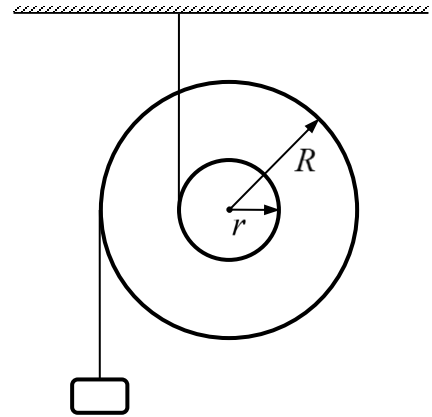


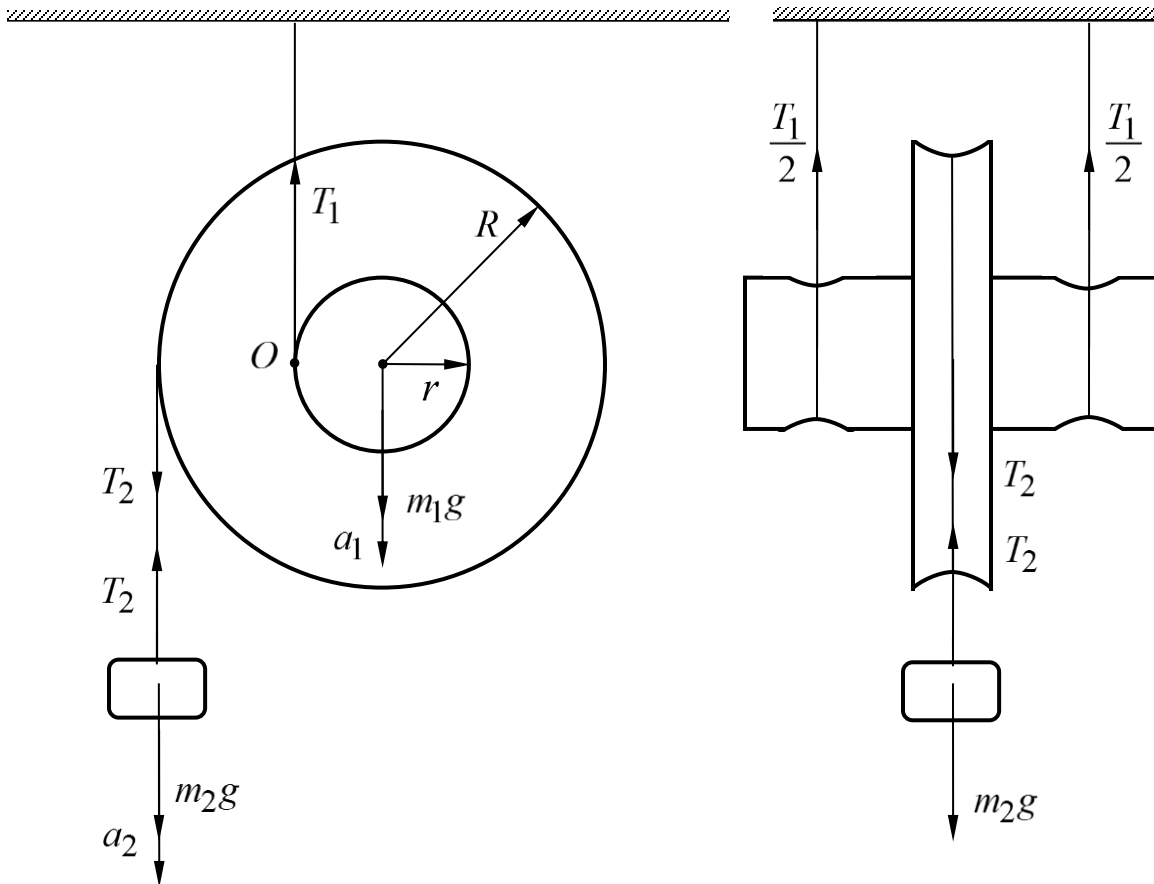
### Задача 11.1. Подъем или спуск?

