物　理　解答は解答用紙の所定の欄に記入すること。

I

問 1　ある金属に振動数6.0×10^{14} Hzの光を当てたところ，飛び出した光電子の最大運動エネルギーは1.32×10^{-19} Jであった。プランク定数を6.6×10^{-34} J・sとし，限界振動数を求めよ。

問 2　強度I_0のＸ線が，厚さy [cm] のある物質を透過すると，強度$I=I_0e^{-\mu y}$となる。ここで μ を減弱係数 [cm^{-1}] と定義する。80 keV のＸ線に対するアルミニウムの減弱係数を$0.46\,\mathrm{cm}^{-1}$とし，透過Ｘ線の強度が$0.25I_0$になるときのアルミニウムの厚さを求めよ。ただし，$\log_e 2=0.69$，e は自然対数の底とする。

問 3　放射性同位元素^{238}Uは4.2 MeVの α 線を放出する。20 gの^{238}Uから放出される α 線は何Wか，有効数字２桁で答えよ。ただし，^{238}Uの１g当たりの放射能を1.2×10^{4} Bqとし，電気素量を1.6×10^{-19} Cとする。

問 4　振動数448 Hzのおんさ A と未知の振動数のおんさ B を同時に鳴らしたところ，毎秒４回のうなりが聞こえた。おんさ A，おんさ B，および音を聞くヒトは図１の順番で一直線上に並び，おんさ B の振動数はおんさ A より小さい。２つのおんさを鳴らし，おんさ B を一定の速さでこの一直線上のどちらかの向きへ動かしたところ，うなりが聞こえなくなった。音速を 336 m/s とし，おんさ B を動かした向き（A，または，ヒト）と速さを求めよ。

問 5　極板面積S [m^2]，間隔d [m] で極板間が真空の平行平板コンデンサーに，面積$0.50S$ [m^2]，厚さ$0.50d$ [m]，比誘電率4.0の誘電体を図２のように完全に挿入した。この時のコンデンサーの電気容量を求めよ。ただし，d は極板の大きさに比べて十分に小さく，真空の誘電率を ε_0 [F/m] とする。

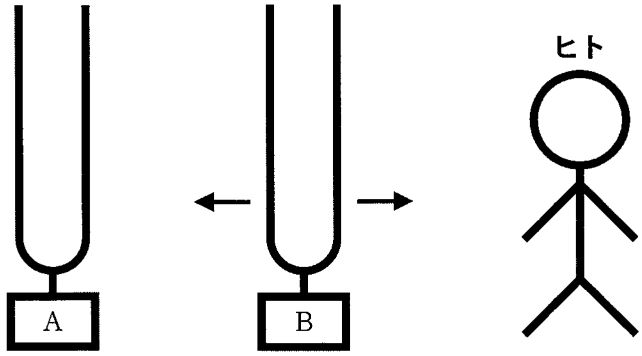


図 1

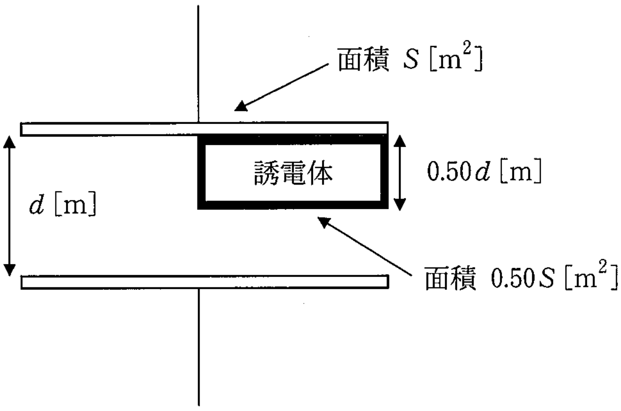


図 2

Ⅱ　物体A, Bはどちらも質量mで大きさは無視でき, 同一直線上を運動する。物体A, Bの位置, 速度, 加速度をそれぞれx_A, x_B, v_A, v_B, a_A, a_Bとし, $x_A > x_B$とする。

問1　図1に示すように, 水平レール上に間隔Lで置かれた物体A, Bを同時に同じ初速度で固定壁に向けて動かした。解答欄の図にx_Aを点線, x_Bを実線で時刻T_1まで示してある。時刻T_1からT_2までのx_Aを点線, x_Bを実線で図に示せ。ただし, 壁と物体, および物体AとBは弾性衝突をし, レールと物体間の摩擦は無視でき, 壁の位置を$x = 0$とする。

