

物 理

次の **1** ~ **54** の解答を解答欄にマークしなさい。ただし数値で解答する場合の最後の桁は四捨五入によって求めなさい。また、分数で解答する場合は、既約分数で答えなさい。<解答群>のあるものは最も適切なものを一つ選びその番号をマークしなさい。

1 以下の問いに答えなさい。

問1 X線管の電子の加速電圧を30.0 kVにしたときに得られるX線の最短波長は **1** [m] となる。ただし、電気素量は 1.60×10^{-19} C、プランク定数は 6.63×10^{-34} J・s、真空中の光の速さは 3.00×10^8 m/s とする。

< **1** の解答群 >

- | | | | |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| ① 2.3×10^{-11} | ② 2.9×10^{-11} | ③ 3.5×10^{-11} | ④ 4.1×10^{-11} |
| ⑤ 4.7×10^{-11} | ⑥ 5.3×10^{-11} | ⑦ 6.0×10^{-11} | ⑧ 6.6×10^{-11} |

問2 水素原子のイオン化(電離)エネルギーは13.6 eVである。水素原子が量子数 $n = 2$ の励起状態から基底状態へ移るとき、放出する光子のエネルギーは **2** [eV] である。

< **2** の解答群 >

- | | | | |
|-------|-------|--------|--------|
| ① 2.2 | ② 3.4 | ③ 4.8 | ④ 6.8 |
| ⑤ 7.9 | ⑥ 9.1 | ⑦ 10.2 | ⑧ 11.7 |

問3 トリウム232 ($^{232}_{90}\text{Th}$) は、**3** 回の α 崩壊と **4** 回の β 崩壊をして鉛208 ($^{208}_{82}\text{Pb}$) となる。

2

I 図1のように、ばね定数 k 、自然長 l_0 の2本のばねの間に質量 m のおもりをつけ、ばねの軸が鉛直になるようにばねの上端と下端を固定した。ばねの質量は無視でき、重力加速度の大きさを g とする。

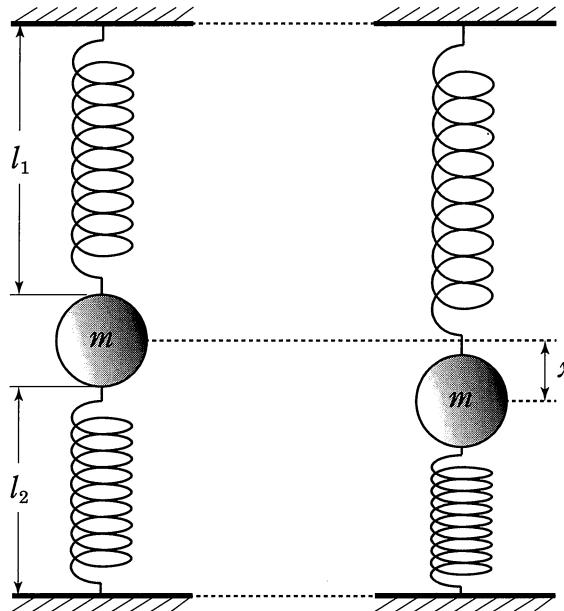


図 1

図 2

問1 つりあいの位置でのばね1とばね2の長さをそれぞれ l_1 と l_2 とする(図1)。

鉛直下向きを正にとると、つりあいの式は 5 となる。

< 5 の解答群 >

- | | | |
|------------------------|------------------------|------------------------|
| ① $k(l_1+l_2)=mg$ | ② $k(l_1-l_2)=mg$ | ③ $k(-l_1+l_2)=mg$ |
| ④ $k(l_1+l_2)=-mg$ | ⑤ $k(l_1+l_2+2l_0)=mg$ | ⑥ $k(l_1-l_2+2l_0)=mg$ |
| ⑦ $k(l_1+l_2-2l_0)=mg$ | ⑧ $k(l_1-l_2-2l_0)=mg$ | |

