平成26（2014）年度

慶應義塾大学入学試験問題

医　学　部

理　科

注意事項

1. 受験番号と氏名は解答用紙の所定の記入欄にそれぞれ記入してください。
2. 受験番号は所定欄の枠の中に1字1字記入してください。
3. 解答は，必ず解答用紙の所定の欄に記入してください。
4. この問題冊子の余白を計算および下書きに用いてください。
5. この問題冊子の総ページ数は24ページです。試験開始の合図とともにすべてのページが揃っているかどうか確認してください。ページの脱落や重複があったら直ちに監督者に申し出てください。
6. この問題冊子は，試験終了後に持ち帰ってください。

—— 下書き計算用 ——

―― 下書き計算用 ――

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[$\mathrm{cm^{-1}}$]と定義する。80keV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4.2MeVのα線を放出する。20g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1.2×10^4Bqとし，電気素量を1.6×10^{-19}Cとする。

問4　振動数448Hz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336m/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[$\mathrm{m^2}$]，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$0.50S$[$\mathrm{m^2}$]，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。

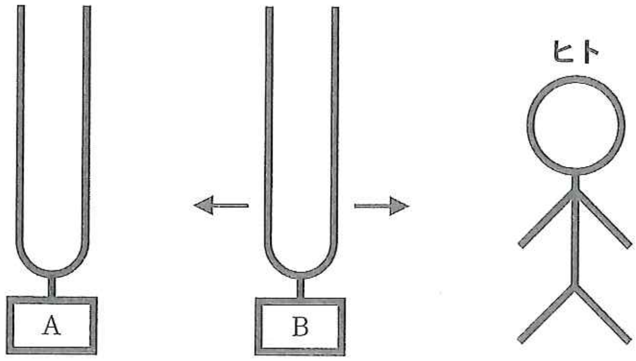


図1

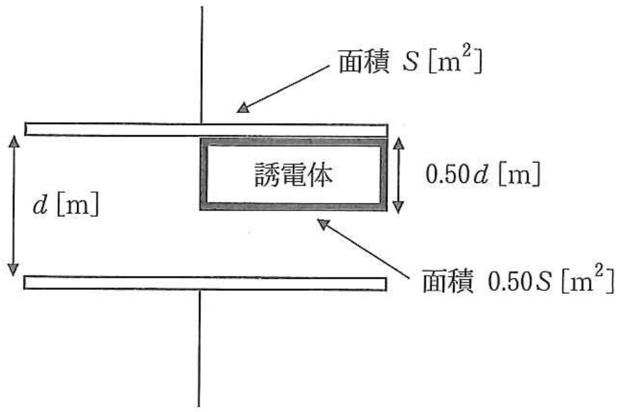


図2

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，$x_{\mathrm{A}} > x_{\mathrm{B}}$ 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。

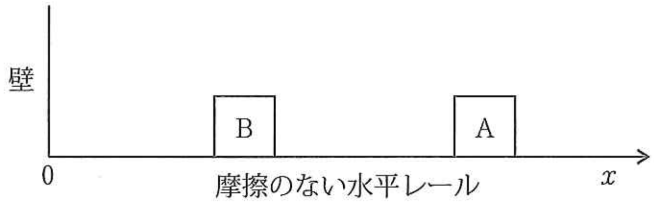


図 1

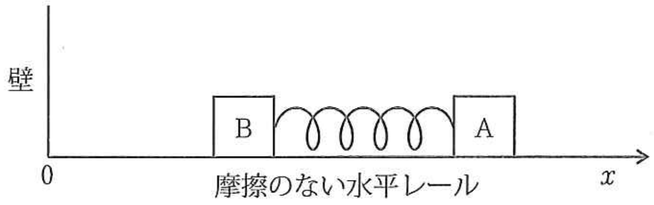


図 2

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 $-k(x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}-L)$

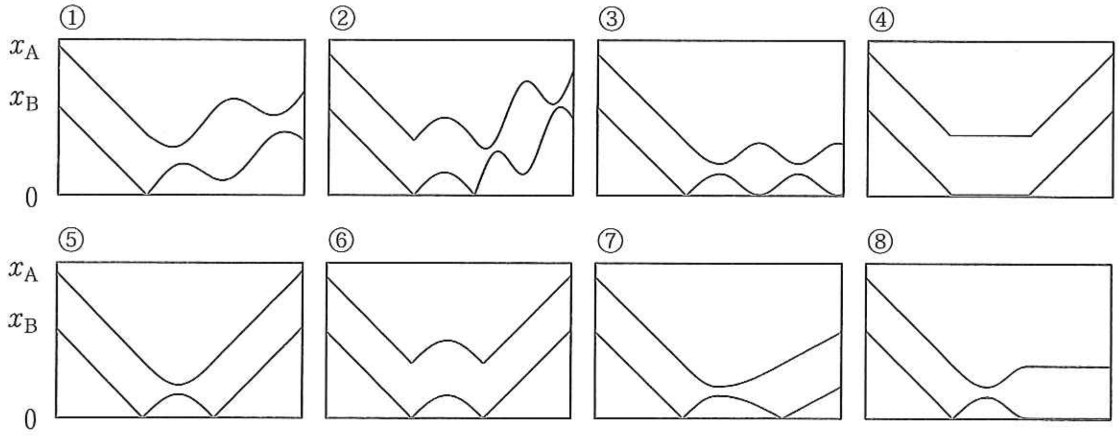
（b）物体 A，B を異なる初速度で動かした。式（1），（2）から求められる $x_{\mathrm{A}}+x_{\mathrm{B}}$，$x_{\mathrm{A}}-x_{\mathrm{B}}$ のその後の運動として適切なものを以下の選択肢から選び，番号で答えよ。

