

物 理

(解答番号

1

 ~

28

)

「工学部」用問題

第 1 問 次の文章中の 1 ～ 7 に当てはまる適切なものを，それぞれの選択肢①～④のうちから 1 つずつ選びなさい。〔解答番号 1 ～ 7〕

図 1－1 に示すように，なめらかな水平面上に質量 m_A [kg] の物体 A と質量 m_B [kg] の物体 B がある。物体 A を静止している物体 B に速さ v_0 [m/s] で衝突させた。衝突後，物体 A と物体 B は合体し，一体となって運動した。ここで，衝突した後の物体の速さは 1 [m/s] である。したがって，衝突前後の系全体の運動エネルギー変化の大きさは 2 [J] と表せる。

次に，図 1－2 に示すように，なめらかな水平面上に速さ v_0 [m/s] で動く質量 m_C [kg] の物体 C と静止している質量 m_D [kg] の物体 D がある。物体 C と物体 D の衝突時の反発係数を e としたとき，衝突後の物体 C の速さは 3 [m/s] であり，物体 D の速さは 4 [m/s] となる。これより，物体 C と物体 D が衝突する前後の系全体の運動エネルギー変化の大きさは 5 [J] である。また，衝突後に物体 C が静止する条件は， 6 である。なお，物体 C と物体 D の衝突が弾性衝突だとすれば，これらが衝突する前後の系全体の運動エネルギー変化の大きさは 7 [J] である。

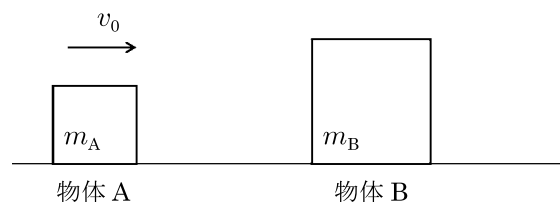


図 1－1

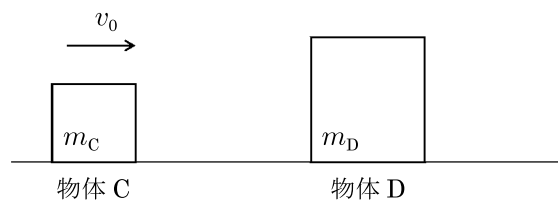


図 1－2

1 の選択肢

① $\frac{m_A v_0^2}{m_A + m_B}$

② $\frac{m_A v_0}{2(m_A + m_B)}$

③ $\frac{2m_A v_0}{m_A + m_B}$

④ $\frac{m_A v_0}{m_A + m_B}$

2 の選択肢

① $\frac{m_A m_B v_0^2}{m_A + m_B}$

② $\frac{m_A m_B v_0^2}{2(m_A + m_B)}$

③ $\frac{m_A m_B v_0}{2(m_A + m_B)}$

④ 0

3 の選択肢

① $\frac{(m_C - e m_D) v_0}{m_C + m_D}$

② $\frac{(m_C + e m_D) v_0}{m_C + m_D}$

③ $\frac{(m_C - e m_D) v_0^2}{m_C + m_D}$

④ $\frac{(m_C - e m_D) v_0^2}{2(m_C + m_D)}$

4 の選択肢

① $\frac{(1 + e) m_C v_0}{m_C + m_D}$

② $\frac{(1 + e) m_C v_0^2}{m_C + m_D}$

③ $\frac{(1 - e) m_C v_0}{m_C + m_D}$

④ $\frac{(1 + e) m_C v_0}{2(m_C + m_D)}$

5 の選択肢

① $\frac{(1 + e^2) m_C m_D v_0^2}{2(m_C + m_D)}$

② $\frac{(1 - e^2) m_C m_D v_0^2}{2(m_C + m_D)}$

③ $\frac{(1 - e^2) m_C m_D v_0^2}{m_C + m_D}$

④ 0

6 の選択肢

① $m_C = e m_D$

② $m_D = e m_C$

③ $m_C = (1 - e) m_D$

④ $m_C = \frac{1 - e}{1 + e} m_D$

7 の選択肢

① $\frac{m_C m_D v_0^2}{2(m_C + m_D)}$

② $\frac{m_C m_D v_0^2}{m_C + m_D}$

③ $\frac{2m_C m_D v_0^2}{m_C + m_D}$

④ 0

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①～④のうちから1つずつ選びなさい。【解答番号 **8** ～ **14**】

