令和３年度　一般採用試験
理科（物理）試験問題
（理工学専攻）

（注　意）

1．理科（物理）試験問題の余白は計算に使用してもよい。

2．理科（物理・マークセンス）解答用紙の注意事項を確認のうえ，例にならって氏名及び受験番号を理科（物理・マークセンス）解答用紙に必ず記入及びマークすること。

例　【氏名】　防大　渚　【受験番号】　神奈川理Ｗ１２３４　の場合

※氏名及び受験番号の記入について

	氏	名
フリガナ	ボウダイ	ナギサ
漢　字	防大	渚

	志願地本名	専攻区分	番　号
受験番号	神奈川	理	Ｗ１２３４

※受験番号等のマークについて（女子受験者は，番号のＷはマークしない。）

志願地本名		
	札　幌：01	福　島：10
	函　館：02	茨　城：11
	旭　川：03	栃　木：12
	帯　広：04	群　馬：13
	青　森：05	埼　玉：14
	岩　手：06	千　葉：15
	宮　城：07	東　京：16
	秋　田：08	神奈川：●
	山　形：09	新　潟：18

専攻区分	
理工	●

性　別	
男	1
女	●

番　号			
0	0	0	0
●	1	1	1
2	●	2	2
3	3	●	3
4	4	4	●
5	5	5	5
6	6	6	6
7	7	7	7
8	8	8	8
9	9	9	9

3．試験時間中は，すべて試験係官の指示に従うこと。

4．解答方法は，設問ごとの指示に従い，理科（物理・マークセンス）解答用紙の解答欄に一つマークすること。

例えば，$\boxed{1}$ の(1)の(a)と表示のある問題に対して①と解答する場合は，次の例のように $\boxed{1}$ の(1)の(a)の解答欄の①にマークすること。

例

解答欄												
$\boxed{1}$	(1)	(a)	●	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5．理科（物理・マークセンス）解答用紙の余白には何も書き込まないこと。

1

(1)　面積S〔m²〕の十分に薄い金属平板AとBが真空中にある。Aには正電荷Q〔C〕をBには負電荷$-Q$〔C〕をそれぞれ一様に帯電させた。図1のように，金属平板AとBを間隔d〔m〕で平行におき，電気容量C〔F〕のコンデンサーを作った。真空の誘電率をε_0〔F/m〕として，以下の問いに答えよ。

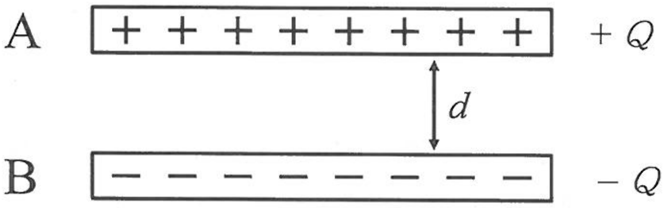


図1

(a)　金属平板間の電場の強さE〔V/m〕として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

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

⑥ $\dfrac{Q}{4\varepsilon_0 S}$　⑦ $\dfrac{Q}{2\varepsilon_0 S}$　⑧ $\dfrac{Q}{\varepsilon_0 S}$　⑨ $\dfrac{2Q}{\varepsilon_0 S}$　⑩ $\dfrac{\varepsilon_0 Q}{2S}$

(b)　金属平板間の電位差V〔V〕として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

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

⑥ $\dfrac{\varepsilon_0 Q}{Sd}$　⑦ $\dfrac{2\varepsilon_0 Q}{Sd}$　⑧ $\dfrac{4\varepsilon_0 Q}{Sd}$　⑨ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{4Qd}$　⑩ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{2Qd}$

(c)　このコンデンサーの電気容量Cとして最も適切なものを次の①〜⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

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

⑥ $\dfrac{4\varepsilon_0 S}{d}$　⑦ $\dfrac{2\varepsilon_0 S}{d}$　⑧ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{d}$　⑨ $\dfrac{\varepsilon_0 S}{2d}$　⑩ $\dfrac{2Sd}{\varepsilon_0}$

(2)　図２のように，紙面上にxy平面を，紙面に垂直に裏から表の向きにz軸の正の向きを設定する。平板電極P_1，P_2がx軸に垂直におかれ，小さい孔S_1とS_2がx軸上にそれぞれあけられている。また，この電極間には電圧V_0〔V〕がかけられている。

電極P_2の右側にはx軸上に小さい孔S_3とS_4がそれぞれあけられた箱Fがある。小孔S_3とS_4の間にはx軸方向に長さℓ〔m〕の平板電極D_1，D_2がy軸方向に対して垂直におかれ，小孔S_3とS_4を結ぶ直線（直線S_3S_4）から距離d〔m〕だけそれぞれ離れている。電極D_1とD_2に挟まれた偏向部には，強さE〔V/m〕の一様な電場がy軸の正の向きに加えられている。この電場は偏向部の外には漏れていない。また，電極の端部周辺の電場もy軸と平行であるとし，小孔S_3やS_4と偏向部との隙間は十分狭いとする。

