

物 理

(解答番号

1

 ~

28

)

※物理は「バイオ環境学部」は選択
「工学部」は必須

第 1 問 次の文章中の **1** ～ **3** , **5** ～ **7** については当てはまる適切なものを,
4 については最も近い値をそれぞれの選択肢①～⑥のうちから 1 つずつ選びなさい。
なお, 重力加速度の大きさを g [m/s²] とする。【解答番号 **1** ～ **7**】

図 1－1 に示すように, 水平な地表面に敷かれたレール上を質量 m [kg] の車両が一定の速さで動いている。このレールは点 O を中心とした円形に敷かれており, レールに沿って等速円運動で動く車両の重心 M が描く円の半径が R [m], 2 本のレールの間隔が L [m] であり, L および車両の大きさにくらべて R は十分に大きいものとする。剛体である車両内で重心 M は常に一定の位置にあり, 車両の動きを重心 M の動きとして記述できるものとする。図 1－2 に示すように, 車両の重心 M はレール間の中心線上で, レールと車輪の接触点から高さ H [m] の位置にある。レール上を走行する車両の速さが v [m/s] のとき, この車両にはたらく遠心力 $\vec{F}$ の大きさは, **1** [N] である。したがって, 車両内の乗客が観察する見かけの重力は, 車両にはたらく重力と外向きの遠心力との合力 $\vec{F'}$ として感じられることになる。

車両の重心 M にはたらく見かけの重力 $\vec{F'}$ の方向が 2 本のレールの間にある場合, 電車は横転することなく走行できる。しかし $\vec{F'}$ の方向が 2 本のレールの外にある場合, 電車はやがて横転する。 $\vec{F'}$ がちょうど外側のレールの方向になるときの遠心力 $\vec{F}$ の大きさは, m , g , L , H を用いると **2** [N] とあらわせる。このレールを横転せず走行できる速さの条件は **3** である。ここで $R = 2.5 \times 10^3$ m, $g = 9.8$ m/s², $H = 1.75$ m, $L = 1.4$ m, $m = 5.0 \times 10^4$ kg としたとき, 車両が横転せずに走れる上限の速さは, 時速であらわすと **4** km/h である。

次に図 1－3 のように, 2 本のレールに高低差をつけた場合を考える。この斜面の角度を θ [°] とする。車両にはたらく重力と大きさが F [N] の遠心力の合力 $\vec{F'}$ の方向が斜面に垂直になるようにするには, θ は **5** の条件を満たす必要がある。角度 θ が大きいと, 車両が停止したときに内側に横転する可能性がある。停止した状態で内側に横転しないためには, θ は **6** の条件を満たす必要がある。この限界の θ を θ' とする。 $\theta' < 45^\circ$ のとき, 外向きに横転せずに走行できる限界の遠心力の大きさは **7** [N] と求められる。

