有引力定数を G とし、位置エネルギーは無限遠を基準とする。このとき、万有引力による探査機の点 A での位置エネルギーは $-G \frac{Mm}{R}$ となる。

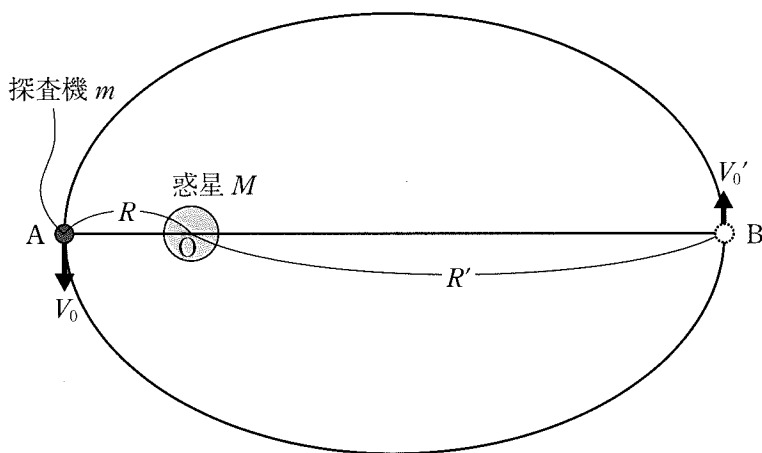


図1

- 問1 探査機が点 A を通る円軌道を描くときの速さを V_L とする。図1のように、探査機が点 A で惑星と最接近する楕円軌道を描くためには、点 A における速さ V_0 は V_L より大きくなければならない。 V_L を G , M , R を用いて表しなさい。

問 2 探査機が惑星から無限遠に飛び去らず楕円軌道を描くには、探査機の点 A における速さ V_0 はある値 V_U より小さくなければならない。 V_U を G , M , R を用いて表しなさい。

問 3 ケプラーの第二法則(面積速度一定の法則)に基づいて、点 A と惑星との距離 R を R' , V_0 , V_0' を用いて表しなさい。

問 4 点 B における探査機の速さ V_0' と惑星との距離 R' をそれぞれ G , M , V_0 , R を用いて表しなさい。

この探査機が、点 A で質量 m_1 (ただし、 $m_1 < m$ とする) の質量体を、速さ V_0 の探査機から見て相対的な速さ v で探査機進行方向に打ち出した。これによって、質量が $m - m_1$ となった探査機の速さは V_1 ($V_1 < V_0$)、軌道は図 2 中に破線で示した半径 R の円軌道となった。惑星は上記の円軌道(問題紙面)に垂直な軸のまわりに自転しており、質量体打ち出し後の探査機はこの惑星にとっての静止衛星(惑星上から見て常に同じ位置に静止して見える衛星)となった。なお、打ち出し後の探査機と質量体間に作用する引力は無視できるものとする。

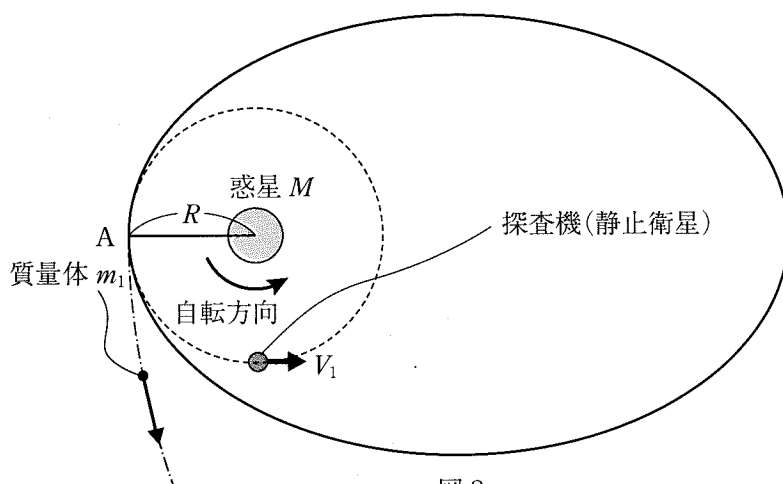


図 2

問 5 静止衛星の軌道上を運動する探査機の速さ V_1 を G , M , R を用いて表しなさい。

問 6 惑星の自転周期 T を G , M , R を用いて表しなさい。

問 7 打ち出し直後の質量体の相対的な速さ v を G , M , m , m_1 , V_0 , R を用いて表しなさい。

問 8 m_1 がある値 m_u より大きくなると、質量体はこの惑星の引力を振り切って無限遠に飛び去ることができなくなる。 m_u を G , M , m , V_0 , R を用いて表しなさい。

