物　　　理

物理の解答用紙の番号Ⅳの解答欄は空欄のままとしなさい。

Ⅰ　$\boxed{}$ にあてはまる最も適当な数字をマークすること。数値で解答する問題では，指定された桁数の一つ下の桁を四捨五入して答えよ。$\boxed{ア}$ の解答は最も適当なものを該当する解答群から一つ選べ。ただし，$\boxed{イ}$，$\boxed{キ}$，$\boxed{セ}$，$\boxed{チ}$ は0ではない数とする。

陽子p，中性子nの質量をそれぞれ1.00728 u，1.00866 u，電気素量を 1.60×10^{-19} C，アボガドロ定数を 6.02×10^{23}/mol，光速を 3.00×10^{8} m/s として，以下の問いに答えよ。

(a)　原子核の質量を表す統一原子質量単位uは $\boxed{ア}$ をもとに定められ，kgに換算すると，$1\,\mathrm{u}=\boxed{イ}.\boxed{ウエ}\times10^{-\boxed{オカ}}$ kg である。

$\boxed{ア}$ の解答群

① ${}^{1}_{1}\mathrm{H}$　　② ${}^{4}_{2}\mathrm{He}$　　③ ${}^{12}_{6}\mathrm{C}$　　④ ${}^{16}_{8}\mathrm{O}$

以下の問いでは，uとkgの換算は(a)の答を用いること。

(b)　重水素 ${}^{2}_{1}\mathrm{H}$ の原子核の質量は2.01356 uであり，この原子核の質量欠損は $\boxed{キ}.\boxed{クケ}\times10^{-\boxed{コ}}$ uで，結合エネルギーは $\boxed{サ}.\boxed{シス}$ MeVである。

(c)　1回の核反応 ${}^{14}_{7}\mathrm{N}+\mathrm{n}\rightarrow{}^{14}_{6}\mathrm{C}+\mathrm{p}$ において放出されるエネルギーは $\boxed{セ}.\boxed{ソ}\times10^{-\boxed{タ}}$ MeVで，放出されたエネルギーが全て運動エネルギーになるとき，${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ の運動エネルギーは $\boxed{チ}.\boxed{ツ}\times10^{-\boxed{テ}}$ MeVになる。ただし，原子核の質量は ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ が13.99925 u，${}^{14}_{6}\mathrm{C}$ が13.99996 uであり，反応前の全運動エネルギーは無視できるものとする。

(d)　β 崩壊をする原子核があり，この原子核は30時間経過すると，はじめの数の75％が他の原子核に変換される。この原子核の半減期は $\boxed{トナ}$ 時間であり，$\boxed{ニヌ}$ 時間後には，はじめの数の $\frac{1}{6}$ になる。ただし，$\log_{10}2=0.30$，$\log_{10}3=0.48$ とする。

Ⅱ $\boxed{}$ にあてはまる最も適当なものを対応する解答群の中から一つずつ選べ。

図1のように，水平方向に伸縮するバネ定数 k，自然長 L の軽いバネの両端に，質量 m の小球Aと質量 αm の小球Bが取り付けられている。時刻 $t=0$ における小球Bの位置を原点O，BからAに向かう方向を x 軸正の方向として，2つの小球の x 軸上での運動を考える。

$x<0$ の領域に鉛直な壁があり，小球AおよびBの x 座標 x_A，x_B は負になることはない。小球Aは摩擦なく運動するが，小球Bと水平面との間には静止摩擦係数 μ，動摩擦係数 μ' の摩擦力がはたらく。小球の半径は十分小さく無視できるとする。重力加速度の大きさを g として，以下の問いに答えよ。