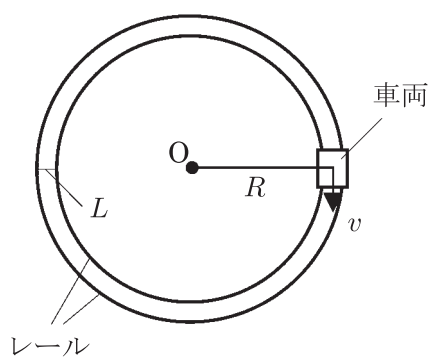


図 1 - 1

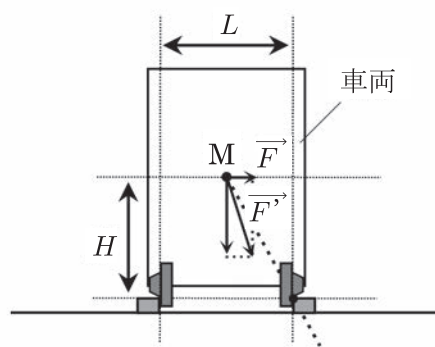


図 1 - 2

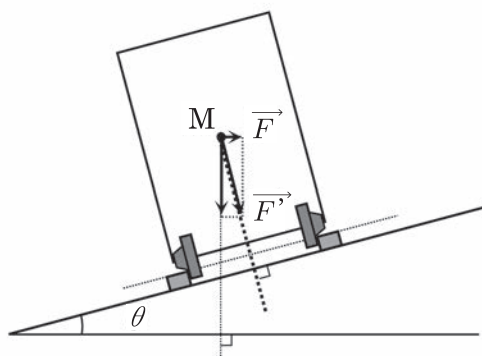


図 1 - 3

1 の選択肢

① mg

② mgR

③ $m \frac{v}{R}$

④ $m \frac{v^2}{R}$

⑤ $m \frac{R}{v}$

⑥ $m \frac{R^2}{v}$

2 の選択肢

① $\frac{mgL}{2H}$

② $\frac{mgL}{H}$

③ $\frac{2mgL}{H}$

④ $\frac{mgH}{2L}$

⑤ $\frac{mgH}{L}$

⑥ $\frac{2mgH}{L}$

3 の選択肢

- ① $v \leq \sqrt{\frac{gLR}{2H}}$ ② $v \leq \sqrt{\frac{gLR}{H}}$ ③ $v \leq \sqrt{\frac{2gLR}{H}}$ ④ $v \leq \frac{gLR}{2H}$
- ⑤ $v \leq \frac{gLR}{H}$ ⑥ $v \leq \frac{2gLR}{H}$

4 の選択肢

- ① 3.6×10^2 ② 5.0×10^2 ③ 7.1×10^2 ④ 3.5×10^4
- ⑤ 7.1×10^4 ⑥ 1.4×10^5

5 の選択肢

- ① $\cos \theta = \frac{F}{mg}$ ② $\cos \theta = \frac{mg}{F}$ ③ $\sin \theta = \frac{F}{mg}$ ④ $\sin \theta = \frac{mg}{F}$
- ⑤ $\tan \theta = \frac{F}{mg}$ ⑥ $\tan \theta = \frac{mg}{F}$

6 の選択肢

- ① $\cos \theta \leq \frac{L}{2H}$ ② $\cos \theta \leq \frac{2H}{L}$ ③ $\sin \theta \leq \frac{L}{2H}$ ④ $\sin \theta \leq \frac{2H}{L}$
- ⑤ $\tan \theta \leq \frac{L}{2H}$ ⑥ $\tan \theta \leq \frac{2H}{L}$

7 の選択肢

- ① $mg \cos \theta'$ ② $mg \cos 2\theta'$ ③ $mg \sin \theta'$ ④ $mg \sin 2\theta'$
- ⑤ $mg \tan \theta'$ ⑥ $mg \tan 2\theta'$

第2問 次の文章中の **8** ～ **14** に当てはまる適切なものを、それぞれの選択肢①～⑥のうちから1つずつ選びなさい。なお、気体定数を R [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] とする。

〔解答番号 **8** ～ **14** 〕

1 mol の単原子分子の理想気体があり、図 2－1 のように、圧力が P_0 [Pa]、体積が V_0 [m^3] のときを状態 A とする。この状態 A から線分 AB、AC あるいは AD であらわされる過程でゆっくりと状態を変化させる。なお、状態 D の圧力と体積はそれぞれ $2P_0$ [Pa]、 $2V_0$ [m^3] であり、状態 B、状態 C および状態 D の温度は等しい。

状態 B、状態 C および状態 D の温度は、状態 A の温度に比べて **8**。また、内部エネルギーの変化の大きさは **9** [J] である。過程 A → B で気体が吸収する熱量は **10** [J] であり、気体のモル比熱は **11** [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] となる。また、過程 A → C で気体が吸収する熱量は **12** [J] であり、気体のモル比熱は **13** [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] となる。過程 A → D で、気体が外部に対して行う仕事からこの気体の平均のモル比熱を求めると **14** [$\text{J}/(\text{mol}\cdot\text{K})$] である。

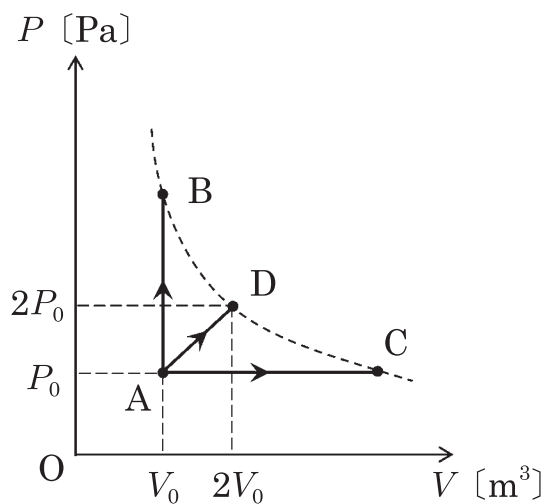


図 2－1

8 の選択肢

- ① $\frac{P_0 V_0}{R}$ 高い ② $\frac{2P_0 V_0}{R}$ 高い ③ $\frac{3P_0 V_0}{R}$ 高い ④ $\frac{4P_0 V_0}{R}$ 高い
 ⑤ $\frac{2P_0 V_0}{R}$ 低い ⑥ $\frac{3P_0 V_0}{R}$ 低い

