第1問

次の文章を読んで、下の問い（問1～8）に答えよ。（解答番号 $\boxed{1}$ ～ $\boxed{8}$ ）

なめらかな水平面上に質量 $2m$ の箱を置く。箱の内面は水平な床と鉛直な壁になっていて、左右の壁の間隔は d である。質量 m の小物体を箱内の床の上に置き、左側の壁に接する位置から右向きに大きさ v_0 の初速を与える（図1）。箱の床と小物体の間の摩擦は無視でき、箱は静止したまま小物体が運動し、箱の右側の壁と衝突する。小物体と箱の壁との衝突の反発係数（はね返り係数）は $\frac{1}{3}$ であり、小物体の大きさは壁の間隔 d と比べて無視できる。重力加速度の大きさを g とする。

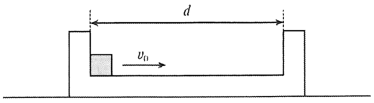

図1

問1　小物体と箱の右側の壁が衝突した直後の、箱の速さを表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{1}$

① $\frac{1}{9}v_0$　② $\frac{2}{9}v_0$　③ $\frac{1}{3}v_0$
④ $\frac{4}{9}v_0$　⑤ $\frac{1}{2}v_0$　⑥ v_0

問2　小物体と箱の右側の壁との衝突により失われた力学的エネルギーを表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{2}$

① 0　② $\frac{8}{81}mv_0^2$　③ $\frac{8}{27}mv_0^2$
④ $\frac{1}{3}mv_0^2$　⑤ $\frac{40}{81}mv_0^2$　⑥ $\frac{1}{2}mv_0^2$

問3　その後も、小物体は箱の左右の壁と衝突を繰り返す。初めて小物体が箱の右側の壁と衝突してから、次に左側の壁に衝突するまでの時間を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{3}$

① $\frac{d}{v_0}$　② $\frac{5d}{3v_0}$　③ $\frac{2d}{v_0}$
④ $\frac{8d}{3v_0}$　⑤ $\frac{3d}{v_0}$　⑥ $\frac{6d}{v_0}$

問4　衝突を繰り返すことにより箱の速さはある一定値に近づいていく。その値 V_1 を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{4}$

① 0　② $\frac{2}{9}v_0$　③ $\frac{1}{3}v_0$
④ $\frac{4}{9}v_0$　⑤ $\frac{2}{3}v_0$　⑥ v_0

次に、箱を水平面上に置き、小物体を箱の床の上に右側の壁に接する位置に置く。この状態から箱に対して右向きに大きさ v_0 の初速を与える（図2）。

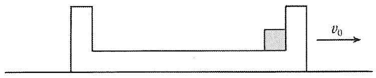

図2

問5　小物体と箱の左右の壁が衝突を繰り返すことにより箱の速さはある一定値に近づいていく。その値 V_2 を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{5}$

① 0　② $\frac{2}{9}v_0$　③ $\frac{1}{3}v_0$
④ $\frac{4}{9}v_0$　⑤ $\frac{2}{3}v_0$　⑥ v_0

問6　箱の速さが V_2 に達したとすると、それまでの間に失われた力学的エネルギーを表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{6}$

① 0　② $\frac{1}{9}mv_0^2$　③ $\frac{2}{9}mv_0^2$
④ $\frac{1}{3}mv_0^2$　⑤ $\frac{4}{9}mv_0^2$　⑥ $\frac{1}{2}mv_0^2$

今度は、箱を水平面上に置き、箱の床に質量が無視でき摩擦のあるシートを貼り付ける。小物体を箱内の床の上に置き、左側の壁に接する位置から右向きに大きさ v_0 の初速を与える（図3）。

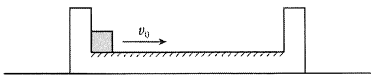

図3

問7　しばらくすると、箱は一定の速さで水平面上を運動するようになる。その速さ V_3 を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{7}$

① 0　② $\frac{2}{9}v_0$　③ $\frac{1}{3}v_0$
④ $\frac{4}{9}v_0$　⑤ $\frac{2}{3}v_0$　⑥ v_0

問8　小物体が箱の壁と1回も衝突することはないための、小物体とシートの間の動摩擦係数 μ の条件として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{8}$

① $\mu < \frac{v_0^2}{gd}$　② $\mu < \frac{v_0^2}{2gd}$　③ $\mu < \frac{v_0^2}{3gd}$
④ $\mu > \frac{v_0^2}{gd}$　⑤ $\mu > \frac{v_0^2}{2gd}$　⑥ $\mu > \frac{v_0^2}{3gd}$

