

## ГИПОТЕЗА ОБ УНИВЕРСАЛЬНОЙ РОЛИ ОЖЕ-КАСКАДА В ОТБОРЕ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА И ХИРАЛЬНОЙ ДИССИМЕТРИИ МАКРОМОЛЕКУЛ В ЖИВЫХ СИСТЕМАХ

Оксенгендлер Б.Л.<sup>1,2</sup>, Тураева Н.Н.<sup>3</sup>, Никифорова Н.Н.<sup>1</sup>, Минина М.В.<sup>4</sup>, Чечулина М.В.<sup>4</sup>, Искандарова Ф.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Институт ионно-плазменных и лазерных технологий АН РУз  
ул. Дўрмон йўли 33, г. Ташкент, 100125, Узбекистан; e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

<sup>2</sup> Институт химии и физики полимеров АН РУз  
ул. А. Кадыри, 7 "б", г. Ташкент, 100128, Узбекистан

<sup>3</sup> Webster University, Biological Department  
470 East Lockwood Ave., St. Louis, MO 63119-3141, USA

<sup>4</sup> ООО «NIKA PHARM», Отдел Качества  
пр. 7-й Сайрам, 48 А, г. Ташкент, 100170, Узбекистан

<sup>5</sup> Центр профилактики чумы, карантинных и особо опасных инфекций, Ферганский филиал,  
ул. Янги Фаргона, 59, г. Янги Маргилон, 150113, Узбекистан

Поступила в редакцию: 27.07.2020

**Аннотация.** В статье формулируется гипотеза о возможности унифицированного решения двух фундаментальных проблем биологии на основе участия в процессах эволюции Оже эффекта в качестве фильтра; это - а) неоднородность элементного состава живых систем по атомному весу (существование «лидеров» и «аутсайдеров») и б) уникальная устойчивость гомохиральных биополимеров по отношению к флуктуациям локусов противоположной симметрии. Нами показано, что оба парадоксальных явления могут быть объяснены на основе одного и того же радиационного процесса – Оже-каскада после образования вакансии в К-оболочке с последующим «кулоновским взрывом» в биополимере, чему однако препятствует электронная нейтрализация – «заливание» из остальной неповрежденной цепи биополимера. Выяснено, что большая повреждаемость связана с наличием дополнительных электронных оболочек, а также с существованием хиральной деформации биополимера. Эти два обстоятельства позволяют разрешать парадоксы как качественно, так и количественно. В частности, предложенная гипотеза объясняет существование углеродной жизни и невозможность кремниевой жизни. Кроме того, усиление деструкции от Оже-каскада по мере увеличения хирального угла выявило особые точки повреждения хирального биополимера – области контактов двух доменов с различной хиральностью, которые «вымываются» ионизирующей радиацией с повышенной вероятностью, препятствуя образованию гетерохиральных полимеров. Отмечено, что процессы, лежащие в основе этих двух парадоксов, видимо, являются хорошими примерами общей концепции «complexity». Указано, что Оже-каскад – лишь один из типов процессов подпороговой радиационной физики, которые способны объяснить целый ряд низкотемпературных явлений в биологии.

**Ключевые слова:** биополимеры, парадоксы в биологии, элементный состав, хиральность, радиация, Оже-каскад, «кулоновский взрыв», электронная нейтрализация, «заливание».