問2 図2のように、つりあいの位置から鉛直下方におもりを x だけ引っ張り、静かに手を放したところ、ばねは上下に振動を始めた。このとき、おもりの加速度を a とすると、おもりの運動方程式は 6 となる。またおもりの振動の周期 T は

$$T = \pi \sqrt{\frac{\boxed{7} m}{k}} \text{ となる。}$$

< 6 の解答群 >

- ① $ma = -kx$ ② $ma = -2kx$ ③ $ma = -k(l_1 - l_2 + x)$
 ④ $ma = -k(l_1 - l_2 + 2x)$ ⑤ $ma = -k(l_1 + l_2 + x)$ ⑥ $ma = -k(l_1 + l_2 + 2x)$
 ⑦ $ma = -k(l_1 + l_2)x$ ⑧ $ma = -k(l_1 - l_2)x$ ⑨ $ma = -2k(l_1 - l_2)x$
 ⑩ $ma = -2k(l_1 + l_2)x$

II 図3のようにばね定数 k , 自然長 l_0 のばねの左端に質量 m のおもり M_1 と右端に質量 $4m$ のおもり M_2 を取りつけ, 滑らかな水平な面上に置いた。ばねに沿って x 軸をとり, この系の重心を原点とし, 右向きを正とする。ばねの質量は無視できる。

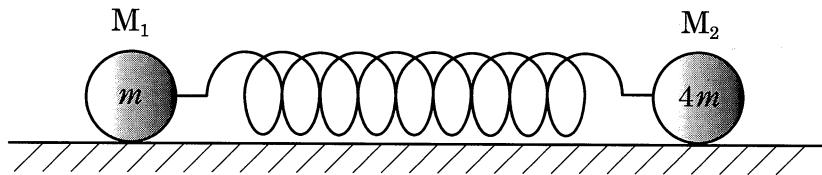


図3

問3 M_1 の x 座標は, $-\frac{8}{9}l_0$

M_2 の x 座標は, $\frac{10}{11}l_0$

である。

問4 つぎに M_1, M_2 を左右に引っ張り同時に静かに手を放すと, M_1, M_2 は運動を始めた。このとき, 重心の位置は原点にある。おもり M_2 の振動の周期 T' は,

$$T' = \pi \sqrt{\frac{12}{14} \frac{13}{14} \frac{m}{k}}$$

となる。

3 滑らかに動くピストンとヒーターを備えた、底面積 S 、長さ $2l$ の図のようなシリンドラーがある。ピストンで仕切られた部屋Aには、1 molの単原子分子の理想気体を入れた。また、部屋Bにはピストンの右面に自然長 l のばねを取りつけ、ばねの右端はシリンドラーの壁に固定した。さらに部屋Bに、コックを取りつけた。ピストンとシリンドラーは断熱材で作られ、外からの熱の出入りはない。気体定数を R 、大気圧を p_0 とし、ピストンの厚みは無視できる。

問1 部屋Bのコックを開け、ばねの長さが l のときの部屋Aの気体の温度を T_A とする(状態I)。ヒーターで部屋Aの気体をゆっくり加熱し、その温度を $2T_A$ にしたところ、ばねは $\Delta l = \frac{l}{5}$ だけ縮んだ(状態II)。ばね定数 k を p_0 、 S と l で表すと、

