

令和5年度(前期日程)

入学者選抜学力検査問題

物 理

〔注意事項〕

1. 監督者の指示があるまで、この冊子と解答用紙を開いてはいけません。
2. この冊子の問題は9ページからなっています。また、解答用紙は3枚、下書用紙は1枚あります。監督者から解答開始の合図があったら、この冊子、解答用紙を確認し、落丁・乱丁および印刷の不鮮明な箇所などがあれば、手をあげて監督者に知らせなさい。
3. 解答用紙には、受験番号を記入する欄がそれぞれ2箇所ずつあります。監督者の指示に従って、すべての解答用紙(合計3枚)の受験番号欄(合計6箇所)に受験番号を必ず記入しなさい。
4. この冊子の白紙と余白は、計算などに適宜使用してよい。
5. 解答は、必ず別紙の解答用紙の指定された場所(問題番号や設問の番号・記号などが対応する解答欄の中)に記入しなさい。その際、特に要求されていなければ、途中の計算式などを書かずに、問いに対する答えのみを記入しなさい。
6. 解答用紙の欄外や裏面には何も記入しないこと。
7. 下書用紙への記入の有無・内容は自由です。
8. 解答用紙は、持ち帰ってはいけません。
9. この冊子および下書用紙は、持ち帰りなさい。

I 小球の運動エネルギーが、衝突をとおして他に移る現象について、いくつかの状況を想定し考察してみよう。

まず、水平で滑らかな台上において、質量 m の小球 A が、静止している質量 M の小球 B に衝突する場合を考える(図1)。A と B は完全弾性衝突してそれぞれの速度を変えるが、衝突の前後をとおして、両者の軌道が一定の直線から外れることはない。

- (1) 衝突する前の A の速度が $v (> 0)$ であったとして、衝突後の A の速度(ア)、および B の速度(イ)を求めよ。符号に注意すること。
- (2) 衝突する前の A の運動エネルギーのうち、衝突によって B に移る割合 p を考察する。2つの小球の質量の比を表す式 $M = \beta m$ における係数 β を変数として、 p を β の関数として表わせ(ア)。また、関数 $p(\beta)$ のグラフとしてふさわしいものを、図2の(a)~(f)の中から選べ(イ)。
- (3) 問い(2)の β の値を自由に設定できるとすれば、とり得る p の最大値はいくらか(ア)。また、 p が最大となる場合の、衝突後の A の速度を求めよ(イ)。



