

令和3年度(後期日程)

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4ページからなっています。また、解答用紙は2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2枚)の受験番号欄(合計4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 一定量の乾いた砂を入れた砂時計の重さは、時間を計っているときと、計り終わったあとで、どのような差を示すのだろうか。砂時計をはかりにのせて動作させる状況を想定して(図1)、このことを順序立てて考察してみよう。

まず、個々の砂粒の運動が明確になるように、砂時計を図2の形に単純化する。この砂時計の上段の水平面上にある砂粒は、1個ずつ小穴から自由落下し、距離 h だけ下方の底面にぶつかって静止する。砂粒1個あたりの質量は m で、これが総質量 M となる数だけ砂時計内にあるとする。空気の影響は考えない。

一般に、はかりは上皿にのったものから受ける鉛直下向きの力の大きさ(重さ)を、重力加速度の大きさ g で割った値を表示する装置である。さらに、ここで用いるはかりは、砂時計の容器部分による寄与を除いた値を表示するように調整されている。

以下の問いに答えよ。なお、各解答には、順に(ア)~(シ)の記号が割り当てられていて、その内容が記号で参照されることがある。

はじめに、砂時計の中に砂粒が1個だけあるとして、その落下にともなう現象を考える。

- (1) 砂粒が落下している時間(ア)、底面にぶつかる直前の砂粒の速さ(イ)、およびこの砂粒が底面に衝突したことによってはかりに与えた力積の大きさ(ウ)を求めよ。
- (2) 以下の考察の空欄に入る適切な数式を求めよ。

一般に、ある時間に物体が受けた力積をその時間で割った量は、その物体が受けた平均の力を表す。そこで、砂粒の動きを通してはかりが受ける平均の力を調べる。考える時間の区間を、砂粒が落下し始めてから静止するまでとすれば、その時間は(ア)に等しいとしてよい。はかりが受ける力積の大きさは、砂粒が落下している間には (エ) であり、砂粒が底面と衝突するときには(ウ)であるから、結局、この区間においてははかりが受けた平均の力は (オ) となる。一方、もし、この砂粒が落ちることなく静止していたとすれば、はかりに与える平均の力は常に (カ) である。つまり、砂粒の落下が起こった場合と起こらなかった場合のはかりが受ける平均の力の差は (キ) である。

次に、砂粒が次々と連なって落下し、時間 T ごとに繰り返し底面と衝突する場合を考える。ただし、一度落ちた砂粒は散らばって、あとから落ちてくる砂と衝突することはないとし、また T は十分に短く、はかりは T より十分に長い時間区間における平均の力を表示するものとする。なお、以下では、砂時計の動作の開始直後と終了直前の状態を除外し、落下する砂の流れが安定している状態だけを考察の対象とする。

- (3) 質量 M の砂全体のうち、落下している過程にある砂の質量の総和(ク)はいくらか。

(4) 以下の考察の空欄に入る適切な数式を求めよ。

落下する砂の流れは、ある時間区間 $D (\gg T)$ に(ウ)の 倍の力積をはかりに与え、その平均の力の大きさは である。このとき、 M から(ク)を引いた残りの砂はどこかに静止していて、はかりに対して だけの力を与えている。以上を総合すれば、砂時計の動作中のはかりの表示は となることが推察される。

(配点率 50%)

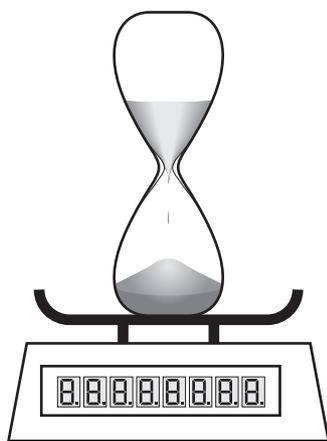


図 1

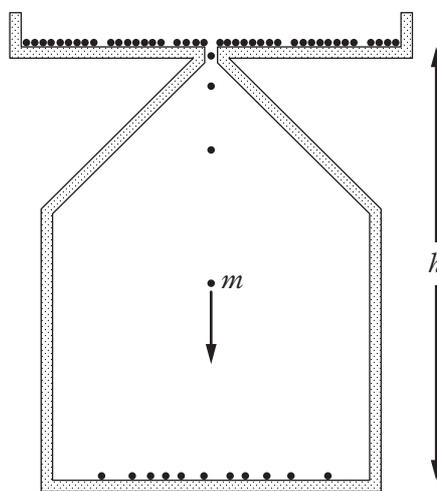


図 2

II 原点 O に電気量 $+Q$ ($Q > 0$) の点電荷を固定する。クーロンの法則の比例定数を k とし、電位の基準点を無限遠にとるものとする。簡単のため x 軸上のみを考え、重力の影響はないものとする。また、電荷の運動にともなう電磁波の放射は考えない。以下の問いに答えよ。

- (1) 座標 $x (> 0)$ における電場の x 成分を求めよ。
- (2) 座標 $x (> 0)$ における電位を求めよ。

前問の状態に加え、 $x = -a$ ($a > 0$) の点 A に電気量 $-4Q$ の点電荷を固定する。

- (3) 座標 $x (> 0)$ における電場の x 成分を求めよ。
- (4) 座標 $x (> 0)$ における電位を求めよ。
- (5) (4)の電位を表すグラフの概形として最も適切なものを図の①～⑥から選べ。

