

## 物理問題 Ⅰ (計 3 4 点)

(1)  
計 15 点

$$\begin{aligned} \text{ア} : & \sqrt{v_0^2 - 2gl(1 - \cos\theta)} : 3 \text{ 点} & \text{イ} : & m\frac{v^2}{\ell} + mg\cos\theta : 3 \text{ 点} \\ \text{ウ} : & \sqrt{5gl} : 3 \text{ 点} & \text{エ} : & \frac{2\pi\ell}{v_0} : 3 \text{ 点} \\ \text{オ} : & \frac{2\pi\ell}{\sqrt{v_0^2 - 4g\ell}} : 3 \text{ 点} \end{aligned}$$

(2)  
計 15 点

$$\begin{aligned} \text{カ} : & \frac{1}{2}mv_0^2(\alpha^2 - 1) \quad \text{または} \quad \frac{1}{2}mv_0^2\left\{\left(\frac{\ell}{\ell - \Delta\ell}\right)^2 - 1\right\} : 3 \text{ 点} \\ \text{キ} : & mgl\left(1 - \frac{1}{\alpha}\right) \quad \text{または} \quad mg\Delta\ell : 3 \text{ 点} \\ \text{ク} : & \frac{1}{2}m\alpha^2v_0^2 - \frac{2mg\ell}{\alpha} \quad \text{または} \quad \frac{1}{2}m\left(\frac{\ell}{\ell - \Delta\ell}\right)^2v_0^2 - 2mg(\ell - \Delta\ell) : 3 \text{ 点} \\ \text{ケ} : & -\left(\frac{1}{2}m\alpha^2v_0^2 - \frac{2mg\ell}{\alpha}\right)\left(1 - \frac{1}{\alpha^2}\right) \quad \text{または} \\ & -\left[\frac{1}{2}m\left(\frac{\ell}{\ell - \Delta\ell}\right)^2v_0^2 - 2mg(\ell - \Delta\ell)\right]\left\{1 - \left(\frac{\ell - \Delta\ell}{\ell}\right)^2\right\} : 3 \text{ 点} \\ \text{コ} : & \frac{1}{2}mv_0^2 + 2nmgl\left(1 - \frac{1}{\alpha^3}\right) \quad \text{または} \quad \frac{1}{2}mv_0^2 + 2nmgl\left\{1 - \left(\frac{\ell - \Delta\ell}{\ell}\right)^3\right\} : 3 \text{ 点} \end{aligned}$$

※ 問題文では  $\left|\frac{\Delta\ell}{\ell}\right| \ll 1$  であることは明示されていないが、実際にはこれが成り立つので、コは  $\left(\frac{\ell - \Delta\ell}{\ell}\right)^3 \doteq 1 - \frac{3\Delta\ell}{\ell}$  を代入した形の、 $\frac{1}{2}mv_0^2 + 6nmgl\Delta\ell$  も正解とする。

問 1  
4 点

以下の①～③の要素にそれぞれ点を与える。

- ① 解答方針として以下のいずれかの方針が明確である。(2 点)
- ・操作(a)', (b)'等での運動エネルギー変化の合計を計算しようとしている。
  - ・操作(a)', (b)'で糸の張力がした仕事の合計を計算しようとしている。
  - ・(2)の考察において、 $\Delta\ell$ を $-\Delta\ell$ に置き換えればよいことがわかっている。
  - ・(2)の考察において、時間を反転させた状況であることがわかっている。
- ② 運動エネルギーが1回の操作ごとに同じだけ減少することが理解できている。(1 点)
- ③ 1回の操作ごとの運動エネルギーの減少量が $2mg\ell\left\{\left(\frac{\ell + \Delta\ell}{\ell}\right)^3 - 1\right\}$ であることがわかっている。(1 点)
- ※  $\left(\frac{\ell + \Delta\ell}{\ell}\right)^3 \doteq 1 + \frac{3\Delta\ell}{\ell}$  を代入した形でも配点要素に照らして点を与える。

物理問題 II (計 3 3 点)

(1) 計 16 点	イ： $\frac{M}{4\pi(a^2+z^2)}$ ：2 点	
	ロ： $\frac{Ma}{4\pi(a^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$ ：2 点	※ $B\frac{a}{\sqrt{a^2+z^2}}$ も正解とする。
	ハ：0：2 点	
	ニ： $\frac{Mz}{4\pi(a^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}$ ：2 点	※ $B\frac{z}{\sqrt{a^2+z^2}}$ も正解とする。
	ホ： $vB_x$ ：3 点	ヘ： $\frac{Ma^2}{2(a^2+z^2)^{\frac{3}{2}}}v$ ：3 点
	ト：①：2 点	
(2) 計 10 点	チ： $Fv_0\Delta t$ ：3 点	リ： $\frac{M^2a^4}{4R(a^2+z^2)^3}v_0^2\Delta t$ ：3 点
	又： $\frac{M^2a^4}{4R(a^2+z^2)^3}v_0$ ：2 点	ル：②：2 点
(3) 計 4 点	ヲ： $-\frac{3Mda^2z}{2(a^2+z^2)^{\frac{5}{2}}}$ または $-\frac{3z}{a^2+z^2}\Phi$ ：2 点	
	ワ： $\frac{3Mda^2z}{2(a^2+z^2)^{\frac{5}{2}}}v$ ：2 点	
問 1 3 点	[解答] $V' < V$ ：3 点 [記述] $V'$ と $V$ の比や差を考えて大小関係を得ようとしていれば 1 点。	

## 物理問題 III (計 33 点)

(1) 計 4 点	あ : $2r$ : 2 点	い : $4\pi r^2$ : 2 点
(2) 計 25 点	う : $2mv_0$ : 2 点 お : $2v_0$ : 2 点 き : $\frac{N}{2L^3}$ : 2 点 ※ か, くは, $s = 4\pi r^2$ を代入してしまっても正解とする。 け : $\frac{mv_0^2}{\lambda}$ : 3 点 さ : $\frac{Nmv_0^2}{L^3}$ : 3 点	え : $\frac{2L}{v_0}$ : 2 点 か : $2sv_0\Delta t$ : 3 点 く : $\frac{L^3}{Ns}$ : 3 点 こ : $\lambda L^2$ : 2 点 ※ こは, $v_0\tau L^2$ , $\frac{L^5}{Ns}$ も正解。 し : $\frac{1}{2}kT$ : 3 点
問 1 2 点	[解答例 1]: 等質量の分子同士の 1 次元完全弾性衝突では, 速度交換が行われるだけであるため。 [解答例 2]: 分子同士の衝突によって, 各分子の速度はそれぞれ $v_0$ から $-v_0$ , $-v_0$ から $v_0$ に変化するが, 分子同士は区別できないので, 衝突せずにすり抜けたのと同じだから。	
問 2 2 点	(i) [解答] $\lambda = \frac{kT}{sP}$ : 1 点 記述点なし	
	(ii) [解答] $\lambda = 9 \times 10^{-8} \text{ m}$ : 1 点 記述点なし。単位“m”の抜けは 0 点	