平成 28 年度　　　　　　　　　　　　　　　　　　〔試験時間　80 分〕

R 3　物理　　R 4　化学　　R 5　生物

この冊子は，物理，化学 および 生物 の問題を 1 冊にまとめてあります。

物理学科は物理指定

応用生物科学科と経営工学科は，物理・化学・生物のいずれかを選択

物理の問題は，1 ページより 24 ページまであります。
化学の問題は，25 ページより 36 ページまであります。
生物の問題は，37 ページより 65 ページまであります。

〔注　　意〕

(1) 試験開始の指示があるまで，この冊子を開いてはいけません。

(2) 監督者から受験番号等記入の指示があったら，解答用マークシートに受験番号と氏名を記入し，さらに受験番号と志望学科をマークしてください。

(3) 解答は，所定の解答用マークシートにマークしたものだけが採点されます。

(4) 解答用マークシートについて

① 解答用マークシートは，絶対に折り曲げてはいけません。

② マークには黒鉛筆（H B または B）を使用してください。指定の黒鉛筆以外でマークした場合，採点できないことがあります。

③ 誤ってマークした場合は，消しゴムで丁寧に消し，消しくずを完全に取り除いたうえ，新たにマークしてください。

④ 解答欄のマークは，横 1 行について 1 箇所に限ります。2 箇所以上マークすると採点されません。あいまいなマークは無効となるので，はっきりマークしてください。

⑤ 解答用マークシート上部に記載されている解答上の注意事項を，必ず読んでから解答してください。

(5) 試験開始の指示があったら，初めに問題冊子のページ数を確認してください。
ページの落丁・乱丁，印刷不鮮明等に気づいた場合は，手を挙げて監督者に知らせてください。

(6) 問題冊子は，試験終了後，持ち帰ってください。

◇M33(210—549)

物　　　理

1　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　(30 点)

地球のまわりを回る人工衛星の運動について考えてみよう。地球を半径が $R\ [\mathrm{m}]$ で球対称の質量分布をもつ全質量 $M\ [\mathrm{kg}]$ の球とする。地球の自転および公転，さらに空気などによる抵抗の影響は無視できるものとする。万有引力定数を $G\ [\mathrm{m^3/(kg \cdot s^2)}]$ として以下の設問に答えなさい。

(1)　地表における重力加速度の大きさ $g\ [\mathrm{m/s^2}]$ は, R, M, G を用いて $g = \boxed{(ア)}$ で表される。また, 地表面からの高さ $h\ [\mathrm{m}]$ における重力加速度の大きさは $\boxed{(ア)} \times \boxed{(イ)}\ [\mathrm{m/s^2}]$ となる。

(ア) の解答群

⓪ $\dfrac{GR}{M}$　① $\dfrac{GR^2}{M}$　② $\dfrac{GR^3}{M}$　③ $\dfrac{GM}{R}$

④ $\dfrac{GM}{R^2}$　⑤ $\dfrac{GM}{R^3}$　⑥ $\dfrac{R}{GM}$　⑦ $\dfrac{R^2}{GM}$

⑧ $\dfrac{G}{MR}$　⑨ $\dfrac{G}{MR^2}$

(イ) の解答群

⓪ $\dfrac{R}{R+h}$　① $\dfrac{R^2}{(R+h)^2}$　② $\dfrac{R^3}{(R+h)^3}$　③ $\dfrac{R+h}{R}$

④ $\dfrac{(R+h)^2}{R^2}$　⑤ $\dfrac{(R+h)^3}{R^3}$

(2) もし地表すれすれの円軌道でまわる質量 m [kg] の人工衛星があったとすると, その速さは $v_0 =$ **(ウ)** [m/s] となる。これを第一宇宙速度という。このとき, 人工衛星が地球のまわりを周回する周期は **(エ)** [s] である。この人工衛星がもつ力学的エネルギー E [J] は運動エネルギーと位置エネルギーの和である。位置エネルギーの基準点を無限遠とすると, $E =$ **(オ)** となる。

(ウ) の解答群

⓪ $\sqrt{\dfrac{R}{GM}}$　① $\dfrac{R}{\sqrt{GM}}$　② $\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$　③ $\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$

④ $\dfrac{\sqrt{GM}}{R}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{GM}{R^3}}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{GM}{2R}}$　⑦ $\dfrac{\sqrt{GM}}{2R}$