1モルの単原子分子理想気体が、質量を無視できるなめらかに動くピストンを持つ容器に入っている。図2-1に示すように、初期状態の状態Aから定圧変化、定積変化、等温変化、断熱変化のいずれかの方法で、状態B、C、Dに変化させた。状態の変化の方向を矢印を用いて示す。

状態A→状態Bのときに気体が吸収した熱量は **8** [J] となる。次に、状態B→状態Dとした。状態Bの気体の温度を T_B [K]、状態Dの気体の温度を T_D [K] とすると、 $T_B : T_D =$ **9** となる。状態B→状態Dで気体が外にした仕事は **10** [J] であることから、気体が吸収した熱量は **11** [J] となる。また、状態A→状態Cは **12** 変化であり、気体が外にした仕事は **13** [J] となる。

状態A→状態Dに変化させるとき、経路A→B→D、経路A→C→D、経路A→Dにおいて、気体が吸収した熱量を比較すると、 **14**。

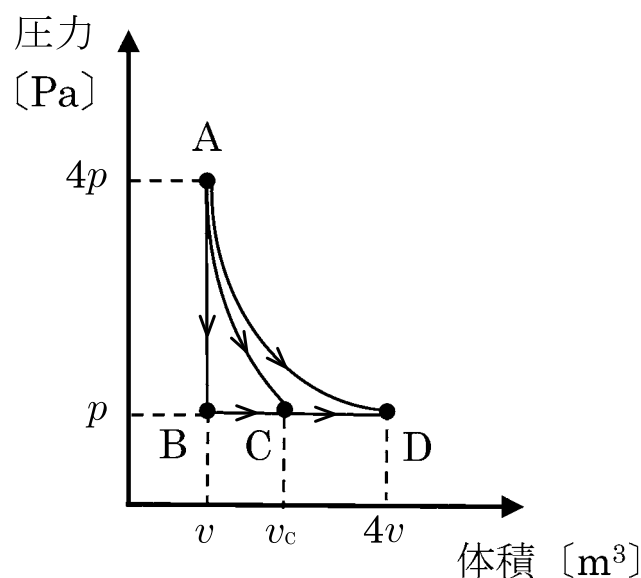


図2-1

8 の選択肢

- ① $\frac{9pv}{2}$ ② $-\frac{9pv}{2}$ ③ $\frac{3pv}{4}$ ④ $-\frac{3pv}{4}$

9 の選択肢

- ① 4 : 1 ② 1 : 1 ③ 1 : 2 ④ 1 : 4

10 の選択肢

- ① $\frac{3pv}{4}$ ② pv ③ $3pv$ ④ $4pv$

11 の選択肢

- ① $\frac{3pv}{2}$ ② $\frac{9pv}{4}$ ③ $\frac{15pv}{4}$ ④ $\frac{15pv}{2}$

12 の選択肢

- ① 定圧 ② 定積 ③ 等温 ④ 断熱

13 の選択肢

- ① $\frac{3p(v_C - 4v)}{2}$ ② $\frac{3p(4v - v_C)}{2}$
③ $\frac{3p(v_C - v)}{2}$ ④ $\frac{3p(v - v_C)}{2}$

14 の選択肢

- ① すべて同じである ② 経路 $A \rightarrow B \rightarrow D$ が最も大きい
③ 経路 $A \rightarrow C \rightarrow D$ が最も大きい ④ 経路 $A \rightarrow D$ が最も大きい

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①～④のうちから1つずつ選びなさい。【解答番号 **15** ～ **21**】