問 9 探査機から質量体を打ち出すために必要となるエネルギー ΔE は、探査機および質量体の運動エネルギーの打ち出し前後の差として

$$\Delta E = C(V_0 - V_1)^2$$

と表すことができる。 C を m , m_1 を用いて表しなさい。

- 3** 真空中に置いた平行板コンデンサーについて、以下の問いに答えなさい。ただし、コンデンサーの極板間の電場に対して、極板および誘電体の端の影響は無視できるものとする。

A

図1のように、厚さをもった2枚の金属極板を平行に置いて、コンデンサーを作製する。極板の底面積は S 、極板の面bと面cの距離は ℓ である。このコンデンサーに対して、内部抵抗を無視できる起電力 V の電池を極板の面aと面dに接続した。極板の面a, b, c, dに蓄えられる電荷をそれぞれ Q_a , Q_b , Q_c , Q_d とする。電池を接続する前は、 $Q_a = Q_b = Q_c = Q_d = 0$ であった。また、クーロンの法則の比例定数を k_0 とする。

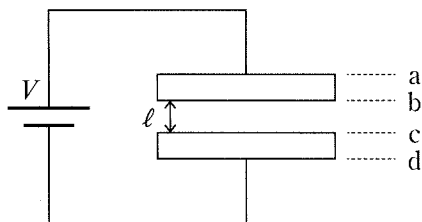


図1

- 問1 電池を接続してから十分な時間が経った後に、電荷 Q_b が面bの下側につく電場の大きさ E_b を Q_b , S , k_0 を用いて表しなさい。
- 問2 極板内の電場が0になることに注意して、 $\frac{Q_a}{Q_b}$, $\frac{Q_c}{Q_b}$, $\frac{Q_d}{Q_b}$ の値をそれぞれ答えなさい。
- 問3 問1の電荷 Q_b を V , S , ℓ , k_0 を用いて表しなさい。
- 問4 問1でコンデンサーに蓄えられたエネルギー U を V , S , ℓ , k_0 を用いて表しなさい。

問 5 問 1 の後, 電池をはずし, 極板の面 d を接地した。十分な時間が経った後の $\frac{Q_a}{Q_b}$, $\frac{Q_c}{Q_b}$, $\frac{Q_d}{Q_b}$ の値をそれぞれ答えなさい。

B

図2のような、平行板コンデンサーと誘電体がある。極板は正方形で、辺の長さは a である。誘電体を挿入していないときの静電容量は C_0 である。誘電体を完全に挿入したところ、コンデンサーは誘電体で満たされ、その静電容量は C_1 であった。

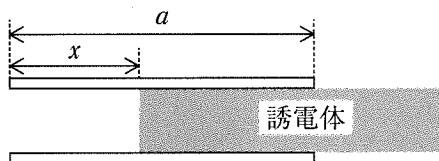


図2

問1 図2のように、コンデンサーの左端から x の位置まで誘電体を挿入した状態でのコンデンサーの静電容量を、 x の関数として $C(x)$ とする。 $C(x)$ を C_0 , C_1 , a , x を用いて表しなさい。

最初、極板に電荷は蓄えられておらず、電池にも接続されていなかった。誘電体を極板間に挿入した後、極板に内部抵抗を無視できる起電力 V の電池を接続した。十分な時間が経った後、図3のように外から力 F を加えて、誘電体をゆっくり右向きに、コンデンサーの左端より x の位置から $x+d$ の位置(ただし、 $x+d \leq a$)まで、移動させた。

