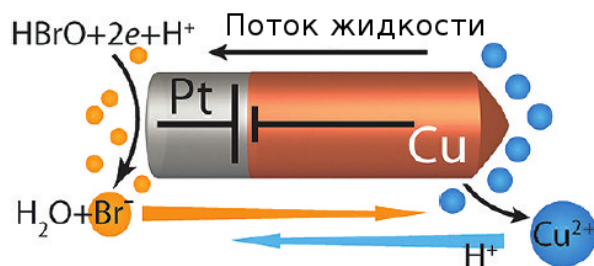


Наноторпеда (8 баллов)



Химики из университета Пенсильвании изобрели наноторпеду: стержень, который работает как батарейка и мотор в одном лице. Длина стержня составляет около 3 мкм, а его толщина $d = 200$ нм. Если стержень поместить в раствор брома или йода, он начинает двигаться. Медь начинает окисляться, играя роль анода, в то время как

платина играет роль катода. Это приводит к тому, что на концах стержня появляется напряжение $V = 1$ В, и через него протекает ток с плотностью $i = 1$ мА/см². Торпеда способна разгоняться до скорости $v = 10$ мкм/с. Учёные считают, что подобные устройства можно использовать, например, для доставки лекарств в организме человека или для очистки сосудов. Траекторий движения можно управлять с помощью магнитного поля.

Задача

Объясните, почему движется наноторпеда? (1 балл) В каком направлении? (1 балл) Оцените КПД η двигателя наноторпеды (4 балла). Найдите максимально возможную скорость торпеды (2 балла).

Решение

Наноторпеда движется благодаря явлению «самоэлектрофореза»: разность потенциалов приводит к движению ионов вдоль торпеды, а следовательно и жидкости. По принципу инверсии Галилея (следствие закона сохранения импульса), если жидкость движется от медного конца к платиновому, значит, сама торпеда движется в сторону медного конца.

Для расчёта КПД посчитаем электрическую мощность, выделяемую торпедой:

$$W = V i \frac{\pi D^2}{4} \quad (1)$$

Теперь рассчитаем мощность силы сопротивления жидкости:

$$W_a = 3 \pi D \eta_w v^2 \quad (2)$$

где η_w — вязкость воды. Т.к. на механическое движение расходуется не вся мощность, найдём КПД:

$$\eta = \frac{W_a}{W} = \frac{3 \cdot 3.14 \cdot 2 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-10}}{1 \cdot 10 \cdot 0.8 \cdot 4 \cdot 10^{-14}} = 5 \cdot 10^{-5} \quad (3)$$

Максимальная скорость v_{\max} :

$$v_{\max} = \frac{v}{\sqrt{\eta}} = 0.2 \text{ м/с} \quad (4)$$