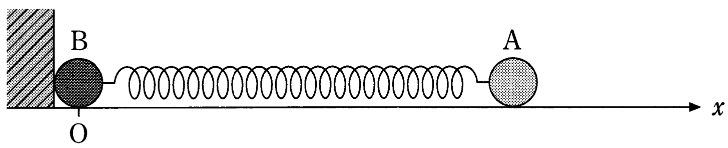


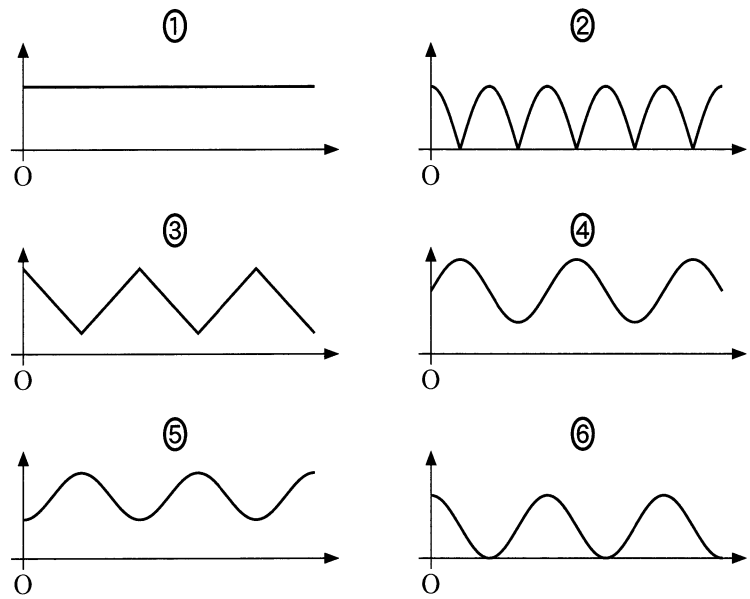
図1

(a) バネを自然長より縮め，小球Aを $x_A=x_0$ となる位置から静かに手を離したところ，小球Bは原点から動かず，Aは単振動した。横軸にAが振動しはじめてから経過した時間，縦軸に小球Aの x 座標をとったグラフは $\boxed{\text{ア}}$ ，縦軸に小球Bが壁から受ける垂直抗力と水平面から受ける摩擦力の和の大きさをとったグラフは $\boxed{\text{イ}}$ となる。

小球Aの周期は $\boxed{\text{ウ}}\sqrt{\dfrac{m}{k}}$ であり，速さの最大値は $\boxed{\text{エ}}$ となる。小球Bが動かないことから，次式が成り立つ。

$$x_0 \boxed{\text{オ}} L - \boxed{\text{カ}} \frac{mg}{k}$$

$\boxed{\text{ア}}$ ，$\boxed{\text{イ}}$ の解答群



$\boxed{ウ}$，$\boxed{カ}$ の解答群

① $\frac{1}{2}$　② 2　③ π　④ 2π　⑤ $\frac{\pi}{2}$

⑥ α　⑦ μ　⑧ μ'　⑨ $\alpha\mu$　⓪ $\alpha\mu'$

$\boxed{エ}$ の解答群

① $\sqrt{2gL}$　② $\sqrt{2gx_0}$　③ $\sqrt{2g(L-x_0)}$　④ $\sqrt{2g\alpha L}$

⑤ $L\sqrt{\frac{k}{m}}$　⑥ $x_0\sqrt{\frac{k}{m}}$　⑦ $(L+x_0)\sqrt{\frac{k}{m}}$　⑧ $(L-x_0)\sqrt{\frac{k}{m}}$

⑨ $x_0\sqrt{\frac{k}{\alpha m}}$　⓪ $(L+x_0)\sqrt{\frac{k}{\alpha m}}$

$\boxed{オ}$ の解答群

① $>$　② $<$　③ $=$

(b) 設問(a)で考えた小球Aの初期位置x_0よりもさらにバネを縮めて，$x_A=\beta L$の位置から静かに手を離したところ，小球Aのx座標が $\boxed{キ}\frac{mg}{k}+L$となる点を通過した直後に小球Bが壁から離れ移動しはじめた。2つの小球がともにx軸正の方向に運動しているとき，小球A，Bの加速度をa_A，a_Bとすると，小球の運動方程式は次のように書ける。

$$ma_A = k\left(\boxed{ク}\right),\qquad \alpha m a_B = \boxed{ケ}\,mg + k\left(\boxed{コ}\right)$$