これらの装置は真空中にあり，重力および地磁気の影響は無視できるとして，以下の問いに答えよ。

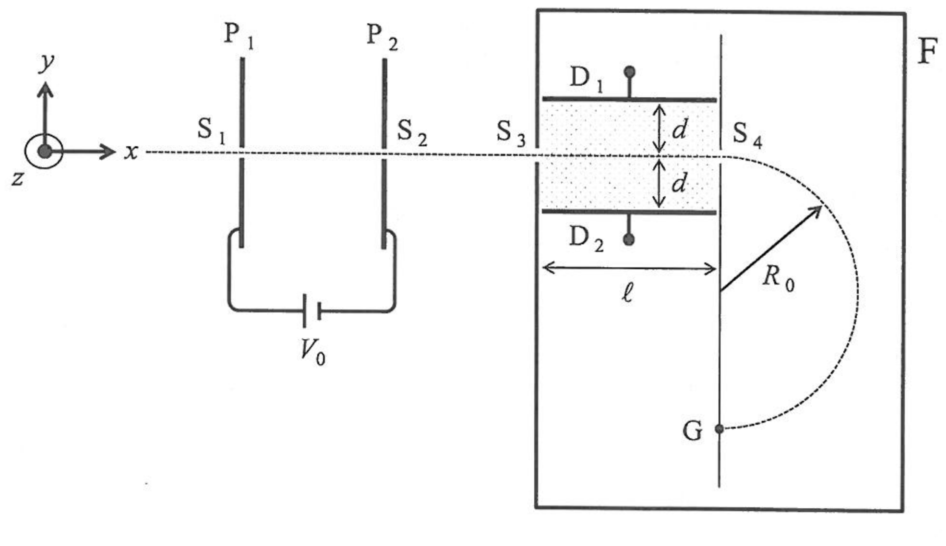


図２

(a)　いま初速度の無視できる質量 m〔kg〕，電荷 q〔C〕の正の荷電粒子が，小孔 S_1 から電極 P_2 に向けて加速されて小孔 S_2 を通り抜けた。小孔 S_2 を通過した瞬間の荷電粒子の速さ v_0〔m/s〕として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}}$　② $\sqrt{\dfrac{qV_0}{2m}}$　③ $\sqrt{\dfrac{qV_0}{m}}$　④ $\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{4qV_0}{m}}$

⑥ $\sqrt{\dfrac{m}{2qV_0}}$　⑦ $\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}}$　⑨ $\sqrt{\dfrac{4m}{qV_0}}$　⑩ $\sqrt{\dfrac{mV_0}{2q}}$

(b)　小孔 S_2 を通過した荷電粒子は，速さ v_0 を保ったまま小孔 S_3 を通過して偏向部に進入した。荷電粒子は電場によって偏向されて小孔 S_4 を通らなかったが，電極 D_1 には衝突しなかった。偏向部の右端に到達した瞬間の荷電粒子と直線 S_3S_4 との距離として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\ell^2 E}{4V_0}$　② $\dfrac{\ell^2 E}{2V_0}$　③ $\dfrac{\ell^2 E}{V_0}$　④ $\dfrac{2\ell^2 E}{V_0}$　⑤ $\dfrac{\ell^2 V_0}{4E}$

⑥ $\dfrac{\ell^2 V_0}{2E}$　⑦ $\dfrac{\ell^2 V_0}{E}$　⑧ $\dfrac{V_0}{\ell^2 E}$　⑨ $\dfrac{2V_0}{\ell^2 E}$　⑩ $\dfrac{4V_0}{\ell^2 E}$

(c)　偏向部の電場を徐々に強くして，この荷電粒子の進入実験を繰り返した。電場の強さが E_1〔V/m〕のときに，はじめて荷電粒子は電極 D_1 に衝突した。衝突した瞬間の荷電粒子の速さ v_1〔m/s〕として最も適切なものを次の①～⑨のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　② $\sqrt{\dfrac{qV_0}{2m}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　③ $\sqrt{\dfrac{qV_0}{m}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$

④ $\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{4qV_0}{m}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　⑥ $\sqrt{\dfrac{m}{2qV_0}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$

⑦ $\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　⑧ $\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$　⑨ $\sqrt{\dfrac{4m}{qV_0}\left(1+\dfrac{4d^2}{\ell^2}\right)}$

(d)　偏向部の電場の強さを E_1 に固定し，箱Fの内部において z 軸の正の向きに磁束密度の大きさが B〔T〕の一様な磁場を加えて，荷電粒子の進入実験を繰り返した。磁束密度の大きさが B_1〔T〕のとき，荷電粒子は小孔 S_3 から S_4 の直線上を通り抜け，半径 R_0〔m〕の半円を描きながら点Gに衝突した。このとき偏向部を通過するのにかかった時間 t_1〔s〕として最も適切なものを次の①〜⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\ell\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}}$　② $\ell\sqrt{\dfrac{qV_0}{2m}}$　③ $\ell\sqrt{\dfrac{qV_0}{m}}$　④ $\ell\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$　⑤ $\ell\sqrt{\dfrac{4m}{qV_0}}$

