



**Физика для школьников 7 – 11 класса (заочный тур)**  
**Решение задачи 2. Нанопропеллер**

1. Момент сил  $N$  при равномерном распределении по площади удельной силы  $f = F/S$  на лопасть найдем, интегрируя по расстоянию  $r$  от оси:

$$N = \int_0^R R f r dr = f \frac{R^3}{2}.$$

Так как сила отдачи направлена перпендикулярно лопасти, то момент сил перпендикулярен силе и лежит в плоскости лопасти. Проекция на вертикальную ось  $N_z = N \cos(45^\circ)$ .

Удельную силу найдем по закону изменения импульса:

$$\vec{f} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t},$$

где импульс на единицу площади. На правую лопасть электроны падают перпендикулярно, а на левую не попадают.

Выразим изменение импульса на единицу площади:

$$\Delta \vec{p} = 0 - \left( \frac{\Delta N}{\Delta S} m_e u \right) = n m_e u u \Delta t,$$

где  $n$  — объемная концентрация электронов.

$$f = m_e n u^2 = \frac{m_e j^2}{n e^2},$$

где было использовано  $j = n e u$

Ответ на вопрос 1:  $N_z = \frac{m_e j^2 R^3}{n e^2} \cos(45^\circ) \approx 4 \cdot 10^{-37} \text{ Н} \cdot \text{м}$

2. Основное уравнение динамики вращательного движения:  $I \beta = N_z$

Момент инерции для наклонной плоскости можно рассчитать по формуле:

$$I = \frac{MR^2}{12} \sin^2(45^\circ) + \frac{MR^2}{3} = \frac{MR^2}{3} \left( \frac{\sin^2(45^\circ)}{4} + 1 \right) \approx 1,4 \cdot 10^{-40} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$$

Для численной оценки достаточно  $I \approx MR^2$

$$\beta = \frac{2\sqrt{2} m_e j^2 R}{3 n e^2 M} \approx 1,3 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$$