小球A，Bの重心は線分ABを $\boxed{サ}$ に内分する点であり，2つの運動方程式を加えることにより，2つの小球がともにx軸正の方向に運動しているとき，重心の座標は加速度が$-\boxed{シ}\,g$の等加速度運動することがわかる。

また，小球Bの運動方程式をαで割ってAの運動方程式から引くことにより，小球Bから見たAの相対速度は，角振動数$\sqrt{\boxed{ス}\frac{k}{m}}$で単振動する物体の速度と同じ時間依存性を持つことがわかる。

$\boxed{キ}$，$\boxed{ケ}$ の解答群

① $\frac{1}{2}$　② 2　③ α　④ μ　⑤ μ'

⑥ $-\mu'$　⑦ $\alpha\mu$　⑧ $-\alpha\mu$　⑨ $\alpha\mu'$　⓪ $-\alpha\mu'$

$\boxed{ク}$，$\boxed{コ}$ の解答群

① x_A-x_B　② x_A+x_B　③ $-x_A+x_B$　④ $-x_A-x_B$

⑤ x_A-x_B-L　⑥ x_A+x_B-L　⑦ x_A-x_B+L　⑧ $-x_A-x_B+L$

⑨ $-x_A+x_B-L$　⓪ $-x_A+x_B+L$

$\boxed{サ}$ の解答群

① $1:1$　② $1:\alpha$　③ $1:\beta$　④ $\alpha:1$　⑤ $\beta:1$

⑥ $\alpha:\beta$　⑦ $\beta:\alpha$　⑧ $1:\mu'$　⑨ $\alpha:\mu'$　⓪ $\mu':\alpha$

$\boxed{シ}$ ，$\boxed{ス}$ の解答群

① π^2　② $4\pi^2$　③ $1+\alpha$　④ $\dfrac{1+\alpha}{2}$　⑤ $\mu'\dfrac{1+\alpha}{2}$

⑥ $\dfrac{\mu'}{2+2\alpha}$　⑦ $\dfrac{\alpha}{1+\alpha}$　⑧ $1+\dfrac{1}{\alpha}$　⑨ $\alpha\mu'$　⓪ $\dfrac{\alpha}{1+\alpha}\mu'$

(c)　設問(b)で考えた状況から時間が経過し，小球Bは移動と静止を繰り返した後に止まったままとなり，小球Aは単振動を継続した。小球Bが壁から離れて止まったままとなるまでに移動した道のりをDとすると，この間に摩擦力が小球Bにした仕事の大きさは$W=\boxed{セ}\,mgD$であり，小球Aの振幅は$L\sqrt{\boxed{ソ}}$である。

$\boxed{セ}$ の解答群

① α　② $1+\alpha$　③ μ　④ $\mu\alpha$　⑤ $\mu(1+\alpha)$

⑥ $1+\mu\alpha$　⑦ μ'　⑧ $\mu'\alpha$　⑨ $\mu'(1+\alpha)$　⓪ $\mu'+\alpha$

$\boxed{ソ}$ の解答群

① 2β　② $1+\beta^2$　③ $1-\beta^2$

④ $\beta^2+\dfrac{W}{kL^2}$　⑤ $(1+\beta)^2-\dfrac{W}{kL^2}$　⑥ $(1-\beta)^2+\dfrac{W}{kL^2}$

⑦ $\beta^2-\dfrac{2W}{kL^2}$　⑧ $\beta^2-\dfrac{W}{2kL^2}$　⑨ $(1+\beta)^2+\dfrac{W}{2kL^2}$

⓪ $(1-\beta)^2-\dfrac{2W}{kL^2}$

Ⅲ [ ] にあてはまる最も適当な数字をマークすること。ただし，[ウ]～[キ]，[ク]，[ス]については，最も適当なものを対応する解答群から一つずつ選べ。

(1) n 型半導体は Si，Ge などの真性半導体に，価電子が [ア] 個である P，Sb などの不純物を加えた不純物半導体である。p 型半導体は真性半導体に価電子が [イ] 個である Al，In などの不純物を加えた不純物半導体である。半導体に電場を加えると，p 型半導体においては [ウ] が [エ] 向きに移動し，n 型半導体においては [オ] が [カ] 向きに移動する。n 型半導体と p 型半導体を接合した素子を(半導体)ダイオードという。[キ] 型半導体の方が高電位となるようダイオードの両端に電源を接続すると電流が流れるが，電源を逆向きに接続すると電流はほとんど流れない。