На основе исследования процесса подъема или спуска, определите коэффициент инерции двойного блока. Коэффициентом инерции называется отношение  $k = \frac{I_C}{m_1 r^2}$ , где  $I_C$  – момент инерции относительно оси блока,  $m_1$  – масса блока,  $r$  – радиус оси блока. Погрешность оценивать не требуется.



Оборудование: штатив, двойной блок, нитки, скрепки, линейка по требованию, секундомер.

### Решение



*Решение относительно центра масс первого тела С.*

Уравнения динамики вращательного и поступательного движения относительно центра масс первого тела:

$$M_C = T_1 r - T_2 R = I_C \beta, \quad m_1 g - T_1 + T_2 = m_1 a_1, \quad m_2 g - T_2 = m_2 a_2.$$

Уравнения связи:

$$\beta = \frac{a_1}{r}, \quad a_1 r = -a_2 (R - r).$$

Решение системы:

$$T_1 r - T_2 R = I_C \frac{a_1}{r}$$

$$T_2 = m_2 (g - a_2) = m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R - r} \right)$$

$$T_1 = m_1 (g - a_1) + m_2 (g - a_2) = m_1 (g - a_1) + m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R - r} \right)$$

$$\left( m_1 (g - a_1) + m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R - r} \right) \right) r - \left( m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R - r} \right) \right) R = I_C \frac{a_1}{r}$$

$$(m_1 r + m_2 r - m_2 R) r g = (I_C + m_1 r^2 + m_2 r^2) a_1$$

$$a_1 = g \frac{(m_1 r + m_2 r - m_2 R) r}{I_C + m_1 r^2 + m_2 r^2}$$

$$I_C = k m_1 r^2$$

$$a_1 = g \frac{(m_1 r + m_2 r - m_2 R) r}{m_1 r^2 (1 + k) + m_2 r^2} = g \frac{(m_1 r + m_2 r - m_2 R)}{r (m_1 (1 + k) + m_2)}.$$

Решение относительно мгновенной оси вращения  $O$ .

$$M_O = m_1 g r - T_2 (R - r) = I_O \beta = (I_C + m_1 r^2) \frac{a_1}{r},$$

$$m_2 g - T_2 = m_2 a_2.$$

Уравнения связи:

$$\beta = \frac{a_1}{r}, \quad a_1 r = -a_2 (R - r).$$

Решение системы:

$$\begin{aligned}
T_2 &= m_2(g - a_2) = m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R-r} \right) \\
m_1 g r - m_2 \left( g + a_1 \frac{r}{R-r} \right) (R-r) &= (I_C + m_1 r^2) \frac{a_1}{r} \\
m_1 g r^2 - m_2 g (R-r) r &= (I_C + m_1 r^2 + m_2 r^2) a_1 \\
a_1 &= g \frac{(m_1 r + m_2 r - m_2 R)}{r(m_1(1+k) + m_2)}. \tag{1}
\end{aligned}$$

Отсюда

$$\begin{aligned}
k &= \frac{m_1 g r + m_2 g (r - R) - m_2 a_1 r}{m_1 a_1 r} - 1. \\
k &= \frac{m_1 g r + m_2 g (r - R) - (m_1 + m_2) a_1 r}{m_1 a_1 r}. \\
k &= \frac{g \left( r + \frac{m_2}{m_1} (r - R) \right) - \left( 1 + \frac{m_2}{m_1} \right) a_1 r}{a_1 r}
\end{aligned}$$

Эксперимент:

Если  $a_1 = 0$ , то  $m_1 = m_{20} \left( \frac{R}{r} - 1 \right)$ .

$$\begin{aligned}
k &= \frac{g \left( 1 - \frac{m_2}{m_{20}} \right) - \left( 1 + \frac{m_2 r}{m_{20} (R-r)} \right) a_1}{a_1} \\
a_1 &= \frac{2h}{t^2} \\
k &= g \left( 1 - \frac{m_2}{m_{20}} \right) \frac{t^2}{2h} - \left( 1 + \frac{m_2 r}{m_{20} (R-r)} \right). \tag{2}
\end{aligned}$$