図1

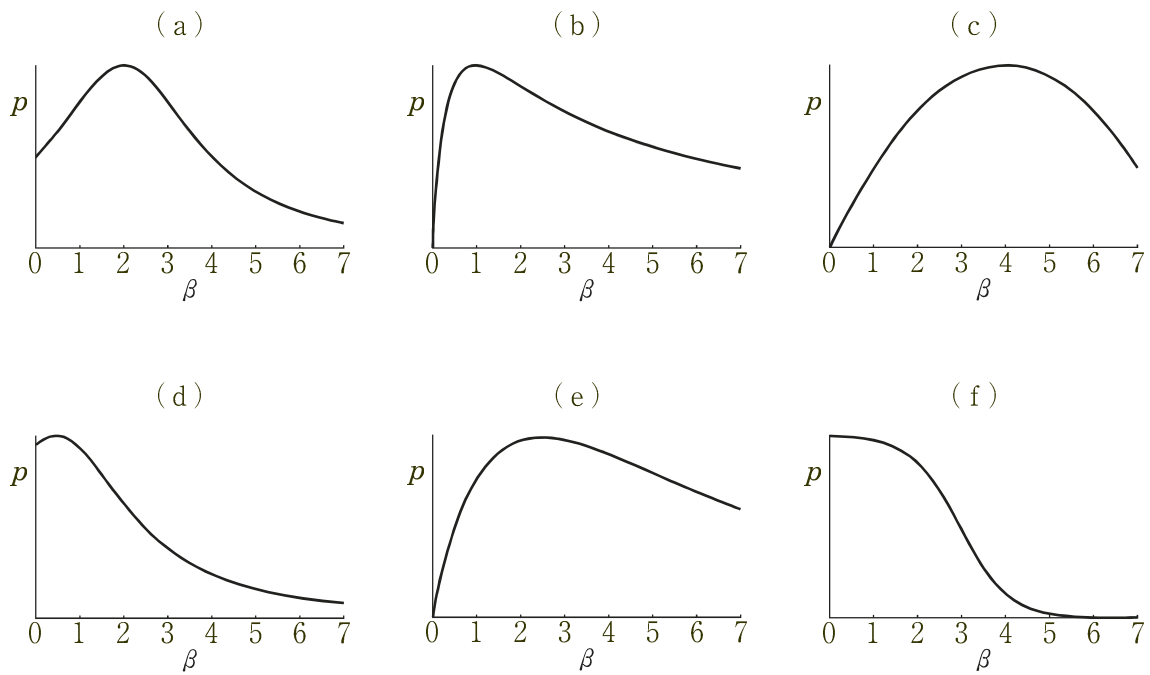


图2

次に、図3のように、水平な台の上面で、歯車が中心軸のまわりを矢印の向きに回転していて、その歯に対して、左右から同じ質量 m の2つの小球が衝突する現象を考える。歯は歯車の中心に対して対称的な位置にあり、歯車の円周の2本の接線に沿って速さ v で進んできた2つの小球は、中心からの距離 R のところで、互いに反対側にある2つの歯に同時に衝突する。図4(拡大図)は、この衝突の瞬間を示している。生じる衝突は完全弾性衝突であるが、歯と小球の質量の比が十分大きいので、1回の衝突による歯車の角速度の変化は無視できる。以下の空欄に入る適切な式を答えよ。

- (4) 図4に示す衝突点 S における歯の速度を V で表せば、 S で衝突する直前の小球の歯に対する相対速度は $\boxed{\text{(ア)}}$ であり、衝突直後には、この相対速度が $\boxed{\text{(イ)}}$ 倍になる。このことから、衝突後の小球の速度が0になるためには、 $V = \boxed{\text{(ウ)}}$ であればよいことがわかる。衝突点 T についても、 v および V の符号を反転させれば同様に考えることができる。つまり、あらかじめ歯車の角速度を一定値 $\boxed{\text{(エ)}}$ にしておけば、衝突前の2つの小球がもつ運動エネルギーのすべてが歯車に移る。

問い(4)の設定と同じ台と歯車を使うが、今度は、質量 m の小球を多数用意して、歯車の左右の十分隔たったところから、一定の速さ v を与えた小球を次々に発射して歯車の歯に衝突させる。一定の時間間隔で発射された小球は、左右から歯車の歯に向って進む列となり、2つの衝突点で同時に、次々に歯に衝突する。衝突の瞬間の状況は図5のようになる。ただし、衝突後に速度を失った小球は落下して衝突点にとどまらないため、次の衝突を妨げることはない。

ここで、歯車には、外部に仕事をする負荷装置がつながっていて、その仕事率を調整することができるとする。

一定の間隔 d で連なるように小球を発射し続け、負荷装置を適切に調整すると、問い(4)の(エ)の角速度で回転する歯車の歯に対して、小球のすべてが規則正しく衝突する定常的な状態が実現した。

- (5) この状態をある程度長い時間観察するとして、左右の小球の流れの列から歯車が受ける平均の偶力のモーメントの大きさ(ア)、および、それをとおして歯車が2列の小球の流れから受けとるエネルギーに関する平均の仕事率(イ)を求めよ。

(配点率 36%)

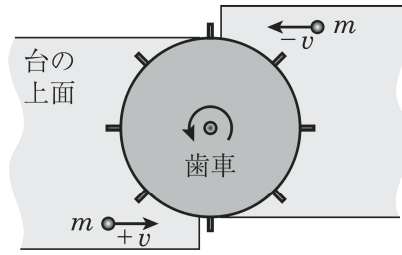


図 3

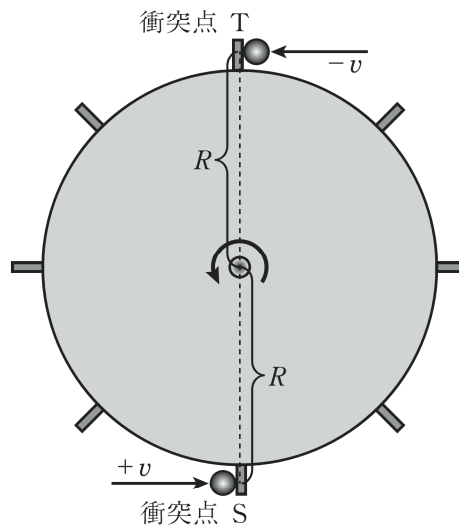


図 4 小球が歯に衝突する瞬間(拡大図)