⑧ $\sqrt{\dfrac{GM}{8R^3}}$

(エ) の解答群

⓪ $2\pi\sqrt{\dfrac{R}{GM}}$　① $2\pi\dfrac{R}{\sqrt{GM}}$　② $2\pi\sqrt{\dfrac{R^3}{GM}}$　③ $2\pi\sqrt{\dfrac{R^5}{GM}}$

④ $2\pi\sqrt{\dfrac{GM}{R}}$　⑤ $2\pi\dfrac{\sqrt{GM}}{R}$　⑥ $2\pi\sqrt{\dfrac{GM}{R^3}}$　⑦ $2\pi\sqrt{\dfrac{GM}{R^5}}$

(オ) の解答群

⓪ $-\dfrac{GMm}{4R}$　① $-\dfrac{GMm}{3R}$　② $-\dfrac{GMm}{2R}$　③ $-\dfrac{GMm}{R}$

④ $-\dfrac{4GMm}{R}$　⑤ $-\dfrac{3GMm}{R}$　⑥ $-\dfrac{2GMm}{R}$　⑦ $-\dfrac{R}{GMm}$

⑧ $-\dfrac{R}{2GMm}$　⑨ $-\dfrac{R}{4GMm}$

(3) この人工衛星を加速したところ, 図 **1-1** に示すように人工衛星は地球を焦点のひとつとする楕円軌道を描いた。その軌道上で地球から最も近い点を A として, 地球中心から A までの距離を r_{A} [m], その地点での人工衛星の速さを v_{A} [m/s] とする。また, その軌道上で地球から最も遠い点を B として, 地球中心から B までの距離を r_{B} [m], その地点での人工衛星の速さを v_{B} [m/s] とする。ここで, r_{A} と r_{B} の和 a [m] と比 b を $a = r_{\mathrm{A}} + r_{\mathrm{B}}$, $b = \frac{r_{\mathrm{B}}}{r_{\mathrm{A}}}$ と定義する。この人工衛星の周期は a の $\boxed{\text{(カ)}}$ 乗に比例する。また, v_{A} と v_{B} の関係を b を用いて表すと $v_{\mathrm{B}} = \boxed{\text{(キ)}} \times v_{\mathrm{A}}$ となる。

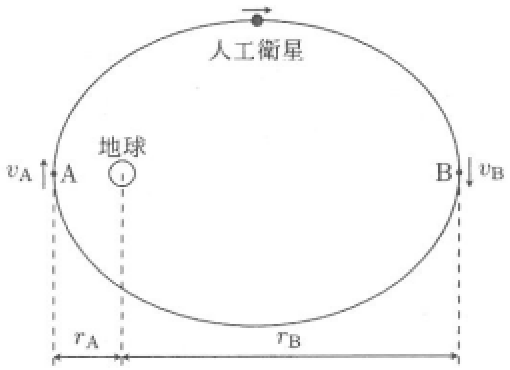

図 **1-1**

(カ) の解答群

⓪ 0	① $\frac{1}{2}$	② 1	③ $\frac{3}{2}$
④ 2	⑤ $\frac{5}{2}$	⑥ 3	⑦ $\frac{7}{2}$
⑧ 4	⑨ 5		

(キ) の解答群

⓪ 0	① $\frac{1}{2b}$	② $\frac{1}{b}$	③ $\frac{2}{b}$
④ $\frac{1}{2b^2}$	⑤ $\frac{1}{b^2}$	⑥ $\frac{2}{b^2}$	⑦ b
⑧ $2b$	⑨ b^2		

点Aにおける人工衛星の運動エネルギーを K_A [J], 位置エネルギーを U_A [J], 点Bにおける人工衛星の運動エネルギーを K_B [J], 位置エネルギーを U_B [J] とする。ここで, 位置エネルギーの基準点は無限遠とする。運動エネルギー K_A, K_B の関係を b を用いて表すと, $K_B = \boxed{\text{(ク)}} \times K_A$ となり, 位置エネルギー U_A, U_B の関係を b を用いて表すと, $U_B = \boxed{\text{(ケ)}} \times U_A$ となる。この人工衛星の力学的エネルギーを E_0 [J] とすると, 力学的エネルギー保存則から, $K_A = (\boxed{\text{(コ)}}) \times E_0$, $U_A = (\boxed{\text{(サ)}}) \times E_0$ であることがわかる。