### 1. Введение.

Среди учёных известно, что о зрелости той или иной области наук можно судить по наличию в ней сформулированных парадоксов, решение которых, почти всегда означает формулирование соответствующей парадигмы. Примеров этому было множество в разных эпохах, и в наше время стоит особо упомянуть тяжелейший спор между Больцманом и Пуанкаре (закончившейся трагической гибелью Больцмана) о якобы абсолютном противостоянии порядка и хаоса [1]. Как известно, серия работ Я.Г. Синая [2] выявило истинное положение дел: теорией биллиардов Синая удалось показать, что хаос и порядок регулируется величиной одно и того же параметра системы. Размышлениям о роли парадоксов на соответствующих стадиях развития разнообразных наук были посвящены усилия многих великих умов (Зенон, Н. Бор, Дж. Максвелл, А. Эйнштейн, Д. Бом, В. Мандельброт, Р. Том, И. Пригожин, П. Бак, П. Эренфест, Л. Мандельштам, и др.). На особую роль формулировки и решения парадоксов в структуре научных революций указали Т. Кун [3], Дж. Холтон [4], Е. Вигнер. Нетрудно заметить, что этот большой (и не полный!) список, большей частью связан с науками о неживой природе, в частности физики. Однако современное положение вещей несколько иное: можно с большой долей уверенности сказать, что особая роль парадоксов переместилась на биологические науки, т.е. на знания о живой природе. Это соображение ярко выявляется в интереснейших обзорах целого ряда больших учёных: В. Гольданского [5], В. Твердислова [6] и, на наш взгляд, особенно Г.Р. Иваницкого [7], где изложен путь и современное состояние трёхпозиционной парадигмы живых систем – фактически, для иллюстрации основных положений современной биологии был избран особый «язык парадоксов»! Итак, число таких парадоксов в биологии просто удивляет и, поэтому, особый интерес представляет поиск решения этих парадоксов на основе унифицированной причины. Исторический анализ показывает, что иногда это удавалось. Другой законный вопрос следующий: почему именно биология характеризуется таким обилием парадоксов. Это связано с

несколькими обстоятельствами: во-первых, живые системы неизмеримо сложнее неживых; во-вторых, бурное проникновение физики и математики в исследования живых систем и дало возможность открыть новые закономерности, представляющиеся парадоксальными в свете имеющихся парадигм. Каковы же пути намеченные для разрешения этих парадоксов в биологии? По мнению большого числа крупнейших авторитетов, склонных к крупным обобщениям, здесь путь состоит в формулировке принципиально нового подхода, который получил название «сложность» (complexity), а также единым образом может дать трактовку явлениям как в неживой, так и в живой природе. Этот подход – «complexity» уже в настоящее время имеет свою «азбуку», «динамику», «математику» [8-10], хотя и несколько различные для физики, химии и биологии, но этом пути уже имеются серьёзные успехи. В настоящее время концепцию «complexity» принято связывать с реализацией следующих свойств сложных систем и условий их функционирования: «нано», «фрактальность», «системы с низкой размерностью», «хиральность» и «синергетика». На этой основе парадигма в физике конденсированного состояния фактически уже сформирована, тогда как для биологии ситуация довольно заметно отстает. Среди различных парадоксов в области биологии в настоящей статье будет сделана попытка исследовать только два парадокса: 1) парадокс различия элементного состава в живой и неживой природе (существование в живой природе «лидеров» и «аутсайдеров» – в отличие от неживой и 2) парадокс необычайной устойчивости состояния максимальной хиральной диссиметрии в длинных биополимерных цепях (несмотря на обилие факторов этому препятствующих). Мы полагаем, что оба этих парадокса могут быть поняты на основе именно некоторых элементов «complexity», а также всегда присутствующего при эволюции радиационного воздействия.

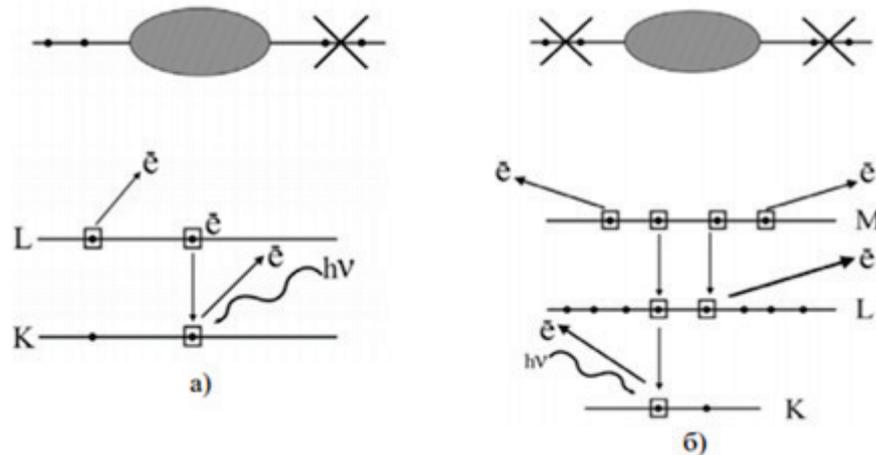
## 2. Парадоксы: объекты, предметы и подходы к исследованию.

