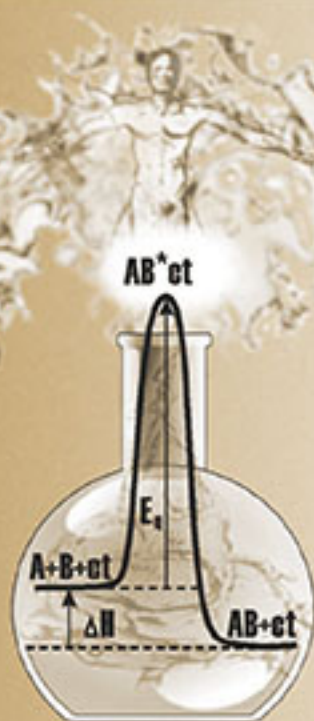


В.В. Егоров

ХИМИЧЕСКАЯ СИНЕРГЕТИКА

Физическая и коллоидная химия
самоорганизующихся наносистем



Москва 2014

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

ФЕДЕРАЛЬНОЕ БЮДЖЕТНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

«МОСКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ВЕТЕРИНАРНОЙ МЕДИЦИНЫ И БИОТЕХНОЛОГИИ
имени К.И. СКРЯБИНА

В.В. Егоров

Химическая синергетика

(физическая и коллоидная химия
самоорганизующихся наносистем)

Учебное пособие для студентов химических,
биологических, медицинских и
сельскохозяйственных вузов, обучающихся
по направлению «ветеринария»

Москва 2014 год

УДК 577.3
ББК 24.6

В.В. Егоров.

Химическая синергетика (физическая и коллоидная химия самоорганизующихся наносистем): Учебное пособие для студентов химических, биологических, медицинских и сельскохозяйственных вузов, обучающихся по направлению «ветеринария»

ISBN 978 - 5 - 905106 - 15 – 6

Допущено Учебно-методическим объединением высших учебных заведений Российской Федерации по образованию в области зоотехнии и ветеринарии в качестве учебно-методического пособия для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки (специальности) 111801 Ветеринария (квалификация (степень) «специалист»).

Рецензенты:

Профессор А.С. Белановский
Академик Б.М. Кершенгольц

ISBN 978 - 5 - 905106 - 15 – 6



© В.В. Егоров, 2014.

© Издательство «ЗооВетКнига», 2014

1. Введение.

Предмет химической синергетики.

Химическая синергетика - наука о молекулярной (наноуровень – 10^9 м) самоорганизации вещества и принципах, лежащих в ее основе.

В первую очередь в ней речь идет об организации в открытых неравновесных системах, характеризующихся потоком вещества и/или энергии. Но мы не можем исключить из рассмотрения и обширного класса равновесных систем. Таким образом, мы будем подразделять все самоорганизованные системы на равновесные термодинамические и неравновесные кинетические. Особое место здесь отводится пограничным структурам, характеризующимся отчетливым градиентом различных параметров. Это вещества в точке плавления, сублимации или кипения (градиент температуры или давления), поверхностные системы (градиент давления и концентрации), долгоживущие ассоциаты в объеме (градиент концентрации). К ним можно условно отнести гетерогенные химические реакции в состоянии равновесия (локальный градиент концентрации). Все это области межфазных явлений и фазовых переходов. В частности точка Крафта (градиент температуры) связана с образованием достаточно устойчивых долгоживущих молекулярных ассоциатов в растворе поверхностно-активного вещества (ПАВ), например, мицелл или везикул.

Однако немаловажными являются и короткоживущие ассоциаты, у которых релаксационные процессы характеризуются малыми временами и, как правило, низкими энергиями. К этой области относятся гомогенные химические реакции (в т.ч. их переходное состояние), например, протекающие в колебательном режиме (реакция Белоусова-Жаботинского). Важное место для описания поведения таких систем принадлежит работам нобелевского лауреата И. Пригожина, которые играли и

продолжают играть существенную роль в понимании самого явления жизни.

2. Уровни организации материи и ее самоорганизация.

Когда мы говорим о материи, то начинаем с ее базового состояния – поля, продуктом которого является вещество. Само физическое поле (не путать с гравитационными или электромагнитными полями) или физический вакуум является предметом изучения физики (теория поля, теория относительности), и математики (теории хаоса, суперструн и др.), а его продукты – частицы – квантовой механики и физики элементарных частиц. Здесь само понятие квант означает первичную организацию материи (квант света – фотон, гравитационный квант – гравитон, акустический квант – фонон). Квантовый уровень подчиняется законам микромира, кардинально отличающимся от привычных законов ньютоновской механики, действующих в окружающем нас видимом мире. Структуры микромира являются продуктами организации поля, несущими определенный запас энергии. В частности, энергия фотона, как известно, равна (формула Планка):

$$E = h\nu = hc/\lambda. \quad 1$$

Здесь h – константа Планка, c – скорость света, λ – длина электромагнитной волны, ν – частота ее колебаний.

