

Нановесы для биологических объектов

Решение

1) Рассчитаем приведенную массу кантилевера:

$$m^* = \frac{k}{(2\pi f_0)^2} = \frac{25.3 \text{ Н/м}}{(2 \times 3.142 \times 2.096 \cdot 10^5 \text{ Гц})^2} = 1.459 \cdot 10^{-11} \text{ кг} \quad (1.459 \cdot 10^{-8} \text{ г})$$

2) Для вычисления чувствительности микровесов преобразуем формулу для резонансной частоты пружинного маятника:

$$m^* + \Delta m = \frac{k}{4\pi^2} \times \frac{1}{(f_0 + \Delta f)^2}$$

$$\Delta m = \frac{k}{4\pi^2} \times \left(\frac{1}{(f_0 + \Delta f)^2} - \frac{1}{f_0^2} \right)$$

В принципе, чувствительность можно рассчитать и по этой формуле, однако в расчетах придется задействовать большое число значащих знаков. Поэтому преобразуем это выражение далее:

$$\frac{1}{(f_0 + \Delta f)^2} - \frac{1}{f_0^2} = \frac{f_0^2 - (f_0 + \Delta f)^2}{(f_0 + \Delta f)^2 \times f_0^2} = -\frac{\Delta f(2f_0 + \Delta f)}{(f_0 + \Delta f)^2 \times f_0^2} \approx -\frac{2\Delta f}{f_0^3}$$

Прим: тот же результат можно получить, продифференцировав выражение для массы.

Подставляя, получим: $\Delta m = -\frac{k}{4\pi^2} \times \frac{2\Delta f}{f_0^3}$. Минус означает, что при увеличении массы кантилевера резонанс смещается в область более низких частот.

$$\Delta m = -\frac{k}{4\pi^2} \times \frac{2\Delta f}{f_0^3} = -\frac{25.3 \text{ Н/м}}{4 \times 3.142^2} \times \frac{2 \times (-0.01 \text{ Гц})}{(2.096 \cdot 10^5 \text{ Гц})^3} = 1.39 \cdot 10^{-18} \text{ кг} \quad (1.39 \cdot 10^{-15} \text{ г})$$

3) Оценим разность в массе клетки и вытесняемой ею жидкости:

$$V = \pi r^2 h,$$

$$m_{\text{кл}} = \Delta \rho \cdot V = (\rho_{\text{кл}} - \rho_{\text{буф}}) \times \pi r^2 h = (1.110 \text{ г/см}^3 - 1.002 \text{ г/см}^3) \times 3.14 \times (4 \cdot 10^{-5} \text{ см})^2 \times 2 \cdot 10^{-4} \text{ см}$$

$$m_{\text{кл}} = 1.086 \cdot 10^{-13} \text{ г} \quad (1.086 \cdot 10^{-16} \text{ кг}),$$

что на два порядка превышает чувствительность микровесов. Следовательно, кантилевер «почувствует» одну клетку *E.coli*.

4) Чувствительность микровесов такого типа максимальна при нахождении объекта у окончания кантилевера (вблизи сенсорной области) и минимальна у основания. Как уже было сказано, при увеличении массы кантилевера резонансная частота сдвигается в сторону меньших величин. Следовательно, при прохождении клетки по каналу от основания кантилевера к окончанию и обратно будет наблюдаться плавное смещение резонансной частоты вниз и возвращение ее к f_0 .