(1) 送電線では、電気は 100 V よりも大幅に高い電圧で送られている。発電所から電力 $P\text{ [W]}$ を電圧 $V\text{ [V]}$ で出力しているとする。送電線の抵抗を $r\text{ [}\Omega\text{]}$ とすると、送電線で損失する電力は **15** [W] となる。このことから、同じ電力を 10 倍の電圧で送電したとき、送電線での損失は **16** 倍となる。交流送電のとき、電圧を変化させるために変圧器がよくもちいられる。変圧器は共通の鉄心に2つのコイルを巻いたものであり、その巻数で電圧を調整する。片側のコイルの巻数を $N_a\text{ [回]}$ 、電圧を $V_a\text{ [V]}$ 、もう一方のコイルの巻き数を $N_b\text{ [回]}$ 、電圧を $V_b\text{ [V]}$ とすると **17** の関係が成り立つ。

(2) 高精度で電流や電圧を測定する場合には、電流計、電圧計に存在する内部抵抗に注意する必要がある。図3-1、図3-2に電流計、電圧計を使った回路を示す。両回路で使用している電流計、電圧計、抵抗器、電池は同じものである。また、電池の内部抵抗は無視できるものとする。図3-1の回路では電流計は $I_1\text{ [A]}$ 、電圧計は $V_1\text{ [V]}$ を示した。一方、図3-2の回路では電流計は $I_2\text{ [A]}$ 、電圧計は $V_2\text{ [V]}$ を示した。この測定値から、電池の起電力 E は **18** [V] であるとわかり、電流計の内部抵抗は **19** $\text{[}\Omega\text{]}$ 、抵抗器の抵抗値 R は **20** $\text{[}\Omega\text{]}$ 、電圧計の内部抵抗は **21** $\text{[}\Omega\text{]}$ であるとわかる。

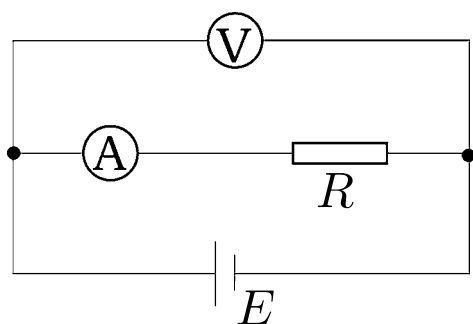


図3-1

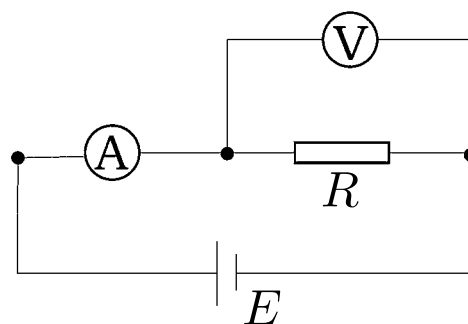


図3-2

15 の選択肢

- ① $\frac{rP}{V}$ ② $\frac{V^2}{r}$ ③ $\frac{rP^2}{V^2}$ ④ $P - \frac{V^2}{r}$

16 の選択肢

- ① $\frac{1}{100}$ ② $\frac{1}{10}$ ③ 10 ④ 100

17 の選択肢

- ① $\frac{V_a}{V_b} = \frac{N_b}{N_a}$ ② $\frac{V_a}{V_b} = \frac{N_a}{N_b}$
③ $\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{N_a}{N_b} \right)^2$ ④ $\frac{V_a}{V_b} = \left(\frac{N_b}{N_a} \right)^2$

18 の選択肢

- ① V_1 ② $2V_1$ ③ $\frac{V_1}{2}$ ④ V_2

19 の選択肢

- ① $\frac{V_1 - 2V_2}{2I_2}$ ② $\frac{V_1}{I_1}$ ③ $\frac{V_1 - V_2}{I_2}$ ④ $\frac{2V_1 - V_2}{I_2}$

20 の選択肢

- ① $\frac{V_2}{I_2}$ ② $\frac{V_1}{2I_1} - \frac{V_1 - 2V_2}{2I_2}$
③ $\frac{2V_1}{I_1} - \frac{2V_1 - V_2}{I_2}$ ④ $\frac{V_1}{I_1} - \frac{V_1 - V_2}{I_2}$