При обсуждении любой глубокой проблемы, как известно [11], необходимо сочлнить результаты трёх элементов: объекты исследования, предметы исследования, а также используемые методы исследования. Обсудим эту триаду для двух выбранных нами парадоксов.

**2.1. Парадокс элементного состава живой природы**, заключающийся в резком различии присутствия в живых системах, в качестве «лидеров» элементов первого и второго периодов таблицы Менделеева, тогда как «аутсайдерами» являются элементы третьего и более далёких периодов. При этом, необходимо отметить, что подобного разделения («лидеры» и «аутсайдеры») в неживой природе не наблюдается. Особой остроты эта проблема звучит следующим парадоксом: почему углеродная жизнь есть, а кремниевой нет? Имеется в виду, что все главные биополимеры построены на «костяке» из углерода, а не кремния, хотя энергетические параметры (потенциал ионизации и сродство к электрону) их весьма близки. Таким образом, объектом исследования являются длинные цепи на основе углерода и кремния. Предметами исследования является обнаружение причины такого парадоксального несоответствия (особенно, если учесть, что количество кремния на Земле в сотни раз больше чем углерода). Что же является фильтром, отбирающим в живую природу элементы 1-го и 2-го периода? В качестве метода исследования мы выберем такие методы, которые нам позволяют различить причины такого парадоксального поведения и здесь базовой идеей, будет служить простое соображение, что этот фактор фильтрации сопровождал изучаемые системы в течении всего времени эволюции. Что же было «всегда»? Напрашивается два ответа: это «Вода» и это «Радиация». Таким образом, необходимо выбрать в качестве метода исследования такой, который различит роль воды и радиации путём выявления их наиболее специфического и действенного отклика на указанные два фактора воздействия.

Роль водяного фильтра была обнаружена и выделена как особая Г.Р. Иваницким [12], который обратил внимание на то, что гидролиз длинных цепей углерода и кремния происходит принципиально различно: цепочки углерода оказались устойчивыми, тогда как цепочки на основе кремния – не устойчивыми. Иваницкий полагает, что такая различная химия связана с различием ионных радиусов углерода и кремния: мономеры из кремния, естественно длиннее, чем мономера из углерода. При этом всё же остаётся вопрос: действительно, для линейных цепей это, видимо, неоспоримый факт квантовой химии, но что сказать о цепях, которые обладают сложной деформированной формой, при которой происходит перекрывание отнюдь не только  $\sigma - \sigma$  типа у соседних атомов. Ответ совершенно не очевиден и требует, несомненно, специального квантово-химического исследования. Более того, подобное разделение на «лидеров» и «аутсайдеров», по-видимому, наблюдается отнюдь не только у углерода и кремния, но и у других элементов для которых гидролиз не столь значим [13]. Что же является фильтром-сепаратором для них? По-видимому, есть смысл продумать этот вопрос более детально. Действительно, рассмотрим более широко комплекс причин, столь сильно различающих элементы второго и третьего периодов, для которых вода отнюдь не столь «страшный агент», а тем не менее фильтрующая сепарация имеется.

Перейдём ко «второму герою» упомянутому выше – радиации: именно в ней должен быть некий процесс, который разделяет радиационный отклик элементов второго и третьего периодов. Поиск такого элемента привёл нас к «простой» мысли, что элементы второго и третьего периодов имеют разное число электронных оболочек: например, у углерода их две (K и L), тогда как у кремния их три (K, L, M). Был ли и есть ли какой-либо радиационный процесс, столь существенно влияющий на участь элементов? Оказывается, был и есть: это эффект Оже, который состоит в ионизации (радиацией, например, рентгеновским излучением) самой глубокой оболочки этих элементов, то есть K-оболочки [14]. Атомная структура с «дыркой» в K-оболочке, естественно, не устойчива, и такая система релаксирует двумя возможными путями: при падении из L-оболочки в K-оболочку электрона энергия электронного перехода может «унестись» фотоном (флюоресценция); однако, возможен и другой канал – эта энергия передаётся соседнему электрону L-оболочки, в результате чего он «улетает» из



**Рисунок 1.** Разрушение биополимерных молекулярных цепей в результате «кулоновского взрыва», обусловленного Оже-каскадом, вызванным внешним радиационным воздействием на К-оболочку: а) случай углеродной цепи (при малом числе электронных подоболочек); б) случай кремниевой цепи (при большом числе электронных подоболочек)

области атома. Сравнение результатов этих двух путей указывает на их разительное отличие: в первом случае дырка «перескакивает» в L-оболочку, тогда как во втором случае в L-оболочке уже оказывается 2 дырки. Дальнейшая судьба этих двух дырок совершенно различна для атома углерода и атома кремния.