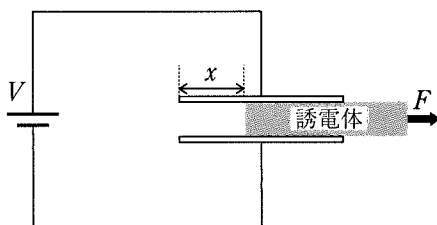


図3

問2 誘電体を移動させる間のコンデンサーの静電エネルギーの変化 ΔU を $C(x)$, $C(x+d)$, V を用いて表しなさい。

問 3 誘電体を移動させる間に上側の極板から電池に移動した電気量 ΔQ を $C(x)$, $C(x+d)$, V を用いて表しなさい。

問 4 誘電体を移動させる間に外から加えた力 F を C_0 , C_1 , a , V を用いて表しなさい。ただし、図 3 で右向きを正の向きとする。また、誘電体と極板間の摩擦は無視できるものとする。

- 4 真空中に置いた平行板コンデンサーについて、以下の問いに答えなさい。ただし、コンデンサーの極板間の電場に対して、極板および誘電体の端の影響は無視できるものとする。

A

図1のような、平行板コンデンサーと誘電体がある。極板は正方形で、辺の長さは a である。誘電体を挿入していないときの静電容量は C_0 である。誘電体を完全に挿入したところ、コンデンサーは誘電体で満たされ、その静電容量は C_1 であった。

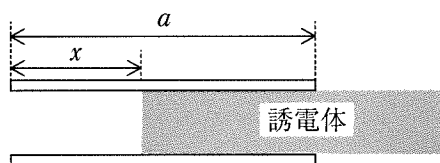


図1

- 問1 図1のように、コンデンサーの左端から x の位置まで誘電体を挿入した状態でのコンデンサーの静電容量を、 x の関数として $C(x)$ とする。 $C(x)$ を C_0 、 C_1 、 a 、 x を用いて表しなさい。

最初、極板に電荷は蓄えられておらず、電池にも接続されていなかった。誘電体を極板間に挿入した後、極板に内部抵抗を無視できる起電力 V の電池を接続した。十分な時間が経った後、図2のように外から力 F を加えて、誘電体をゆっくり右向きに、コンデンサーの左端より x の位置から $x+d$ の位置(ただし、 $x+d \leq a$)まで移動させた。

- 問2 誘電体を移動させる間のコンデンサーの静電エネルギーの変化 ΔU を $C(x)$ 、 $C(x+d)$ 、 V を用いて表しなさい。

- 問3 誘電体を移動させる間に上側の極板から電池に移動した電気量 ΔQ を $C(x)$ 、 $C(x+d)$ 、 V を用いて表しなさい。

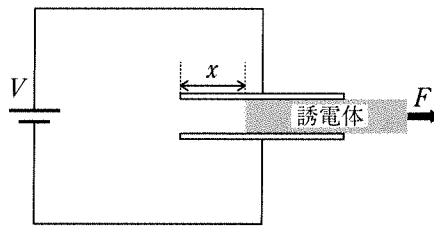


図 2

問 4 誘電体を移動させる間に外から加えた力 F を C_0 , C_1 , a , V を用いて表しなさい。ただし、図 2 で右向きを正の向きとする。また、誘電体と極板間の摩擦は無視できるものとする。

B

図3のような、極板面積の等しい2つの平行板コンデンサー C_L , C_R がある。 C_R の下側の極板は固定されている。 C_R の上側の極板は、絶縁体の天井からつり下げられた、ばね定数 k の絶縁体のばねにつながれており、鉛直方向に動くことができる。また、 C_R の上側の極板はインダクタンスの無視できる導線を介してスイッチともつながっている。極板とばね、導線の質量は無視できるものとする。 C_L の極板間距離は一定で ℓ である。スイッチは C_L の上側の極板と導線でつながっている。2つの平行板コンデンサーの下側は互いに導線でつながっており、接地されている。