この人工衛星を点Aで進行方向に加速すると, r_B は r_A に比べてより大きくなる。この操作を繰り返すと, そのうちに人工衛星は地球に戻らなくなる。この操作中に, E_0 は $\boxed{\text{(シ)}}$ [J] に近づく。このとき, r_A をほぼ地球の半径 R とみなしてよいとすると, 点Aでの人工衛星の速さは $\boxed{\text{(ス)}}$ [m/s] である。これを第二宇宙速度という。

(ク), (ケ) の解答群

⓪ 0　① $\frac{1}{2b}$　② $\frac{1}{b}$　③ $\frac{2}{b}$

④ $\frac{1}{2b^2}$　⑤ $\frac{1}{b^2}$　⑥ $\frac{2}{b^2}$　⑦ b

⑧ $2b$　⑨ b^2

(コ), (サ) の解答群

⓪ $-1-b$　① $-b$　② $-2b$　③ 0

④ $1-b$　⑤ $1-2b$　⑥ 1　⑦ $1+b$

⑧ $1+2b$　⑨ $2+b$

(シ) の解答群

⓪ 0　① K_{A}　② U_{A}

(ス) の解答群

⓪ $\sqrt{\frac{GM}{3R}}$　① $\sqrt{\frac{GM}{2R}}$　② $\sqrt{\frac{GM}{R}}$　③ $\sqrt{\frac{2GM}{R}}$

④ $\sqrt{\frac{3GM}{R}}$

2 次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。)　(25点)

図 2-1 のようにそれぞれ抵抗 $R_1 \sim R_4$ の4つの抵抗器1～4を配線した回路を考える。回路の左側の2つの端子AとBには，出力する電圧 V_{AB} と電流 I_A が表示される直流電源を，Aを正側として接続する。右側の2つの端子PとQの間には，導線や抵抗をつなぐことができ，またそのときのQに対するPの電位 V_{PQ} を測定できるようにしてある。

(1) $V_{AB} = 10.0\,\mathrm{V}$，$R_1 = R_4 = 2.0\,\mathrm{k\Omega}$，$R_2 = R_3 = 3.0\,\mathrm{k\Omega}$ とする。

PQ間に電圧計だけつないでQに対するPの電位を測定すると，$V_{PQ} =$ $\boxed{(ア)}$ Vとなり，端子Aを流れる電流は $I_A =$ $\boxed{(イ)}$ mA である。

次にPQ間を導線でつなぐと，$I_A =$ $\boxed{(ウ)}$ mAとなる。この状態で電流を1分間流した際の抵抗1～4での発熱量を合計すると，$\boxed{(エ)}$ Jである。

その次にPQ間の導線をとりはずし，抵抗 $R_5 = 2.0\,\mathrm{k\Omega}$ の抵抗器5をPQ間に接続した。このとき，$V_{PQ} =$ $\boxed{(オ)}$ Vであり，$I_A =$ $\boxed{(カ)}$ mAとなる。

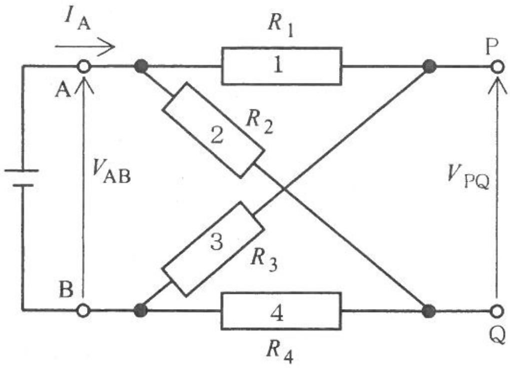

図 **2-1**

(ア) の解答群

⓪ 0.0　① 1.0　② 2.0　③ −1.0　④ −2.0

(イ), (ウ) の解答群

⓪ 2.0　① 2.4　② 2.7　③ 3.5　④ 4.0　⑤ 4.2

(エ) の解答群

⓪ 0.25　① 0.60　② 1.25　③ 2.4　④ 2.5　⑤ 4.2

(オ) の解答群

⓪ 0.25　　① 0.55　　② 0.91　　③ 1.1　　④ 1.5　　⑤ 1.8

(カ) の解答群

⓪ 1.6　　① 2.1　　② 3.6　　③ 4.1　　④ 5.4　　⑤ 8.2

右のページは白紙です。

(2) 図 **2-1** の回路で，$V_{AB} = 10.0\,\mathrm{V}$，$R_1 = R_2 = R_3 = 2.0\,\mathrm{k\Omega}$ とし，抵抗器4は導線にとりかえた。

