

„Беременные“ ракушки

© Е. Рапис

Лаборатория прикладной физики Тель-Авивского университета,
Рамат-Авив, 64239 Израиль

(Поступило в Редакцию 9 сентября 2002 г.)

Дается объяснение удивительного явления природы — образования „беременных“ ракушек. Наши эксперименты показали, что представленный феномен не связан с размножением моллюсков, но соответствует процессу самосборки диссипативных наноструктурных пленок белка в простых неравновесных условиях. Данный вопрос затрагивает некоторые важные аспекты биологии, нанотехнологии и минералогии.

Видели ли Вы когда-нибудь „беременных“ ракушек? А как же иначе назвать экземпляры ракушек, во внутренней полости которых находятся единичные или множественные подобные им маленькие ракушечки, словно собственные дети (рис. 1)? Найти их совсем нетрудно. Стоит только остановиться на берегу моря и пристально всмотреться в прибрежную полосу. Такие индивидуумы не единичны, а потому они представляют определенный интерес для изучения. „Дети“ ракушек совсем разные. Есть уже свернувшиеся и полностью повторяющие форму своих „родителей“.

Расположены они как бы в положенном месте: в полости, похожей на „брюшную“ (рис. 1). Другие же имеют вид множественных трубок и трубочек, напластанных на внутреннюю, а иногда и на наружную поверхность, вытянутых в длину или закрученных в спирали (рис. 2). Но что это означает всерьез?

При изучении внутренней поверхности винтоподобных ракушек под микроскопом нам удалось обнаружить некоторые элементы, которые можно рассматривать как раннюю фазу их развития. Так, была видна тонкая волокнистая сеть, на которой различались чередующиеся темные и светлые зоны. Часто встречались уплотненные коричневого цвета образования, подобные друг другу по величине и форме, с расширенным концом „головкой“. Они были похожи на небольшие палочки или трубочки, напоминающие личинки, располагались симметрично, направо и налево от тонкой нити, под углом примерно 30–40° и на одинаковом расстоянии друг от друга (словно листья деревьев). Во многих случаях удалось увидеть дырчатые следы на месте таких „личинок“. Еще более убедительные признаки закономерности феномена (подобно пчелиным сотам) являли собой поля правильных ячеек или клеток с углубленными светлыми центрами и более темными смежными стенками. Часто прослеживалось наложение пленок друг на друга.

Итак, мы наблюдали ряд проявлений неслучайных процессов. Их с полным правом можно отнести к начальным фазам системного структурообразования с появлением подобных винтообразных, трубчатых и плечатых волокнистых форм. Последние плотно присоединены к твердой поверхности первичной „материнской“ ракушки, трехмерны, имеют периодические колебания

плотности, которые мы наблюдали в макромасштабе. Это проявилось не только в чередовании светлых и темных областей, но и в наличии ровных, повторяющихся на одинаковом расстоянии отверстий в „костяной“ среде (рис. 3).

Таким образом, можно говорить о явлении прерывистой спиральной зеркальной и киральной симметрии и асимметрии, углового момента, винтообразного вращения, адгезии к твердой подложке, пространственной трехмерности структур на макроуровне и других признаков, свойственных процессам самоорганизации материи. В описанной феноменологии явно устанавливались