[ウ]，[オ] の解答群

① 電　子　　② 陽　子　　③ 陽電子

④ 正孔(ホール)　　⑤ 中性子　　⑥ ニュートリノ

[エ]，[カ] の解答群

① 電場と同じ　　② 電場と逆　　③ 電場と垂直な　　④ 重力と同じ

[キ] の解答群

① p　　② n

(2) 図 1 のように，電圧 9.0 V の電池 E と，抵抗値がそれぞれ 6.0 Ω，3.0 Ω，4.0 Ω である電気抵抗 R_1，R_2，R_3，および可変抵抗 R_4 とダイオード D からなる回路がある。電池の内部抵抗は無視でき，ダイオードは順方向に電圧が加わったときの抵抗値は 0 で，逆方向に電圧が加わったときは電流が流れないとする。

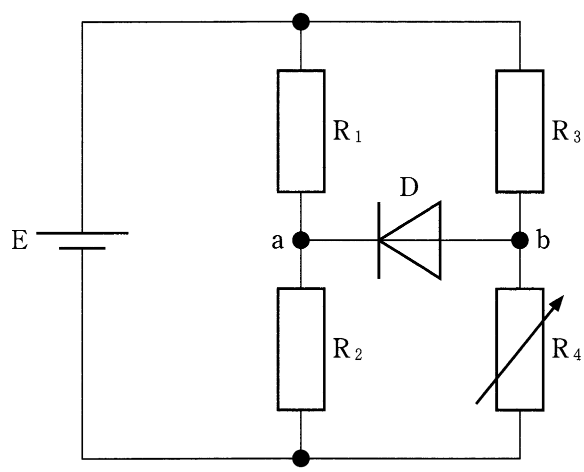


図 1

(a) R_4 の抵抗値が 1.0 Ω のとき，点 a に対する点 b の電位は $\boxed{ク}$ $\boxed{ケ}$. $\boxed{コ}$ V であり，電池を流れる電流は $\boxed{サ}$. $\boxed{シ}$ A である。

(b) R_4 の抵抗値を R〔Ω〕とするとき，ダイオード D を電流が流れるための条件は R $\boxed{ス}$ $\boxed{セ}$. $\boxed{ソ}$ である。

(c) R_4 の抵抗値が 7.0 Ω のとき，D を流れる電流は $\boxed{タ}$. $\boxed{チ}$ A である。

$\boxed{ク}$ の解答群

① ＋　② −

$\boxed{ス}$ の解答群

① ＝　② ＞　③ ≧　④ ＜　⑤ ≦

(3) 前問(2)ではダイオードを順方向のみに流れる抵抗 0 の理想的な素子としたが，図 2 のように順方向の電圧が 0.50 V を超えたときのみ電流が流れ，電圧 V_D〔V〕と電流 I_D〔A〕の関係は $V_D > 0.50$ V では直線で近似できるとする。

図 2 の回路で可変抵抗 R_4 の抵抗値が 12 Ω のとき，ダイオードを流れる電流は 0. $\boxed{ツテ}$ A である。

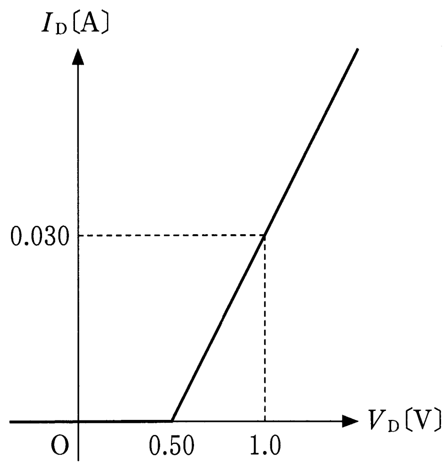


図 2