Сравнивая результаты Оже-процессов для цепочки углерода и цепочки кремния (рис. 1), видим, что в случае углерода первичная К-ионизация приводит к одностороннему разрыву цепи, тогда как в случае кремниевой цепочки происходит двухсторонний разрыв химической связи вокруг атома кремния. Такая конфигурация у углеродной цепи просто должна деформироваться, тогда как у кремниевого атома с разорванными связями обеих сторон цепи, должна происходить настоящая поломка макромолекулы. Но, в действительности, ситуация несколько более усложнена, поскольку, каждый Оже-переход происходит чрезвычайно быстро (обычно за время  $10^{-15}$  сек). В квантовой механике показано [15], что такие быстрые процессы реализуются когда невозмущённые плотности электронов не успевают перестроиться за изменениями заряда, это так называемый, «эффект встряски», много лет назад просчитанный для ионизации атомов при бета-распаде А.Б. Мигдалом [16]. Оказалось, что эффект встряски приводит к дополнительной ионизации атома или молекулярной структуры там, где происходит быстрое изменение заряда, то есть, в рассмотренном нами случае углеродной цепи, в валентную зону влетают две дырки, а в валентную зону кремниевой цепочки влетают четыре дырки (рис. 1). Эти цифры  $Z_0$  – для углерода = 2 и  $Z_0$  – для кремния = 4; но это *средние величины зарядности*, а на самом деле от каждой К-ионизации имеется целый зарядный спектр (рис. 1). Таким образом, с учётом эффекта встряски вероятность появления в валентной зоне заряда, достаточного для деструкции полимерной цепи, определится выражением:

$$P_A = \int_{Z^*}^{\infty} F(Z_0, Z) dZ \quad (1)$$

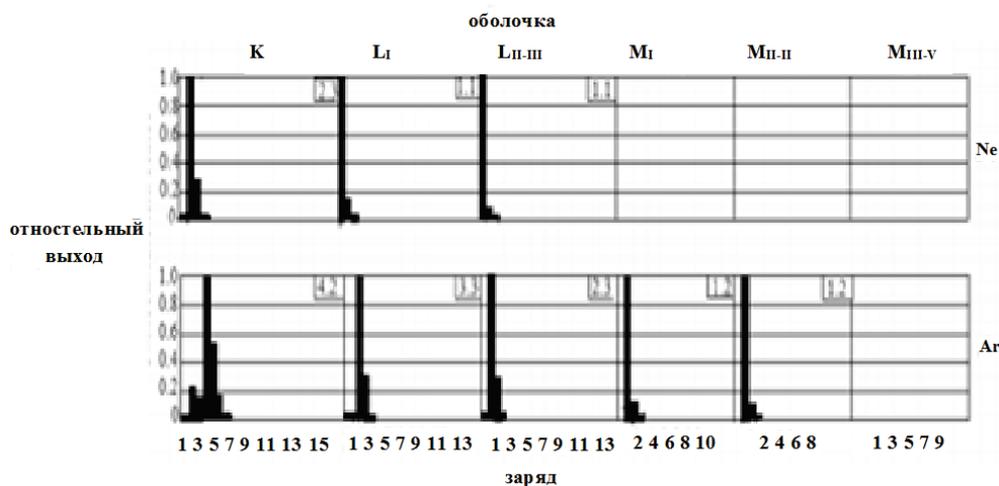
Здесь  $Z^*$  минимальная величина заряда в результате выхода которого при Оже-каскаде в молекулярной системе происходит разрушительный «кулоновский взрыв» (в частности, для углеродной и кремниевой цепей  $Z^* = 4$ ).