9 の選択肢

- ① 0 ② $\frac{3}{2} P_0 V_0$ ③ $3P_0 V_0$ ④ $\frac{7}{2} P_0 V_0$
- ⑤ $\frac{9}{2} P_0 V_0$ ⑥ $9P_0 V_0$

10 の選択肢

- ① 0 ② $\frac{3}{2} R$ ③ $\frac{5}{2} R$ ④ $\frac{3}{2} P_0 V_0$
- ⑤ $\frac{9}{2} P_0 V_0$ ⑥ $9P_0 V_0$

11 の選択肢

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

12 の選択肢

- ① $\frac{3}{2} R$ ② $\frac{5}{2} R$ ③ $3P_0 V_0$ ④ $\frac{7}{2} P_0 V_0$
- ⑤ $\frac{9}{2} P_0 V_0$ ⑥ $\frac{15}{2} P_0 V_0$

13 の選択肢

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

14 の選択肢

- ① $\frac{3}{2} R$ ② $\frac{5}{3} R$ ③ $2R$ ④ $\frac{7}{3} R$
- ⑤ $\frac{5}{2} R$ ⑥ $3R$

第3問 次の文章中の **15** ～ **21** に当てはまる適切なものを、それぞれの選択肢①～⑥のうちから1つずつ選びなさい。なお、空気の絶対屈折率を1とする。

【解答番号 **15** ～ **21**】

全反射は、波が媒質の内部から外に向かっているとき、媒質の表面ですべて反射されて外に出ない現象であり、様々な技術領域で活用されている。ここでは光の波について、全反射の性質と一つの応用例について考える。

図3－1は、媒質1の中を進む平面波の光が、入射角 i 〔°〕で媒質2に入射し、屈折して媒質2の中を進む様子を示す。平面波の山を破線で示している。媒質1と媒質2の絶対屈折率はそれぞれ n_1 、 n_2 である。一般に、真空中での波長が λ_0 〔m〕の光は、絶対屈折率が n の媒質中では **15**、媒質1の中での波長 λ_1 〔m〕は媒質2の中での波長 λ_2 〔m〕よりも短くなる。ここで、図3－1に示すように、波の山は媒質1と媒質2とでつながっていなければならない、境界面上では山と山との間隔が等しくなければならない。このために媒質2では進行方向が変化し、屈折角 r 〔°〕の方向に進む。境界面での間隔 w 〔m〕と λ_1 との関係は、 **16** であり、 w と λ_2 との関係は、 **17** である。しかし、媒質1からの境界面への入射角 i が大きいとき、 **18** となることがありえて、この条件式を **16** を使って変形すると $w < \lambda_2$ となる。すると、どのような屈折角 r であっても **17** の λ_2 に関する条件を満たすことはできない。その結果、光は媒質2の中を進むことはできずに媒質1へ逆戻りするしかなくなり、全反射となる。なお、 **16** と **17** から w を消去すると **19** が得られ、これはスネルの法則あるいは屈折の法則と呼ばれる。

図3－2は全反射の応用例を示している。透明なプラスチックの板を下地として、この上に下地とは異なる別の透明なプラスチック材料の層を積み、さらにその上に下地と同じ材料の層をかぶせた構造となっている。中央の層の絶対屈折率 n_f は、上下の層の絶対屈折率 n_c よりも高く、中央の層をコア、上下の層をクラッドと呼ぶ。この3層構造のプラスチック板に、積層面に垂直な側面に空気中から光を入射すると、コアの内部に入り込んだ光は上下のクラッドとの境界面で全反射されて、外にもれずに閉じ込められたまま遠くまで進む。この構造物を光導波路と呼ぶ。ただしこのためには、コア内での光線の角度 r が **20** という条件を満たさなければならない。これより、側面への光の入射角 i にも制約があり、光は **21** が成り立つときのみコア内を外にもれずに進む。なお、光通信などで用いられる光ファイバーも光導波路の一種であり、ガラスでできているものが多い。