⑥ $\ell\sqrt{\dfrac{2m}{qV_0}}$　⑦ $\ell\sqrt{\dfrac{m}{qV_0}}$　⑧ $\ell\sqrt{\dfrac{m}{2qV_0}}$　⑨ $\ell\sqrt{\dfrac{mV_0}{q}}$　⑩ $\ell\sqrt{\dfrac{mV_0}{2q}}$

(e)　磁束密度の大きさ B_1 として最も適切なものを次の①〜⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{d}{\ell}\sqrt{\dfrac{qV_0}{4m}}$　② $\dfrac{d}{\ell^2}\sqrt{\dfrac{2qV_0}{m}}$　③ $\dfrac{d^2}{\ell}\sqrt{\dfrac{4qV_0}{m}}$　④ $\dfrac{d}{\ell^2}\sqrt{\dfrac{8qV_0}{m}}$　⑤ $\dfrac{d}{\ell^2}\sqrt{\dfrac{8mV_0}{q}}$

⑥ $\dfrac{d}{\ell^2}\sqrt{\dfrac{mV_0}{4q}}$　⑦ $\dfrac{\ell}{d^2}\sqrt{\dfrac{mV_0}{2q}}$　⑧ $\dfrac{\ell}{d}\sqrt{\dfrac{mV_0}{4q}}$　⑨ $\dfrac{\ell^2}{d}\sqrt{\dfrac{mV_0}{q}}$　⑩ $\dfrac{\ell^2}{d}\sqrt{\dfrac{8mV_0}{q}}$

(f)　半径 R_0 として最も適切なものを次の①〜⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\ell^2}{4d}$　② $\dfrac{\ell^2}{2d}$　③ $\dfrac{\ell^2}{d}$　④ $\dfrac{2\ell^2}{d}$　⑤ $\dfrac{4\ell^2}{d}$

⑥ $\dfrac{d^2}{4\ell}$　⑦ $\dfrac{d^2}{2\ell}$　⑧ $\dfrac{d^2}{\ell}$　⑨ $\dfrac{2d^2}{\ell}$　⑩ $\dfrac{4d^2}{\ell}$

$\boxed{2}$

(1) 図1のように，媒質Ⅰと媒質Ⅱが平面XX′を境界として接している。媒質Ⅰでの波長がλ_1〔m〕，速さがv_1〔m/s〕，振動数がf〔Hz〕の平面波を，媒質Ⅰからこの境界面XX′に向かって入射角i〔rad〕で入射させた。平面波は，媒質Ⅱでは波長がλ_2〔m〕，速さがv_2〔m/s〕となって伝わり，屈折角はr〔rad〕であった。媒質Ⅰに対する媒質Ⅱの相対屈折率をn_{12}（$n_{12}>1$）とする。以下の問いに答えよ。

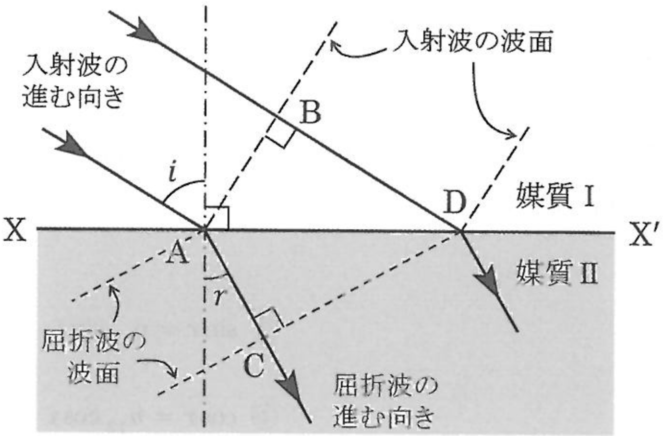


図1

(a) 媒質Ⅰにおいて，点Bにある入射波の波面が点Dに達するまでの時間をt〔s〕とする。媒質Ⅱにおいて，点Aにある屈折波の波面は，時間tのあいだに点Cまで進む。BD間の距離およびAC間の距離を表す式の組み合わせとして最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\mathrm{BD}=\dfrac{ft}{\lambda_1}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{ft}{\lambda_2}$　　② $\mathrm{BD}=\dfrac{\lambda_1 t}{f}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{\lambda_2 t}{f}$

③ $\mathrm{BD}=\dfrac{f\lambda_1}{t}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{f\lambda_2}{t}$　　④ $\mathrm{BD}=\dfrac{\lambda_1}{ft}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{\lambda_2}{ft}$

⑤ $\mathrm{BD}=f\lambda_1 t$，　$\mathrm{AC}=f\lambda_2 t$　　⑥ $\mathrm{BD}=\dfrac{t}{f\lambda_1}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{t}{f\lambda_2}$

⑦ $\mathrm{BD}=\dfrac{f}{\lambda_1 t}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{f}{\lambda_2 t}$　　⑧ $\mathrm{BD}=\dfrac{1}{f\lambda_1 t}$，　$\mathrm{AC}=\dfrac{1}{f\lambda_2 t}$