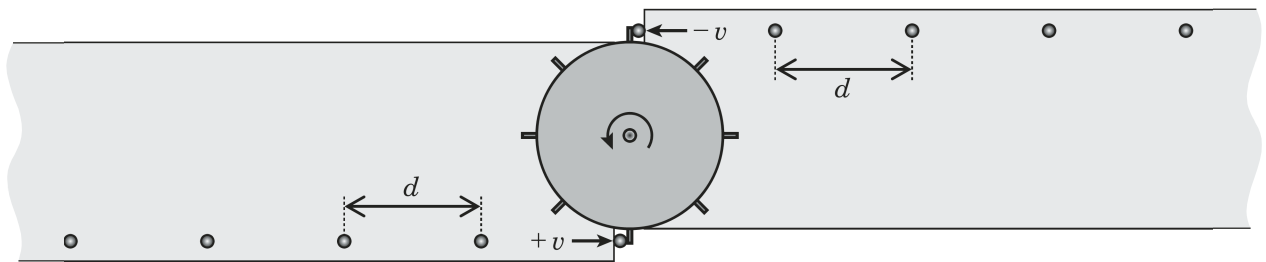


図 5 小球の流れの列と回転する歯車の衝突

II 導線が円筒状に密に巻かれた、巻き数が N のソレノイドコイル P がある。コイルの断面積は S 、長さは l で半径に比べて十分に長い。コイルの端子を a および b とし、電流を流すとき、 a から b への方向を正にとる。コイルの抵抗は無視でき、また、真空の透磁率を μ_0 とする。

- (1) コイル P に流れる電流を i とするとき、 P 内部を貫く磁束はいくらか。
- (2) 微小時間 Δt の間に、電流が i から $i + \Delta i$ に増加したとする ($\Delta t > 0$, $\Delta i > 0$)。 P に生じる誘導起電力の大きさはいくらか。また、その向きは $a \rightarrow b$, $b \rightarrow a$ のどちらであるかを選べ。
- (3) P の自己インダクタンスを求めよ。

次に、インダクタンス L のコイル、抵抗値が R の2つの抵抗、電気容量 C のコンデンサー、起電力 E の直流電源、およびスイッチ S_1 , S_2 , S_3 を使った図1のような回路を作った。最初、 S_1 は閉じており、 S_2 および S_3 は開いていて、コンデンサーに電荷は蓄えられていない。この状態を初期状態とする。

時刻 $t = 0$ において S_2 を閉じた。十分に長い時間が経った後、 $t = t_1$ において S_2 を閉じたまま S_1 を開いた。

- (4) コイルに流れる電流、ならびに ab 間の電圧の時間変化を表すグラフの概形はどのようなものになるか、図2の選択肢(ア)~(シ)の中から最も近いものをそれぞれ選べ。電流は図1の矢印が示す向きを正とし、電圧は図1の a に対する b の電位差である。
- (5) 時刻 $t = t_1$ の直前にコイルに蓄えられていたエネルギーを求めよ。

時刻 t_1 から十分に時間が経った後、 $t = t_2$ において、 S_3 を閉じて S_2 を開いたところ、コンデンサーは充電を始めた。その後、回路の電流は一定の周期で向きを変え、 ab 間の電圧も周期的に変化した。

- (6) 下線部の現象を何と呼ぶか。
- (7) 時刻 t_2 から、回路に流れる電流が最初に0になるまでの時間を求めよ。
- (8) ab 間の電圧の最大値はいくらか。

図1におけるインダクタンスが L のコイルを、同じ形状で巻き数が半分のコイルに取り替えて、同じ実験をあらためて初期状態から行った。

- (9) 時刻 $t = t_1$ の直後の ab 間の電圧の大きさは、コイルを取り替える前の場合と比べて大きくなるか、小さくなるか、同じであるか、答えよ。
- (10) 時刻 $t = t_1$ の直後から ab 間の電圧は変化してある一定値に近づいていくが、その変化の速さはコイルを取り替える前の場合と比べて速くなるか、遅くなるか、同じであるか、答えよ。

(配点率 33%)