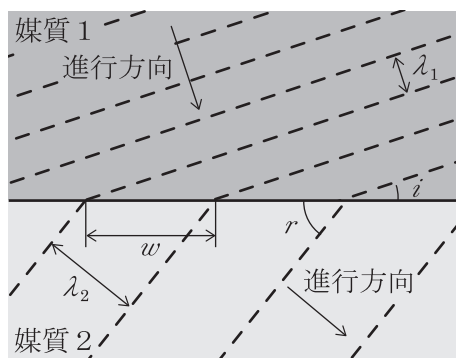


図3-1

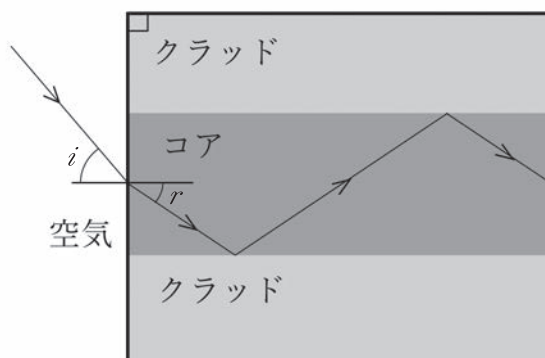


図3-2

15 の選択肢

- ① 波長が $n\lambda_0$ となるため, $n_1 > n_2$ とすると
- ② 波長が $n\lambda_0$ となるため, $n_1 < n_2$ とすると
- ③ 波長が $\frac{\lambda_0}{n}$ となるため, $n_1 > n_2$ とすると
- ④ 波長が $\frac{\lambda_0}{n}$ となるため, $n_1 < n_2$ とすると
- ⑤ 波長が $n^2\lambda_0$ となるため, $n_1 > n_2$ とすると
- ⑥ 波長が $n^2\lambda_0$ となるため, $n_1 < n_2$ とすると

16 の選択肢

- ① $w = \frac{\lambda_1}{n_1}$
- ② $w = n_1\lambda_1$
- ③ $w = \lambda_1 \cos i$
- ④ $w = \lambda_1 \sin i$
- ⑤ $w = \frac{\lambda_1}{\sin i}$
- ⑥ $w = \frac{\lambda_1}{\cos i}$

17 の選択肢

① $w = \frac{\lambda_2}{n_2}$

② $w = n_2 \lambda_2$

③ $w = \lambda_2 \cos r$

④ $w = \lambda_2 \sin r$

⑤ $w = \frac{\lambda_2}{\sin r}$

⑥ $w = \frac{\lambda_2}{\cos r}$

18 の選択肢

① $\sin i > \frac{n_1}{n_2}$

② $\sin i > \frac{n_2}{n_1}$

③ $\cos i > \frac{n_2}{n_1}$

④ $\cos i < \frac{n_2}{n_1}$

⑤ $\cos i < 0$

⑥ $\sin i < 0$

19 の選択肢

① $\frac{\sin i}{\cos r} = \frac{n_2}{n_1}$

② $\frac{\sin r}{\sin i} = \frac{n_2}{n_1}$

③ $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$

④ $\frac{\cos i}{\cos r} = \frac{n_2}{n_1}$

⑤ $\frac{\cos i}{\cos r} = \frac{n_1}{n_2}$

⑥ $\frac{\cos i}{\sin r} = \frac{n_2}{n_1}$

20 の選択肢

① $\cos r > \frac{n_c}{n_f}$

② $\cos r > \frac{n_f}{n_c}$

③ $\sin r > \frac{n_f}{n_c}$

④ $\sin r > \frac{n_c}{n_f}$

⑤ $\frac{\cos i}{\cos r} > \frac{n_c}{n_f}$

⑥ $\frac{\sin i}{\sin r} = \frac{n_c}{n_f}$

21 の選択肢

① $\sin i < \frac{n_c^2}{n_f^2}$

② $\sin i < \frac{n_c}{n_f}$

③ $\sin i < \sqrt{n_f^2 - n_c^2}$

④ $\cos i < \frac{n_c}{n_f}$

⑤ $\cos i < \sqrt{n_f^2 - n_c^2}$

⑥ $\cos i < \sqrt{n_c^2 - n_f^2}$

第4問 次の文章中の **22** ～ **28** に当てはまる適切なものを、それぞれの選択肢①～⑥のうちから1つずつ選びなさい。なお、気体定数を R [J/(mol・K)]、アボガドロ定数を N_A [1/mol]、ボルツマン定数を $k_B = \frac{R}{N_A}$ [J/K] とする。【解答番号 **22** ～ **28**】

内径 a [m] の球形容器に単原子分子理想気体 n [mol] が封入してある。気体は質量 m [kg] の分子 N 個からなり、絶対温度 T [K] に保たれている。ここで簡単のために、気体の各分子は一定の同じ速さ v [m/s] で容器内を不規則な方向に飛んでおり、かつ分子同士は互いに衝突することもなく、容器内壁と弾性衝突を繰り返しているものとする。

