令和 6 年度入学者選抜試験問題

物理基礎・物理（後期日程）　〔解答例〕

問題 1

(1) 小球が板に衝突して一体となった直後の速度を u とおくと, 運動量保存則より $mv=(M+m)u$ となり，したがって$u=\frac{m}{M+m}v$ 。続いて衝突前後での運動エネルギーの比較から，エネルギーの損失は以下となる。

$$\frac{1}{2}mv^2-\frac{1}{2}(M+m)u^2=\frac{Mmv^2}{2(M+m)}$$

答 $\frac{Mmv^2}{2(M+m)}$

(2) 衝突前後のつり合い位置の差を d，求める振幅を A とおくと，力学的エネルギー保存則より $\frac{1}{2}(M+m)u^2+\frac{1}{2}kd^2=0+\frac{1}{2}kA^2$，また $d=\frac{mg}{k}$ となり，これらを A について解くと

$$A=\frac{m}{k}\sqrt{g^2+\frac{kv^2}{(M+m)}}$$

答 $\frac{m}{k}\sqrt{g^2+\frac{kv^2}{(M+m)}}$

(3) 板と小球の速さをそれぞれ v_M，v_m とおく．運動動量保存則より$mv=Mv_M+mv_m$，また弾性衝突の定義より $v_M-v_m=-(0-v)$ 。これらの 2 式から

$$v_M=\frac{2m}{M+m}v,\quad v_m=-\frac{M-m}{M+m}v \qquad ①$$

答 v_M：$\frac{2m}{M+m}v$，v_m：$-\frac{M-m}{M+m}v$

(4) 板が初めて元の釣り合い位置に戻ってくるまでの時間は，単振動の周期の半分なので

$\frac{1}{2}T=\pi\sqrt{\frac{M}{k}}$ となる。一方，小球が衝突から再び原点に戻ってくるまでの時間を t とおくと，鉛直投げ上げの公式より $0=v_mt+\frac{1}{2}gt^2$ ，したがって $t=-\frac{2v_m}{g}=\frac{2}{g}\frac{M-m}{M+m}v$ となる。

$\frac{1}{2}T$ と t が等しいことから $\pi\sqrt{\frac{M}{k}}=\frac{2}{g}\frac{M-m}{M+m}v$ が得られ，この式を v について解くと

$$v=\frac{\pi g(M+m)}{2(M-m)}\sqrt{\frac{M}{k}}$$

答 $\frac{\pi g(M+m)}{2(M-m)}\sqrt{\frac{M}{k}}$

(5) 1回目の衝突直後の板と小球の運動エネルギーは，①より

$$E_1 = \frac{1}{2}M{v_M}^2 = \frac{2Mm^2}{(M+m)^2}v, \qquad e_1 = \frac{1}{2}m{v_m}^2 = \frac{(M-m)^2 m}{2(M+m)^2}v \qquad \therefore \frac{E_1}{e_1} = \frac{4Mm}{(M-m)^2} \qquad ②$$

次に2回目の衝突の直前の板と小球の速度をそれぞれ v'_M，v'_m とおくと，これらは運動の対称性より1回目の衝突直後の速度 v_M，v_m と大きさが等しく向きのみ反転した値となるため

$$v'_M = -v_M, \qquad v'_m = -v_m \qquad ③$$

また，2回目の衝突の直後の板と小球の速度をv''_M，v''_mとおくと，弾性衝突の定義式と運動量保存則を解くことで以下が得られる。

$$v''_M = \frac{M-m}{M+m}v'_M + \frac{2m}{M+m}v'_m, \qquad v''_m = \frac{2M}{M+m}v'_M + \frac{m-M}{M+m}v'_m \qquad ④$$

①，③，④を解くと

$$v''_M = 0, \qquad v''_m = -v$$

したがって，板の運動エネルギーE_2が0になることから，2回目の衝突直後の板と小球の運動エネルギーの比 E_2/e_2は

$$\frac{E_2}{e_2} = 0 \qquad ⑤$$

また2回目の衝突後は，板は釣り合い位置で速度0となり力学的エネルギーは全て小球が有するために，小球は再び元の高さに到達した後に板と速度 v で衝突することとなる。すなわち，小球と板は2回の衝突を1つのサイクルとする運動を繰り返す。

以上より，$E_\mathrm{n}/e_\mathrm{n}$は l を自然数として以下のように表すことができる。

$$\frac{E_\mathrm{n}}{e_\mathrm{n}} = \begin{cases} 0 & (n = 2l) \\ \dfrac{4Mm}{(M-m)^2} & (n = 2l-1) \end{cases}$$