(b)　v_1 と v_2 の間に成り立つ関係を表す式として最も適切なものを次の①〜⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $v_1 = v_2$　　② $v_1 = \dfrac{\lambda_2 v_2}{\lambda_1}$　　③ $v_1 = \dfrac{n_{12}\lambda_2 v_2}{\lambda_1}$

④ $v_1 = \dfrac{\lambda_2 v_2}{n_{12}\lambda_1}$　　⑤ $v_1 = \dfrac{v_2}{n_{12}}$　　⑥ $v_1 = n_{12} v_2$

⑦ $v_1 = \dfrac{n_{12}\lambda_1 v_2}{\lambda_2}$　　⑧ $v_1 = \dfrac{\lambda_1 v_2}{n_{12}\lambda_2}$

(c)　屈折角 r と入射角 i の間に成り立つ関係を表す式として最も適切なものを次の①〜⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\sin i = n_{12} \sin r$　　② $\sin r = n_{12} \sin i$

③ $\cos i = n_{12} \cos r$　　④ $\cos r = n_{12} \cos i$

⑤ $\tan i = n_{12} \tan r$　　⑥ $\tan r = n_{12} \tan i$

⑦ $\sin i \cos i = n_{12} \sin r \cos r$　　⑧ $\sin r \cos r = n_{12} \sin i \cos i$

(2)　図２のように，片側の面が光軸に垂直な平面であり，反対側の面が光軸上に中心Oを持つ半径 R〔m〕の球面であるような薄いレンズLが真空中におかれている。レンズLは絶対屈折率 n ($n > 1$) の透明な物質でできている。レンズLの表面が平面である側を前方とし，表面が球面である側を後方とする。前方よりこのレンズLに向かって光軸に平行な光線を入射させる。レンズLの球面である側の表面と光線との交点をPとすると，光線はPで屈折して点Qで光軸と交わる。Pから光軸に下した垂線の足をP′とする。OPとOP′のなす角を θ〔rad〕とし，QPとQP′のなす角を ϕ〔rad〕とする。

図２の拡大図に示すように，光線はPにおいて，平面波が平面の境界を通過する場合と同様に屈折するものとする。また，レンズLの二つの境界面で反射される光の影響はいずれも無視する。以下の問いに答えよ。

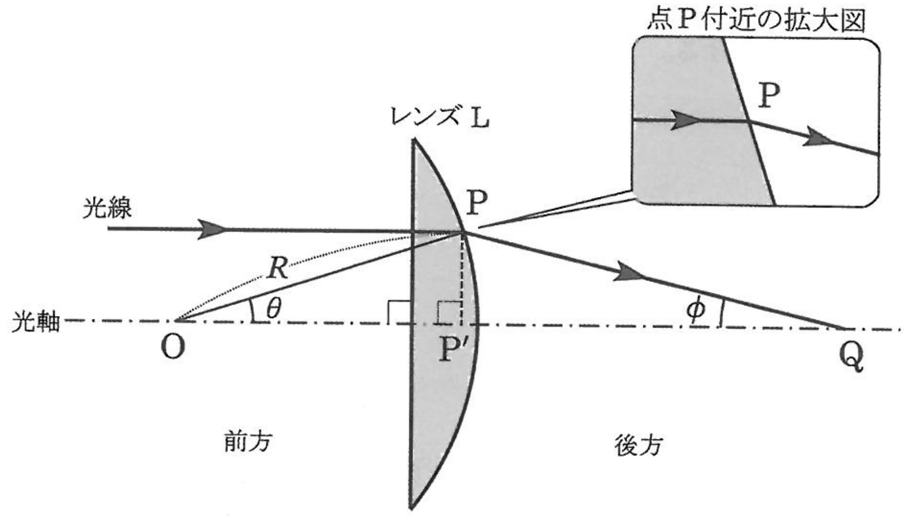


図２

(a)　θ と ϕ の間に成り立つ関係を表す式として最も適切なものを次の①〜⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\sin\theta = n\sin(\theta+\phi)$　　② $n\sin\theta = \sin(\theta+\phi)$

③ $\cos\theta = n\cos(\theta+\phi)$　　④ $n\cos\theta = \cos(\theta+\phi)$

⑤ $\sin\theta = n\sin(\theta-\phi)$　　⑥ $n\sin\theta = \sin(\theta-\phi)$

⑦ $\cos\theta = n\cos(\theta-\phi)$　　⑧ $n\cos\theta = \cos(\theta-\phi)$

(b)　QP′ 間の距離を F〔m〕とする。FとRの間に成り立つ関係を表す式として最も適切なものを次の①〜⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $R\tan\theta = F\cos\phi$　　② $R\cos\theta = F\tan\phi$