このとき，PQ間に電圧計だけつないで電位差を測定すると，$V_{PQ} =$ $\boxed{\text{（キ）}}$ Vであり，$I_A =$ $\boxed{\text{（ク）}}$ mAとなる。

さらにPQ間に抵抗 $R_5 = 2.0\,\mathrm{k\Omega}$ の抵抗器5をつなぐと，抵抗器5には $\boxed{\text{（ケ）}}$ mAの電流が流れる。

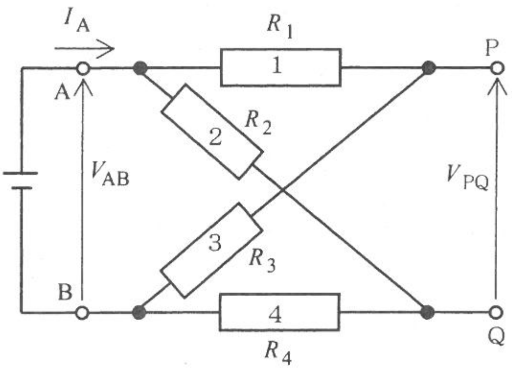

図 **2-1**（再掲）

(キ), (ク), (ケ) の解答群

⓪ 1.0	① 1.7	② 2.5	③ 3.3
④ 5.0	⑤ 6.7	⑥ 7.5	⑦ 8.3

(3) 前問 (2) の実験をしようとして，抵抗器 4 を導線にとりかえ，$R_1 = R_2 = R_3 = 2.0\,\mathrm{k\Omega}$ としたはずが，誤って抵抗器 1 ～ 3 のうちのいずれか 1 つに 200 kΩ のものを使ってしまった。PQ 間の抵抗器 5 はまだつないでいない。$V_{AB} = 10.0\,\mathrm{V}$ として，この場合に起きることとして正しい記述は $\boxed{(コ)}$ である。

(コ) の解答群

⓪ I_A の値を測定すれば，どの抵抗器が誤っているか特定できる。

① どの抵抗器が誤っていても V_{PQ} は $\boxed{(キ)}$ V とは異なる値になる。

② 抵抗器 2 が誤っていれば，$V_{PQ} = \boxed{(キ)}$ V，かつ $I_A > \boxed{(ク)}$ mA となる。

③ 抵抗器 1 が誤っていると $V_{PQ} < \boxed{(キ)}$ V となり，抵抗器 3 が誤っていると $V_{PQ} > \boxed{(キ)}$ V となる。

④ 抵抗器 1 と抵抗器 3 のどちらが誤っていても $I_A > \boxed{(ク)}$ mA となる。

右のページは白紙です。

$\boxed{3}$ 次の問題の $\boxed{\quad\quad}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。)　　(25 点)

図 3-1 のように，ピストンとシリンダーの間の空間に，物質量 n [mol] の理想気体を入れた。シリンダーの側面（円筒面）は絶縁体であるが，シリンダーの底面とピストンはともに面積 S [m^2] の導体円板であり，気体を挟んで極板として平行平板コンデンサーを構成している。シリンダーに対してピストンは摩擦なく動けるとする。両極板間には電圧が調整できる電源を接続して電位差 V [V] を与え，コンデンサーに充電することができる。コンデンサー内の気体の誘電率は，その温度や圧力にかかわらず，真空の誘電率 ε_0 [F/m] に等しいとみなしてよく，放電も起こらないとする。極板間の距離 L [m] はピストンの直径に対してじゅうぶん小さい範囲にあり，コンデンサー内の電場は一様であると考えてよい。

また，シリンダーの底面を通じて外部の熱源と熱交換させることによって，内部の気体の温度を設定することができる。以下の設問では，気体定数を R [J/(K·mol)] とし，重力は無視できるとする。また，ピストンの外部は真空であり，シリンダーとピストンの熱容量は無視してよい。