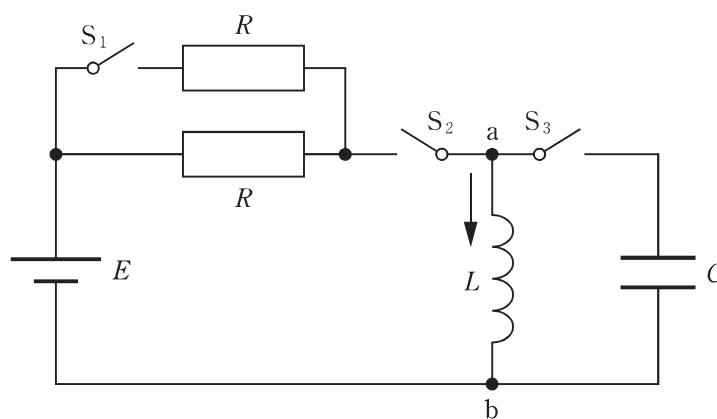


図1

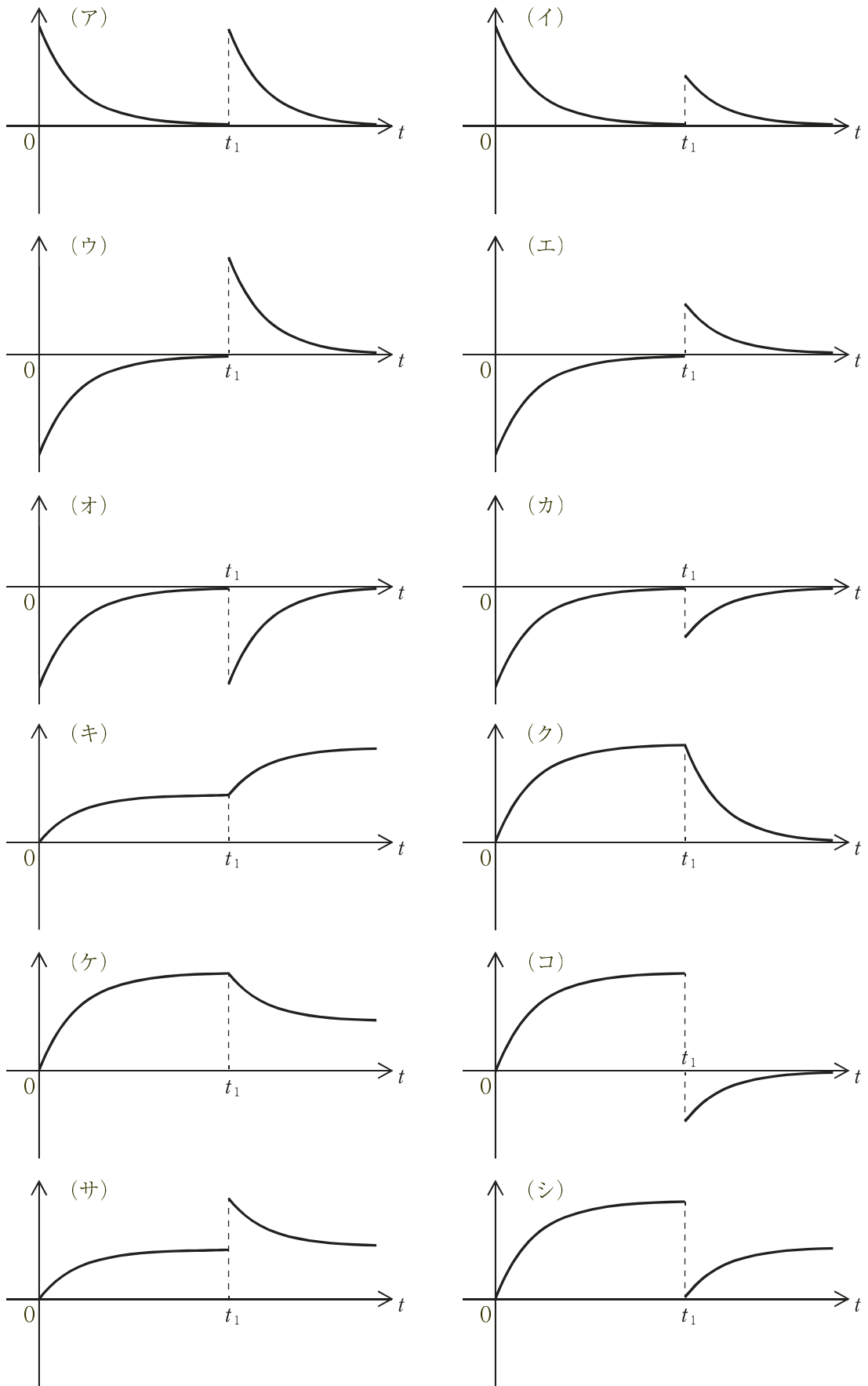


図2 電流または電圧の時間変化

III

図1のように、頂角 A の三角プリズムに透明な試料の平らな面を密着させ、三角形の底辺側に置いた点光源から、プリズムをとおして試料へ単色光を照射する。プリズムと試料の境界面で反射した光は、頂角 A を挟んだ向かいの斜面で屈折し、スクリーンに達する。プリズムの屈折率は n_p 、試料の屈折率は n_s (ただし $n_p > n_s$)、空気の屈折率は1であるとする。

この装置における光路を考え、プリズムと試料の境界面で反射するときの入射角を B 、プリズムから出るときのプリズムの斜面に対する入射角を C 、屈折角を D とおく。

- (1) C を B と A を使って表せ。ただし $B > A$ の範囲で考えよ。
- (2) C と D と屈折率の間に成立する関係式を表せ。