③ $R\cos\theta = F\sin(\theta+\phi)$　　④ $R\sin\theta = F\tan(\theta-\phi)$

⑤ $R\sin(\theta+\phi) = F\tan\phi$　　⑥ $R\cos(\theta-\phi) = F\sin\phi$

⑦ $R\cos\theta = F\cos\phi$　　⑧ $R\sin\theta = F\tan\phi$

(c)　Fを表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。ただし，PP′間の距離はRに比べて十分に短く，$\sin\theta \fallingdotseq \theta$，$\sin\phi \fallingdotseq \phi$，$\cos\theta \fallingdotseq 1$，$\cos\phi \fallingdotseq 1$の近似が成り立つものとする。

① $(n-1)R$　② $\dfrac{nR}{n-1}$　③ $\dfrac{nR}{(n-1)^2}$　④ $\dfrac{R}{n-1}$

⑤ $(n+1)R$　⑥ $\dfrac{nR}{n+1}$　⑦ $\dfrac{nR}{(n+1)^2}$　⑧ $\dfrac{R}{n+1}$

(d)　$n = 1.40$，$R = 0.30$ mとし，レンズLは焦点距離Fの薄い凸レンズと同様にふるまうものとする。図3のように，レンズLの前方0.50 mの光軸上に小さな物体をおいたとき，どのような像が観測されるか。像の位置として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

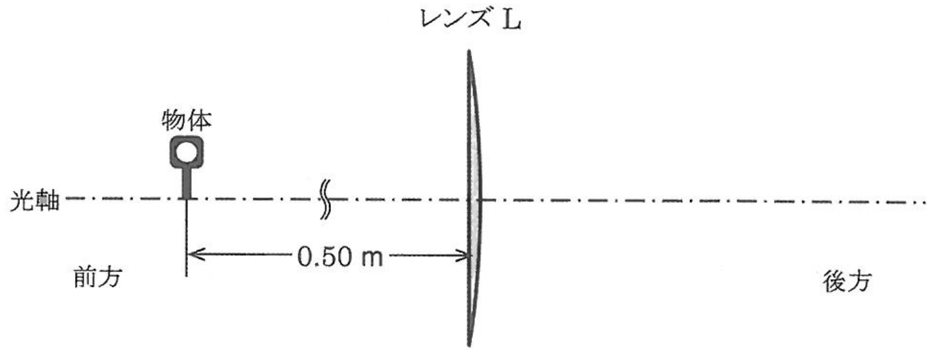


図3

① レンズLの前方0.50 m　② レンズLの前方1.0 m
③ レンズLの前方1.5 m　④ レンズLの前方2.0 m
⑤ レンズLの後方0.50 m　⑥ レンズLの後方1.0 m
⑦ レンズLの後方1.5 m　⑧ レンズLの後方2.0 m

(e)　(d)のとき，像の倍率は何倍となるか。また，像は実像または虚像のいずれとなるか。最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

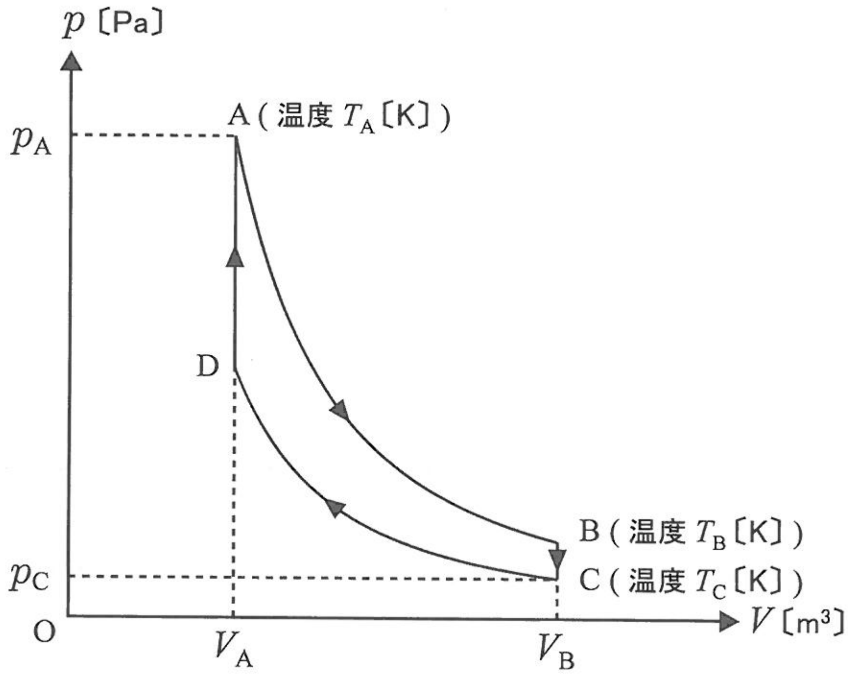
① 1.0倍の実像　② 2.0倍の実像　③ 3.0倍の実像　④ 4.0倍の実像
⑤ 1.0倍の虚像　⑥ 2.0倍の虚像　⑦ 3.0倍の虚像　⑧ 4.0倍の虚像