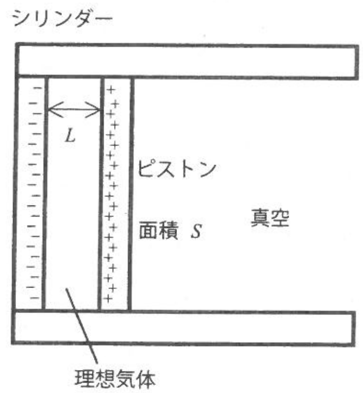

図 3-1　理想気体を入れたシリンダー-ピストンの模式的断面図

(1)　極板間の距離が L [m] であるとき，このコンデンサーの電気容量は $\dfrac{\varepsilon_0 S}{L}$ [F] であり，極板間の電位差を V とすると，コンデンサーに蓄えられる電気量は $q = \dfrac{\varepsilon_0 S}{L}V$ [C] となる。このとき，極板間の一様電場の強さは $E = \dfrac{V}{L} = \dfrac{q}{\varepsilon_0 S}$ [V/m] となり，ピストンはシリンダー底面から $F = \dfrac{1}{2}qE$ [N] の強さの引力を受けている。このコンデンサーに蓄えられているエネルギーは，電気量 q を保って極板間の距離をゼロから L まで広げるのに必要な仕事であり，$\boxed{\text{(ア)}}$ [J] となる。

ピストンの外側が真空なので，極板間の距離を L に保つようにピストンが静止しているときには，力 F がシリンダー内の気体の圧力 P [Pa] による力とつりあっている。このとき，P を q，ε_0 および S を用いて表すと，$P = \boxed{\text{(イ)}}$ [Pa] となる。

理想気体の状態方程式から，気体の温度 T [K] においてピストンに働く力がつりあっているとき，q，V および T の間に成り立つ関係式 $\boxed{\text{(ウ)}} = nRT$ が得られ，コンデンサーに蓄えられるエネルギーが温度によって決まることがわかる。

(ア), (ウ) の解答群

⓪ $\dfrac{qV}{2}$　① $\dfrac{q}{2V}$　② $\dfrac{V}{2q}$　③ $\dfrac{1}{2qV}$　④ $2qV$　⑤ $\dfrac{2V}{q}$

(イ) の解答群

⓪ $\dfrac{2q}{\varepsilon_0 S^2}$　① $\dfrac{2q^2}{\varepsilon_0 S^2}$　② $\dfrac{2q^2}{\varepsilon_0 S}$　③ $\dfrac{q}{2\varepsilon_0 S^2}$　④ $\dfrac{q^2}{2\varepsilon_0 S^2}$　⑤ $\dfrac{q^2}{2\varepsilon_0 S}$

(2)　気体の温度が T_1 [K] のとき，電源をつないで極板間の電位差を V_1 [V] とすると，極板間距離 L_1 [m] においてピストンに働く力がつりあった。これを**状態 1** とする。L_1 を T_1 と V_1 を用いて表すと，$L_1 = \boxed{\text{(エ)}}$ [m] となる。

(3)　**状態 1** で，極板と電源の接続を断った後，熱源から熱を吸収させて，気体の温度を T_1 から αT_1 に上昇させた ($\alpha > 1$)。これを**状態 2** とする。**状態 2** での極板間距離は $\boxed{\text{(オ)}} \times L_1$ となり，極板間電位差は $\boxed{\text{(カ)}} \times V_1$ となる。またコンデンサーに蓄えられたエネルギーは $(\boxed{\text{(キ)}}) \times nRT_1$ だけ増加する。**状態 1** から**状態 2** への過程で気体が吸収した熱量を Q_2 [J] とする。

(エ) の解答群

⓪ $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_1}^2}{nRT_1}$　① $\dfrac{\varepsilon_0 S{V_1}^2}{2nRT_1}$　② $\dfrac{2\varepsilon_0 S{V_1}^2}{nRT_1}$

③ $\dfrac{nRT_1}{\varepsilon_0 S{V_1}^2}$　④ $\dfrac{nRT_1}{2\varepsilon_0 S{V_1}^2}$　⑤ $\dfrac{2nRT_1}{\varepsilon_0 S{V_1}^2}$

(オ), (カ) の解答群

⓪ α　① $\sqrt{\alpha}$　② α^2　③ $\dfrac{1}{\alpha}$　④ $\dfrac{1}{\sqrt{\alpha}}$　⑤ $\dfrac{1}{\alpha^2}$