さらに、以下では、図1の点 P における入射角 B がプリズムと試料の境界面の臨界角に等しいとして答えよ。なお、この臨界角は A より大きいとする。

- (3) $\sin B$ と $\cos B$ のそれぞれを、 n_p と n_s を使って表せ。
- (4) $\sin D$ を、 A 、 n_p 、 n_s を使って表せ。
- (5) 問い(4)で得られた関係式をもとに、屈折率 n_s を、 n_p 、 A 、 D を使って表せ。
- (6) スクリーン上の光の明暗はどのように観察されるか、図2の(ア)～(カ)から最も適切なものを選び。ただし、観察される光は、頂角 A を挟む2面でそれぞれ1回だけ反射・屈折した光であり、プリズムを出るときに全反射しないとしてよい。なお図2では、明を白く暗を黒く描いた。

(配点率 31%)

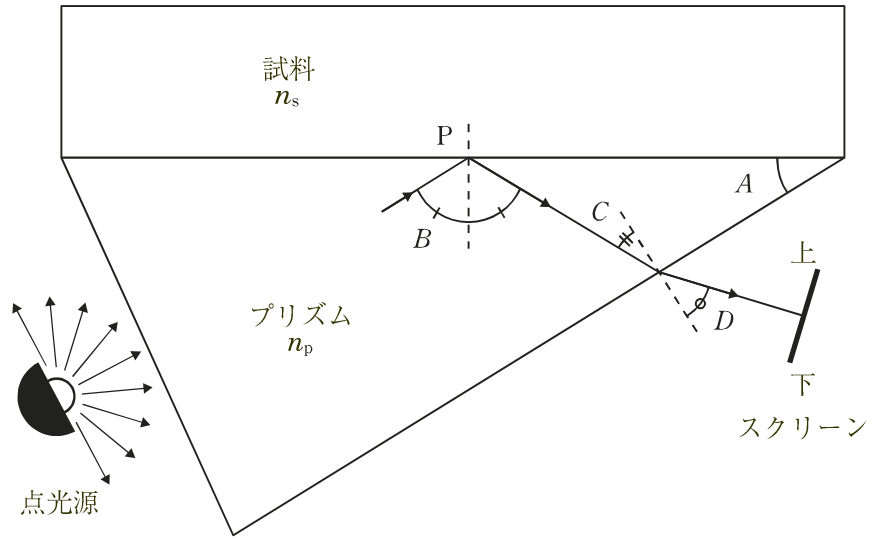


図1

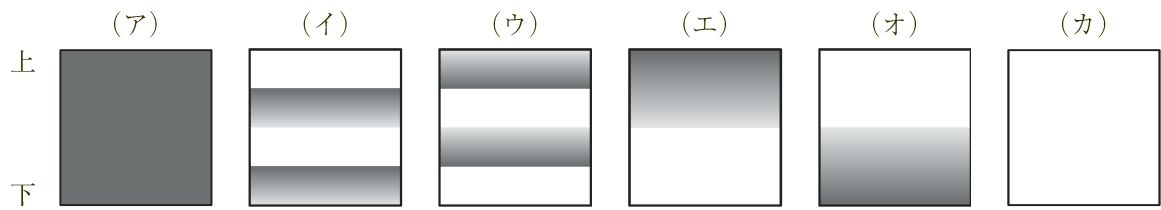


図2

(以 上)