3

1 molの単原子分子の理想気体を図のように状態A→B→C→D→Aとゆっくりと変化させる熱機関を考える。状態AからBおよびCからDへの変化は断熱変化であり，状態BからCおよび状態DからAへの変化は定積変化である。状態Aの気体の体積をV_A〔m³〕，圧力をp_A〔Pa〕，状態Bの気体の体積をV_B〔m³〕，状態Cの気体の圧力をp_C〔Pa〕とする。また状態A，B，Cの気体の温度をそれぞれT_A，T_B，T_C〔K〕とする。ただし$V_B > V_A$および$T_B > T_C$である。断熱変化においては単原子分子の理想気体の圧力p〔Pa〕と体積V〔m³〕の間にポアソンの法則

$$pV^{\frac{5}{3}} = 一定$$

が成り立つとする。気体定数をR〔J/(mol・K)〕として以下の問いに答えよ。



図

(1)　この気体の断熱変化における体積V〔m³〕と温度T〔K〕の関係を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $T^{-\frac{2}{3}}V = 一定$　② $T^{\frac{2}{3}}V = 一定$　③ $TV^{-\frac{2}{3}} = 一定$　④ $TV^{\frac{2}{3}} = 一定$

⑤ $T^{-\frac{5}{3}}V = 一定$　⑥ $T^{\frac{5}{3}}V = 一定$　⑦ $TV^{-\frac{5}{3}} = 一定$　⑧ $TV^{\frac{5}{3}} = 一定$

(2)　状態Dの温度を表す式として最も適切なものを次の①～⑥のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{T_A}{T_B}T_C$　　② $\dfrac{T_C}{T_A}T_B$　　③ $\left(\dfrac{T_A}{T_B}\right)^{\frac{2}{3}}T_C$

④ $\left(\dfrac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{2}{3}}T_B$　　⑤ $\left(\dfrac{T_A}{T_B}\right)^{\frac{5}{3}}T_C$　　⑥ $\left(\dfrac{T_C}{T_A}\right)^{\frac{5}{3}}T_B$

(3)　次に示す文は，状態AからBへの変化での気体の仕事について説明したものである。文中の空欄（ア）および（イ）にあてはまるものとして，(ア) については選択肢aの①～③のうちから，(イ) については選択肢bの①～⑧のうちから最も適切なものをそれぞれ一つ選び，解答欄にマークせよ。

状態AからBまでの変化で，この気体は［（ア）］，その仕事は［（イ）］〔J〕である。

選択肢a

①外部から仕事をされ　　②外部に仕事をし　　③仕事をせず

選択肢b

① $p_A(V_B - V_A)$　　② $p_AV_A\left\{1-\left(\dfrac{V_A}{V_B}\right)^{\frac{5}{3}}\right\}$　　③ $p_AV_A\left\{\left(\dfrac{V_B}{V_A}\right)^{\frac{5}{3}}-1\right\}$

④ $\dfrac{2}{3}R(T_A - T_B)$　　⑤ $\dfrac{3}{2}R(T_A - T_B)$　　⑥ $\dfrac{5}{3}R(T_A - T_B)$

⑦ $\dfrac{5}{2}R(T_A - T_B)$　　⑧ 0

(4)　次に示す文は，状態BからCへの変化での気体と外部との熱量のやりとりを説明したものである。文中の空欄（ウ）および（エ）にあてはまるものとして，（ウ）については選択肢cの①～③のうちから，（エ）については選択肢dの①～⑧のうちから最も適切なものをそれぞれ一つ選び，解答欄にマークせよ。

状態BからCまでの変化で，この気体は［（ウ）］，その熱量は［（エ）］〔J〕である。

選択肢c

①外部から熱を吸収し　　②外部に熱を放出し　　③外部と熱のやりとりをせず

選択肢d

① $p_{\mathrm{C}}V_{\mathrm{B}}$　② $\left(\dfrac{V_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{5}{3}}p_{\mathrm{A}}V_{\mathrm{B}}$　③ $\left\{\left(\dfrac{V_{\mathrm{A}}}{V_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{5}{3}}p_{\mathrm{A}}-p_{\mathrm{C}}\right\}V_{\mathrm{B}}$

④ $\dfrac{2}{3}R\,(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})$　⑤ $\dfrac{5}{3}R\,(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})$　⑥ $\dfrac{3}{2}R\,(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})$

⑦ $\dfrac{5}{2}R\,(T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}})$　⑧ 0

(5)　この熱機関の熱効率を表す式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $1-\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{A}}}$　② $1-\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}$　③ $\dfrac{T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{C}}}$　④ $\dfrac{T_{\mathrm{B}}-T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{A}}-T_{\mathrm{B}}}$

⑤ $1-\left(\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{2}{3}}$　⑥ $1-\left(\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{2}{3}}$　⑦ $1-\left(\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{A}}}\right)^{\frac{5}{3}}$　⑧ $1-\left(\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\right)^{\frac{5}{3}}$

(6)　$\dfrac{V_{\mathrm{B}}}{V_{\mathrm{A}}}=\alpha$とする。この熱機関の熱効率を$\alpha$を用いて表した式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{1}{\alpha}$　② $1-\dfrac{1}{\alpha}$　③ $\dfrac{1}{\alpha+1}$　④ $\dfrac{\alpha-1}{\alpha+1}$

