近畿大学

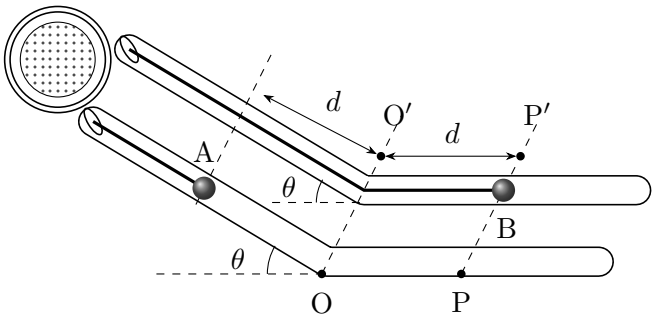
2023 年度　一般選抜　物理

（2 科目　120 分）

I　以下の［ 1 ］から［ 12 ］にあてはまる最も適切な答えを解答用紙の指定されたところに書きなさい。ただし，［ 6 ］，［ 7 ］，［ 11 ］，［ 12 ］は，解答用紙に描かれたグラフを用いて描きなさい。

図のように，水平面上に 2 本のパイプが平行に置かれている。2 本のパイプは水平面上の点 O と点 O′ を結ぶ直線 OO′ に対してそれぞれ垂直であり，OO′ 上で水平面と角度 θ $\left(0 < \theta < \dfrac{\pi}{2}\right)$ をなすように曲がっている。それぞれのパイプの中には大きさが無視できる小物体 A と小物体 B がおかれていて，A と B は軽くて伸び縮みしないひもで連結されている。ひもはパイプの端で軽くてなめらかに動く定滑車にかけられていて，小物体が動いてもひもがたるむことはない。ひもに連結された A と B は，パイプとの間に摩擦がはたらかないのでパイプ内をなめらかに運動することができ，パイプが曲がっているところもなめらかに通過できる。また，パイプ内ではひもは常にパイプと平行でたるむことはなく，ひもとパイプとの摩擦は無視できる。図に描かれた水平面上の点 P と点 P′ を結ぶ直線 PP′ は，OO′ と平行で OO′ と距離 d だけ離れている。

はじめ A と B は OO′ 上の位置にあり，B を PP′ 上の位置までひいたところ，A は図のようにパイプ内で OO′ から距離 d の位置で静止した。時刻 $t = 0$ で PP′ 上の位置にある B を静かにはなすと，A はパイプ内を下った。その後，A と B は交互にパイプ内で上り下りをくり返した。重力加速度の大きさを g として，以下の (1) と (2) の場合における A と B の運動について考えてみる。ただし，A と B の高さは水平面を基準とする。



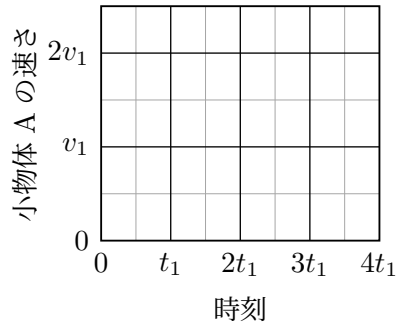
(1)　A と B の質量は等しく，m であるとする。$t = 0$ における A の高さは，［ 1 ］である。A がパ

イプ内を下っている間の A の加速度の大きさは［ 2 ］である。$t = 0$ で動きだした A がはじめて OO′ 上を通過する時刻 t_1 は $t_1 =$［ 3 ］であり，そのときの A の速さ v_1 は $v_1 =$［ 4 ］である。時刻 $0 \leqq t \leqq t_1$ の範囲での A の高さを t を用いて表すと，［ 5 ］である。また，時刻 $0 \leqq t \leqq 4t_1$ の範囲で，時刻 t と A の速さの関係をグラフに表すと［ 6 ］となり，時刻 t と A の高さの関係をグラフに表すと［ 7 ］となる。