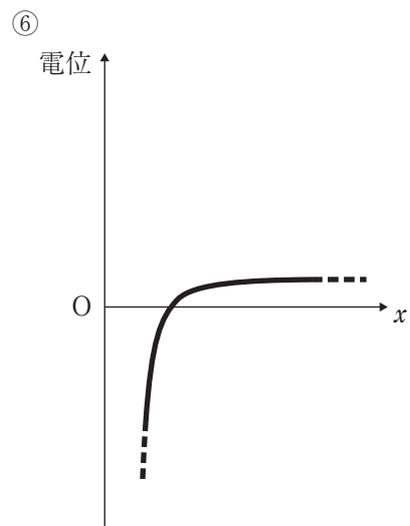
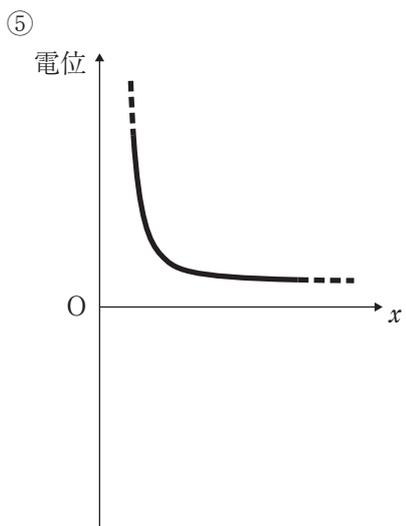
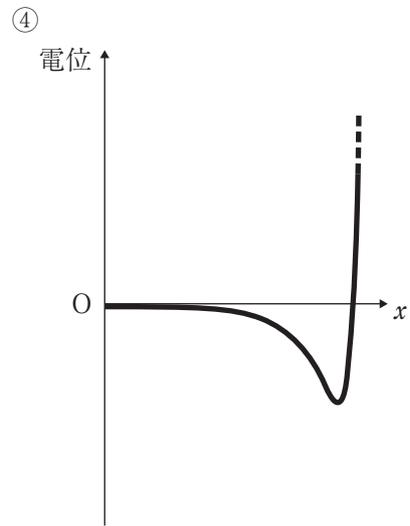
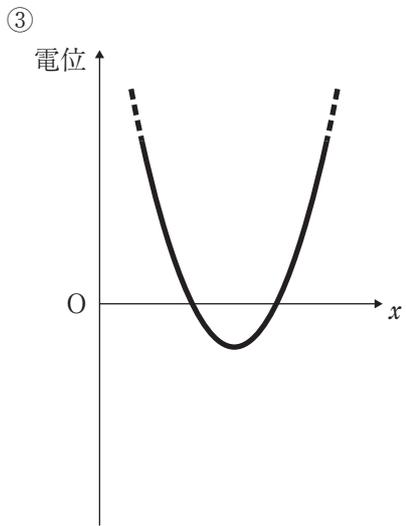
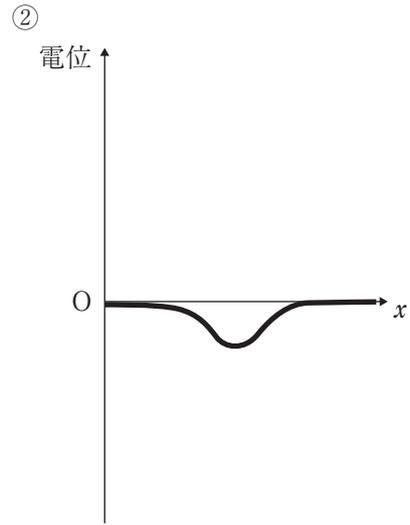
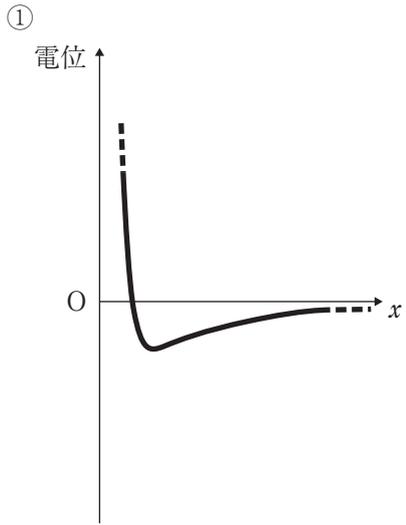
さらに前問の状態に加え、 $x = 2a$ の点 P に、電気量 $+q$ ($q > 0$) をもつ質量 m の荷電粒子を静かに置くと、静電気力を受けて原点の向きに動き始めた。

- (6) 点 P で荷電粒子がもつ静電気力による位置エネルギーはいくらか。
- (7) 荷電粒子の速さが最大になる x 座標はいくらか。
- (8) 観測を続けたときに、荷電粒子の速さが 0 になる x 座標をすべて求めよ。

前問と同じ荷電粒子を、あらためて点 P から原点に向けて速さ v_0 で発射したところ、荷電粒子は原点付近の点 S で運動の向きを変えた。

- (9) 荷電粒子が点 P を通過して x 軸正の向きに遠ざかり、もどってこないときの v_0 の最小値(ア)を求めよ。また、そのときの点 S の x 座標(イ)を求めよ。

(配点率 50%)



図

(以 上)