⑤ $1-\dfrac{1}{\alpha^{\frac{2}{3}}}$　⑥ $1-\dfrac{1}{\alpha^{\frac{5}{3}}}$　⑦ $\dfrac{\alpha^{\frac{5}{3}}-1}{\alpha^{\frac{5}{3}}+1}$　⑧ $\dfrac{\alpha^{\frac{2}{3}}-1}{\alpha^{\frac{5}{3}}}$

(7)　$\dfrac{p_{\mathrm{A}}}{p_{\mathrm{C}}}=\beta$とする。$\beta$を$T_{\mathrm{B}}$，$T_{\mathrm{C}}$，$\alpha$を用いて表した式として最も適切なものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\alpha$　② $\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{C}}}\alpha$　③ $\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\alpha^{\frac{2}{3}}$　④ $\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\alpha^{\frac{5}{3}}$

⑤ $\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{C}}}\alpha^{\frac{2}{3}}$　⑥ $\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{C}}}\alpha^{\frac{5}{3}}$　⑦ $\left(1+\dfrac{T_{\mathrm{C}}}{T_{\mathrm{B}}}\right)\dfrac{\alpha^{\frac{5}{3}}}{2}$　⑧ $\left(1+\dfrac{T_{\mathrm{B}}}{T_{\mathrm{C}}}\right)\dfrac{\alpha^{\frac{5}{3}}}{2}$

(8)　$T_{\mathrm{A}}=900$ K，$\alpha=4$とする。T_{B}とT_{C}の温度差が60 Kであったとき，βの値として最も近いものを次の①～⑧のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。ただし$4^{\frac{2}{3}}\fallingdotseq 2.5$とせよ。

① 2.1　② 3.0　③ 4.8　④ 8.3

⑤ 9.2　⑥ 11　⑦ 12　⑧ 15

4

長さ ℓ〔m〕の軽くて伸びない糸の一端に質量 m〔kg〕の小球をつけ，他端を点Oに固定した。重力加速度の大きさを g〔m/s²〕とし，小球の大きさ，空気の抵抗および固定点Oでの摩擦は無視できるものとする。鉛直面内の小球の運動について以下の問いに答えよ。

(1)　図１のように，糸と鉛直方向とのなす角が90°となる点Pまで糸がたるまないように小球を引き上げた後，静かにはなした。小球は円軌道上を運動し，最下点Qを通過した。

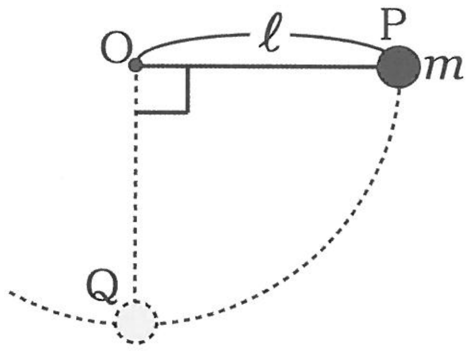


図１

(a)　点Qにおける小球の速さを表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\sqrt{g\ell}}{2}$　② $\dfrac{\sqrt{2g\ell}}{2}$　③ $\sqrt{g\ell}$　④ $\sqrt{2g\ell}$　⑤ $2\sqrt{g\ell}$

⑥ 0　⑦ $\dfrac{1}{2}g\ell$　⑧ $g\ell$　⑨ $\sqrt{2}g\ell$　⑩ $2g\ell$

(b)　点Qでの糸の張力の大きさを表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① 0　② $mg\ell$　③ $2mg\ell$　④ $3mg\ell$　⑤ $4mg\ell$

⑥ $\dfrac{1}{2}mg$　⑦ mg　⑧ $2mg$　⑨ $3mg$　⑩ $4mg$

(2)　糸がたるまないように小球を点Pまで引き上げた後，鉛直下向きの初速度を小球に与えた。初速度の大きさを徐々に大きくし，その値がv_0〔m/s〕になったときにはじめて，図２のように糸がたるむことなく小球は点Oを中心に円運動した。以下では，この円運動について考える。

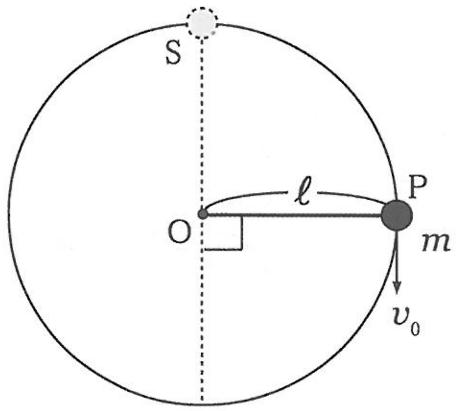


図２

(a)　最高点Sにおける小球の速さを表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① 0　② $\dfrac{\sqrt{g\ell}}{3}$　③ $\dfrac{\sqrt{g\ell}}{2}$　④ $\dfrac{\sqrt{2g\ell}}{2}$　⑤ $\sqrt{g\ell}$