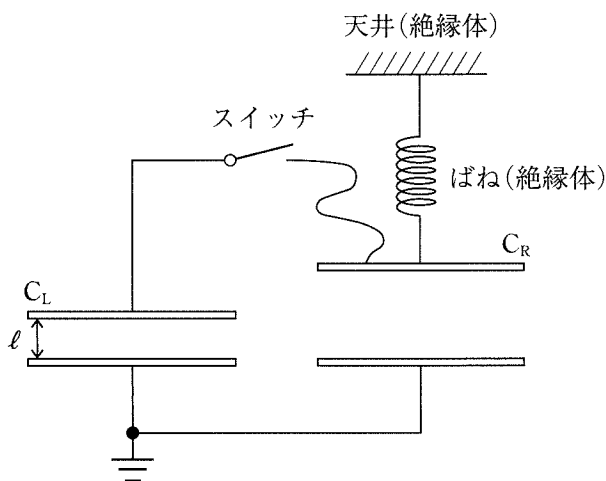


図 3

はじめ、スイッチは開いており、コンデンサーはともに帯電しておらず、 C_R の上側の極板は 2ℓ の極板間距離で静止していた。その後、スイッチを開いたまま、 C_R の上側の極板に電荷 Q (ただし、 $Q > 0$) をゆっくりと与えたところ、上側の極板は下側の極板に到達することなく、ある極板間距離で静止した。このとき、極板間距離は y_0 、極板間の電場の大きさは E であった。

問 1 C_R の上側の極板に加わる、ばねによる復元力 F_0 を、鉛直上向きを正として y_0 , ℓ , k を用いて表しなさい。

問 2 C_R の静電容量 C を Q , E , y_0 , ℓ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

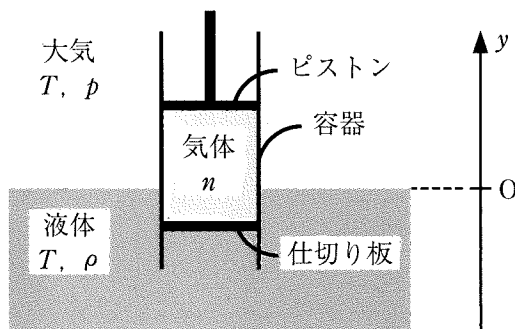
問 3 C_R の下側の極板から上側の極板に加わる静電気力 F_1 を、鉛直上向きを正として Q , E を用いて表しなさい。

その後、スイッチを閉じ十分な時間が経った後、 C_R の上側の極板は静止した。このとき、 C_R の極板間距離は y であった。

問 4 C_R の上側の極板上の電荷 Q_1 を Q , y , ℓ を用いて表しなさい。また、 C_R の極板間に発生する電場の大きさ E_1 を E , y , ℓ を用いて表しなさい。

問 5 C_R の極板間距離が $y = \frac{7}{4}\ell$ であったとする。このとき、 y_0 を ℓ を用いて表しなさい。

- 5 図のように、中心軸方向に十分に長い円筒容器が、液体と大気に接した状態で中心軸が鉛直となるように固定されている。鉛直上向きを正として y 軸をとる。円筒容器の上部にはピストンが、下部には薄い仕切り板が、それぞれ鉛直方向になめらかに動くよう取り付けられており、ピストンと仕切り板の間に物質 n の単原子分子理想気体が封入されている。ピストンの位置は容器の外部から自由に操作でき、仕切り板の下面は液体と接している。なお、容器の壁を通して熱は移動するが、ピストンや仕切り板を通した熱の移動は無視できるものとし、ピストンの質量、仕切り板の質量、気体の質量、液体の蒸発も無視できるものとする。また、容器外の大気と接する液面の高さは変化しないものとし、この位置を $y = 0$ とする。大気と液体の温度を T 、大気圧を p 、液体の密度を ρ 、重力加速度の大きさを g 、気体定数を R として、以下の問いに答えなさい。必要であれば、単原子分子理想気体の断熱変化では、その気体の圧力と体積を用いた $(\text{圧力}) \times (\text{体積})^{\frac{5}{3}}$ の値が一定であることを用いてよい。



図

はじめ、容器内の気体の圧力が p_0 (ただし、 $p_0 > p$) となるようにピストンの位置が固定されており、仕切り板の位置は $y = y_0$ で静止していた。このとき、気体の温度は T であった。この状態を初期状態と呼ぶことにする。

