前期

理科問題

物　　理

1 次の文と各問の［　　］に該当する数値または選択肢の番号をマークせよ。

ケプラーは，それまでに蓄積された惑星運行に関する膨大なデータを，天才的な幾何学の能力を駆使して解析を続け，長年の努力の末，ケプラーの法則を発見した。

問 1　図1の●の位置に太陽があるとき，ケプラーの第1法則に従う惑星の軌道の性質を最もよくあらわしているのは，図1の曲線のうち，［ 1 ］である。

（楕円は二つの焦点からの距離の和が一定となる点の軌跡である。従って，楕円の焦点を見つけるには，短軸の端点から焦点までの距離が長軸の半分に等しいことに着目すればよい。）

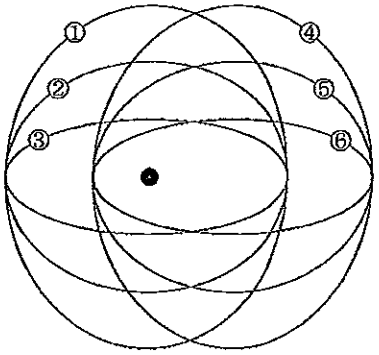

図1

問 2　ケプラーの第2法則に従う惑星の速さを軌道上の色々な位置で比べると，惑星の［ 2 ］する。

［ 2 ］の選択肢

① 速さは太陽からの距離に比例
② 速さは太陽からの距離の2乗に反比例
③ 角速度は太陽からの距離に比例
④ 角速度は太陽からの距離に反比例
⑤ 角速度は太陽からの距離の2乗に反比例
⑥ 該当なし。

問 3　ケプラーの第3法則によれば，惑星の公転周期の［ 3 ］乗は軌道の長軸の長さの［ 4 ］乗に比例する。
（［ 3 ］，［ 4 ］は該当する数の組のうち最小の数の組をマークせよ。）

また，ガリレイは地上での落体についての実験を重ね，それが，等加速度運動であること（ガリレイの落体の法則）を発見した。ニュートンは，物体がニュートンの運動の法則に従って運動すること，あらゆる物体が万有引力の法則に従う引力を及ぼしあうことを発見した。

問 4　これらの法則の関係として正しいものを選べ。［ 5 ］

［ 5 ］の選択肢

① ニュートンの運動の法則と万有引力の法則を使えば惑星がケプラーの法則に従って運動する理由と地上の落体がガリレイの落体の法則に従って運動する理由が説明できる。
② ニュートンの運動の法則を使えば物体が万有引力の法則に従う理由，惑星がケプラーの法則に従って運動する理由，地上の落体がガリレイの落体の法則に従って運動する理由が説明できる。
③ ケプラーの法則とガリレイの落体の法則を使えば惑星と地上の落体がニュートンの運動の法則と万有引力の法則に従って運動する理由が説明できる。
④ ケプラーの法則とニュートンの運動の法則を使えばあらゆる物体が万有引力の法則に従って運動する理由と地上の落体がガリレイの落体の法則に従って運動する理由が説明できる。
⑤ 該当なし。

例として，仮に惑星の軌道が円の場合について，ニュートンの運動の法則と万有引力の法則のもとでケプラーの第3法則が成り立つことを確かめてみよう。円軌道の半径を r，太陽の質量を M，惑星の質量を m，万有引力定数を G，惑星の公転周

期を T とする。万有引力の法則によれば，惑星に対する万有引力による向心力は [6] となる。一方，等速円運動であることから，向心加速度は [7] とあらわされる。これらにニュートンの運動の第2法則を適用すると $m \times$ [7] $=$ [6] が成り立つ。従って，[8] となり，円軌道の場合，ケプラーの第3法則が成り立っていることがわかる。

[6] の選択肢

① $\frac{GM}{r}$　② $\frac{GM}{r^2}$　③ $\frac{2\pi GM}{T}$　④ $\frac{4\pi^2 GM}{T^2}$

⑤ $\frac{GMm}{r}$　⑥ $\frac{GMm}{r^2}$　⑦ $\frac{2\pi GMm}{T}$　⑧ $\frac{4\pi^2 GMm}{T^2}$　⑨ 該当なし

[7] の選択肢

① $\frac{Tr}{2\pi}$　② $\frac{Tr^2}{2\pi}$　③ $\frac{T^2 r}{4\pi^2}$　④ $\frac{T^2 r^2}{4\pi^2}$

⑤ $\frac{2\pi r}{T}$　⑥ $\frac{2\pi r^2}{T}$　⑦ $\frac{4\pi^2 r}{T^2}$　⑧ $\frac{4\pi^2 r^2}{T^2}$　⑨ 該当なし