(2) A の質量が m で，B の質量が $2m$ の場合を考える。$t = 0$ で動きだした B がはじめて OO′ 上を通過する時刻 t_2 は $t_2 =$［ 8 ］であり，そのときの B の速さ v_2 は $v_2 =$［ 9 ］である。その後，B はパイプ内を上って［ 10 ］の高さまで達したのち，パイプ内を下った。時刻 $0 \leqq t \leqq 4t_2$ の範囲で，時刻 t と B の速さの関係をグラフに表すと［ 11 ］となり，時刻 t と B の高さの関係をグラフに表すと［ 12 ］となる。

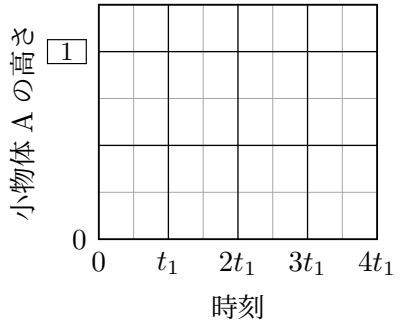
（注）解答欄には次の方眼が与えられている。

［ 6 ］

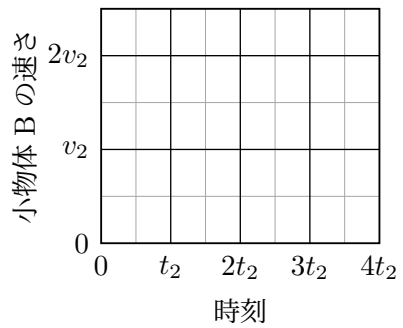


［ 7 ］

［ 1 ］には，設問［ 1 ］の解答が当てはまる。

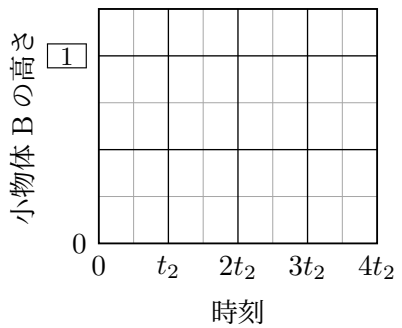


［ 11 ］



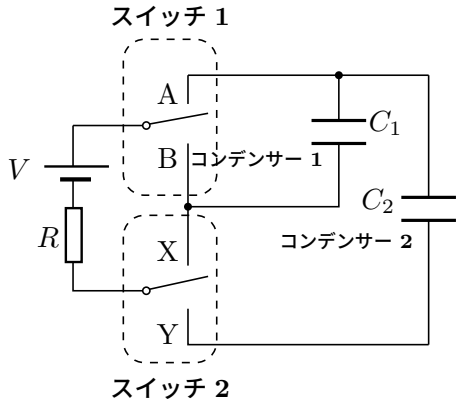
［ 12 ］

［ 1 ］には，設問［ 1 ］の解答が当てはまる。



II 以下の［ 1 ］から［ 8 ］にあてはまる最も適切な答えを解答用紙の指定されたところに書きなさい。

図のような，内部抵抗が無視できる電源，2 つのコンデンサー，2 つのスイッチと抵抗で構成された回路がある。コンデンサー 1 の電気容量を C_1，コンデンサー 2 の電気容量を C_2，電源電圧を V，抵抗の大きさを R とする。はじめの状態を，2 つのスイッチはどちらも開いていて，両方のコンデンサーに電荷が蓄えられていない状態とする。この回路を用いて，以下の (1) と (2) の操作でコンデンサーに電荷を充電する場合を考える。



(1) はじめの状態から，スイッチ 1 を B にスイッチ 2 を Y に同時に接続した。接続してから十分に時間が経過した後，コンデンサー 1 の極板間電圧の大きさは［ 1 ］である。この状態から，スイッチ 1 を A にスイッチ 2 を X に同時に切り替えた。切り替えてから十分に時間が経過した後，コンデンサー 1 の極板間電圧の大きさは［ 2 ］となった。

