

令和 5 年度
入学者選抜学力試験問題
前期日程

理 科

注 意

1. 解答は、科目ごとに別冊の解答用紙の所定の解答欄に書くこと。
2. 各学部志望者は、以下のとおり選択し、解答用紙の表紙の選択別欄に○印を記入すること。
理学部志望者——理科 3 科目の中から 2 科目
生活環境学部及び工学部志望者——理科 3 科目の中から 1 科目
3. 選択した科目の解答用紙の表紙の※印欄に、本学受験番号・氏名を記入すること。
受験番号は、本学受験票の受験番号を記入すること。
※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。
4. 解答用紙の表紙の選択別欄に指定科目数をこえて○印をつけた場合は、すべての解答を無効とする。
5. 試験終了後、この問題冊子は持ち帰ること。
6. 問題冊子総ページ数——23
物 理——1～8 ページ 化 学——9～15 ページ
生 物——16～23 ページ
7. 解答用紙ページ数
物 理——10 ページ 化 学——6 ページ
生 物——3 ページ

物 理

I 磁場（磁界）中のコイル、および電気回路について、以下の問いに答えよ。

問1 図1のように、磁束密度の大きさ B の一様な磁場中で、磁場の向きに垂直な軸のまわりを、面積 S の長方形の1巻コイル $abcd$ が角速度 ω [rad/s] で回転している。端子 P と端子 Q の間の幅は十分小さいものとする。

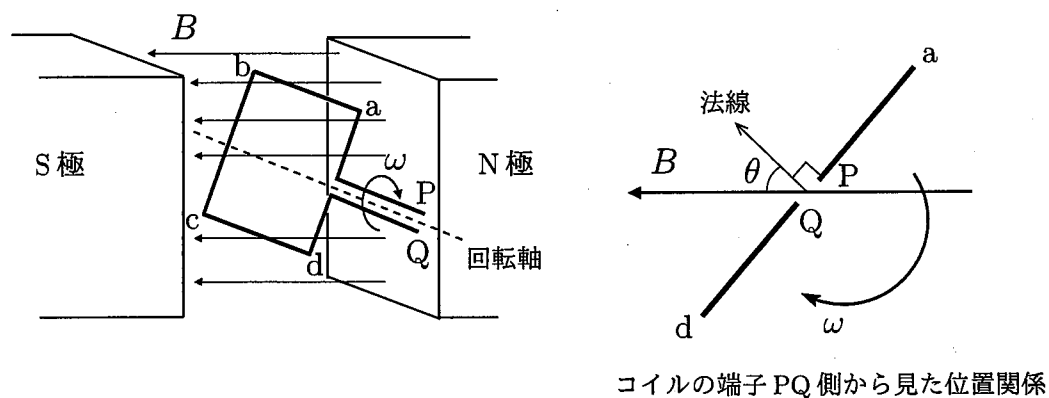


図1

- (1) 磁場の向きとコイルの面の法線のなす角が θ [rad] のとき、コイルを貫く磁束を求めよ。ただし、コイルの面を図1の法線の矢印の向きに貫く磁束を正、逆向きを負とする。
- (2) 角 θ を、 ω と時刻 t [s] を用いて表せ。ただし、コイルを貫く磁束が最大値をとる時刻を $t = 0$ とする。
- (3) コイルに発生する誘導起電力 (P に対する Q の電位) を求めよ。ただし、 Δt [s] が十分に小さいとき、

$$\cos \omega(t + \Delta t) - \cos \omega t \approx -\omega \Delta t \sin \omega t$$

が成り立つことを用いてもよい。

- (4) 誘導起電力の最大値を求めよ。

物 理

I のつづき

問2 問1において、図1の端子P、Qから引き出した2本の導線を、図2のように、抵抗 R の両端に接続した。

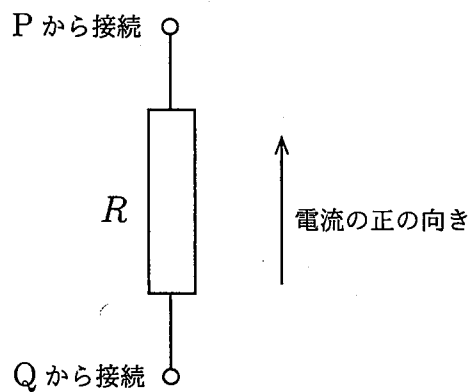


図2

- (1) 時刻 t において抵抗に流れる電流を求めよ。ただし、図2の矢印の向きを電流の正の向きとする。
- (2) 時刻 t の瞬間における、抵抗の消費電力 P を求めよ。
- (3) 消費電力 P の最大値と最小値を求めよ。
- (4) 消費電力 P の時間平均を求めよ。