[8] の選択肢

① $2\pi r = GMT$　② $2\pi r^2 = GMT$　③ $2\pi r^3 = GMT$　④ $4\pi^2 r = GMT^2$　⑤ $4\pi^2 r^2 = GMT^2$

⑥ $4\pi^2 r^3 = GMT^2$　⑦ $8\pi^3 r = GMT^3$　⑧ $8\pi^3 r^2 = GMT^3$　⑨ $8\pi^3 r^3 = GMT^3$　⓪ 該当なし

これらの法則は，広く応用され，物理学，科学技術発展の基礎となった。例えば [8] を地球の静止衛星(地球の自転周期と同じ公転周期を持つ円軌道上にある人工衛星で，地上からみると上空に静止しているようにみえる)に応用して，静止衛星の軌道半径を求めてみよう。地球は24時間で太陽に対して1回転する。地球が太陽の周りを公転しているため，地球の自転の周期，つまり，地球が宇宙空間に対して1回転する時間は24時間より約 [9] 分短い([9] は，地球の公転の周期が約365日であることを考慮して有効数字1桁で計算し，該当する数字をマークせよ)。この自転の周期が静止衛星の公転周期 T に等しい。ここで，M は太陽ではなく，地球の質量である。地球半径を R とし，地上の物体の重力加速度 g が地球と物体の間の万有引力によって生じることを考慮すると，$MG =$ [10] と書くことができる。したがって，[8] より静止衛星の軌道半径は $r =$ [11] となる。測定から重力加速度は $g = 9.8\ \mathrm{m/s^2}$，地球半径は $R = 6.4 \times 10^6\ \mathrm{m}$ とする。これらを用いると，静止衛星の軌道半径は [12] $\times 10^{[13]}$ m と計算できる。([12] , [13] は最も近い数値をマークせよ。)

[10] の選択肢

① gR　② gR^2　③ g^2R　④ g^2R^2

⑤ mgR　⑥ mgR^2　⑦ mg^2R　⑧ mg^2R^2　⑨ 該当なし

[11] の選択肢

① $\frac{gR}{2\pi T}$　② $\frac{gR^2T}{4\pi^2}$　③ $\frac{gR}{2\pi^2T^2}$　④ $\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}$

⑤ $\sqrt{\frac{gR}{2\pi T}}$　⑥ $\sqrt{\frac{gR^3T}{4\pi^2}}$　⑦ $\sqrt[3]{\frac{gR^2}{2\pi^2T}}$　⑧ $\sqrt[3]{\frac{gR^2T^2}{4\pi^2}}$　⑨ 該当なし

2 断熱材と熱を通す材料を隣接させて作ったしきりを持つ断熱容器の左側に物質量 n_1 の単原子分子理想気体を入れ，右側に物質量 n_2 の同種気体を入れた(図2 a)。このしきりは滑らかに動くことができ，厚さは無視できるものとする。容器全体の容積を V，気体定数を R とする。次の各問の [　　] に該当するものを直後の選択肢の中から選び，その番号をマークせよ。

しきりの左右の温度をそれぞれ T_1，T_2 とした。このとき，左側の容積は [14] である。

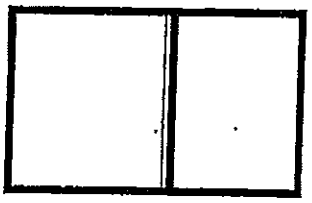

図2 a

① $\dfrac{n_1}{n_1+n_2}V$　② $\dfrac{n_2}{n_1+n_2}V$　③ $\dfrac{n_1T_1}{n_1T_1+n_2T_2}V$

④ $\dfrac{n_2T_2}{n_1T_1+n_2T_2}V$　⑤ $\dfrac{n_1T_1+n_2T_2}{n_1T_1}V$　⑥ $\dfrac{n_1T_1+n_2T_2}{n_2T_2}V$

⑦ 該当なし

気体の圧力は [15] である。

① $\dfrac{Rn_1n_2(T_1+T_2)}{V(n_1+n_2)}$　② $\dfrac{R(n_1+n_2)(T_1+T_2)}{V}$　③ $\dfrac{R(n_1T_1+n_2T_2)}{V}$

④ $\dfrac{Rn_1n_2T_1T_2}{V(n_1T_1+n_2T_2)}$　⑤ $\dfrac{R(n_1T_1+n_2T_2)^2}{V(n_1+n_2)}\left(\dfrac{1}{T_1}-\dfrac{1}{T_2}\right)$　⑥ $\dfrac{R(n_1T_1-n_2T_2)}{V}$