図4－1のように、1個の分子が点Aから入射角 θ [°] で内壁上の一点Bに当たるときを考える。破線BCは図中の円に点Bで接する直線である。この衝突による分子の運動量変化の大きさとその方向はそれぞれ **22** である。次の衝突までの時間は **23** [s] である。したがって、1個の分子による1秒当たりの運動量変化の大きさは **24** [N・s] である。この間、この分子は最初の運動方向ABと球の中心Oで決まる1つの平面上で運動することは明らかである。速度 v [m/s] の方向が異なる分子についても同様で、はじめの方向と中心Oで決まる平面上で同じような運動をし、同じ結論になる。

これにより、1個の分子が内壁に与える力がわかり、 N 個の分子が与える力の総和はこの N 倍である。そこで容器内の圧力を p [Pa] とすると、 $p =$ **25** となり、容器の体積を V [m³] とすると、 N 、 m 、 v を用いて、 $pV =$ **26** と書ける。一方、 n [mol] の理想気体の状態方程式より、この理想気体の絶対温度 T [K] は R 、 N 、 n 、 m 、 v を用いて、 $T =$ **27** とあらわされる。また、分子1個当たりの運動エネルギーは **28** [J] となる。

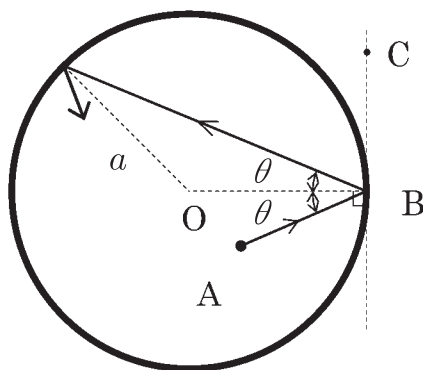


図4－1

22 の選択肢

① $2mv \cos \theta, \overrightarrow{BO}$

② $2mv \sin \theta, \overrightarrow{BO}$

③ $2mv \cos \theta, \overrightarrow{BC}$

④ $2mv \sin \theta, \overrightarrow{BC}$

⑤ $2mv \cos \theta, \overrightarrow{OB}$

⑥ $2mv \sin \theta, \overrightarrow{OB}$

23 の選択肢

① $\frac{a}{v}$

② $\frac{2a}{v}$

③ $\frac{a \sin \theta}{v}$

④ $\frac{a \cos \theta}{v}$

⑤ $\frac{2a \sin \theta}{v}$

⑥ $\frac{2a \cos \theta}{v}$

24 の選択肢

① $\frac{mv^2}{a}$

② $\frac{mv^2}{2a}$

③ $\frac{2mv^2}{a}$

④ $\frac{mv^2 \cos^2 \theta}{2a}$

⑤ $\frac{mv^2 \sin^2 \theta}{2a}$

⑥ $\frac{4ma \cos^2 \theta}{v}$

25 の選択肢

① $\frac{Nmv^2}{4\pi a^3}$

② $\frac{Nmv^2 \sin^2 \theta}{4\pi a^3}$

③ $\frac{Nmv^2 \cos^2 \theta}{4\pi a^3}$

④ $\frac{Nmv^2}{3a^3}$

⑤ $\frac{Nmv^2 \sin^2 \theta}{3a^3}$

⑥ $\frac{Nmv^2 \cos^2 \theta}{3a^3}$

26 の選択肢

① $\frac{1}{3} Nmv^2$

② $\frac{1}{3} Nmv^2 \sin^2 \theta$

③ $\frac{1}{3} Nmv^2 \cos^2 \theta$

④ $\frac{3}{2} Nmv^2$

⑤ $\frac{3}{2} Nmv^2 \sin^2 \theta$

⑥ $\frac{3}{2} Nmv^2 \cos^2 \theta$

27 の選択肢

① $\frac{Nmv^2}{3nR}$

② $\frac{Nmv^2 \sin^2 \theta}{3nR}$

③ $\frac{Nmv^2 \cos^2 \theta}{3nR}$

④ $\frac{3Nmv^2}{2nR}$

⑤ $\frac{3Nmv^2 \sin^2 \theta}{2nR}$

⑥ $\frac{3Nmv^2 \cos^2 \theta}{2nR}$

次頁に続きます。

28 の選択肢

① $\frac{1}{3} k_{\text{B}} T$

② $\frac{1}{2} k_{\text{B}} T$

③ $\frac{1}{2} k_{\text{B}} N_{\text{A}}^2 T$

④ $\frac{2}{3} k_{\text{B}} T$

⑤ $\frac{3}{2} k_{\text{B}} T$

⑥ $\frac{3}{2} k_{\text{B}} N_{\text{A}}^2 T$

以上で問題は終わりです。