第2問

次の文章を読んで、下の問い（問1～8）に答えよ。（解答番号 $\boxed{9}$ ～ $\boxed{16}$ ）

交流回路においてコンデンサーやコイルに流れる電流と、その端子間電圧の関係を考える。

図4に示すように、回路素子の端子aからbの向きに流れる電流を i、端子bに対する端子aの電位を v とする。また、v が時刻 t の関数として

$$v = V\sin\omega t \quad （V、\omega \text{ は正の一定値}）$$

で与えられるものとする。

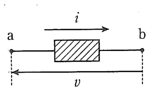

図4

問1　この素子が抵抗値 R の電気抵抗の場合に、i の実効値を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{9}$

① RV　② $\frac{RV}{\sqrt{2}}$　③ $\frac{RV}{2}$
④ $\frac{V}{R}$　⑤ $\frac{V}{\sqrt{2}R}$　⑥ $\frac{V}{2R}$

問2　この素子がコイルの場合に、i を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。ただし、i の最大値を I とする。 $\boxed{10}$

① $I\sin\omega t$　② $-I\sin\omega t$　③ $I\,|\sin\omega t\,|$
④ $I\cos\omega t$　⑤ $-I\cos\omega t$　⑥ $I\,|\cos\omega t\,|$

問3　この素子がコンデンサーの場合に、i を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。ただし、i の最大値を I とする。 $\boxed{11}$

① $I\sin\omega t$　② $-I\sin\omega t$　③ $I\,|\sin\omega t\,|$
④ $I\cos\omega t$　⑤ $-I\cos\omega t$　⑥ $I\,|\cos\omega t\,|$

図5に示すように、角周波数ωの交流電源と、抵抗値Rの電気抵抗および素子Aを直列に接続した回路を考える。電源の内部抵抗は無視できる。交流電源の実効電圧V_0に対して、電気抵抗の端子間電圧の実効値は$\frac{V_0}{2}$であった。

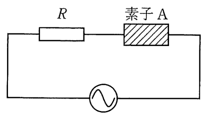

図5

問4　素子Aがコイルの場合に、その端子間電圧の実効値を表す式として適当なものを、次の①～⑤のうちから1つ選べ。 $\boxed{12}$

① 0　② $\frac{1}{2}V_0$　③ $\frac{1}{\sqrt{2}}V_0$
④ $\frac{\sqrt{3}}{2}V_0$　⑤ V_0

問5　素子Aがコイルの場合に、その自己インダクタンスを表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{13}$

① ωR　② $\frac{R}{\omega}$　③ $\frac{1}{\omega R}$
④ $\sqrt{3}\omega R$　⑤ $\frac{\sqrt{3}R}{\omega}$　⑥ $\frac{1}{\sqrt{3}\omega R}$

問6　素子Aがコイルの場合に、回路全体での平均消費電力を表す式として適当なものを、次の①～⑤のうちから1つ選べ。 $\boxed{14}$

① 0　② $\frac{V_0^2}{4R}$　③ $\frac{V_0^2}{2R}$
④ $\frac{3V_0^2}{4R}$　⑤ $\frac{V_0^2}{R}$

問7　素子Aがコンデンサーの場合に、その電気容量を表す式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{15}$

① ωR　② $\frac{R}{\omega}$　③ $\frac{1}{\omega R}$
④ $\sqrt{3}\omega R$　⑤ $\frac{\sqrt{3}R}{\omega}$　⑥ $\frac{1}{\sqrt{3}\omega R}$

問8　素子Aがコイルの場合に、交流電源の角周波数のみを$\frac{1}{3}$倍に変化させたときの、電気抵抗の端子間電圧の実効値を表す式として適当なものを、次の①～⑤のうちから1つ選べ。 $\boxed{16}$

① 0　② $\frac{1}{2}V_0$　③ $\frac{1}{\sqrt{2}}V_0$
④ $\frac{\sqrt{3}}{2}V_0$　⑤ V_0

第3問　次の文章を読んで、下の問い（問1～9）に答えよ。（解答番号 $\boxed{17}$ ～ $\boxed{25}$）

水素原子から発せられる光は、波長λが

$$\frac{1}{\lambda} = R\left(\frac{1}{n'^2} - \frac{1}{n^2}\right) \quad \cdots(*)$$
$$(n' = 1、2、3、\cdots；n = n'+1、n'+2、n'+3、\cdots)$$

で与えられる線スペクトルとなることが実験的に確かめられている。ここで、Rは（　a　）定数と呼ばれる。（　b　）は、この関係式が次のような仮説に基づき理論的に導かれることを示した。