21 の選択肢

- ① $\frac{V_2}{I_2}$ ② $\frac{V_2(V_1I_2 - V_1I_1 + V_2I_1)}{V_1I_2(I_2 - I_1)}$
③ $\frac{V_2(V_1I_2 - V_1I_1 + 2V_2I_1)}{V_1I_2(I_2 - I_1)}$ ④ $\frac{V_2(2V_1I_2 - 2V_1I_1 + V_2I_1)}{2V_1I_2(I_2 - I_1)}$

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。〔解答番号 **22** ～ **28**〕

図4－1は鏡面による光の反射を表している。光は鏡面に当たると、その速度を変えることなく、速度の鏡面垂直成分の符号を反転させて進む。図4－2のように複数の鏡をうまく組み合わせることで光を光源の方向に返すことができる。このような反射は道路標識や交通安全用品などに利用されている。

ここでは、透明な球での光の屈折・反射によって光を光源の方向に返すことについて平面上で考える。空気に対する相対屈折率（以後屈折率とよぶ） n の一樣な物質で満たされた円を考え、ここに光線を入射する。光線の幅は円の半径に比べて十分に小さいとする。まず、図4－3のように点Pから円の中心Oに向かう光線を考えると、この光線は **22** で反射し、光源の方向に返る。ここで線分POが円と交わる点を点Aとし、点Aを端点とする直径のもう1つの端点を点Bとする。

次に図4－4のように、円周上の任意の点Cに入射される直線PAに平行な光について考える。ここで $\angle AOC = \alpha$ [rad] とする。円周上の任意の点における光の屈折は、その点における接線を境界とした屈折と考えることができる。このことから、光の入射角は **23** [rad] となる。円の中に進んだ光の屈折角を β [rad] とすると、 β が n 、 α に対して満たすべき関係は **24** と表すことができる。この光が円の中を進行すると再び円周と交わる。図4－4のようにこの交点が点Bであった場合、光線の経路QCBDRは直線PBを対称軸として線対称となり、点DからRの方向へ進む光線は光源の方向に返っていく。この条件を満たすには、屈折率 n が **25** である必要がある。

ここで α が十分に小さい範囲では、 $\sin \alpha \doteq \alpha$ の近似が成り立つので、この条件で光源の方向に反射するための屈折率 n が **26** と求められる。 $\alpha = \frac{\pi}{3}$ のときに光源の方向に反射するための屈折率は **27** である。 $\alpha \doteq \frac{\pi}{2}$ のときに円をかすめるようにして進入した光が、光源の方向に反射するための屈折率も同様に求められる。この屈折率が、円内で1回だけ反射を起こして光源の方向に戻るための限界の屈折率である。 $\alpha = 0$ での反射を除くと、一樣な物質では一般に $0 < \alpha < \frac{\pi}{2}$ の条件を満たす屈折率 n に対して一つの中心角 α でのみ光が光源の方向に返る。ところが、上記の $n = \text{26}$ の場合には近似の成り立つ範囲で光源の方向に光が返るため、多くの光が光源の方向に返される。

光が円内で1回反射を起こして光源の方向に戻るための屈折率の範囲は上記のように求められる。

るが，水の屈折率はこの範囲から外れている。図4－5に示すように水の場合は $\alpha \neq 0$ では光が点Bに進まず，経路QCEFTを進行し，光は光源の方向に返らない。入射光QCに対して出てきた光FTがなす角度を求めたい。これは，Fを基点としてQCに平行な半直線上にある点をSとおいて， $\angle SFT = \gamma$ 〔rad〕を求めることと同じである。水の場合の光の屈折において入射角 α 〔rad〕に対して屈折角 β' 〔rad〕であったとすると， $\gamma = \boxed{28}$ である。なお，水におけるこの反射は，虹の生成に強く関わっている。