物 理

II 空気中に置かれたプリズムに関する以下の問いに答えよ。ただし、空気の絶対屈折率を1とする。

問1 図1のように、頂角が α の二等辺三角形のプリズムに入射した単色光が、点Pおよび点Qで屈折し、点Qより出ていく場合を考える。点Pでの入射角と屈折角をそれぞれ θ_1 と θ'_1 とし、点Qでの入射角と屈折角をそれぞれ θ'_2 と θ_2 とする。また、点Pに入射する光線と点Qから出る光線とのなす角(偏角)を ϕ とし、プリズムの絶対屈折率を n ($n > 1$)とする。

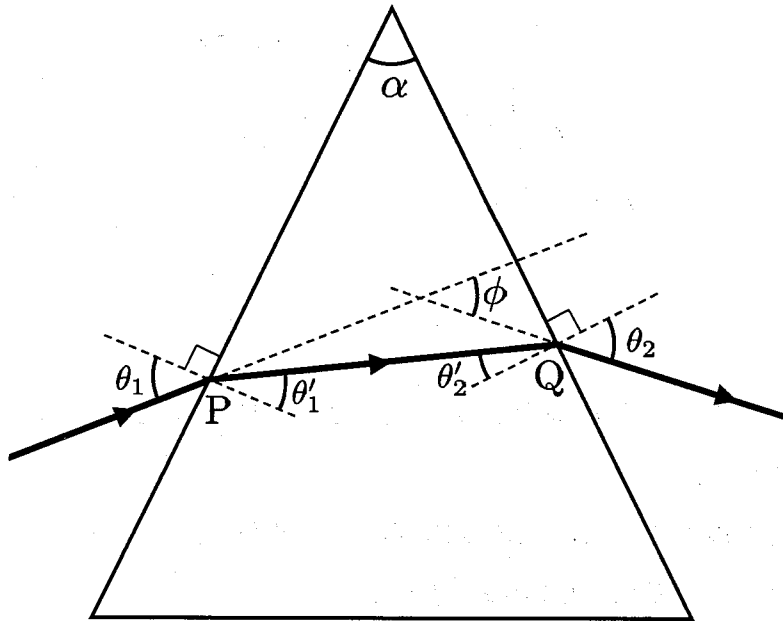


図1

- (1) θ_1 と θ'_1 の関係を n を用いて表せ。
- (2) θ'_2 が臨界面 i_0 をこえると、プリズム内部から点Qに達した単色光は、点Qですべて反射されてしまう。 i_0 と n の間に成り立つ関係式を示せ。
- (3) α を、 θ'_1 、 θ_2 を用いて表せ。
- (4) 偏角 ϕ を、 α 、 θ_1 、 θ_2 を用いて表せ。
- (5) $\theta_1 = \theta_2$ のとき、偏角は $\phi = \phi_0$ となった。このとき、 n を、 ϕ_0 、 α を用いて表せ。

物 理

II のつづき

問2 図2のように、平行で位相のそろった波長 λ の単色光が、頂角 β [rad]をもつ直角プリズムとスクリーンSに垂直に入射している。直角プリズムにより偏角 δ [rad]で屈折した単色光と、直角プリズムを通ることなく直進した単色光がスクリーンS上で干渉縞を作る場合を考える。ここで、直角プリズムの絶対屈折率は n ($n > 1$)とし、また、 β と δ は十分小さいものとする。以下では、角 x [rad]が十分小さいときに成り立つ近似式 $\sin x \approx x$ を用いよ。