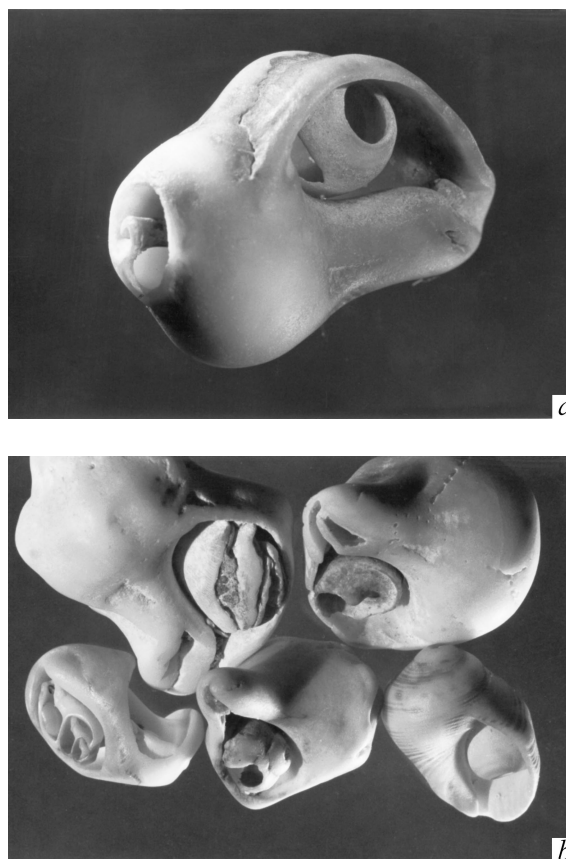


Рис. 1. Примеры (а, б) „беременных“ ракушек. Внутри „материнской“ подобные маленькие „детские“, экземпляры ракушек. Ув. 1.5.



Рис. 2. Трубки внутри винтообразной ракушки. Ув. 1.2.

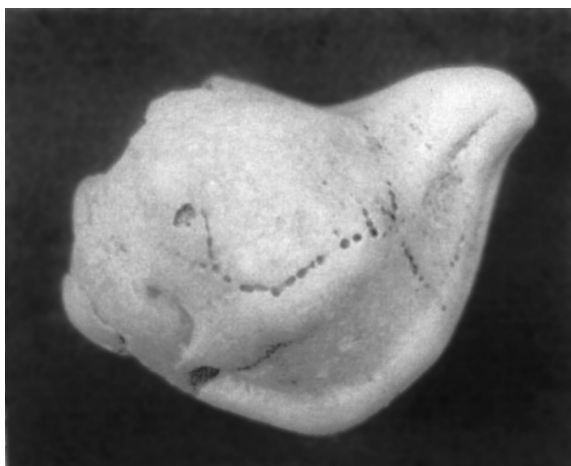


Рис. 3. Ряд круглых отверстий на пути расположения „личинки“. Ув. 1.2.

существенные ее свойства: когерентность, кооперативность, синхронность, нуклеация и самоподобие.

Особый интерес представляет то обстоятельство, что аналогичные проявления наблюдались экспериментально в конечной фазе самосборки неравновесной пленки протеина *in vitro* [1-4]. Она делилась на ячейки (клетки) с винтообразно скрученными трубками, образующими ракушечные ядра и т.д. (рис. 4, 5).

Возникает вопрос, случайно ли такое совпадение признаков в феномене „беременных“ ракушек со свойствами белка при его самосборке, обнаруженными в эксперименте *in vitro*. Можно думать, что эта идентичность закономерна и зависит от способности белка к авто-

номной самоорганизации и к подчинению своей форме других субстратов, в частности кальцитов.

Известно, что образование ракушек связано с выделением моллюсками органической массы, которая в процессе конденсации и агрегации минерализуется. Наши эксперименты показали, что из всех органических ингредиентов белка (ДНК, РНК, АТФ и др.) лишь раствор белка при конденсации *in vitro* приобретает описанные свойства [4-6].

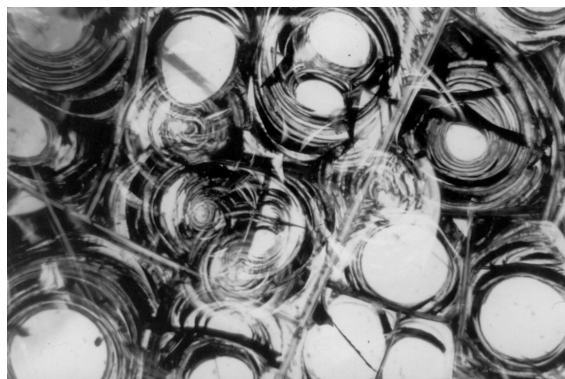


Рис. 4. Неравновесная пленка белка „протос“ (система лизоцим-вода). Геометрически подобные блоки (клетки) с ядрами.

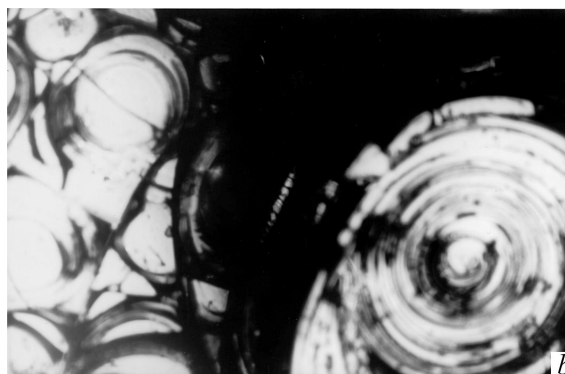


Рис. 5. Деление неравновесной пленки белка серией крупномасштабных дефектов (прямолинейных, спиральных) на клетки с ядрами ракушечного типа. Примеры (а, б) трехмерных вихрей противоположного вращения. Процесс нуклеации. Оптический поляризационный микроскоп МИН 8. Ув. 200.