ばね（自然長L, ばね定数k, 質量は無視できる）の両端に物体A, Bを取り付けた。この複合体を振動子と呼ぶことにする。

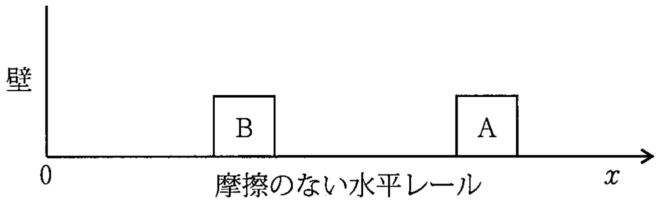


図1

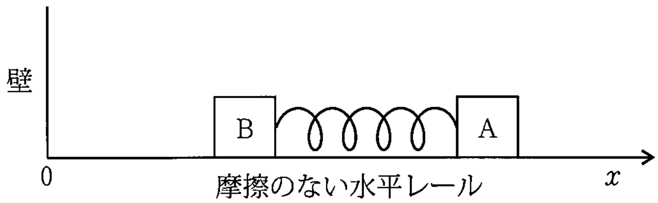


図2

問 2　振動子を摩擦のない水平レール上に置いた。物体 A，B の運動方程式は，

$$ma_{\mathrm{A}} = \boxed{1} \qquad (1)$$

$$ma_{\mathrm{B}} = \boxed{2} \qquad (2)$$

となる。

(a)　$\boxed{1}$，$\boxed{2}$ にあてはまる式を以下の選択肢から選び，番号で答えよ。

① $k\,(x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}+L)$　② $-k\,(x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}+L)$　③ $k\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}+L)$　④ $-k\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}+L)$

⑤ $k\,(x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}-L)$　⑥ $-k\,(x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}-L)$　⑦ $k\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}-L)$　⑧ $-k\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}-L)$

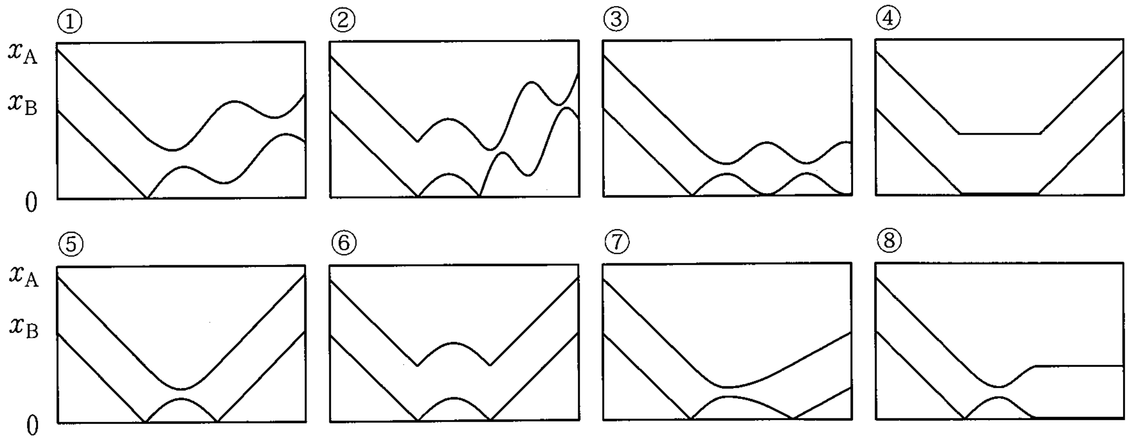
(b)　物体 A，B を異なる初速度で動かした。式（1），（2）から求められる $x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}$，$x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}$ のその後の運動として適切なものを以下の選択肢から選び，番号で答えよ。

① 等速直線運動　② 等加速度直線運動

③ 単振動（周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{2k}}$）　④ 単振動（周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{k}}$）　⑤ 単振動（周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{2m}{k}}$）

⑥ 単振動（周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{m}{4k}}$）　⑦ 単振動（周期 $2\pi\sqrt{\dfrac{4m}{k}}$）

(c)　図 2 に示すように，ばねの長さを自然長にして，物体 A，B を同時に同じ初速度で壁（$x=0$）に向けて動かした。物体 B は壁と弾性衝突をする。x_{A}，x_{B} を表すグラフとして適切な図を以下の選択肢から選び，番号で答えよ。図の横軸は時間，縦軸はレール上の位置を表す。



問3　天体（質量M）の上空から振動子を自由落下させた（図3）。万有引力定数をGとすると，物体Aの運動方程式は，

$$ma_{\mathrm{A}} = \boxed{1\ (\text{既出})} - \boxed{3} \tag{3}$$

となる。

（a）　$\boxed{3}$ にあてはまる式を以下の選択肢から選び，番号で答えよ。ただし，x_{A}，x_{B} は天体の中心からの距離であり，物体A，B間の万有引力は無視する。