⑥ $\sqrt{2g\ell}$　⑦ $\dfrac{3\sqrt{g\ell}}{2}$　⑧ $\sqrt{3g\ell}$　⑨ $2\sqrt{g\ell}$　⑩ $\sqrt{5g\ell}$

(b)　速さv_0を表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\sqrt{g\ell}$　② $\sqrt{2g\ell}$　③ $\sqrt{3g\ell}$　④ $2\sqrt{g\ell}$　⑤ $\sqrt{5g\ell}$

⑥ $\sqrt{6g\ell}$　⑦ $\sqrt{7g\ell}$　⑧ $2\sqrt{2g\ell}$　⑨ $3\sqrt{g\ell}$　⑩ $\sqrt{10g\ell}$

(c)　この円運動における，糸の張力の最大値を表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① mg　② $2mg$　③ $3mg$　④ $4mg$　⑤ $5mg$

⑥ $6mg$　⑦ $7mg$　⑧ $8mg$　⑨ $9mg$　⑩ $10mg$

(3)　糸がたるまないように小球を点Pまで引き上げた後，鉛直下向きに大きさv_1〔m/s〕（$< v_0$）の初速度を小球に与えた。小球が円軌道上を運動し，点Rを通過した瞬間に糸がたるみ始めた。その後，図3のように，小球は糸から張力を受けずに放物運動し，点Oに到達した。点Oを通る鉛直線OSと線分ORのなす角をθとする。

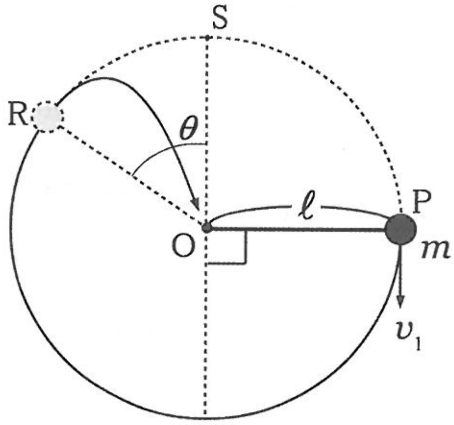


図3

(a)　点Rにおける小球の速さV_R〔m/s〕を表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① 0　② $\sqrt{\dfrac{g\ell}{\sin\theta}}$　③ $\sqrt{\dfrac{g\ell}{\cos\theta}}$　④ $\sqrt{\dfrac{2g\ell}{\sin\theta}}$　⑤ $\sqrt{\dfrac{2g\ell}{\cos\theta}}$

⑥ $\sqrt{g\ell}$　⑦ $\sqrt{g\ell\sin\theta}$　⑧ $\sqrt{g\ell\cos\theta}$　⑨ $\sqrt{2g\ell\sin\theta}$　⑩ $\sqrt{2g\ell\cos\theta}$

(b)　糸がたるみ始めた瞬間から小球が点Oに達するまでの時間をV_Rを用いて表した式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\ell}{V_R}\sin\theta$　② $\dfrac{\ell}{V_R}\cos\theta$　③ $\dfrac{\ell}{V_R}\tan\theta$　④ $\dfrac{V_R}{g}\sin^2\theta$　⑤ $\dfrac{V_R}{g}\cos^2\theta$

⑥ $\dfrac{\ell}{V_R}$　⑦ $\dfrac{\ell}{V_R}\sin^2\theta$　⑧ $\dfrac{\ell}{V_R}\cos^2\theta$　⑨ $\dfrac{V_R}{g}\sin\theta$　⑩ $\dfrac{V_R}{g}\cos\theta$

(c)　$\cos\theta$ の値として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\sqrt{2}}{3}$　② $\dfrac{1}{2}$　③ $\dfrac{\sqrt{5}}{4}$　④ $\dfrac{1}{\sqrt{3}}$　⑤ $\dfrac{3}{5}$

⑥ $\dfrac{2}{3}$　⑦ $\dfrac{1}{\sqrt{2}}$　⑧ $\dfrac{\sqrt{5}}{3}$　⑨ $\dfrac{3}{4}$　⑩ $\dfrac{\sqrt{3}}{2}$

(d)　点Pで小球に与えた速さの2乗 $v_1{}^2$ を表す式として最も適切なものを次の①～⑩のうちから一つ選び，解答欄にマークせよ。

① $\dfrac{\sqrt{3}}{3}g\ell$　② $\dfrac{\sqrt{2}}{2}g\ell$　③ $g\ell$　④ $\dfrac{2\sqrt{3}}{3}g\ell$　⑤ $\sqrt{2}g\ell$

⑥ $\sqrt{3}g\ell$　⑦ $\dfrac{3\sqrt{2}}{2}g\ell$　⑧ $\sqrt{5}g\ell$　⑨ $\dfrac{5\sqrt{3}}{3}g\ell$　⑩ $\dfrac{5\sqrt{2}}{2}g\ell$