$$k = \frac{15}{17} \frac{16}{17} \frac{p_0 S}{l}$$

となる。

問2 さらに部屋Aの気体をゆっくり加熱し、熱量 Q_1 を与えた。ばねの長さは状態IIからさらに $\frac{l}{5}$ 縮んだ(状態III)。

このときの部屋Aの気体の圧力 P_A を p_0 で表すと、

$$P_A = \frac{18}{19} p_0$$

となる。

また、与えた熱量 Q_1 を R と T_A で表すと、

$$Q_1 = \frac{20}{22} \frac{21}{23} R T_A$$

となる。

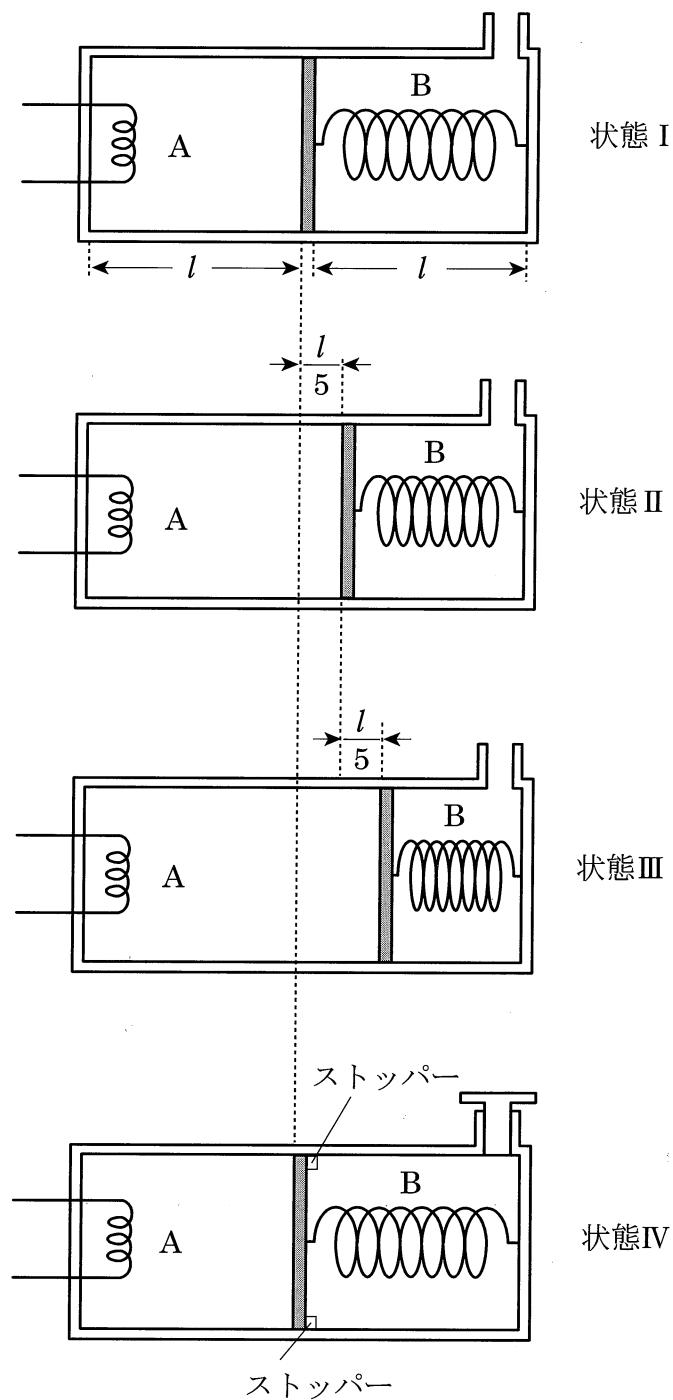
問3 つぎに、状態Iに戻して、シリンドラーにストッパーをつけピストンを固定し、部屋Bを真空にしてコックを閉じた(状態IV)。部屋Aの気体に熱量 Q_2 を与えたのち、ストッパーを取り外したところピストンは $\Delta x = \frac{2l}{5}$ だけ動いて静止した。このときの部屋Aの気体の温度 T_2 を T_A で表すと

$$T_2 = \frac{\boxed{24} \quad \boxed{25}}{\boxed{26} \quad \boxed{27}} T_A$$

となる。また、与えた熱量 Q_2 を R と T_A で表すと、

$$Q_2 = \frac{\boxed{28} \quad \boxed{29}}{\boxed{30} \quad \boxed{31}} R T_A$$

となる。



- 4 図1, 2のように、 x - y 面の座標(5, 5)の点Pに、 x 軸に対し45°傾けて平面鏡を置き、長さ1 cmの物体a a'を x 軸に平行にして、物体の下端aを座標(5, 20)に置いた。ここで、座標の単位はcmである。