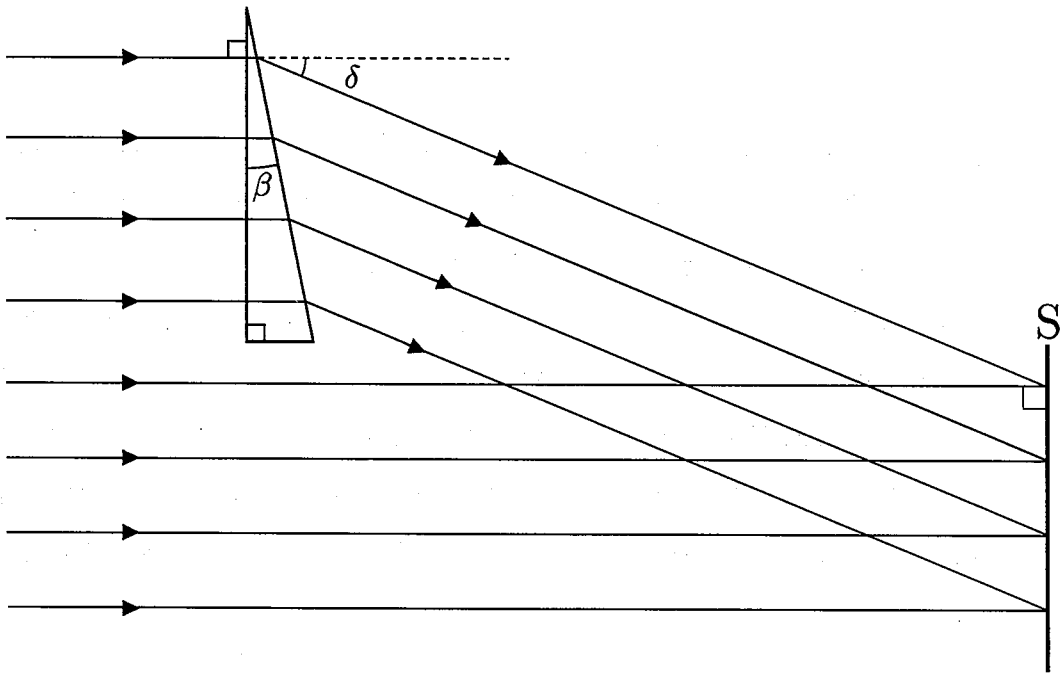


図2

- (1) 偏角 δ を、 β 、 n を用いて表せ。
- (2) 干渉縞の間隔を、 λ 、 δ を用いて表せ。
- (3) このプリズムを、絶対屈折率が n' ($n' > n$)である同じ形のプリズムに変更したとき、干渉縞の間隔は屈折率 n のものを用いたときと比べて広がるか、狭くなるか、理由を述べ、解答欄の該当するものに丸印をつけて答えよ。

物 理

Ⅲ 図1のように、1個の磁石球 B と 2個の鉄球 C, D をならべ、木製のレールに静止させておく。磁石側から鉄球 A をゆっくりとした速さで衝突させると、鉄球 D が大きな速さで飛び出した。奈美さんと良子さんは、この仕組みを考える探求活動を行った。以下の探求活動の説明と2人の討論を読み、問いに答えよ。

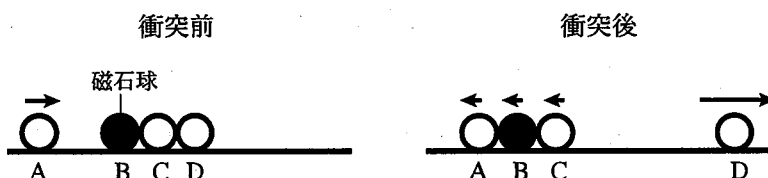


図 1

図2のように、磁石球 B と鉄球 A, C, D に軽い糸をとりつけ、ABCD の順に水平に接触させて、天井から吊り下げた装置を作った。この ABCD がある水平面を、高さの基準とする。最初、B, C, D は静止させたまま、A のみを、糸をはった状態で左側に持ち上げ、静止させた。A を持ち上げた高さを h_A とする (図2 (a))。次に、静かに A から手を離し、B に衝突させたところ、D のみが右側に飛び出した。D の最高到達点の高さを h_D とする (図2 (b))。 h_A を変化させて、 h_D を測定した結果を表1に示す。鉄球と磁石球は小さく、また、その質量はすべて等しく m とし、重力加速度の大きさを g とする。図2 (a) および (b) の状況では、A および D は、B から十分離れており、磁力 (磁気力) を受けないものとする。また、空気抵抗は無視できるものとする。

奈美さん：表1の結果を見ると、A を持ち上げた高さよりも、衝突後に飛び出た D の方が高く持ち上がっていて、力学的エネルギー保存則が成り立っていないようにみえるよ。とても不思議だよね。

良子さん：この運動の様子を細かく分けて考えてみましょう。

物 理

III のつづき

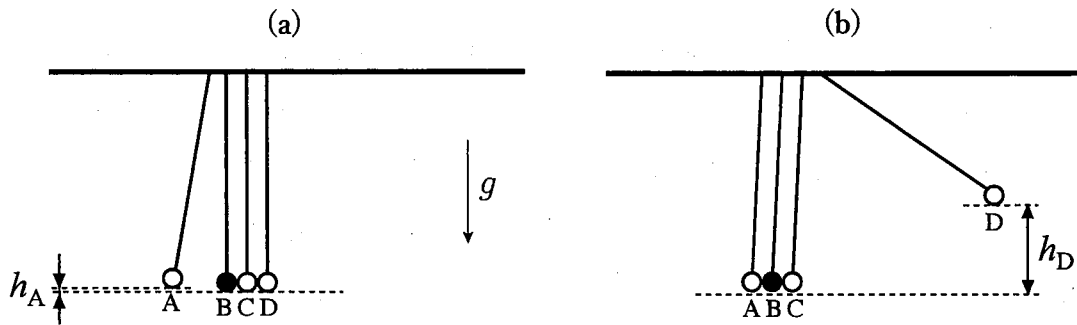


図2

表1

h_A [cm]	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0
h_D [cm]	25.4	26.0	26.6	27.1	27.5	28.1	28.5	29.2	29.8