問 1 初期状態における気体の体積を ρ , g , n , R , T , p , p_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 2 y_0 を ρ , g , n , R , T , p , p_0 のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に、容器の壁を断熱材で覆い、容器内の気体の圧力が αp_0 (ただし、 $0 < \alpha < \frac{p}{p_0}$) となるようにピストンの位置をゆっくり操作すると、仕切り板の位置は $y = y_1$ で静止した。

問 3 このときの気体の体積を $\rho, g, n, R, T, p, p_0, \alpha$ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 4 このときの気体の温度を $\rho, g, n, R, T, p, p_0, \alpha$ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 5 気体の圧力が p_0 から αp_0 に変化する間の、気体の内部エネルギーの変化、および気体が外部にした仕事を、それぞれ $\rho, g, n, R, T, p, p_0, \alpha$ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

次に、容器の壁を覆っていた断熱材を外し、ピストンを操作しながら十分な時間が経過した。このピストンの操作の間、仕切り板の位置は常に $y = y_1$ のままであった。

問 6 このときの気体の体積は問 3 で答えた気体の体積の何倍となるかを $\rho, g, n, R, T, p, p_0, \alpha$ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 7 容器の壁を覆っていた断熱材を外してから十分な時間が経過するまでの間に気体が吸収した熱量を $\rho, g, n, R, T, p, p_0, \alpha$ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

- 6 回折格子に関する以下の問いに答えなさい。ただし、光は空气中を進むものとし、空気の絶対屈折率を1とする。また、光は図中の紙面内のみを進むものとする。

角度の単位にラジアンを用いるものとし、必要に応じて x の絶対値が1より十分に小さいときに成り立つ以下の近似式を用いてよい。

$$\cos x \doteq 1 - \frac{x^2}{2}, \quad \sin x \doteq \tan x \doteq x$$

A

図1のように、一定の間隔 a で細いスリットが開けられた薄い回折格子がある。この回折格子に入射角 θ で波長 λ のレーザー光を入射した場合を考える。

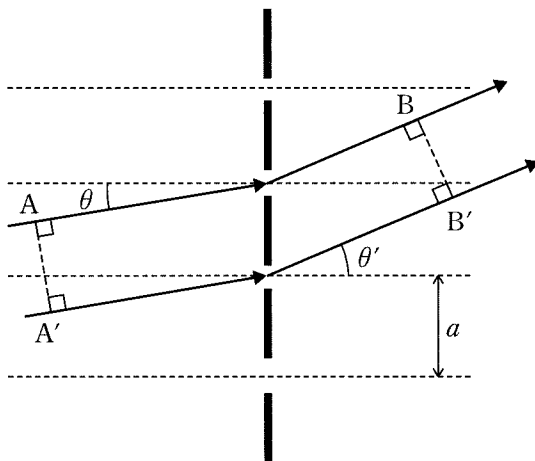


図1

- 問1 レーザー光の振動数を、光の速さ c および λ を用いて表しなさい。
- 問2 図1のように、隣り合うスリットを通過し、角度 θ' の方向に進む2本の平行な経路(経路AB, 経路A'B')を考え、それぞれの光学距離を d_{AB} , $d_{A'B'}$ とする。二つの経路を通る光の光路差($d_{A'B'} - d_{AB}$)を a , θ , θ' を用いて表しなさい。

(問題は次ページに続きます)

図2のように、この回折格子から距離 L だけ離れた位置に、回折格子と平行にスクリーンを設置したところ、スクリーン上には回折光による複数の明線が現れた。入射角 θ と等しい出射角の光線は0次回折光であり、これより上方に回折される光を下から順に1, 2, 3, … 次回折光、下方に回折される光を上から順に -1 , -2 , -3 , … 次回折光と呼ぶ。 m 次回折光(m は整数)の出射角を θ_m とする。ただし、図の下方に出射されるときは $\theta_m < 0$ とする。以下では、 θ および θ_m の絶対値は1より十分に小さいものと考えてよい。