問1 図1で座標(15, 5)の点Rに焦点距離15 cmの凸レンズを x 軸に垂直に置いたところ、鏡とレンズによって物体a a'の像ができた。物体の先端a'の像ができる位置の座標を求めなさい。

$$x\text{座標} \frac{\boxed{32} \quad \boxed{33} \quad \boxed{34}}{\boxed{35}} [\text{cm}]$$

$$y\text{座標} \frac{\boxed{36}}{\boxed{37}} [\text{cm}]$$

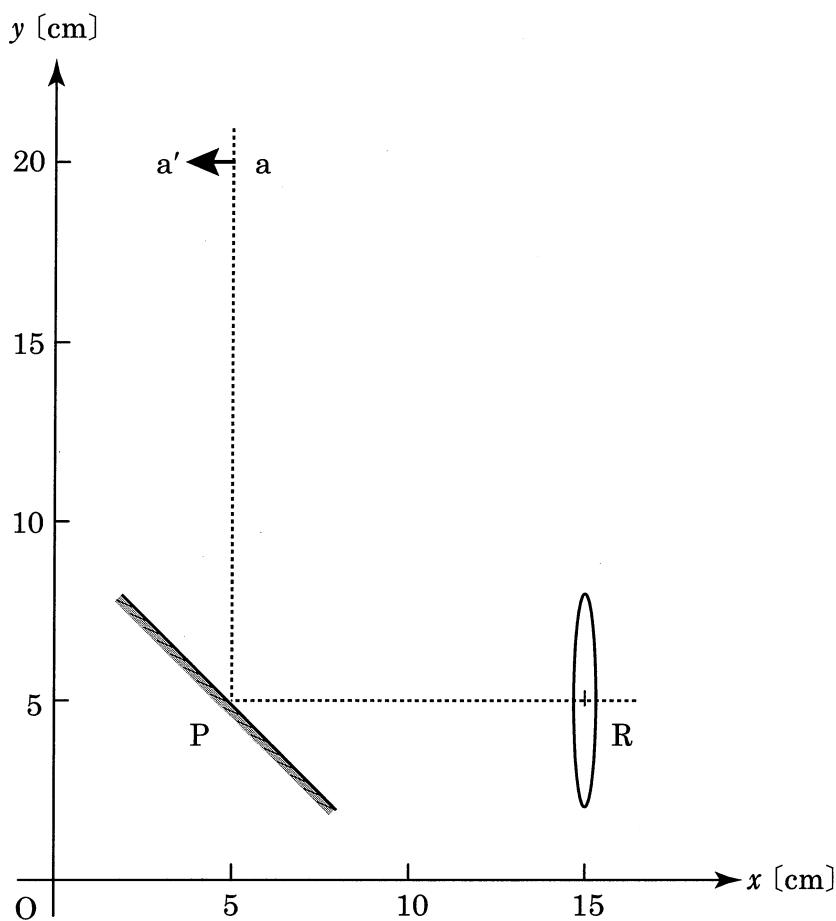


図1

問2 図2で座標(15, 5)の点Rに焦点距離15 cmの凹レンズをx軸に垂直に置いたところ、鏡とレンズによって物体a a'の像ができた。物体の先端a'の像ができる位置の座標を求めなさい。

$$x\text{座標} \begin{array}{|c|c|}\hline 38 & 39 \\ \hline \boxed{40} & \\ \hline \end{array} [\text{cm}]$$

$$y\text{座標} \begin{array}{|c|c|}\hline 41 & 42 \\ \hline \boxed{43} & \\ \hline \end{array} [\text{cm}]$$