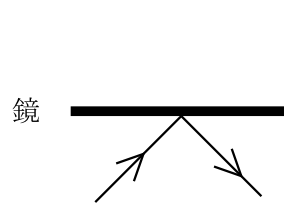


図4－1

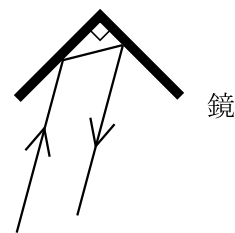


図4－2

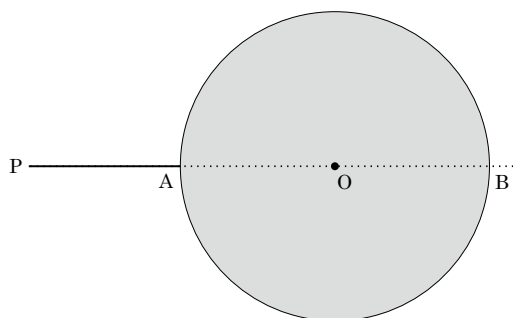


図4－3

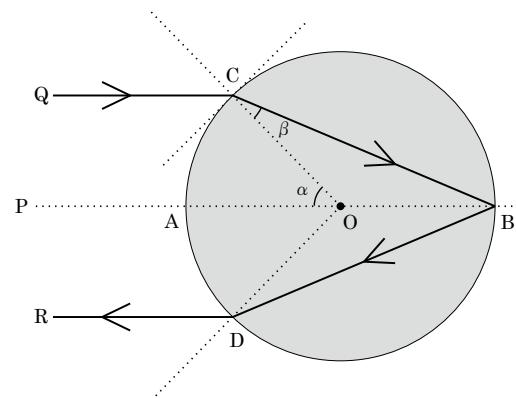


図4－4

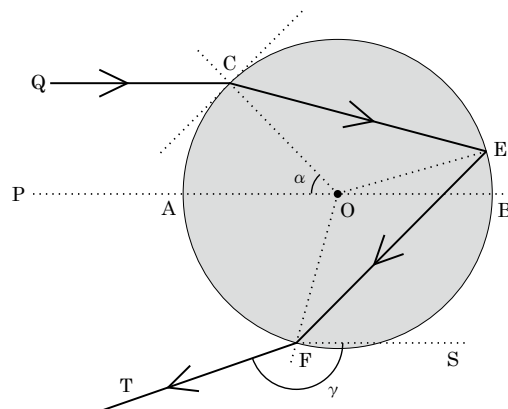


図4－5

22 の選択肢

- ① 点 A
- ② 点 A および点 O
- ③ 点 A, 点 O および点 B
- ④ 点 A および点 B
- ⑤ 点 O
- ⑥ 点 B

23 の選択肢

- ① 0
- ② $\frac{\pi}{2}$
- ③ α
- ④ β
- ⑤ $\frac{\alpha}{2}$
- ⑥ 2β

24 の選択肢

- ① $n = \frac{\sin \alpha}{\cos \beta}$
- ② $n = \frac{\sin \beta}{\cos \alpha}$
- ③ $n = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$
- ④ $n = \frac{\sin \beta}{\sin \alpha}$
- ⑤ $n = \frac{\cos \alpha}{\cos \beta}$
- ⑥ $n = \frac{\cos \beta}{\cos \alpha}$

25 の選択肢

- ① $\frac{\cos \alpha}{\cos \frac{\alpha}{2}}$
- ② $\frac{\cos \frac{\alpha}{2}}{\cos \alpha}$
- ③ $\frac{\sin \alpha}{\sin \frac{\alpha}{2}}$
- ④ $\frac{\sin \frac{\alpha}{2}}{\sin \alpha}$
- ⑤ $\tan \alpha$
- ⑥ $\tan \frac{\alpha}{2}$

26 の選択肢

- ① 1
- ② $\sqrt{2}$
- ③ $\sqrt{3}$
- ④ 2
- ⑤ $\sqrt{5}$
- ⑥ $\sqrt{6}$

27 の選択肢

- ① 1
- ② $\sqrt{2}$
- ③ $\sqrt{3}$
- ④ 2
- ⑤ $\sqrt{5}$
- ⑥ $\sqrt{6}$

28 の選択肢

① $\pi + 2\alpha$

② $\pi + 2\alpha - 2\beta$

③ $\pi + 2\alpha - 4\beta$

④ $\pi - 2\alpha$

⑤ $\pi - 2\alpha + 2\beta$

⑥ $\pi - 2\alpha + 4\beta$

以上で問題は終わります。