

## Задача 8. Концентрированные белки

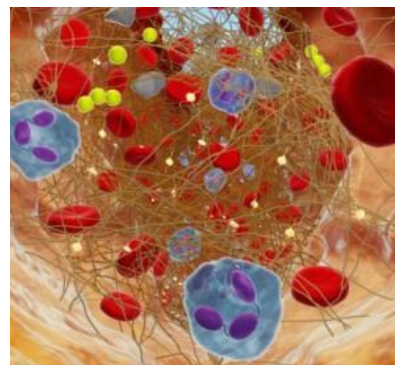
В неорганической химии зачастую работают с 1 М – 5 М растворами кислот и щелочей, в то время как в биохимии обычны концентрации белков менее 10 мкМ.

1. Сможет ли биохимик приготовить 1 М раствор белка<sup>1</sup> в воде или каком-нибудь другом растворителе? А приготовить 5 М раствор каких-либо сферических наночастиц? Ответы обоснуйте. (4 балла)

Растворы белков с максимально возможными концентрациями используются природой там, где требуется наибольшая функциональность в минимальном объеме.

2. Приведите примеры двух таких растворов в человеческом организме, если их локальные объемы различаются более чем в  $10^8$  раз. Как называются белки, образующие эти два раствора, и зачем понадобилось их концентрировать? Почему организмом при этом используются именно растворы, а не твердые материалы? (3.5 балла)

Функции и размеры белков могут определять их концентрацию в организме. Например, расстояния между молекулами фибриногена в плазме крови подобраны близкими к их длине для того, чтобы при повреждениях сосудов быстро образовывать трехмерную сетку фибрина («забивающую» поврежденный сосуд, см. рисунок) и останавливать кровотечение.



3. Оцените молярную (моль/л) и массовую (г/л) концентрации фибриногена в плазме, если его молекула имеет длину около 50 нм и содержит около 3 000 аминокислотных остатков (считать, что фибриноген целиком состоит из аминокислот). (2.5 балла)

При расчетах можно использовать следующие справочные данные:

- средняя молекулярная масса аминокислотного остатка 110 Да;
- средняя плотность белков 1.38 г/мл.

**Всего – 10 баллов**

---

<sup>1</sup> Белком, согласно ИЮПАК, будем считать пептид, содержащий не менее 50 аминокислотных остатков.

## Решение

(автор – Е.Макеева)

1. 1) Самой большой мольной концентрацией будет обладать концентрированный раствор самого легкого белка.

В Химической Энциклопедии условный нижний предел массы белка упомянут как 5 кДа. Согласно рекомендациям ИЮПАК, белками условно можно считать либо полипептиды массой более 10 кДа (1, при средней массе аминокислотного остатка 110 Да это составляет около 90 аминокислотных остатков), либо длиной более 50 аминокислотных остатков (2, аналогично, получаем массу около 5,5 кДа).

Мы возьмем еще меньшую границу, как массу 50 остатков самой легкой аминокислоты глицина, масса 50 остатков которой составляет  $(75-18) \cdot 50 + 18 = 2868$  или примерно **2,9** кДа.

Рассмотрим 1 л белка ( $10^3 \text{ см}^3$ ). В качестве предельного случая рассчитаем мольную концентрацию белка в самом себе, считая, что молекулы полностью заполняют объем без пустот. В этом случае, количество моль белка в одном литре составит:  $\rho \cdot V/M = 1,38 \cdot 10^3 / 2868 = \mathbf{0,48}$  моль, то есть 1М раствор белка даже теоретически невозможно приготовить ни в воде, ни в любом другом растворителе.

2) Чтобы оценить, могут ли наночастицы в принципе образовать раствор 5М, рассчитаем, сколько моль сферических наночастиц может быть в 1 литре. Чем меньше частица, тем, очевидно, больше таких частиц будет в единице объема, поэтому надо взять самые маленькие наночастицы – размером 1 нм (для сферы это будет диаметр).

Если частицы упакованы как кубики (простая кубическая упаковка), то число частиц составляет  $1 \cdot 10^{-3} / (1 \cdot 10^{-9})^3 = 1 \cdot 10^{24}$  или  $1 \cdot 10^{24} / N_a = 1 \cdot 10^{24} / 6,02 \cdot 10^{23} = 1,66$  моль.

Однако сферы можно упаковать и плотнее. Рассмотренная упаковка дает коэффициент заполнения пространства сферами, равный 0,52, в то время как если чуть сдвинуть слои так, чтобы центры следующего слоя встали в «лунку» предыдущего, коэффициент заполнения станет 0,74. Тогда в 1 литре будет содержаться  $1,66 \cdot 0,74 / 0,52 = 2,36$  моль наночастиц. То есть, 5М раствор наночастиц нельзя получить даже теоретически.

3. а) **Гемоглобин** в эритроците – концентрация до 370 г/л (чтобы маленький эритроцит, мог переносить максимальное количество кислорода). При этом жидкий раствор необходим, поскольку эритроцит меняет свою форму «протискиваясь» в узкие капилляры, обеспечивая более тесный контакт внутреннего содержимого эритроцита и стенок капилляров, что ускоряет диффузию кислорода из эритроцита. Также при этом эритроцит может «катиться» как гусеница танка по капилляру (раствор внутри фактически перемешивается), что также ускоряет процесс отдачи кислорода. Очевидно, поэтому твердый носитель не подходит.

б) **Кристаллин** в хрусталике глаза – его массовая доля превышает 50% (чтобы получить максимальный показатель преломления и уменьшить размеры). Жидкий раствор – чтобы можно было легко изменять форму (для перефокусировки на разных расстояниях).

Также как вариант принимаются роговица и альбумин, хотя они и менее показательны.

4. Поскольку среднее расстояние между молекулами фибриногена в крови равно их длине, то приближенно можно считать, что на одну молекулу приходится

$$V_1 = 50^3 = 125000 \text{ нм}^3 = 1,25 \cdot 10^{-19} \text{ л.}$$

Тогда молярная концентрация составляет

$$c = \frac{n/N_a}{V} = \frac{1}{1,25 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ моль/л или } \mathbf{13 \text{ мкМ.}}$$
 (где **n** – число молекул на

объем  $V_1$ ).

В свою очередь, массовая концентрация равна

$$\omega = \frac{n/N_a \cdot M}{V_1} = \frac{1 \cdot 110 \cdot 3000}{1,25 \cdot 10^{-19} \cdot 6,022 \cdot 10^{23}} = \mathbf{4,4 \text{ г/литр}}$$
 (где **M** – молярная масса фибрина).

Несмотря на многочисленные приближения, мы получили очень близкий к реальности по порядку величины ответ (нормой для фибриногена считается концентрация 2 - 4 г/литр, ее превышение говорит, например, о воспалительных процессах).