⑦ $\dfrac{R(n_1-n_2)(T_1+T_2)}{V}$　⑧ $\dfrac{R(n_1-n_2)(T_1+T_2)}{2V}$　⑨ $\dfrac{R(n_1+n_2)(T_1-T_2)}{V}$

⓪ 該当なし

左右の気体の持つ内部エネルギーをそれぞれ U_1，U_2 とすると，

$U_1=$ [16]，$U_2=$ [17] である。

① $\dfrac{3R}{2}n_1T_1$　② $\dfrac{3R}{2}n_2T_2$　③ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}T_1$

④ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}T_2$　⑤ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1}{n_1+n_2}(n_1T_1+n_2T_2)$　⑥ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_2}{n_1+n_2}(n_1T_1+n_2T_2)$

⑦ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}(T_1-T_2)$　⑧ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}(T_2-T_1)$　⑨ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1}{n_1+n_2}(n_2T_2-n_1T_1)$

⓪ 該当なし

次にしきりを固定し，しきりの断熱材でできている部分を取り去ると，十分時間がたった後，左右の温度が T になった(図2 b)。断熱材の部分を取り去るとき，内部の気体がした仕事は0とする。T は [18] である。

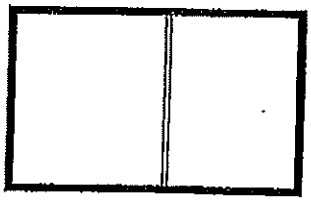

図2 b

① T_1+T_2　② $\dfrac{n_1T_1+n_2T_2}{n_1+n_2}$　③ $\dfrac{n_1n_2}{(n_1+n_2)^2}(T_1+T_2)$

④ $\dfrac{n_1}{n_1+n_2}(T_1+T_2)$　⑤ $\dfrac{n_2}{n_1+n_2}(T_1+T_2)$

⑥ $\dfrac{n_1+n_2}{n_1n_2}(n_1T_1+n_2T_2)$　⑦ 該当なし

このときの仕切りの左側の圧力 P_1 と右側の圧力 P_2 の差 P_1-P_2 は [19] である。

① $\dfrac{Rn_1n_2(T_1+T_2)}{V(n_1+n_2)}$　② $\dfrac{R(n_1+n_2)(T_1+T_2)}{V}$　③ $\dfrac{R(n_1T_1+n_2T_2)}{V}$

④ $\dfrac{Rn_1n_2T_1T_2}{V(n_1T_1+n_2T_2)}$　⑤ $\dfrac{R(n_1T_1+n_2T_2)^2}{V(n_1+n_2)}\left(\dfrac{1}{T_1}-\dfrac{1}{T_2}\right)$　⑥ $\dfrac{R(n_1T_1-n_2T_2)}{V}$

⑦ $\dfrac{R(n_1-n_2)(T_1+T_2)}{V}$　⑧ $\dfrac{R(n_1-n_2)(T_1+T_2)}{2V}$　⑨ $\dfrac{R(n_1+n_2)(T_1-T_2)}{V}$

⓪ 該当なし

このときのしきりの左右の内部エネルギーをそれぞれ U_1'，U_2' とすると $U_1'=$ [20]，$U_2'=$ [21] である。しきりの断熱材を取り去った後に右側の気体が吸収した熱量は [22] である。

① $\dfrac{3R}{2}n_1T_1$　② $\dfrac{3R}{2}n_2T_2$　③ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}T_1$

④ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}T_2$　⑤ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1}{n_1+n_2}(n_1T_1+n_2T_2)$　⑥ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_2}{n_1+n_2}(n_1T_1+n_2T_2)$

⑦ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}(T_1-T_2)$　⑧ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1n_2}{n_1+n_2}(T_2-T_1)$　⑨ $\dfrac{3R}{2}\dfrac{n_1}{n_1+n_2}(n_2T_2-n_1T_1)$

⓪ 該当なし

最後に仕切りを自由に動けるようにすると，十分時間が経った後，仕切りは静止した（図２ｃ）。この過程で右側の気体がした仕事を W，右側の気体が吸収した熱量を Q，右側の気体の内部エネルギーの増分を ΔU とする。$W>0$ のとき，Q，ΔU が満たす式を選べ。 23