Однако, как показано в серии работ [17,18] процессу разлета заряженных осколков молекулы противодействует интересный канал конкуренции – электронные «заливания» положительной зарядовой неоднородности окружающими электронами (в частности – электронами из целых частей молекулярной цепи). Очевидно, что условие завершения кулоновского взрыва, т.е. деструкции макромолекулы, предельно просто, т.е. разлет должен совершиться за время  $\tau_+$ , который меньше среднего времени заливания (нейтрализации)  $\tau_e$ , т.е.  $\tau_+ < \tau_e$ . Однако, ситуация оказалась гораздо богаче – она вылилась в «парадокс Декстера-Варли» [19], решение которой было найдено много позднее [20] и связана с квантовой природой «электронного заливания». В результате конкуренции кулоновского разлета и электронного заливания деструкция происходит с вероятностью пропорциональной  $\exp(-\tau_+/\tau_e)$ . Поскольку  $\tau_+$  унифицировано ( $\tau_+ \approx 5 \cdot 10^{-14}$  с), а «процесс заливания» очень чувствителен к особенностям разрушаемой среды (цепи), то  $\tau_e$  изменяется в широком диапазоне (от  $10^{-16}$  с – для металлов, до  $10^{-11}$  для диэлектриков) и здесь процесс деструкции происходит с сечением (вероятностью) следующего вида [20]:

$$\sigma_d = \sigma_k \cdot P_A \exp(-\tau_+/\tau_e) \quad (2)$$

В этом выражении  $\sigma_k$  сечение ионизации К-электрона, а остальные понятия определены выше.

Величина сечения, как показывают многолетние исследования в радиационной физике полупроводников [20], в основном определяется величиной  $\tau_e$ , оценка которой требует всегда особого анализа, но вместе с тем для



**Рисунок 2.** Спектры многозарядных ионов инертных газов при образовании вакансий в K-, L-, и M-оболочках (в углу указаны средние заряды, отклонение от которых вызвано эффектом встряски) [14]

него были получены и весьма общие результаты (для полупроводников, металлов, стекол); полимерные системы были исследованы на много хуже (и грубее), но этих результатов, как будет показано ниже, кажется достаточным для серьезных выводов, причем именно для нашей сформулированной проблемы (см. далее). Акцентируя свое внимание на величине  $\tau_e$ , можно поискать свойства молекулярных цепей и особенно биополимерных, которые связаны с  $\tau_e$  с помощью фундаментальных законов. Таким фундаментальным законом может быть связь ширины валентной зоны с  $\tau_e$  путем соотношения неопределенностей Н.Бора:  $\tau_e = \hbar/\Delta E_V$ . Для различных полимеров величина  $\hbar/\Delta E_V$  различна, так что понимая под  $\tau_e$  время оседлой жизни «дырки» в валентной зоне видно, что уникальность полимера напрямую определяет  $\tau_e$ , а значит и  $\sigma_d$ . Именно таким образом мы можем заключить, что различные биополимеры проявляются в вероятности деструкции в основном через  $P_A$  и  $\tau_e$ . В этом плане оценки показывают, что  $\sigma_d$  для кремния существенно больше  $\sigma_d$  для углеродной цепи, так что именно кремниевые цепи более подвержены деструкции, нежели углеродные. Видимо, этот вывод, связанный с особенностями Оже-каскада в элементах второго и третьего периодов таблицы Менделеева, позволяет говорить о возможности проявления в парадоксе элементного состава живой природы лишней подоболочки элементов третьего периода по сравнению со вторым. Очень существенно, что для данного типа радиационного фильтра на основе Оже-переходов легко объясняется и разделение на лидеров и аутсайдеров не только для атомов углерода и кремния, но и для остальных элементов этого периода. Интересен однако вопрос и о том как для одного и того же типа биополимера проявляется его конформация в процессах деструкции. Именно на этом пути, как нам кажется, может быть обсужден и второй парадокс.