(キ) の解答群

⓪ $\dfrac{\alpha^2}{2}-1$　① $\dfrac{\alpha}{2}-1$　② $\dfrac{\sqrt{\alpha}}{2}-1$

③ α^2-1　④ $\alpha-1$　⑤ $\sqrt{\alpha}-1$

(4)　状態**1**から始めて，熱源から熱を吸収させるのと同時に，電源を接続して極板間電位差を調整し，極板間距離をL_1に保ちながら，気体の温度を上昇させた。気体の温度が状態**2**と同じαT_1に達したときを状態**3**とする（$\alpha > 1$）。状態**3**での極板間電位差は $\boxed{\text{（ク）}}\times V_1$ [V] になる。また，状態**3**でコンデンサーが蓄えているエネルギーは，状態**2**での値$\boxed{\text{（ケ）}}$。状態**1**から状態**3**への過程で，気体が吸収する熱量をQ_3 [J]，電源がコンデンサーにした仕事をW_3 [J]とすると，Q_3，W_3，および前問**(3)**のQ_2との間に，関係$\boxed{\text{（コ）}}=0$が成り立つ。

(ク) の解答群

⓪ α　① $\sqrt{\alpha}$　② α^2　③ $\dfrac{\alpha}{2}$　④ $\dfrac{\sqrt{\alpha}}{2}$　⑤ $\dfrac{\alpha^2}{2}$

(ケ) の解答群

⓪ より大きい　① より小さい　② と等しい

(コ) の解答群

⓪ $Q_2+Q_3+W_3$　① $Q_2+Q_3-W_3$

② $Q_2-Q_3+W_3$　③ $Q_2-Q_3-W_3$

④ $Q_2+Q_3+2W_3$　⑤ $Q_2+Q_3-2W_3$

⑥ $Q_2-Q_3+2W_3$　⑦ $Q_2-Q_3-2W_3$

4　次の問題の $\boxed{}$ の中に入れるべき最も適当なものをそれぞれの**解答群**の中から選び，その番号を**解答用マークシート**の指定された欄にマークしなさい。(同じ番号を何回用いてもよい。答えが数値となる場合は最も近い数値を選ぶこと。)　(20 点)

野球やテニスのボールの速さを測定する球速測定器（スピードガン）について考えよう。測定器から**図 4-1** に示すように, 正面に向かってくるボールに電波を照射し, ボールによって反射された電波を検出することによってボールの速さを測定する, というのが球速測定器の原理である。ボールの質量を M [kg], 測定器に向かってくるボールの速さを V [m/s] とする。以下の設問では, 真空中の光の速さを c [m/s] とし, 空気中での光の速さも近似的に c とみなす。

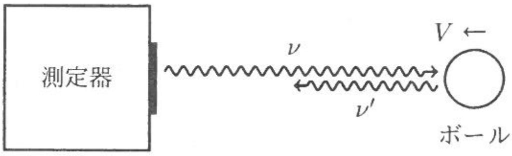

図 4-1

(1) 電波は波動であり, 音波と同様にドップラー効果を考えることができる。正確にいえば, 電波の場合は音波とは異なるのだが, 以下の設問では音波の場合と同様の考えで求めることができるものとする。測定器から振動数 ν [Hz] の電波を照射する。ボールが測定器の方向に動いているため, ボールに到達する1秒間あたりの波の数 ν_1 [Hz] は $\nu_1 = \boxed{\text{(ア)}} \times \nu$ となり, 反射する電波はボールから振動数 ν_1 で出てくるように見える。ボールが動いているために検出器で観測される電波の振動数 ν' [Hz] は $\nu' = \boxed{\text{(イ)}} \times \nu_1$ となり, 照射された電波の振動数との関係は $\nu' = \boxed{\text{(ウ)}} \times \nu$ となる。

(2) 現代物理学では電波や可視光などの電磁波は光子と呼ばれる粒子として扱うこともできる。これを光の二重性と呼んでいる。振動数 ν [Hz] の電波はエネルギー $E = h\nu$ [J] を持つ光子でもある。比例定数 h [J·s] はプランク定数と呼ばれる。この光子の運動量の大きさは $p = \dfrac{h\nu}{c}$ [kg·m/s] であり, 向きは電波の進行方向である。この光子一個とボールが正面衝突すると考えよう。ボールの衝突後の速さを V' [m/s] , 光子の衝突後の振動数を ν' [Hz] とする。ボールが運動している方向は衝突の前後で変わらない。それを負の向きとすると, 運動量保存則から $\dfrac{h\nu}{c} - MV = \boxed{\text{(エ)}}$ [kg·m/s] であり, エネルギー保存則から $h\nu + \dfrac{1}{2}MV^2 = \boxed{\text{(オ)}}$ [J] となる。この2つの保存則から V' を消去すると, $\nu' - \nu = \boxed{\text{(カ)}} + \dfrac{V}{c}(\nu + \nu')$ と求められる。光子の運動量の大きさはボールの運動量の大きさに比べてじゅうぶんに小さいので, 右辺の第一項 $\boxed{\text{(カ)}}$ は無視でき, 前問 (1) と同じ $\nu' = \boxed{\text{(ウ)}} \times \nu$ の関係が得られる。