①　$GMmx_{\mathrm{A}}$　②　$GMmx_{\mathrm{A}}^2$　③　$GMm\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}})$　④　$GMm\,(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}})^2$

⑤　$\dfrac{GMm}{x_{\mathrm{A}}}$　⑥　$\dfrac{GMm}{x_{\mathrm{A}}^2}$　⑦　$\dfrac{GMm}{x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}}$　⑧　$\dfrac{GMm}{(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}})^2}$

同様に，物体Bに対する運動方程式を式（4）とする。

式（3），（4）に対して，記号の置き換え，

$$x = \frac{x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}}{2} \tag{5}$$

$$d = \frac{x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}}{2} \tag{6}$$

をおこない，さらにdはxよりも十分に小さいと仮定し，nを自然数として，以下の近似をおこなう。

$$(x+d)^n \fallingdotseq x^n + nx^{n-1}d \quad \text{もしくは} \quad \frac{1}{(x+d)^n} \fallingdotseq \frac{1}{x^n} - \frac{nd}{x^{n+1}} \tag{7}$$

（b）　上記近似をおこなった式（3）と式（4）の差に対して，さらに$a_{\mathrm{A}} - a_{\mathrm{B}} \fallingdotseq 0$の近似を行うと，$d$を$x$の関数として求めることができる。$d$として適切な式を以下の選択肢から選び，番号で答えよ。

①　$\dfrac{kL}{k+\dfrac{GMm}{x^3}}$　②　$\dfrac{kL}{k-\dfrac{GMm}{x^3}}$　③　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k+\dfrac{GMm}{x^3}}$　④　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k-\dfrac{GMm}{x^3}}$

⑤　$\dfrac{kL}{k+\dfrac{GMm}{2x^3}}$　⑥　$\dfrac{kL}{k-\dfrac{GMm}{2x^3}}$　⑦　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k+\dfrac{GMm}{2x^3}}$　⑧　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k-\dfrac{GMm}{2x^3}}$

⑨　$\dfrac{kL}{k+\dfrac{2GMm}{x^3}}$　⑩　$\dfrac{kL}{k-\dfrac{2GMm}{x^3}}$　⑪　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k+\dfrac{2GMm}{x^3}}$　⑫　$\dfrac{1}{2}\dfrac{kL}{k-\dfrac{2GMm}{x^3}}$

（c） 窒素分子を構成する2個の窒素原子の結合をばねで近似する。この分子のばね定数を有効数字1桁で求めよ。ただし，電気素量 1.6×10^{-19} C，外力が無い場合の原子間距離 0.11 nm，外力を加えて原子間距離を 0.16 nm にすると窒素原子間の結合エネルギーは 6.0 eV 増加する。

（d） 太陽と同じ質量で大きさの無視できる天体に向けて（c）で仮定した自然長の窒素分子を図3のように自由落下させたところ，原子間距離が $2L$ (0.22 nm) になった。このときの x を有効数字1桁で求めよ。ただし，$G = 6.7 \times 10^{-11}\,\mathrm{Nm^2/kg^2}$，$M = 2.0 \times 10^{30}$ kg，アボガドロ定数 6.0×10^{23}/mol，窒素分子の分子量28。相対性理論や量子力学的効果は無視して，ニュートン力学の範囲で答えよ。

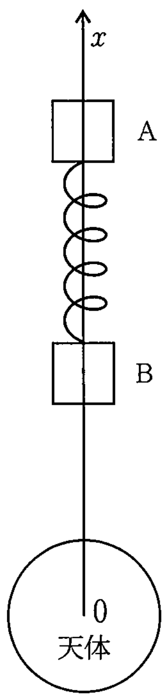


図3

Ⅲ

問１　以下の文章の ① ～ ⑤ の空欄に入る数式や語句を指示にしたがって答えよ。

磁束密度 B の一様な磁場に垂直に，長さ L の金属棒 OA を保持し，磁場および金属棒に垂直な向きに速さ v で動かした（図１）。棒の太さは無視できる。

電気素量を e とすると，棒内部の自由電子には，$\boxed{\text{① 数式}}$ の大きさのローレンツ力が $\boxed{\text{② 語句}}$ の向きに働き，電子が移動して電荷分布が変化する。それにより生じた電場とローレンツ力が釣り合い電子の移動が止まる。このとき，棒の内部には $\boxed{\text{③ 数式}}$ の大きさの電場が発生している。O からの距離 r と電場の関係を図示すると図２のようになる。微小な距離 Δr 離れた２点間の電位差を ΔV とすると，$\Delta V = \boxed{\text{④ 数式}}$ であるから，図２の $\boxed{\text{⑤ 語句}}$ が AO 間の電位差（金属棒に生じる起電力）を表している。