答 $\begin{cases} 0 & (n = 2l) \\ \frac{4Mm}{(M-m)^2} & (n = 2l-1) \end{cases}$

令和 6 年度入学者選抜試験問題

物理基礎・物理（後期日程）〔解答例〕

問題 2 （出題意図）(1) (2) 電流計・電圧計をそれぞれひとつの抵抗とみなし，各計器に流れる電流・掛かる電圧をオームの法則やキルヒホッフの法則を用いて求めることが出来るかを問う。(3) 与えられた測定結果を利用して，回路の各電圧値および抵抗値を適切に算出できるかを問う。(4) (5) 各回路で測定した結果を利用して，抵抗、電圧計、電流計における消費電力を求めることが出来るかを問う。

(1) **図 1** の回路 1 において，電流計 A の読み I_1 は抵抗 R に流れる電流と等しい。また，電圧計 V の読み V_1 は電流計 A の内部抵抗 r_A を考慮して， $V_1 = (R + r_A)I_1$ となる。ゆえに，

$R_1 = V_1/I_1 = (R + r_A)I_1/I_1 = R + r_A$ となる。

また，R_1 と R の大小関係は，

$R_1 = R + r_A > R$ ($\because R>0$, $r_A>0$) となる。

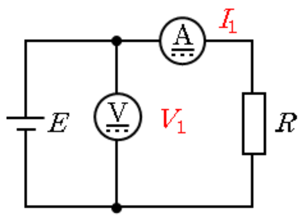


図1

答 R_1: $R + r_A$ R_1 と R の大小関係: $R_1 > R$

(2) **図 2** の回路 2 において，電圧計 V の読み V_2 は抵抗 R に掛かる電圧と等しい。また，電流計 A の読み I_2 は電圧計 V の内部抵抗 r_V を考慮して，$I_2 = V_2/R + V_2/r_V$ となる。ゆえに，

$R_2 = V_2/I_2 = V_2/(V_2/r_V + V_2/R) = r_V R/(R + r_V)$ となる。

また，R_2 と R の大小関係は，

$R_2 = R\,r_V/(r_V + R) < R$ ($\because R>0$, $r_V>0$) となる。

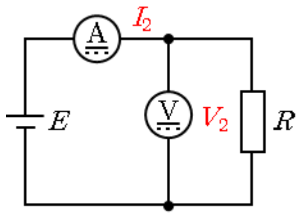


図2

答 R_2: $r_V R/(R + r_V)$ R_2 と R の大小関係: $R_2 < R$

(3) 回路 1 の測定結果より，

$E = V_1 =$ 2.00 V = 2.0 V（有効数字 2 桁）…①

①と回路 2 の測定結果より，電流計 A に掛かる電圧を V_A とすると，キルヒホッフの第二法則より，

2.00 V = V_A + 1.88 V，ゆえに，V_A = 0.12 V となる。電流計 A を流れる電流は 9.6 mA なので，電流計の内部抵抗 r_A は，

r_A = 0.12 V/9.6 mA = 12.5 Ω ≒ 13 Ω（有効数字 2 桁）…②

次に，回路 1 に着目する。電流計 A に掛かる電圧を V_{A1} とすると，②とオームの法則より，

V_{A1} = 13 Ω（12.5 Ω）×9.4 mA = 0.1222 V（0.1175 V…12.5 Ωで計算した場合）

抵抗 R に掛かる電圧 V_R をとすると，

V_R = 2.00 V － 0.1222 V（0.1175 V） = 1.8778 V（1.8825 V…12.5 Ωで計算した場合）…③

したがって，③とオームの法則より，

R = 1.8778 V（1.8825 V…12.5 Ωで計算した場合）/9.4 mA

= 199.76… Ω（200.26…Ω…12.5 Ωで計算した場合）≒ 2.0×100 Ω…④

次に，回路 2 に着目する。抵抗 R に流れる電流を I_{R2} とすると，④とオームの法則より，

I_{R2} = 1.88 V/（2.0×100 Ω） = 0.0094 A = 9.4 mA

電圧計 V に流れる電流を I_{V2} とすると，キルヒホッフの第一法則より，

9.6 mA = I_{V2} + 9.4 mA よって，I_{V2}= 0.2 mA…⑤

したがって，⑤とオームの法則より，

r_V = 1.88 V/0.2 mA = 9.4 kΩ

答 E: 2.0 V r_A: 13 Ω R: 2.0×10² Ω r_V: 9.4 kΩ

(4) 図 1 の回路 1 において，電流計 A の読み I_1 は抵抗 R に流れる電流と等しい。また，電圧計 V の読み V_1 は電流計 A の内部抵抗 r_A を考慮して，$V_1 = (R + r_A)I_1$ となる。ゆえに，測定電力 P_1 は，