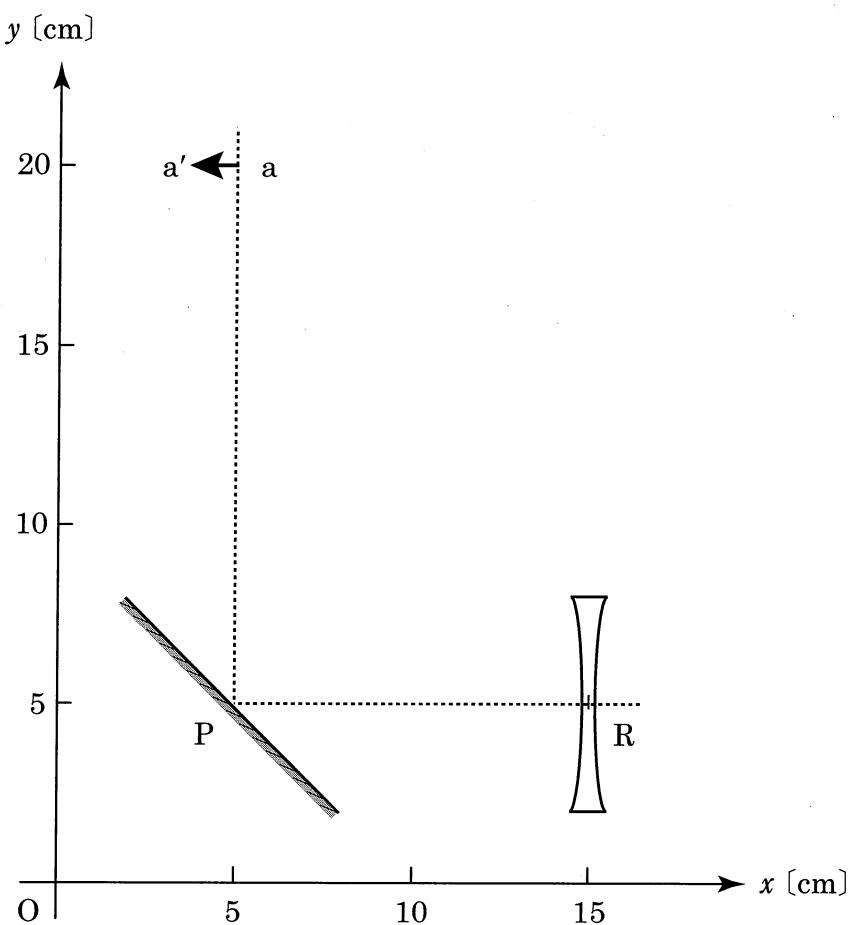


図2

5 図のように、真空中で極板の面積が S の固定された平行板コンデンサーABの間に、同じ面積 S をもつ、厚さ d の金属板Kが極板に平行に挿入されている。AからKまでの距離は d 、KからBまでの距離は $2d$ である。スイッチ S_0 および起電力 V_0 の電池が図のようにつながれ、A、Bおよび電池の負極は接地されている。金属板に垂直に x 軸をとり、右向きを正としKの右面を $x = 0$ 、真空の誘電率を ϵ_0 とする。

はじめKは固定されている。KとBを極板とするコンデンサーの電気容量は

$$\frac{44}{45} \frac{\epsilon_0 S}{d}$$

である。

スイッチ S_0 を閉じ、十分時間がたった。このとき、Kに蓄えられた電気量は $\frac{46}{47} \frac{\epsilon_0 S V_0}{d}$ であり、A、BからKに働く力の合力の大きさは $\frac{48}{49} \frac{\epsilon_0 S V_0^2}{d^2}$

となる。

次に、スイッチ S_0 を開いたのち、Kの右面の x 座標が p ($0 < p < 2d$) となる位置までKに外力を加えて平行移動した。このときKの電位は $\frac{50}{51} \frac{V_0(2d-p)(d+p)}{d^2}$ となる。 $p = \frac{d}{2}$ となるKの移動の際、外力がする仕事は $\frac{52}{53} \frac{54}{54} \frac{\epsilon_0 S V_0^2}{d}$ となる。