### Критерии оценивания 11.1

1. Измерены радиусы оси и блока	1
2. Определено количество скрепок, при которой блок практически неподвижен	2
3. Снята зависимость времени спуска/подъема от количества скрепок при фиксированной высоте или пройденного расстояния при фиксированном времени. >= 10 раз – 3 балла; 5-9 раз – 2 балла; 3-5 раз – 1 балл; <3 раз – 0,5 балла	3
4. Выведена формула ускорения (1)	4
5. Выведена формула для $k$ (2)	2
6. Найдено значение $k$ , усреднено, значение попадает в диапазон [10; 15]	3

### Задача 11.2. Проводимость раствора

Подвижностью носителей заряда  $b$  называется отношение средней скорости поступательного движения зарядов  $v$  к напряженности электростатического поля, которое его создает  $E$ :  $b = v/E$ . Определите суммарную подвижность ионов в растворе поваренной соли NaCl.

3. Исследуйте зависимость подвижности от массовой доли соли в растворе и
4. Исследуйте зависимость подвижности от температуры для ненасыщенного и насыщенного растворов.

Молярные массы:  $M_{Na} = 23$  г/моль,  $M_{Cl} = 35,4$  г/моль. Растворимость соли в воде при комнатной температуре 36 г на 100 мл.

Оборудование: стеклянный сосуд, кофейная чашка, ложка, горячая вода по требованию, соль по требованию, мерный цилиндр, термометр, мультиметр, провода, жесткий провод, ножницы по требованию, весы по требованию, эталонный кондуктометр по требованию (не более 3 раз!).

#### Решение

$$j = qnv$$

$$j = q_+n_+v_+ + q_-n_-v_-$$

$$I = jS = eS(Z_+n_+b_+ - Z_-n_-(-b_-))E = \frac{eSU}{l}(Z_+n_+b_+ - Z_-n_-(-b_-))$$

Условие зарядовой нейтральности раствора:  $n_+Z_+ = n_-Z_-$ .

$$I = \frac{eSUZn}{l}(b_+ + b_-)$$

$$R = \frac{U}{I} = \frac{l}{eSZn(b_+ + b_-)} = \frac{\rho l}{S}$$

$$\rho = \frac{1}{eZn(b_+ + b_-)}$$

$$b_+ + b_- = \frac{1}{eZn\rho}$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{\nu N_a}{V} = \frac{mN_a}{MV}$$

$$b_+ + b_- = \frac{M}{eN_aZ} \frac{V}{\rho m}$$

$Z=1$ ,  $M_{Na} = 23$  г/моль,  $M_{Cl} = 35,4$  г/моль,  $M = 58,4$  г/моль

Из жесткого провода изготовим кондуктометр. Раздвинем 2 конца провода с одной стороны, зачистим провода с двух сторон. Подключим к мультиметру в режиме омметра.

Откалибруем кондуктометр по эталонному кондуктометру.

$$\rho = \frac{\rho_0}{R_0} R,$$

где  $\rho_0$  – показания кондуктометра на эталонной жидкости,  $R_0$  – сопротивление эталонной жидкости по мультиметру,  $R$  – сопротивление раствора по мультиметру.

### Критерии оценивания 11.2

1. Измерена зависимость сопротивления раствора соли от массовой доли $\frac{m}{m + m_{\text{г}}}$ при комнатной температуре	2
2. Измерена зависимость сопротивления ненасыщенного раствора соли от температуры	2
3. Измерена зависимость сопротивления насыщенного раствора соли от температуры	2
4. Построен график зависимости подвижности от массовой доли	2
5. Построены график зависимости подвижности от температуры	3
6. Получена эмпирическая формула зависимости $b\left(\frac{m}{m + m_{\text{г}}}\right)$	2
7. Получена эмпирическая формула зависимости $b(T)$	2