Опыты, проведенные нами, по соединению раствора белка с кальцием подтвердили, что минерализация пленки белка, ускоряя процесс стабилизации, принципиально не изменяет свойства его самосборки и симметрию. Эти данные совпали полностью с результатами экспериментов Belcher A. et al. [7], в процессе которых также было обнаружено, что „малое количество протеина контролирует кристаллический рост кальция, образуя ракушки“, что подтверждает способность белка к автономной и конкурентной самоорганизации [5,6].

На основании вышесказанного можно предположить, что ракушки внутри и на поверхности „материнской“ особи как биоминералы особого рода представляют собой один из образцов природной самосборки диссипативных наноструктур белка в соединении с другими ограниченными веществами и минералами. В таких структурах от нано- до макроуровня повторяются одинаковые, свойственные неравновесной его форме виды симметрии [6], что согласуется с представлением о значительной роли наноауки и самосборки материалов в проблеме самоорганизации белка [8–11].

По существу процесс новообразования биоминерального остова ракушек на теле уже сформированного раньше наружного скелета моллюска абсурдно называть принятым для живого организма понятием „беременность“, поскольку это совершенно не соответствует известным формам размножения моллюсков [12].

Однако трудно исключить соображение о том, что удивительная и неожиданная картина сходства рассматриваемых явлений все же отражает некоторое глубинное единство процессов самоорганизации материи в целом, особенно на переходных стадиях живого в неживое.

Становится понятным, что тело моллюска и его органические составляющие, а также белки окружающей среды могут формировать наноструктурные пленки, превращаясь в биоминеральные спиралевидные образования — ракушки. И тогда в одном случае возникает наружный скелет моллюска, а во втором — ему подобное, как бы дочернее, образование.

Структурная аналогия между такими особями совершенно различного происхождения, не связанного с размножением моллюска, зависит лишь от одинаковых свойств самосборки (или самоорганизации) наноструктурных пленок белка с их минерализацией.

Поднятый вопрос достоин более глубокого изучения, поскольку в нем заключен не только теоретический интерес, но и некоторые аспекты практического использования природных явлений самосборки белка в биологии, нанотехнологии и минералогии.

В заключение считаю своим приятным долгом поблагодарить за моральную помощь в проведении исследований, за обсуждение полученных результатов, выдвинутых гипотез и высказанные при этом ценные замечания и предложения М. Амосья, Е. Браудо, В. Волкова, В. Буравцева, А. Заикина, М. Клигера, С. Моисеева, Л. Маневича, М. Сафро, Ю. Неемана, И. Пригожина.

Список литературы

- [1] Panuc E., Гассанова Г. // ЖТФ. 1991. Т. 61. Вып. 4. С. 62–71.
- [2] Panuc E. // Письма в ЖТФ. 1995. Т. 21. С. 13–20.
- [3] Panuc E. // Письма в ЖТФ. 1997. Т. 23. С. 28–38.
- [4] Panuc E. // ЖТФ. 2000. Т. 70. Вып. 1. С. 122–133.
- [5] Panuc E. // ЖТФ. 2001. Т. 71. Вып. 10. С. 104–111.
- [6] Rapis E. // Nanostructures in Protein Film. Book Abstracts. Fourth Interdisciplinary of the Int. Congress. Technion, Haifa, 1998. P. 119–120.
- [7] Belcher A. et. al. // Nature. 1996. Vol. 381. P. 56–58.
- [8] Parsegian B. // Science. 1995. Vol. 270. P. 1157–1161.
- [9] Stupp S. et. al. // Science. 1997. Vol. 276. April. P. 384–389.
- [10] MacLhwin C. // Nature. 2000. Vol. 405. June. P. 730–789.
- [11] Parkinson B. // Science. 1995. Vol. 270. P. 1157–1161.
- [12] Raup D., Stanley S. Principles of Palaeontology. P. 369. San Francisco: W.P. Freeman and Comp, 1971.