水素原子の内部状態は、電子（質量m）が陽子の周りをクーロン力を向心力として

$$m\frac{v^2}{r} = k\frac{e^2}{r^2}$$

（rは円軌道の半径、kはクーロンの法則の比例定数、$e = 1.6 \times 10^{-19}$ Cは電気素量）に従って円運動していると考えることが出来るが、自然界に実現する定常状態は量子条件

$$（　ア　） = \frac{h}{2\pi}\cdot n \quad (n = 1、2、3、\cdots)$$

を満たす状態のみである。ここで、$h = 6.6 \times 10^{-34}$ J・sは（　c　）定数である。

量子条件に現れる正整数nは量子数と呼ばれる。量子条件は、（　b　）の理論の約10年後に発見された物質波の考え方を用いると、電子の円軌道の全長が、電子波の波長の整数n倍になる条件と理解することが出来る。

電子が円運動する条件と量子条件より、量子数nの定常状態における電子の軌道半径r_nは

$$r_n = （　イ　）$$

となる。よって、量子数nの定常状態のエネルギー（電子の力学的エネルギー）E_nは、クーロン力による位置エネルギーの基準点を無限遠点として

$$E_n = \frac{1}{2}mv^2 + \left(-k\frac{e^2}{r_n}\right) = （　ウ　）$$

と与えられる。これをエネルギー準位と呼ぶ。

したがって、量子数nの定常状態から量子数$n'(<n)$の定常状態へ遷移する際にエネルギー準位の差を1つの光子として放出すると考えれば、その波長λは真空中の光の速さを$c = 3.0 \times 10^8$ m/sとして、

$$（　エ　） = E_n - E_{n'}$$

で与えられる。これを変形すると、(*)と同じ形の関係式が得られる。（　a　）定数Rは

$$R = （　オ　） = 1.1 \times 10^7\ \mathrm{m^{-1}}$$

となり、観測値と一致する。

問1　上の文章中の空欄（　a　）にあてはまる人名として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{17}$

① ボーア　② ボルツマン　③ コンプトン
④ アインシュタイン　⑤ プランク　⑥ リュードベリ

問2　上の文章中の空欄（　b　）にあてはまる人名として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{18}$

① ボーア　② ボルツマン　③ コンプトン
④ アインシュタイン　⑤ プランク　⑥ リュードベリ

問3　上の文章中の空欄（　c　）にあてはまる人名として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{19}$

① ボーア　② ボルツマン　③ コンプトン
④ アインシュタイン　⑤ プランク　⑥ リュードベリ

問4　上の文章中の空欄（　ア　）にあてはまる式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{20}$

① $2\pi r$　② mv　③ rmv
④ $\frac{1}{2}mv^2$　⑤ mv^2　⑥ $\frac{mv^2}{r}$

問5 上の文章中の空欄（　イ　）にあてはまる式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{21}$

① $\dfrac{hn}{4\pi^2mke^2}$　② $\dfrac{h^2n^2}{4\pi^2mke^2}$　③ $\dfrac{h^2n^2}{4\pi^2ke^2}$

④ $\dfrac{hn}{2\pi^2mke^2}$　⑤ $\dfrac{h^2n^2}{2\pi^2mke^2}$　⑥ $\dfrac{h^2n^2}{2\pi^2ke^2}$

問6 上の文章中の空欄（　ウ　）にあてはまる式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{22}$

① $\dfrac{2\pi^2mke^2}{h^2n^2}$　② $\dfrac{2\pi^2k^2e^4}{h^2n^2}$　③ $\dfrac{2\pi^2mk^2e^4}{h^2n^2}$

④ $-\dfrac{2\pi^2mke^2}{h^2n^2}$　⑤ $-\dfrac{2\pi^2k^2e^4}{h^2n^2}$　⑥ $-\dfrac{2\pi^2mk^2e^4}{h^2n^2}$

問7 上の文章中の空欄（　エ　）にあてはまる式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{23}$

① $\dfrac{1}{\lambda}$　② $\dfrac{h}{\lambda}$　③ $\dfrac{ch}{\lambda}$

④ $h\lambda$　⑤ $ch\lambda$　⑥ $\dfrac{h\lambda}{c}$

問8 上の文章中の空欄（　オ　）にあてはまる式として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{24}$

① $\dfrac{2\pi^2mk^2e^4}{ch^3}$　② $\dfrac{2\pi^2mk^2e^4}{h^2}$　③ $\dfrac{2\pi^2mk^2e^4}{ch}$

④ $\dfrac{4\pi^2mk^2e^4}{ch^3}$　⑤ $\dfrac{4\pi^2mk^2e^4}{h^2}$　⑥ $\dfrac{4\pi^2mk^2e^4}{ch}$

問9 水素原子の基底状態のエネルギー準位を電子ボルト（eV）単位で求めた値として適当なものを、次の①～⑥のうちから1つ選べ。 $\boxed{25}$

① 2.2×10^{-18}　② 3.8×10^{-8}　③ 1.4×10^{1}

④ -2.2×10^{-18}　⑤ -3.8×10^{-8}　⑥ -1.4×10^{1}