

# **НИТЯНОЙ МОНОРЕЛЬС**

**Докладчик:**

**Кузнецов Данил**

# ПЛАН РАБОТЫ

1. Теоретическая часть.
  1. Оценка максимальной скорости шарика и времени истечения газа.
  2. Зависимость силы и потенциальной энергии упругости от параметров резины.
  3. Вывод формулы для давления газа в шарике.
  4. Учет других сил, действующих на шарик.
  5. Построение теоретических графиков.
2. Эксперимент.



# Оценка максимальной скорости шарика и времени истечения газа.

$$F = u \frac{\Delta m_{\Gamma}}{\Delta t}$$

$$F = m_{\text{ш}} \frac{\Delta v_{\text{ш}}}{\Delta t}$$

$$\Delta v_{\text{ш}} = -u \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}}$$

Уравнение Мещерского

$$dv_{\text{ш}} = -u \frac{dm}{m_{\text{ш}}}$$

Если  $u - \text{const.}$ , то

$$v_{\text{ш}} = u \ln \frac{m_{\text{нач}}}{m_{\text{ш}}}$$

Формула Циолковского



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВРЕМЕНИ, ЗА КОТОРОЕ ШАР НАБЕРЕТ МАКСИМАЛЬНУЮ СКОРОСТЬ

$$-\Delta m_{\Gamma} = \rho_{\Gamma} s u \Delta t \longrightarrow m(t) = m_0 - \rho_{\text{возд}} s u * t$$

При  $u - \text{const.}$

$$t = \frac{m_{\text{нач}} - m_{\text{к}}}{\rho_{\text{возд}} s u}$$



# ПАРАДОКС РАСЧЕТА СКОРОСТИ ВОЗДУШНОЙ СТРУИ.

$$u = \sqrt{\frac{2p_{\text{изб}}}{\rho_{\text{возд}}}}$$

Уравнение Бернулли

$u = \text{const.}$

Подтверждается экспериментом.



## ЗАВИСИМОСТЬ СИЛЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ЭНЕРГИИ УПРУГОСТИ ОТ ПАРАМЕТРОВ РЕЗИНЫ.

$$x = l - l_0$$

Смещение

$$\varepsilon = (l - l_0)/l_0$$

Относительная деформация

$$\lambda = l/l_0$$

Растяжение

$$x = l - l_0 = \lambda l_0 - l_0 = l_0(\lambda - 1), \varepsilon = (\lambda - 1)$$



# РАСЧЕТ СИЛЫ УПРУГОСТИ

$$F = kx \quad k = \frac{Es}{l_0}$$

$$F = \frac{Es}{l_0} x$$

$$F = Es(\lambda - 1)$$

$$F = \frac{Esl_0}{l_0 l_0} * (l - l_0) = \frac{Esl_0(\lambda - 1)}{l_0}$$

$$sl_0 = V_p$$

$$F = \frac{EV_p(\lambda - 1)}{l_0}$$

$$A = \Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{EV_p(\lambda - 1)}{2}$$



# РАСЧЕТ ФОРМУЛЫ ДЛЯ ДАВЛЕНИЯ В НАДУТОМ ШАРИКЕ

$$dA = F(r)dr \quad F = PS$$

$$\begin{aligned} dA &= P(r)S(r)dr \\ &= P(r)dV \\ &= P(r)4\pi r^2 dr \end{aligned}$$