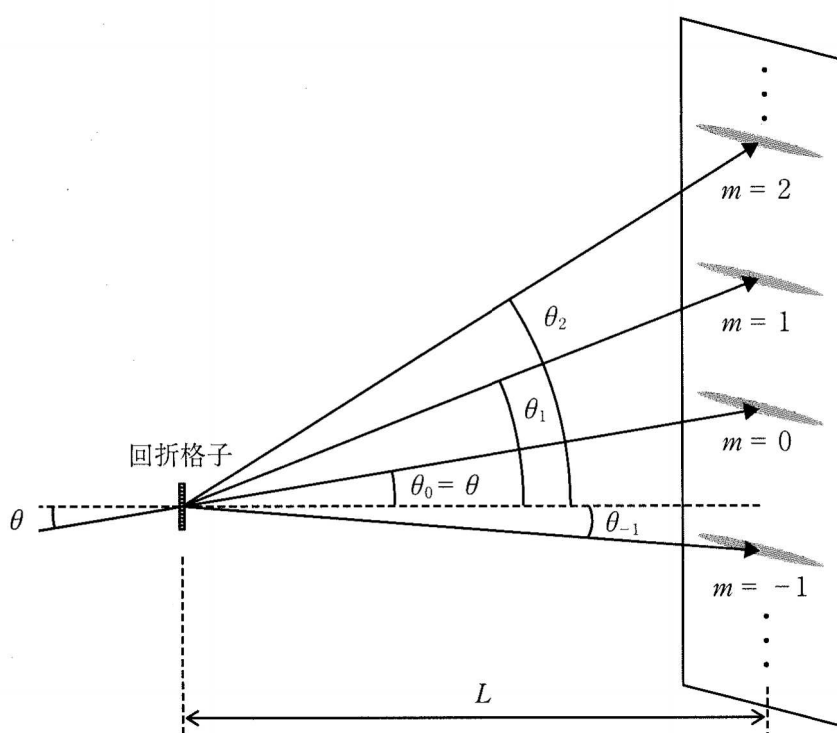


図 2

問 3 レーザー光は、問 2 で求めた光路差が波長の整数倍に等しくなる角度に回折される。このことから、 θ_m を a , m , θ , λ のうち必要な記号を用いて表しなさい。

問 4 スクリーン上の明線の間隔は一定であった。明線の間隔を a , L , λ を用いて表しなさい。

問 5 スクリーン上の 0 次回折光と 1 次回折光の明線の間隔は 36 mm であった。 $a = 24 \mu\text{m}$, $L = 125 \text{ cm}$ のとき、問 4 の結果を用いてレーザー光の波長を有効数字 2 桁で求めなさい。なお、必ず単位をつけて解答すること。

問 6 単色のレーザー光の代わりに白色の平行光を回折格子に入射したところ、明線のあった位置の近くには様々な色の模様が現れた。1, 0, -1 次回折光により現れる色の順序として、最も適切なものを以下の(a)~(f)から一つ選び、記号で答えなさい。なお、色の順序はスクリーンの上から下向きに並べたものである。

	$m = 1$	$m = 0$	$m = -1$
(a)	赤緑青	白	赤緑青
(b)	赤緑青	白	青緑赤
(c)	青緑赤	白	赤緑青
(d)	青緑赤	白	青緑赤
(e)	白	青緑赤	白
(f)	白	赤緑青	白

B

実際の回折格子では、形状を工夫することで特定の次数 m の回折光を他と比べて強くさせることができる。図3に示すように、 y 軸上の点 $A(0, y)$ に格子定数 a の薄い回折格子を置く。この回折格子は次数 $m = -1$ に光を集中させられるものとする。このとき、 x 軸上の点 $P(-p, 0)$ から出た波長 λ_0 の光は、回折格子を通して次数 $m = -1$ に対応する向きに回折され、点 $Q(q, 0)$ へ至った。ただし、 $y, p, q > 0$ とし、 $p, q \gg y$ が成り立つものとする。