Вторичная организация на этом уровне вызвана стремлением к максимальной синхронизации таких колебаний. Например, в системе, характеризующейся набором колебательных частот, наблюдается «стягивание» к одной частоте. Высоким уровнем синхронизации обладает лазерное излучение. Известным случаем образования вторичных структур являются т.н. стоячие волны, вызванные наложением (интерференцией) двух встречных (в общем случае пересекающихся волн), колеблющихся с равными или кратными частотами. Напомним, что уравнение стоячих волн используется для описания поведения электрона в атоме, точнее того, что мы при этом наблюдаем. Это уравнение Шредингера [1]:
 $(-h^2/2m)(d^2\psi/dx^2 + d^2\psi/dy^2 + d^2\psi/dz^2) + U(x,y,z)\psi = E\psi. \quad 2$

Следующим уровнем материи являются элементарные частицы, являющиеся продуктами самоорганизации поля, которые обладают высокой стабильностью. Это электроны, позитроны, нейтроны (существуют и малоустойчивые частицы, например, нейтрино и др.). Они, хотя и относятся к области квантовой механики, но фактически принадлежат пограничной области между микро- и макромиром, поскольку обладают одновременно свойствами волны и частицы. Хорошо известны, например, корпускулярно-волновые свойства фотона (Эйнштейн) или электрона (де Бройль). Сильные и слабые внутриядерные взаимодействия, а также электростатические силы способствуют их организации с образованием более крупных частиц, таких как атомные ядра, а также сами атомы и молекулы (заметим, что и на этом уровне организации квантово-механические представления продолжают играть ключевую роль). Однако такие структуры трудно отнести к неравновесно организованным, поскольку их образование сопровождается значительным выигрышем энергии. Так, ковалентная связь в молекуле обладает энергией 200 – 800 кДж/моль, а ионная - до 400 кДж/моль.

В отличие от этого самоорганизацию, как правило, отличают столь малые энергетические изменения в системе, что она располагает на грани устойчивости – неустойчивости. Причем такие квазиустойчивые формы отличаются малыми временами существования и высокой чувствительностью к различным сверхслабым воздействиям, т.е. указанное равновесие является чрезвычайно подвижным, динамическим. Это характеризует молекулярные и ионные ассоциаты в растворах и газах, в частности образованные за счет вандер-ваальсовых сил (5 - 10 кДж/моль) или гидрофобных взаимодействий (менее 1 кДж/моль). Например, время жизни ассоциата из молекул воды в обычной воде около 10^{-9} с, а время пребывания молекулы воды в нем 10^{-11-12} с. Такого же порядка время существования иона гидроксония, т.е. ассоциата протона с молекулой воды H_3O^+ .

Однако образование многочисленных слабых связей позволяет получить долгоживущие ассоциаты, что видно на примере поликомплексов, например ДНК, или молекул белка, где вторичная и третичная структуры поддерживаются большим числом кооперативных водородных связей (с энергией 4 – 40 кДж/моль). В то же время четвертичные структуры белков, в том числе с другими биомолекулами, если в их образовании не участвуют ковалентные связи, достаточно мобильны. Но и здесь мы встречаемся с высокостабильными ассоциатами, такими как клеточные органеллы и сами клетки. В их основе также многочисленные связи (ионные, гидрофобные, силы Ван-дер-Ваальса), каждая из которых может быть достаточно слабой в отдельности.

Интересно, что такая многоконтактная организация характерна и для макротел. Это агрегаты кристаллов в поликристаллическом теле (металлы - особый случай) или в объеме раствора, например, т.н. тиксотропные структуры. К агрегатам кристаллов относятся, в частности, хорошо сформированные образования песчинок (т.н. «песчаная роза»), доменов металла и т.п. Особый случай – космические объекты, образованные за счет гравитационных сил (пр. пылевые облака). Они отличаются, по нашим меркам, значительными временными параметрами, хотя и не столь существенными по сравнению со временем существования Вселенной. Таким образом, еще одной характеристикой оценки стабильности системы является время. Именно временной подход, по-видимому, должен быть определяющим при рассмотрении различных уровней организации и устойчивости материи.

Переходя к организмам, следует отметить, что и здесь возможны различные по стабильности структуры, такие как агрегаты вирусов и бактерий, стадо и стая, семья и племя, трудовой коллектив, популяция и государство, принципы образования которых кардинально отличаются от неорганической природы (например, борьба за существование – Дарвин), но свойства зачастую схожи. Здесь тоже существуют метастабильные образования,