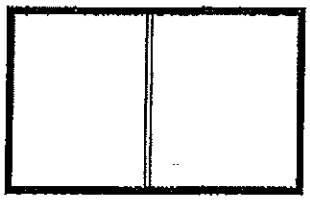

図２ｃ

① $Q>0$，$\Delta U>0$　② $Q>0$，$\Delta U=0$　③ $Q>0$，$\Delta U<0$

④ $Q<0$，$\Delta U>0$　⑤ $Q<0$，$\Delta U=0$　⑥ $Q<0$，$\Delta U<0$

⑦ $Q=0$，$\Delta U>0$　⑧ $Q=0$，$\Delta U=0$　⑨ $Q=0$，$\Delta U<0$

⓪ 該当なし

3 図3のように真空中で面積$S(=0.010\,\mathrm{m}^2)$の金属板2枚からなる平行板コンデンサーの一方の極板Bを壁に固定し，もう一方の極板Aはばね定数$k(=1.0\times10^3\,\mathrm{N/m})$のばねを接続してから壁に固定した。2枚の極板の間隔は$d(=1.0\times10^{-2}\,\mathrm{m})$であり，ばねは自然の長さの状態にある。今，極板A，Bにそれぞれ$-Q(=-1.0\times10^{-6}\,\mathrm{C})$，$+Q(=1.0\times10^{-6}\,\mathrm{C})$の電荷を帯電させたところ，極板Aの位置が右に$x$だけ移動した。次の各問の［　　］に該当するものを直後の選択肢の中から選び，その番号をマークせよ。ただし，真空の誘電率を$\varepsilon_0=8.85\times10^{-12}\,\mathrm{F/m}$とする。

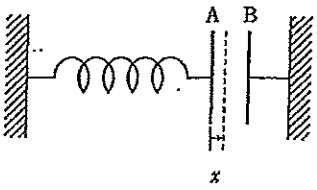

図3

問1　極板に挟まれた空間における電場の強さを表す式として適切なものはどれか。ただし，電場は一様で極板の間のみに存在するとする。［24］

① $\dfrac{\varepsilon_0 Q}{S}$　② $\dfrac{\varepsilon_0 Q}{S}d$　③ $\dfrac{\varepsilon_0 Q}{Sd}$　④ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$　⑤ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}d$

⑥ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 Sd}$　⑦ $\dfrac{QS}{\varepsilon_0}$　⑧ $\dfrac{QS}{\varepsilon_0}d$　⑨ $\dfrac{QS}{\varepsilon_0 d}$　⓪ 該当なし

問2　帯電したコンデンサーの電気容量Cを表す式として適切なものはどれか。［25］

① $\dfrac{\varepsilon_0 d}{S}$　② $\dfrac{\varepsilon_0(d-x)}{S}$　③ $\dfrac{d}{\varepsilon_0 S}$　④ $\dfrac{d-x}{\varepsilon_0 S}$　⑤ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$

⑥ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d-x}$　⑦ $\dfrac{S}{\varepsilon_0 d}$　⑧ $\dfrac{S}{\varepsilon_0(d-x)}$　⑨ $\varepsilon_0(d-x)S$　⓪ 該当なし

問3　コンデンサーに蓄えられた静電エネルギーをU，ばねに蓄えられた弾性エネルギーをVとする。それぞれを表した式として適切なものはどれか。Uの式［26］，Vの式［27］

① $\dfrac{SQ}{2\varepsilon_0 d}$　② $\dfrac{Q(d-x)}{2\varepsilon_0 S}$　③ $\dfrac{Q^2(d-x)}{2\varepsilon_0 S}$　④ $\dfrac{\varepsilon_0 SQ^2}{2(d-x)}$　⑤ $\dfrac{\varepsilon_0 SQ^2}{2d}$

⑥ $-kx$　⑦ kx^2　⑧ $\dfrac{1}{2}k(d-x)^2$　⑨ $\dfrac{1}{2}kx^2$　⓪ 該当なし

問4　xの値は$U+V$を最小にするという条件から求めることができる。実際の数値を使ってxの値を求めたとき，最も近いものはどれか。［28］

① 2.9 mm　② 3.3 mm　③ 3.7 mm　④ 4.1 mm　⑤ 4.5 mm

⑥ 4.9 mm　⑦ 5.3 mm　⑧ 5.7 mm　⑨ 6.1 mm

問5　問4の結果から極板の間に働く力Fを求めることができる。Fの値として最も近いものはどれか。［29］

① 2.9 N　② 3.3 N　③ 3.7 N　④ 4.1 N　⑤ 4.5 N

⑥ 4.9 N　⑦ 5.3 N　⑧ 5.7 N　⑨ 6.1 N

問6　コンデンサーの極板間を比誘電率2.2の絶縁性の液体で満たしたとき，極板間の距離はdよりどれだけ縮まるか。縮まる距離の値として最も近いものはどれか。［30］

① 1.3 mm　② 1.5 mm　③ 1.7 mm　④ 1.9 mm　⑤ 2.0 mm

⑥ 2.2 mm　⑦ 2.4 mm　⑧ 2.6 mm　⑨ 2.8 mm