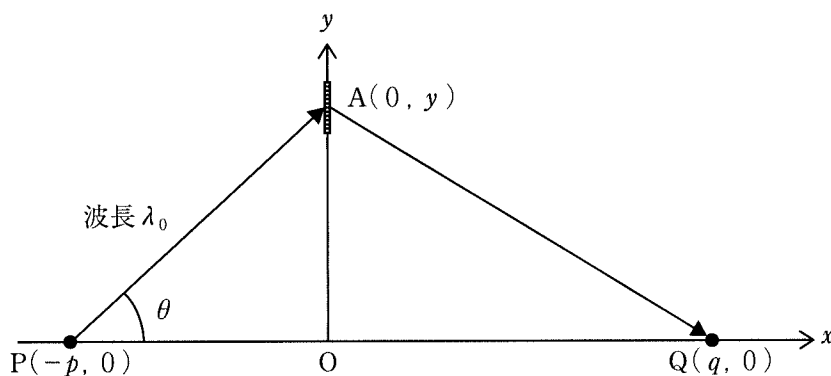


図3

問1 -1 次回折光が x 軸と交わるためには、入射角 θ がある値 θ_c より小さくなる必要がある。 θ_c を a および λ_0 を用いて表しなさい。

問2 この回折格子の格子定数 a を p, q, y, λ_0 を用いて表しなさい。

次に、図4のように、格子定数の少しずつ異なる小さな回折格子を y 軸上に多数並べる。それぞれの回折格子の格子定数と y 軸上の位置との関係が問2の結果を満たすようにすると、点 P から出た波長 λ_0 の光は点 Q に集光された。このような回折格子を用いた集光素子は、レンズと同等の役割を果たすので、回折レンズと呼ばれる。ただし、 λ_0 とは異なる波長 λ の光を用いると、点 Q とは異なる位置に集光される。以下では、波長 λ の光を入射した場合を考えよう。

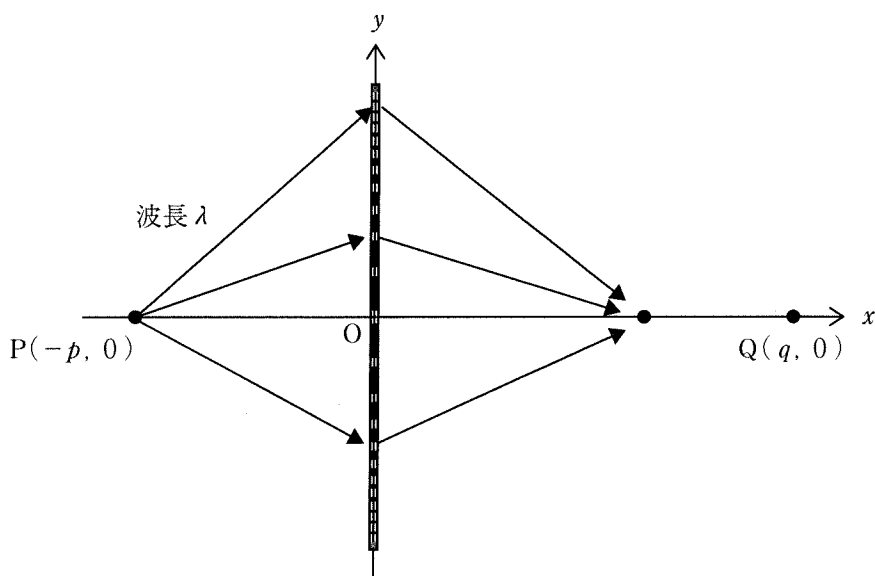


図 4

問 3 回折レンズを取り扱う前に、通常の凸レンズによる集光について考えてみよう。回折レンズの代わりに焦点距離 f の薄い凸レンズを y 軸に沿って置いたところ、点 $P(-p, 0)$ を出た光は点 $Q(q, 0)$ に集光された。このとき、 f を p および q を用いて表しなさい。

問 4 この回折レンズによって波長 λ の光が集光される点の x 座標を p, q, λ, λ_0 を用いて表しなさい。

問 5 回折レンズの焦点距離を凸レンズと同様に定めることができる。すなわち、光源と回折レンズの距離、回折レンズと集光点の距離、および焦点距離の間にはレンズの式が成り立つものとする。ただし、このようにして定めた焦点距離は光の波長に依存する。波長 λ_0 におけるこの回折レンズの焦点距離を f とするとき、波長 λ における焦点距離を f, λ, λ_0 を用いて表しなさい。