(2) はじめの状態から，スイッチ 1 を A にスイッチ 2 を X に同時に接続してから十分に時間が経過した後に，スイッチ 1 を B にスイッチ 2 を Y に同時に切り替えて十分に時間が経過した。十分時間が経過した後に，コンデンサー 2 に蓄えられている電気量は［ 3 ］である。ここまでのスイッチ 1 とスイッチ 2 の切り替え操作を，充電操作とよぶ。そして，はじめの状態から充電操作を 1 回行った工程を充電 1 回目とする。充電 1 回目の工程が完了した状態から，もう一度充電操作を行った。この工程を充電 2 回目とし，充電 1 回目の工程が完了してから充電 2 回目の工程が完了するまでの間に，コンデンサー 2 で増加した電気量は［ 4 ］である。

ここで，充電操作を n 回くり返した工程を充電 n 回目とよぶことにして，充電 1 回目，充電 2 回目，充電 3 回目および充電 n 回目の工程が完了したときに，コンデンサー 2 に蓄えられている電気量 Q_i $(i = 1, 2, \cdots, n)$ とそれぞれの回で増加した電気量 ΔQ_i $(i = 1, 2, \cdots, n)$ は，以

下の表のようになる。

充電回数 i	1	2	3	$\cdots$	n	$\cdots$
Q_i	$\boxed{3}$	$\boxed{3}+\boxed{4}$	$\boxed{3}+\boxed{4}+\boxed{5}$	$\cdots$	$\boxed{7}$	$\cdots$
ΔQ_i	$\boxed{3}$	$\boxed{4}$	$\boxed{5}$	$\cdots$	$\boxed{6}$	$\cdots$

この表は，例えば充電 2 回目 $(i=2)$ の工程が完了したときに，コンデンサー 2 に蓄えられている電気量は $\boxed{3}+\boxed{4}$ であることを表している。

充電操作を何度もくり返していくと，コンデンサー 2 の極板間電圧の大きさは $\boxed{8}$ に近づいていくと考えられる。ただし $x<1$ のとき，十分大きな n に対しては $1-x^n=1$ とみなせる。

III 以下の $\boxed{1}$ から $\boxed{10}$ にあてはまるもっとも適切な答えを解答用紙の指定されたところに書きなさい。数値で解答する場合は，有効数字 2 桁で解答しなさい。なお，$\boxed{2}$ と $\boxed{9}$ は，解答欄の $\square$ にあてはまる最も適切な語句や数字を書きなさい。

(1) 放射能をもつ原子核の個数は，放射性崩壊によって時間の経過とともに減少する。半減期が T〔s〕である原子核の時刻 $t=0$ での個数を N_0 とし，時刻 t〔s〕後に崩壊せずに残っている個数を $N(t)$ とする。図 1 は $t=0$ での原子核の個数に対して時刻 t〔s〕で崩壊せずに残っている原子核の個数の割合を表しており，以下の (a) 式が成り立つ。

$$N(t)=N_0\times\boxed{1} \qquad \text{(a)}$$

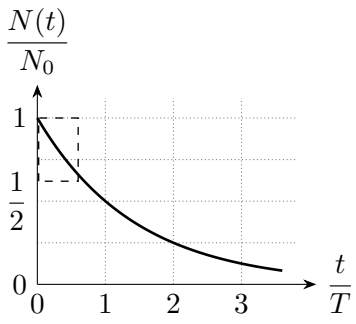


図 1

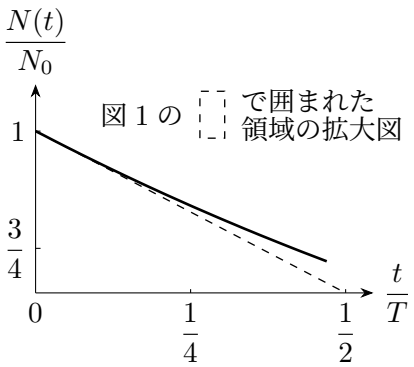


図 2

ここで，放射性炭素 ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ を用いる年代測定法について考える。この方法では，遺跡や地層から発掘される木片などの生物の遺骸（いがい）に含まれる炭素中の ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の割合からその生物が生きていた