(ア), (イ), (ウ) の解答群

⓪ $\dfrac{c}{c-V}$　① $\dfrac{c+V}{c-V}$　② $\dfrac{c-V}{c}$　③ $\dfrac{c+V}{c}$

④ $\dfrac{c-V}{c+V}$　⑤ $\dfrac{c}{c+V}$　⑥ $\dfrac{c^2-V^2}{c^2}$　⑦ $\dfrac{c^2+V^2}{c^2}$

(エ) の解答群

⓪ $-\dfrac{h\nu'}{c}-MV'$　① $-\dfrac{h\nu'}{c}+MV'$

② $\dfrac{h\nu'}{c}-MV'$　③ $\dfrac{h\nu'}{c}+MV'$

(オ) の解答群

⓪ $-h\nu'-\dfrac{1}{2}MV'^2$　① $-h\nu'+\dfrac{1}{2}MV'^2$

② $h\nu'-\dfrac{1}{2}MV'^2$　③ $h\nu'+\dfrac{1}{2}MV'^2$

(カ) の解答群

⓪ $-\dfrac{h}{2Mc^2}(\nu-\nu')^2$　① $-\dfrac{h}{Mc^2}(\nu-\nu')^2$

② $\dfrac{h}{2Mc^2}(\nu-\nu')^2$　③ $\dfrac{h}{Mc^2}(\nu-\nu')^2$

④ $-\dfrac{h}{2Mc^2}(\nu+\nu')^2$　⑤ $-\dfrac{h}{Mc^2}(\nu+\nu')^2$

⑥ $\dfrac{h}{2Mc^2}(\nu+\nu')^2$　⑦ $\dfrac{h}{Mc^2}(\nu+\nu')^2$

(3) 以下の問題では，光の真空中での速さ $c = 3.0 \times 10^8\,\mathrm{m/s}$，プランク定数 $h = 6.6 \times 10^{-34}\,\mathrm{J \cdot s}$ とし，$|x|$ が 1 と比較してじゅうぶんに小さいときの近似式 $(1+x)^n \fallingdotseq 1 + nx$ を用いてもよい。また，ボールの質量は $M = 0.060\,\mathrm{kg}$ とする。

球速測定器から振動数 $\nu = 6.0 \times 10^9\,\mathrm{Hz}$ の電波を照射する。この電波の光子としてのエネルギーは $\boxed{\textbf{(キ)}}$ J である。この電波がボールと衝突して反射した電波と照射した電波を干渉させると 1 秒あたり 2.0×10^3 回のうなり現象が観測された。前問 **(1)**, **(2)** の結果を利用して，このときのボールの速さは毎時 $\boxed{\textbf{(ク)}}$ km であることがわかる。また，前問 **(2)** の $\boxed{\textbf{(カ)}}$ の絶対値を同式の第二項 $\dfrac{V}{c}(\nu + \nu')$ で割った値は $\boxed{\textbf{(ケ)}}$ となり，第二項と比較して無視できることもわかる。

(キ) の解答群

⓪ 2.0×10^{-25}　① 4.0×10^{-25}　② 2.0×10^{-24}　③ 4.0×10^{-24}

④ 2.0×10^{-23}　⑤ 4.0×10^{-23}　⑥ 2.0×10^{-22}　⑦ 4.0×10^{-22}

(ク) の解答群

⓪ 18　① 20　② 60　③ 100

④ 120　⑤ 160　⑥ 180　⑦ 200

⑧ 240　⑨ 280

(ケ) の解答群

⓪ 2.2×10^{-34}　① 4.4×10^{-34}　② 8.8×10^{-34}　③ 2.2×10^{-33}

④ 4.4×10^{-33}　⑤ 8.8×10^{-33}　⑥ 2.2×10^{-32}　⑦ 4.4×10^{-32}

⑧ 8.8×10^{-32}　⑨ 2.2×10^{-31}