【考察1】 まず，衝突直前までの運動を考察しよう。

奈美さん：AとBが近づくと，磁石の影響で，AとBには引きあう力がはたらき，Aはさらに加速するんじゃない？

良子さん：ということは，磁力はAに仕事をすることになるね。それなら，以下のような仮説を立ててみましょう。

仮説1： 運動エネルギーと重力による位置エネルギーを合わせた力学的エネルギーの変化量は，磁力がした仕事と等しい。

問1 Aから手を離してから，衝突直前までの間に，磁力がAにした仕事を W_A とする。仮説1のもとで，衝突直前におけるAの速さ v_A を， h_A ， W_A ， m ， g を用いて表せ。ただし，鉄球と磁石球を吊り下げた糸は十分長く，衝突直前においてAは最下点にあると仮定してよい。

物 理

III のつづき

【考察2】 つぎに、衝突直前から直後までの運動の変化を考察しよう。鉄球と磁石球を吊り下げた糸は十分長く、衝突直前から直後までは、A、B、C、Dは水平方向のみに直線運動を行うと仮定する。また、この衝突において、力学的エネルギーは保存すると仮定する。

AとBが近づくと、AとBには引きあう力がはたらき、衝突直前においてBは左向きに運動している。このとき、図3(a)のように、B、C、Dは離れることなく運動を行ったため、質量 $3m$ の1つの物体(物体BCD)とみなすことができる。衝突直前の物体BCDの速さを v_{BCD} とする。

衝突直後では、図3(b)のように、Dのみが右向きに運動した。このときのDの速さを v_D とする。一方、A、B、Cは離れることなく左向きの運動を行ったため、質量 $3m$ の1つの物体(物体ABC)とみなすことができる。衝突直後の物体ABCの速さを v_{ABC} とする。

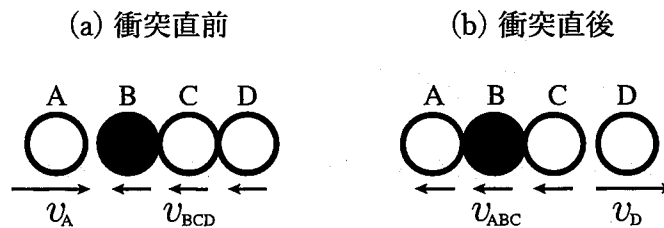


図3

問2 衝突直前から直後までの運動において、磁力がする仕事は無視できるとして、力学的エネルギー保存則および運動量保存則を表す式を、 v_A 、 v_{BCD} 、 v_{ABC} 、 v_D 、 m を用いて示せ。

問3 問2の結果から、衝突直後のDの速さ v_D が、 $v_D = v_A$ となることを示せ。

物 理

Ⅲ のつづき

【考察3】最後に、衝突直後から、Dが最高点 h_D に達するまでの運動を考察しよう。このときも、物体ABCとDとの間には磁力による引きあう力がはたらく。衝突直後から、Dが最高到達点に達するまでに磁力がDにした仕事を W_D とする。ただし、磁力による力の向きと、運動の向きが逆になるため、 $W_D < 0$ である。

問4 仮説1を考慮して、最高到達点の高さ h_D を、 v_D 、 W_D 、 m 、 g を用いて表せ。

【考察4】以上の考察をふまえて、奈美さんと良子さんは討論を続けた。

奈美さん：これまでに考察した式から、 h_A と h_D の関係を求めると、

$$h_D = h_A + \frac{1}{mg}(W_A + W_D)$$

となるね。この式から、磁力がした仕事 $W_A + W_D$ がゼロでない場合には、 h_A と h_D は異なることが分かるね。

良子さん：衝突前に磁力がAにした正の仕事 W_A ($W_A > 0$)と、衝突後に磁力がDにした負の仕事 W_D ($W_D < 0$)の大きさが異なり、 $|W_A| > |W_D|$ となっていて、 $W_A + W_D$ が正の量となるために、 $h_A < h_D$ となるんだね。

奈美さん：表1の結果とこの関係式を用いて、 $W_A + W_D$ の値を見積もってみましょう。

問5 横軸に h_A の値、縦軸に h_D の値をとって、表1の結果を解答用紙のグラフに示せ。

問6 磁力がした仕事 $W_A + W_D$ は何Jか。問5で得られたグラフから見積もり、有効数字1桁で示せ。ただし、 $m = 14\text{ g}$ および $g = 9.8\text{ m/s}^2$ とする。また、 $1\text{ J} = 1\text{ kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}^2$ である。