

Учитывая, что  $F_0 = -a$  (линза рассеивающая!), вычислим фокусное расстояние воздушной линзы  $F_l = a \frac{n_0 - n_l}{n_l - 1} \approx 44 \text{ см}$ . Теперь с помощью рисунка можем выразить диаметр более яркого пятна  $CC'$

$$d_l = d \frac{F_l - a}{F_l}. \quad (3)$$

Обозначим падающий на линзу световой поток  $\Phi$ , тогда поток света, преломившегося в пузырьках, будет равен  $\Phi_l = \varepsilon \Phi$  (где  $\varepsilon$  доля площади линзы занимаемой пузырьками); световой поток, преломившийся в основном материале линзы  $\Phi_0 = (1 - \varepsilon) \Phi$ . Освещенность поверхности пропорциональна световому потоку и обратно пропорциональна освещаемой площади. Поэтому

освещенность светлого круга  $E_0 \sim \frac{\Phi_0}{d_0^2} \sim \frac{1 - \varepsilon}{4d^2}$ . Освещенность поверхности, создаваемая лучами, преломившимися в пузырьках,  $E_l \sim \frac{\Phi_l}{d_l^2} \sim \frac{\varepsilon}{d^2} \left( \frac{F_l}{F_l - a} \right)^2 \approx 120 \frac{\varepsilon}{d^2}$ . Отношение освещенностей

центрального пятна и остального круга, выражается формулой

$$\eta = \frac{E_0 + E_l}{E_0} = 1 + \frac{E_l}{E_0} \approx 1 + 480 \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon}.$$

Из этой формулы определяем величину  $\varepsilon \approx 0,4\%$

**11.3** Предположим, что высота подъема стрелы меньше, чем длина привязанной нити. Тогда закон сохранения механической энергии будет иметь вид

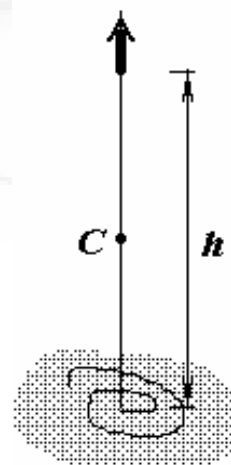
$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + m_l g \frac{h}{2}, \quad (1)$$

где  $m_l = \lambda h$  - масса поднятой веревки,  $\frac{h}{2}$  - высота, на которую поднялся центр масс веревки. Таким образом, получаем уравнение для определения высоты подъема

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \lambda g \frac{h^2}{2}. \quad (2)$$

Корни этого уравнения определяются формулой

$$h_{1,2} = -\frac{m}{\lambda} \pm \sqrt{\left(\frac{m}{\lambda}\right)^2 + \frac{mv_0^2}{\lambda g}}. \quad (3)$$



Отрицательный корень физического смысла не имеет, поэтому решение задачи имеет вид

$$h = \sqrt{\left(\frac{m}{\lambda}\right)^2 + \frac{mv_0^2}{\lambda g}} - \frac{m}{\lambda} \approx 10,7 \text{ м}. \quad (4)$$

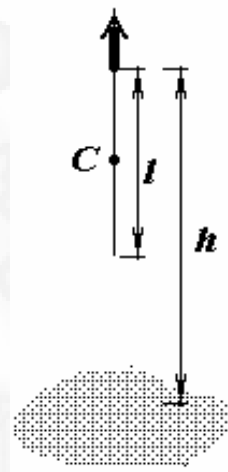
Таким образом при длине нити 15 м часть нити останется лежать на земле, следовательно, полученное решение является верным. При длине нити 5 м, полученная формула неприменима, так как вся нить поднимется в воздух. В этом случае закон сохранения энергии следует записать в виде

$$\frac{mv_0^2}{2} = mgh + \lambda lg\left(h - \frac{l}{2}\right). \quad (5)$$

Из этого уравнения определим высоту подъема

$$h = \frac{mv_0^2 + \lambda gl^2}{2g(m + \lambda l)} \approx 10,9 \text{ м}. \quad (6)$$

Высота подъема, как видно оказалась несколько больше, однако, эти два результата не различимы в рамках точности данных, приведенных в условии задачи. Поэтому правильный ответ: **в обоих случаях высота подъема стрелы  $h \approx 11 \text{ м}$ .**



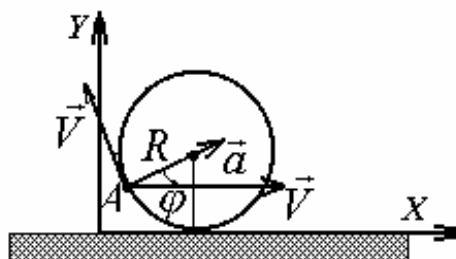
Заметим, что высота подъема стрелы без нити  $h_0 = \frac{v_0^2}{2g} \approx 11,5 \text{ м}$  мало отличается от полученным нами результатов.

## 11.4

4.1 Пусть колесо повернулось на угол  $\varphi = \omega t$ , при этом его центр сместился на расстояние  $x_0 = \omega R t$ .

Координаты точки A в этот момент будут определяться выражениями

$$\begin{cases} x = R(\omega t - \sin \omega t) \\ y = R(1 - \cos \omega t) \end{cases}. \quad (1)$$



Скорость точки A можно представить как сумму скоростей поступательного движения  $V = \omega R$ , направленной горизонтально, и вращательного движения  $V = \omega R$ , направленной по касательной к ободу колеса. Поэтому компоненты полной скорости точки A имеют вид

$$\begin{cases} V_x = \omega R(1 - \cos \omega t) \\ V_y = R\omega \sin \omega t \end{cases}. \quad (2)$$