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0.11nm，外力を加えて原子間距離を0.16nmにすると窒素原子間の結合エネルギーは6.0eV 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 $2L$ (0.22nm) になった。このときの x を有効数字１桁で求めよ。ただし，$G=6.7\times10^{-11}\,\mathrm{Nm^2/kg^2}$，$M=2.0\times10^{30}$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。

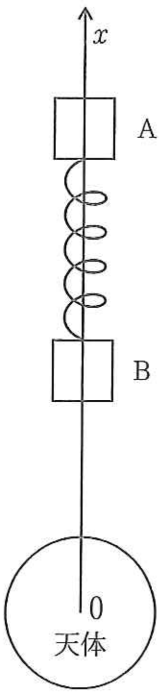


図３

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。

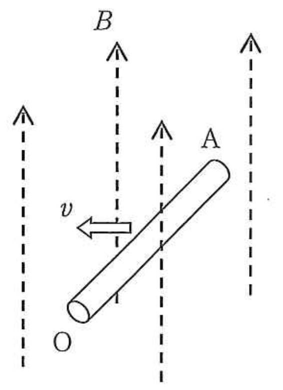


図 1

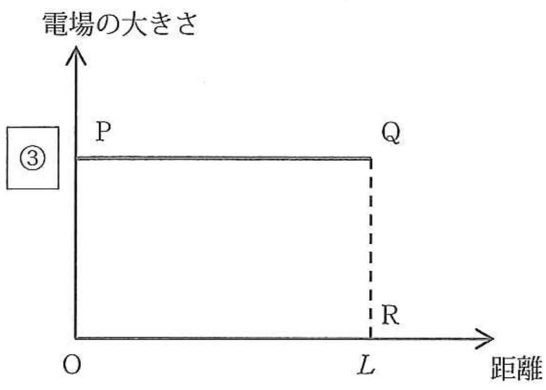


図 2　たて軸に付した③は問 1 の③と同一

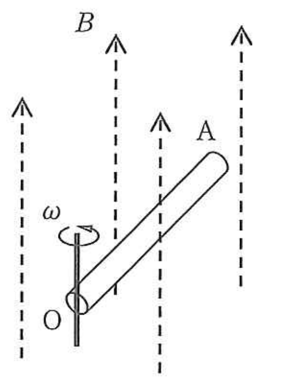


図 3

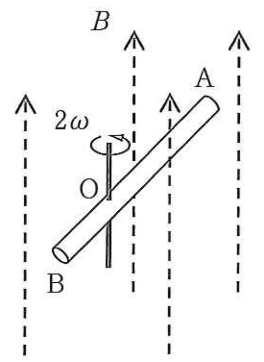


図 4

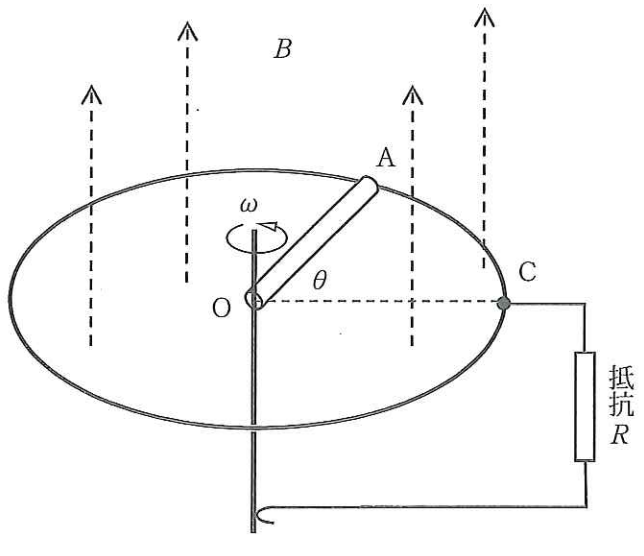


図 5