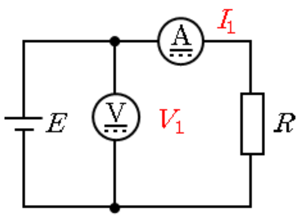


図1

$P_1 = V_1 I_1 = (R + r_A)I_1 \cdot I_1 = (R + r_A)I_1^2 = I_1^2R + I_1^2r_A$

また，そのうち抵抗 R 以外で電力が消費されるのは電流計で，その消費電力 P_{1M} は，

$P_{1M} = I_1^2 r_A$

答 P_1: $I_1^2R + I_1^2r_A$ 抵抗 R 以外で電力が消費される計器(電流計)P_{1M}: $I_1^2r_A$

(5) 図 2 の回路 2 において，電圧計 A の読み V_2 は抵抗 R に掛かる電圧と等しい。また，電流計 A の読み I_2 は電圧計 V の内部抵抗 r_V を考慮して，$I_2 = V_2/r_V + V_2/R$ となる。ゆえに，測定電力 P_2 は，

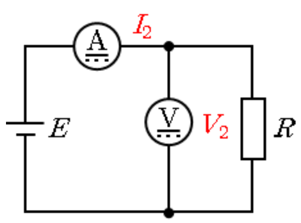


図2

$P_2 = V_2 I_2 = V_2 \cdot (V_2/r_V + V_2/R) = V_2^2/R + V_2^2/r_V$

また，そのうち抵抗 R 以外で電力が消費されるのは電圧計で，その消費電力 P_{2M} は，

$P_{2M} = V_2^2/r_V$

答 P_2: $V_2^2/R + V_2^2/r_V$ 抵抗 R 以外で電力が消費される計器(電圧計)P_{2M}: V_2^2/r_V

令和6年度入学者選抜試験問題

物理基礎・物理（後期日程）［解答例］

問題3

(1) 答えは右図。

考え方：

AB：pT^2＝一定と状態方程式 $pV=RT$ から T を消去して p^3V^2＝一定。

よって，p は $1/V^{2/3}$ に比例する。

p が 1/4 倍になると V は 8 倍になる（B の体積は $8V_0$）

BC：等温変化なので，pV＝一定（p は $1/V$ に比例）

AC：定積変化なので V＝一定

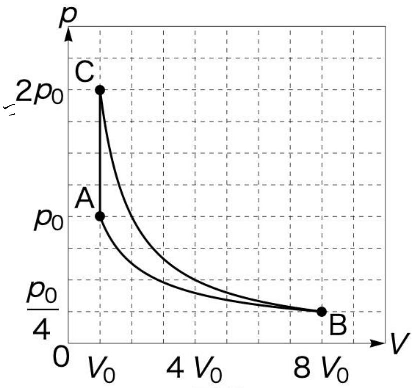


図2

(2) 答 A から B：　吸収　　B から C：　放出　　C から A：　放出

考え方：G が吸収する熱 Q ＝ G の内部エネルギーの増加 $\mathrm{d}U$ ＋ G が外にした仕事 W

A から B では，$\mathrm{d}U$ が正で W も正だから Q も正

B から C では，$\mathrm{d}U$ が 0 で W は負だから Q は負

C から A では，$\mathrm{d}U$ が負で W は 0 だから Q は負

(3)

$VT^b=(V+\varDelta V)(T+\varDelta T)^b$　より

$1=(1+\varDelta V/V)(1+\varDelta T/T)^b \fallingdotseq (1+\varDelta V/V)(1+b\varDelta T/T) \fallingdotseq 1+\Delta V/V+b\varDelta T/T$

したがって $(\Delta V/V)/\Delta T=-b/T$

答　$-b/T$

(4)

答　M

理由　外にする仕事は M と D で同じだが，M の方が吸収した熱が小さいから。　（32 字）

または

理由　外にする仕事は M と D で同じだが，吸収する熱は熱容量が小さい M の方が小さいから。（39 字）

令和６年度入学者選抜試験問題
物理基礎・物理（後期日程）［解答例］

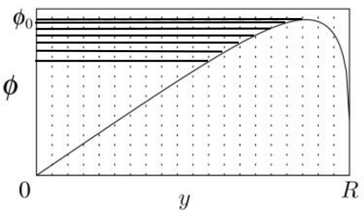
問題４

(1) 入射光の入射角は直線 p と直線 OA のなす角でそれを θ とすると、$\sin\theta = y/R$ である。角 OAB は屈折角でその関係式は $\sin\theta = n\sin\alpha$ である。答　$\sin\alpha = y/(nR)$

(2) 三角形 OAB は二等辺三角形であり、角 OBA は α に等しい。また、点 B での反射では、反射角 OBC は入射角 OBA に等しい。さらに、三角形 OBC は二等辺三角形であり、角 OCB は角 OBC に等しいため、その角は α である。点 C での屈折は点 A での屈折を逆にしたものであるため、求める角は(1)の θ に等しい、$y=R/2$ のとき、θ は $\pi/6$ である。

答　$\pi/6$

(3) 答　平行光線が水滴に一様に入射することは、y が一定の密度で与えられるということである。一定の密度の y に対して得られる ϕ は図４に表したように ϕ_0のところに密集する。したがって、ϕ_0の散乱角が主に観測される。



(4) 答　図３に表したように光線は進む。それによると、散乱角は ϕ より大きい。