

## О золоте Фарадея за чашкой кофе

1) Мгновенное оседание частиц не происходит, так как силе тяжести, действующей на частицу, противодействует сила трения, которая возникает при движении частицы в жидкости. Броуновское движение, о котором писали многие авторы решений, начинает оказывать заметное влияние на скорость осаждения частиц только в том случае, когда частиц очень малы и сопоставимы с размерами молекулы воды. Вряд ли это применимо к частицам кофе, которые в  $10^5$  раз больше. Аналогия: будут ли влиять на скорость падения футбольного мяча радиусом 10 см пылинки радиусом 1 микрон?

2) Очевидно, что частицы будут всплывать на поверхность, если плотность частиц будет меньше плотности жидкости (тогда это уже не сила тяжести, а наоборот Архимедова сила). В случае чашки кофе можно попробовать следующие подходы:

а) Вывести соответствующий сорт кофе – дорого и долго, но надежно;

б) Заменить воду на более плотную жидкость – в простейшем случае хорошенько подсластить кофе – просто, но не факт, что сильно поможет, хотя известно, что, например, яйцо или картофеля тонут в чистой воде, но всплывают в соленой;

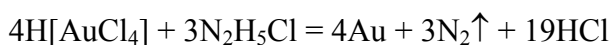
в) охладить кофе до  $4^{\circ}\text{C}$  (именно при этой температуре вода имеет наибольшую плотность) – опять очень просто, но невкусно и, по-видимому, еще менее надежно, т.к. необходимо, чтобы плотность кофе почти равнялась плотности воды.

Принимались и другие реалистичные предложения, например, вывести сорт кофе с пористыми микрочастицами.

3) Скорость осаждения  $v$  равна длине пути частицы  $h$ , деленной на время  $t$ , за которое этот путь пройден. Тогда для указанных условий получаем  $t = 9h\eta/2r^2(\rho - \rho_0)g = 9 * 0.15\text{ м} * 10^{-3} (\text{Па}\cdot\text{с}) / 2 * (10^{-5}\text{ м})^2 * (1100-1000 \text{ кг/м}^3) * 9.8\text{ м/с}^2 = 6888 \text{ с} = 1.9 \text{ ч}$ .

4) По этой же формуле, учитывая, что плотность золота равна около  $19320 \text{ кг/м}^3$ , а временной промежуток составляет  $(2009-1845)*365*24*3600 = 5.17*10^9 \text{ с}$  получаем  $r^2 = 9h\eta/2(\rho - \rho_0)gt = 9 * 0.25 \text{ м} * 10^{-3} (\text{Па}\cdot\text{с}) / 2 * (19320-1000 \text{ кг/м}^3) * 9.8 \text{ м/с}^2 * 5.17*10^9 \text{ с} = 1.21*10^{-18} \text{ м}^2$ , т.е.  $r = 1.1*10^{-9} \text{ м}$ , т.е. 1.1 нм. В задаче подразумевалось, что максимальный размер частиц будет оценен именно по данным о времени осаждения, а не по литературным источникам исходя из цвета золь.

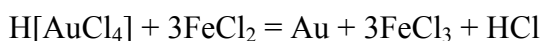
5) Фарадей использовал восстановление тетрахлоораурата (III) водорода («золотой кислоты») солями гидразина, например:



Можно использовать и другие восстановители, в частности формальдегид



или соли железа (II)



«Слипание» частиц не происходит, по-видимому, из-за того, что на поверхности формирующихся наночастиц происходит избирательная адсорбция каких-либо ионов (например, протонов). В результате образующиеся частицы становятся одинаково заряженными, и их агрегации препятствуют силы электростатического отталкивания.

6) Ультрацентрифугирование основано на том, что при быстром вращении пробирки возникает центростремительное ускорение, на несколько порядков превосходящее ускорение свободного падения.

7) Длина окружности  $l$ , по которой происходит вращение, равна  $2 * \pi * 0.25 \text{ м} = 1.57 \text{ м}$ , тогда скорость частицы в центрифуге  $w$  равна  $1.57 \text{ м} * 1000 \text{ с}^{-1} = 1570 \text{ м/с}$ . Отсюда центростремительное ускорение  $a = w^2/r = (1570 \text{ м/с})^2/0.25 \text{ м} = 9.86 * 10^6 \text{ м/с}^2$ . Тогда время оседания частиц из золя Фарадея составит  $t = 9h\eta/2r^2(\rho - \rho_0)a = 9 * 0.25 \text{ м} * 10^{-3} (\text{Па} * \text{с}) / 2 * (6.2 * 10^{-10})^2 \text{ м}^2 (19320 - 1000 \text{ кг/м}^3) * 9.86 * 10^6 \text{ м/с}^2 = 16202 \text{ с}$  или 4.5 часа.

8) Оценка силы, действующей на дно пробирки, дает величину  $F = ma = 0.027 \text{ кг} * 9.86 * 10^6 \text{ м/с}^2 = 266220 \text{ Н}$ . Эта сила эквивалентна силе тяжести, действующей на тело массой 27165 кг, т.е. больше 27 тонн. Очевидно, что дно обычной пробирки такой силы не выдержит. Без использования специальной пробирки для центрифугирования здесь не обойтись.

Важное замечание: в данном случае для упрощения задачи из условия был убран радиус ротора центрифуги, и подразумевалось, что дно пробирки лежит на оси вращения (то есть длина пробирки есть радиус оси вращения). Если авторы предлагали свои разумные варианты решений, в частности с использованием собственных значений радиуса ротора центрифуги, то эти решения, безусловно, принимались. Полную версию задачи такого типа (с решением) Вы можете найти в учебнике Д. Джанколи «Физика» (М : Мир, 1989 г.) на стр. 130-131 первого тома.