問２　図３に示すように，端点 O を中心として，磁場 B に垂直な面内において一定の角速度 ω で長さ L の金属棒を回転させた。O からの距離 r と電場の関係を図２にならって解答欄に示し，AO 間の電位差を求めよ。

問３　図４に示すように，長さ $\dfrac{3L}{2}$ の金属棒 AB を，端点 B から $\dfrac{L}{2}$ の位置を中心として磁場 B に垂直な面内で角速度 2ω で回転させた。AB 間の電位差は図３の AO 間の電位差の何倍か。

問４　図５に示すように，抵抗値 $8R$ の一様な導線を輪にして半径 L の円形コイルを作り，コイル面を磁場に垂直に保持した。長さ L の金属棒の端点 O に導体の軸を取り付けてコイルの中心に置き，端点 A をコイルに接しながら一定角速度 ω で回転させた。コイル上の点 C に抵抗値 R の抵抗を接続し，コイル，金属棒，抵抗からなる回路を作った。金属棒と OC のなす角度を θ（$0 \leqq \theta < 2\pi$）とし，金属棒，回転軸，回路の導線の抵抗は無視できる。

金属棒に発生する起電力を V_0 として，以下の（a）～（d）に答えよ。

（a）　$\theta = \pi$ のときの抵抗 R の消費電力はいくらか。

（b）　抵抗 R の消費電力の最大値は最小値の何倍か。

（c）　$\theta = \pi$ および $\theta = 0$ のときのコイルの消費電力はいくらか。

（d）　コイルの消費電力の最大値とそのときの角度 θ を求めよ。

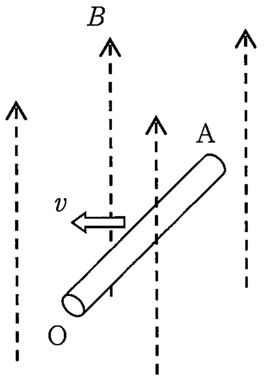


図 1

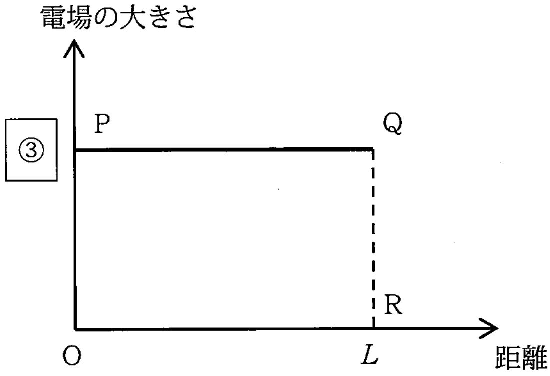


図 2　たて軸に付した③は問 1 の③と同一

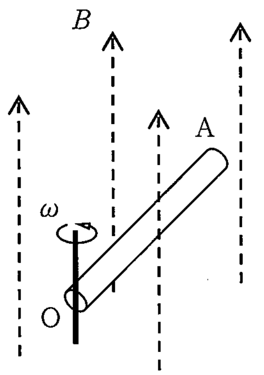


図 3

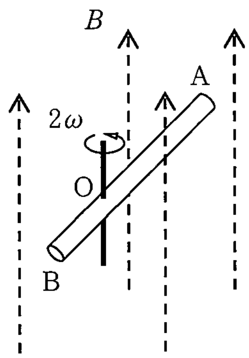


図 4

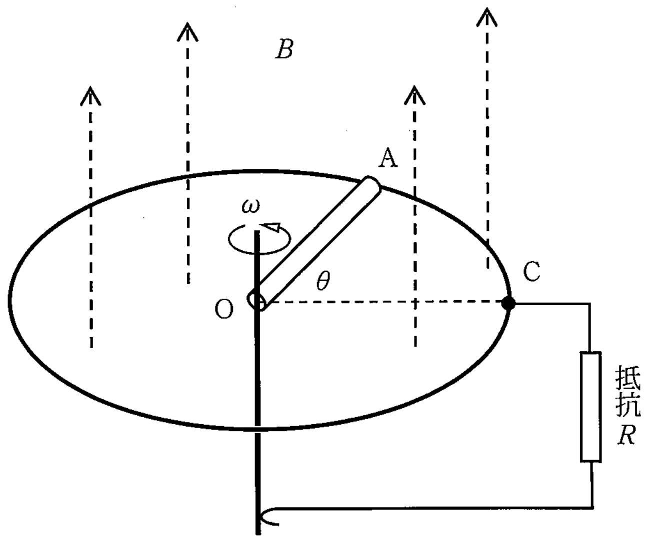


図 5