解答速報 物理

医学部受験専門予備校 慧修会

2021年度　昭和大学

【 講 評 】

文章が長く状況の整理に時間がかかる問題がいくつかあるが、総じて処理は難しくない。見慣れない設定の問題も、誘導に乗れば自動的に解けるようになっている。合格点は 75% 程度か。

$\boxed{1}\boxed{\text{A}}$は基本的な万有引力による円運動の問題。これは落とせない。$\boxed{\text{B}}$は月の引力による潮汐力の問題。見慣れない設定ではあるが、実行する処理はすべて問題に書いてあるので、焦らず落ち着いて処理したい。

$\boxed{2}$は基本的な扇形コイルの電磁誘導の問題。特に難しい処理もなく、確実に完答したい。

$\boxed{3}$は複数の容器とシリンダーからなる系の熱力学の問題。やや式が煩雑ではあるものの、内容は標準的である。問題を「なんとなく」で解かず、情報を整理し、必要な手法を見抜く訓練が必要。

$\boxed{4}$はドップラー効果の問題。これも基本的であり、完答したい。

【解答・解説】

1 A

解答

(a) $\dfrac{2\pi R_0}{v}$　(b) $\dfrac{GEM}{R_0^2}$ $\left(\dfrac{4\pi GR^3dM}{3R_0^2}\text{も可}\right)$　(c) $\dfrac{GdT^2}{3\pi}$

解説

(a) 円運動の一周の長さは $2\pi R_0$ だから、周期は $\dfrac{2\pi R_0}{v}$ である。

(b) 月にはたらく地球からの引力は $\dfrac{GEM}{R_0^2}$ である。

(c) (a) と (b) から v を消去し、$E=\dfrac{4\pi}{3}R^3d$ を代入すると、$\left(\dfrac{R_0}{R}\right)^3=\dfrac{GdT^2}{3\pi}$ を得る。

B

解答

(d) $\dfrac{GM}{(R_0-R)^2}$　(e) $\dfrac{GM}{R_0^2}$　(f) $\dfrac{2GMR}{R_0^3}$

(g) $\dfrac{GM}{(R_0+R)^2}$　(h) $\dfrac{2GMR}{R_0^3}$ または $-\dfrac{2GMR}{R_0^3}$　(i) $\dfrac{GMR}{R_0^3}$

(1) 月の方向　(2) 軽く　(3) 月と逆方向　(4) 軽く　(5) 地球の中心　(6) 重く

解説

(d) 置かれた物体の質量 m とすると、月からの引力の大きさは $\dfrac{GMm}{(R_0-R)^2}$ であるから、これと運動方程式から加速度を得る。

(e) 地球と月の距離は R_0 であるから、前問の分母を R_0^2 で置き換えればよい。

(f) 補正項は、近似を用いて、$\dfrac{GM}{(R_0-R)^2}-\dfrac{GM}{R^2}\fallingdotseq\dfrac{2GMR}{R_0^3}$ と計算できる。この加速度は月の方向であるので、物体は軽くなる。

(g) B 点での月と物体の距離は (R_0+R) であるから、(d) の分母を $(R_0+R)^2$ で置き換えればよい。

(h) (f) と同様の近似を行えば、$\dfrac{GM}{(R_0+R)^2}-\dfrac{GM}{R^2}\fallingdotseq-\dfrac{2GMR}{R_0^3}$ となり、この加速度は月と逆方向なので、物体は軽くなる。

(i) 月と地球の中心と D 点がなす二等辺三角形の底角を θ とすると、$\cos\theta=\dfrac{R}{2R_0}$ である。また、月からの加速度は月の方向に $\dfrac{GMm}{R_0^2}$ であり、地球の加速度は (e) と同様である。前者のベクトルから後者のベクトルを引くと、$\dfrac{GMm}{R_0^2}\times 2\cos\theta=\dfrac{GMR}{R_0^3}$ の補正項が地球の中心方向にはたらく。よって、物体は重くなる。