時代を推定できる。大気中にある炭素の大部分は安定な ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ から成るが，放射性同位体である ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ もほぼ一定の割合で大気中に存在する。これは，宇宙から飛来する宇宙線と大気との衝突によって生じる中性子 ${}^{1}_{0}\mathrm{n}$ と大気中の窒素 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ との核反応 ${}^{1}_{0}\mathrm{n} + {}^{14}_{7}\mathrm{N} \longrightarrow {}^{14}_{6}\mathrm{C} +$ [2] によって，${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ が生成されるためである。${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ は大気中の酸素と反応して二酸化炭素となる。${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ からなる二酸化炭素は，${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ からなる二酸化炭素と一緒に生物中に取り込まれる。${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ は β 崩壊によって [3] を放出して ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ に変わるため，生物が死んで新しい炭素の吸収がなくなると，生物遺骸（いがい）中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の存在比 R はその生物が死んでからの経過時間 t〔s〕が増大するにつれて減少する。ここで，${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の半減期を T〔s〕，大気中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の存在比を R_0 とすると，R は t〔s〕の関数として $R =$ [4] と表されるので，これを t について解くと $t =$ [5]〔s〕となる。つまり，R を測定することでその生物が生きていた時代を推定できる。ただし，大気中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の存在比は変化しないとする。例えば，考古学者が遺跡から発掘した木片の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の存在比は，大気中の ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$ に対する ${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の存在比の 2.0×10^{-1} 倍であったとする。${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の半減期が 5.7×10^{3} 年であるとすると，この木片が生きていた年代は [6] 年前であると推定できる。必要であれば，$\log_2 3.0 = 1.6$，$\log_2 5.0 = 2.3$，$\log_2 7.0 = 2.8$ を用いてよい。

(2) 放射性物質の放射能の強さを表す単位としてベクレル（記号 Bq）がある。1 秒間に 1 個の原子核が崩壊するときの放射能の強さは 1 Bq である。いま，半減期 T〔s〕，質量数 M で，崩壊して安定な原子核になる放射性物質がある。この放射性物質が質量 m〔g〕あるときの放射能の強さを求めるために，図 2 の破線で表した直線の式で考える。この破線で表した直線は，T〔s〕に対して十分小さい経過時間において (a) 式で表した図 1 の曲線を近似することができ，近似した直線の式は

$$\frac{N(t)}{N_0} = -a\frac{t}{T} + 1$$

となる。ここで，$a = 0.69$ である。この近似直線が成り立つ場合（すなわち T〔s〕が t〔s〕に比べて十分大きい場合）に 1 秒間に崩壊する原子核の個数は，N_0 と 1 秒後に残っている個数 $N(t = 1\,\mathrm{s})$ との差と考えてもよいので，N_0 と a と T を用いて [7] と表される。したがって，質量が m〔g〕あるときの放射能の強さは，M，m，a，T とアボガドロ定数 N_A〔1/mol〕を用いると [8]〔Bq〕と表せる。例えば，ポロニウム ${}^{210}_{84}\mathrm{Po}$ は α 崩壊によって半減期 $1.2 \times 10^{7}\,\mathrm{s}$ で安定な鉛（Pb）の同位体に変わる。この α 崩壊の核反応は，${}^{210}_{84}\mathrm{Po} \longrightarrow$ [9] で表される。$N_\mathrm{A} = 6.0 \times 10^{23}/\mathrm{mol}$ とすると，${}^{210}_{84}\mathrm{Po}$ のみからなる放射性物質の放射能の強さが $3.3 \times 10^{11}\,\mathrm{Bq}$ であるとき，この放射性物質の質量は [10] g と求められる。

（注）解答欄は，[2] が $\square\!\square$，[9] が $\square\mathrm{Pb} + \square\!\square$ の形。