$$P = \frac{dA}{dV} = \frac{dA}{4\pi r^2 dr}$$

$$r = \lambda r_0; dr = r_0 d\lambda$$

$$dV = 4\pi r^2 dr = 4\pi r_0 r_0 r_0 \lambda^2 d\lambda$$

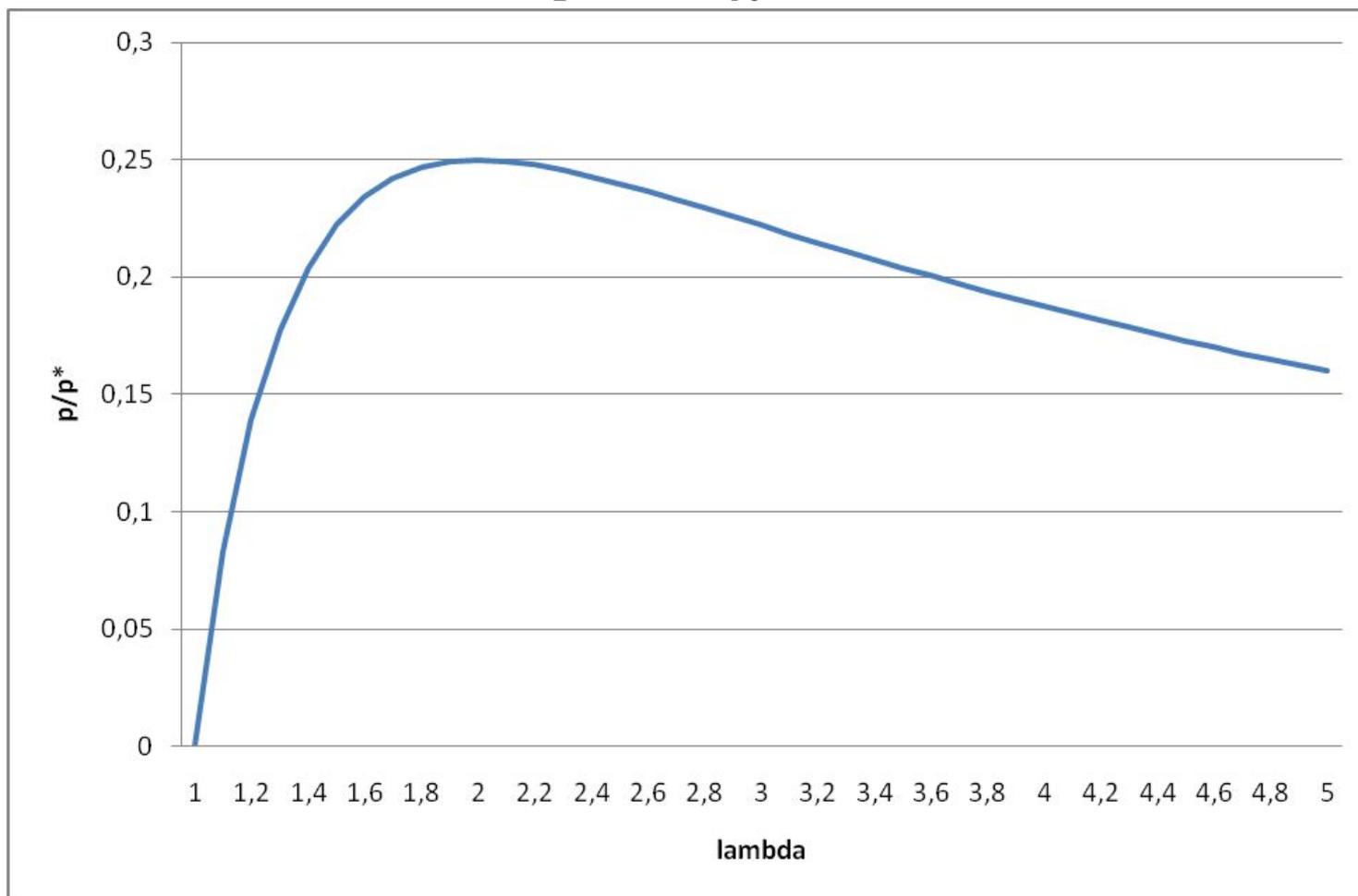
$$A = \Pi = \frac{kx^2}{2} = \frac{EV_p(\lambda - 1)^2}{2}$$

$$dA = EV_p(\lambda - 1)d\lambda$$



# Вывод формулы для давления в надутом шарике

$$\frac{P}{P^*} = \frac{\lambda - 1}{\lambda^2}$$



# ОПРЕДЕЛЕНИЕ МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТИ И ВРЕМЕНИ ПОЛЕТА

$$m_{\text{ВОЗД}} = \rho_{\text{ВОЗД}} \frac{4}{3} \pi r^3 \Rightarrow m_{\text{НАЧ}} = m_{\text{ОБ}} + m_{\text{ВОЗД}} \Rightarrow m_{\text{КОН}} \\ = m_{\text{НАЧ}} \Delta m_{\text{ВОЗД}}$$

$$t = \frac{m_{\text{НАЧ}} - m_{\text{К}}}{\rho_{\text{ВОЗД}} s u} \Rightarrow t = 4,01 \text{ с}$$

$$v_{\text{Ш}} = u \ln \frac{m_{\text{НАЧ}}}{m_{\text{Ш}}} \Rightarrow v_{\text{КОН}} = 39,4 \text{ м/с}$$



## ДРУГИЕ СИЛЫ, ДЕЙСТВУЮЩИЕ НА ШАР

$$F_{\text{сопр.возд}} \gg F_{\text{тр}}$$

$$m_{\text{ш}} \frac{dv_{\text{ш}}}{dt} = -u \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}}$$

$$F_{\text{сопр}} = -k\rho * \pi r^2 v^2$$

$$m_{\text{ш}} \frac{dv_{\text{ш}}}{dt} = -u \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}} - k\rho * \pi r^2 v^2 - m_{\text{ш}} g \sin \alpha$$



# РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ

$$\left\{ \begin{array}{l} m_{\text{ш}} \frac{dv_{\text{ш}}}{dt} = -u \frac{\Delta m_{\text{ш}}}{m_{\text{ш}}} - k\rho * \pi r^2 v^2 - m_{\text{ш}} g \sin \alpha \quad (1) \\ -dm = \rho s u * dt \quad (2) \\ u = \sqrt{\frac{2\rho_{\text{изб}}}{\rho}} \quad (3) \\ \rho_{\text{изб}} = \frac{E h_0}{r_0} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda} \right) \quad (4) \\ m_{\text{ш}} = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 + m_{\text{об}} \quad (5) \end{array} \right.$$



## РЕШЕНИЕ СИСТЕМЫ УРАВНЕНИЙ

Подставляем (3) в (4)  $\longrightarrow u = \sqrt{\frac{2Eh_0}{\rho r_0} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda^2} \right)}$ ; (a)

Дифференцируем (5)  $\longrightarrow dm = \rho \cdot 4\pi r^2 dr = \rho 4\pi r_0^3 \lambda^2 d\lambda$  (б)

Подставляем (a), (б) в (2)  $\longrightarrow -\rho \cdot 4\pi r_0^3 \lambda^2 d\lambda = \rho S \sqrt{\frac{Eh_0}{\rho r_0} \left( \frac{\lambda - 1}{\lambda^2} \right)} dt$  (в)