$\boxed{2}$

解答

(1) $\dfrac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$

(2) $\dfrac{1}{2}Bl^2\omega$　K→O 方向

(3) $\dfrac{B^2l^4\omega^2}{4R}$

(4) $\dfrac{B^2l^3\omega}{2R}$　逆方向

解説

(1) 時間 Δt の間に、扇形回路の中心角は $\omega\Delta t$ だけ増えるので、面積は $l^2\omega\Delta t/2$ だけ増える。磁束密度は B で一定だから、磁束変化量 $\Delta\Phi$ は $\dfrac{1}{2}Bl^2\omega\Delta t$ である。

(2) ファラデーの法則より、電圧の大きさ V は $\dfrac{\Delta\Phi}{\Delta t} = \dfrac{1}{2}Bl^2\omega$ である。また、この電圧による電流は磁束の変化を妨げる向きに流れるため、K→O の方向である。

(3) 電力は $\dfrac{V^2}{R} = \dfrac{B^2l^4\omega^2}{4R}$ である。

(4) 金属棒に流れる電流 I とすると、磁場から受ける力は $IBl = \dfrac{B^2l^3\omega}{2R}$ である。また、この力は運動を妨げる方向に働くため、回転と逆方向である。

$\boxed{3}\boxed{\mathrm{A}}$

解答

(1) $U_{\mathrm{B}} = 3P_{\mathrm{B}}V$, $U_{\mathrm{C}} = \dfrac{9}{2}P_{\mathrm{C}}V$

(2) $T_{\mathrm{AB}} = \dfrac{2P_{\mathrm{B}}V}{n_{\mathrm{B}}R}$, $P_{\mathrm{AB}} = \dfrac{2}{3}P_{\mathrm{B}}$

(3) $T_{\mathrm{A\cdot C}} = \dfrac{(2P_{\mathrm{B}}+3P_{\mathrm{C}})V}{(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})R}$, $P_{\mathrm{A\cdot C}} = \dfrac{2P_{\mathrm{B}}+3P_{\mathrm{C}}}{6}$

(4) $V_{\mathrm{D}} = \dfrac{(6P_{\mathrm{B}}+9P_{\mathrm{C}}-18P)V}{5P}$, $T_{\mathrm{A\cdot D}} = \dfrac{(6P_{\mathrm{B}}+9P_{\mathrm{C}}+12P)V}{5(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})R}$

解説

(1) 単原子分子理想気体の定積モル比熱は $3R/2$ であるから、内部エネルギーは $\dfrac{3}{2}nRT = \dfrac{3}{2}PV$ と表せることにより、答えを得る。

(2) 容器 A は真空であるから、容器 B 中の気体は体積の増加によって仕事をしない。よって、内部エネルギーは変化せず、温度も変化しないため、$T_{\mathrm{AB}} = T_{\mathrm{B}} = \dfrac{2P_{\mathrm{B}}V}{n_{\mathrm{B}}R}$ である。また、ボイルの法則より $P_{\mathrm{AB}} = \dfrac{2V}{3V}P_{\mathrm{B}} = \dfrac{2}{3}P_{\mathrm{B}}$ である。

(3) 断熱変化であるため、容器内部全体でのエネルギーの和は変化しない。よって、$U_{\mathrm{B}}+U_{\mathrm{C}} = \dfrac{3}{2}(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})RT_{\mathrm{A\cdot C}}$ であり、これに (1) を代入して答えを得る。
また、圧力は、状態方程式より、$P_{\mathrm{A\cdot C}} = \dfrac{(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})RT_{\mathrm{A\cdot C}}}{6V} = \dfrac{U_{\mathrm{B}}+U_{\mathrm{C}}}{9V} = \dfrac{2P_{\mathrm{B}}+3P_{\mathrm{C}}}{6}$ である。

(4) 気体は V_{D} だけ膨張することにより、PV_{D} の仕事をする。よって、$\dfrac{3}{2}(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})R(T_{\mathrm{A\cdot C}}-T_{\mathrm{A\cdot D}}) = PV_{\mathrm{D}}$ となる。これと状態方程式 $(n_{\mathrm{B}}+n_{\mathrm{C}})RT_{\mathrm{A\cdot D}} = P(6V+V_{\mathrm{D}})$ を連立すれば、答えを得る。

$\boxed{\mathrm{B}}$

解答

温度の低い冷蔵庫内では、室温下に比べて、空気分子の熱運動が穏やかであり速度が小さいため、ゴム膜をすり抜ける分子が少なくなるから。

$\boxed{4}$

解答

(1) 音速：V　波長：$\dfrac{V-v_{\mathrm{S}}}{f_{\mathrm{S}}}$　振動数：$\dfrac{V}{V-v_{\mathrm{S}}}f_{\mathrm{S}}$

(2) $\dfrac{V}{V-v_{\mathrm{S}}\cos\theta}f_{\mathrm{S}}$

(3) 音波の振動数：$\dfrac{V+v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{R}}}f_{\mathrm{S}}$　うなりの振動数：$\dfrac{2v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{R}}}f_{\mathrm{S}}$

(4) $\dfrac{2V|v_{\mathrm{A}}-v_{\mathrm{R}}|}{(V-v_{\mathrm{S}})(V+v_{\mathrm{R}})}f_{\mathrm{S}}$

解説

(1) 音速は媒質のみに依存するため、V である。
また、単位時間あたり音波は V 進むが、その間に音源は v_{S} 進む。よって、波長はもとの音波の $\dfrac{V-v_{\mathrm{S}}}{V}$ 倍になる。これにより、観測者 A が聞く振動数はもとの音波の $\dfrac{V}{V-v_{\mathrm{S}}}$ 倍となる。

(2) 音源の速度の観測者 B 方向の成分は $v_{\mathrm{S}}\cos\theta$ であるから、前問の v_{S} を $v_{\mathrm{S}}\cos\theta$ で置き換えればよい。

(3) まず、音源に速さ v_{S} で近づく反射板 R が聞く音の振動数は、ドップラー効果の公式により $\dfrac{V+v_{\mathrm{R}}}{V}f_{\mathrm{S}}$ である。この振動数の音を、観測者 A に速さ v_{S} で近づきながら反射板が発するので、求める振動数は $\dfrac{V}{V-v_{\mathrm{R}}}\dfrac{V+v_{\mathrm{R}}}{V}f_{\mathrm{S}}=\dfrac{V+v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{R}}}f_{\mathrm{S}}$ である。
また、この音波と振動数 f_{S} の音波がうなりを生むので、求めるうなりの振動数は $\left|\dfrac{V+v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{R}}}f_{\mathrm{S}}-f_{\mathrm{S}}\right|=\dfrac{2v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{R}}}f_{\mathrm{S}}$ である。

(4) 音源から観測者に直接届く音波の振動数は $\dfrac{V-v_{\mathrm{A}}}{V-v_{\mathrm{S}}}f_{\mathrm{S}}$ である。
一方、反射板 R が聞く音の振動数は $\dfrac{V-v_{\mathrm{R}}}{V-v_{\mathrm{S}}}f_{\mathrm{S}}$ であり、この反射音を観測者は振動数 $\dfrac{(V-v_{\mathrm{R}})(V+v_{\mathrm{A}})}{(V-v_{\mathrm{S}})(V+v_{\mathrm{R}})}f_{\mathrm{S}}$ の振動数の音波として観測する。よって、うなりの振動数は、

$$\left|\frac{(V-v_{\mathrm{R}})(V+v_{\mathrm{A}})}{(V-v_{\mathrm{S}})(V+v_{\mathrm{R}})}f_{\mathrm{S}}-\frac{V-v_{\mathrm{A}}}{V-v_{\mathrm{S}}}f_{\mathrm{S}}\right|=\frac{2V|v_{\mathrm{A}}-v_{\mathrm{R}}|}{(V-v_{\mathrm{S}})(V+v_{\mathrm{R}})}f_{\mathrm{S}}$$

となる。