## 2.2. Парадокс аномальной устойчивости гомохиральных структур биополимеров.

Свойства хиральности многих молекул, открытых Л. Пастером [21] и Вант-Гоффом [22], с особой значимостью вышли на авансцену науки в связи с эволюцией биополимеров [23]. За долгие годы исследования различных проблем хиральности основных биополимеров было выяснено, что именно явление гомохиральности определяет чуть ли не всю биохимию живых систем (как в здоровье, так и в патологии; как в молодом, так и в старом организмах.) [24]. Вполне справедливо, что хиральная диссимметрия вошла «вторым номером» в триадную парадигму живых систем [7]. Вместе с тем, целый ряд вопросов до сих пор остаётся в поле дискуссии [25]. Одним из таких дискуссионных вопросов является удивительное свойство гомохиральных полимеров оставаться при своём росте не подвергаясь флуктуациям структуры, не смотря на обилие стимулирующих для этого факторов. В этой связи, возникает вопрос – в чём же причина такой парадоксальной устойчивости гомохиральности, почему по ходу длины биополимеров фактически не осуществляются отдельные локусы противоположного типа симметрии? Действительно, в физике конденсированного состояния, а точнее, в физике твёрдого тела, довольно часто имеет место такой дефект на дислокациях, перегиб или двойной перегиб. Большое количество теоретических и экспериментальных исследований именно этого частного свойства – двойникование малой области кристалла осуществляется флуктуационно, причём для этого не требуется большой энергии [26]. Переноса этот опыт на биополимеры определённого типа хиральности, совершенно не видно явных причин, почему в случае биополимеров это явление не реализуется. Что подавляет эти флуктуации – флуктуации вкрапления противоположной зеркальной симметрии структуры? Опять же, мы вынуждены говорить о выборе: «вода» или «радиация» (ведь они были, во все времена эволюции!)? Попробуем, используя идею аналогий, объяснить сформулированный в этом разделе парадокс удивительной устойчивости с помощью радиационного действия, причём, даже ограничиваясь Оже-эффектом.

В качестве предварительного объекта рассуждений используем представления о «Блоховской стенке», разделяющей два домена (рис. 3). Предположим, что в каждой из трёх областей объекта, изображённого на рисунке 3, с помощью радиационного воздействия в тяжёлом многоэлектронном атоме образуется глубокая (K-)

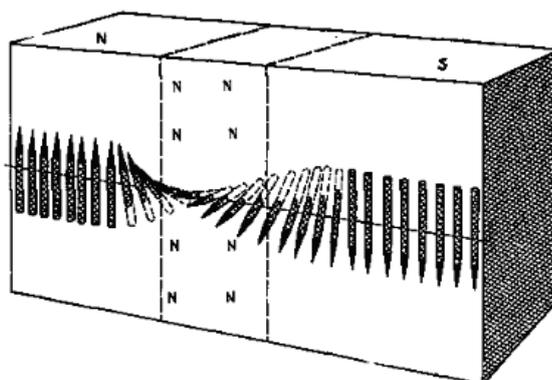


Рисунок 3. «Блоховская стенка» между областями макромолекулы с различной хиральностью

ионизация, то есть «дырка». Как этот однократный положительный заряд будет выноситься в валентную зону и способствовать деструкции полимера в каждой из трёх областей?

Очевидно, что общее выражение для вероятности (сечение) деструкции будет такое же, как и для примера предыдущего раздела, (2.1.) и мы можем записать для парциальных сечений деструкций в каждой области выражение типа формул:

$$\sigma_d = \sigma_k \cdot P_A \exp(-\tau_+/\tau_e^i) \quad (3)$$

Здесь знак  $i$  нумерует ситуации во всех трех частях «Блоховской стенки»:  $i = 1$  и  $i = 3$  это области отсутствия хиральной диссиметрии, тогда как область 2 и соответствует спиральности элементов макромолекулы. Согласно сказанному выше в разделе (2.1), сечение деструкции в областях 1 и 3 определяется формулой (3), тогда как сечение в области 2 будет несколько иным, и это вызвано различием величин  $\tau_e^2$  и  $\tau_e^1 = \tau_e^3$ . Для выяснения этого вопроса рассмотрим более детально элемент цепи мономера, являющийся частью длинного биополимера (рис. 4).

Здесь видно, что при двух типах деформации макро цепи (изгиб и кручение) наблюдается изменение перекрывания электронных орбиталей на концах мономера, что немедленно приводит к изменению их интеграла перекрывания:  $S \neq S'$ . Соответственно, этому неравенству интегралов перекрывания, не равны и обменные интегралы [24]:

$$\beta'/\beta = [S'/(1 + S')][S/(1 + S)] \approx S'/S \quad (4)$$

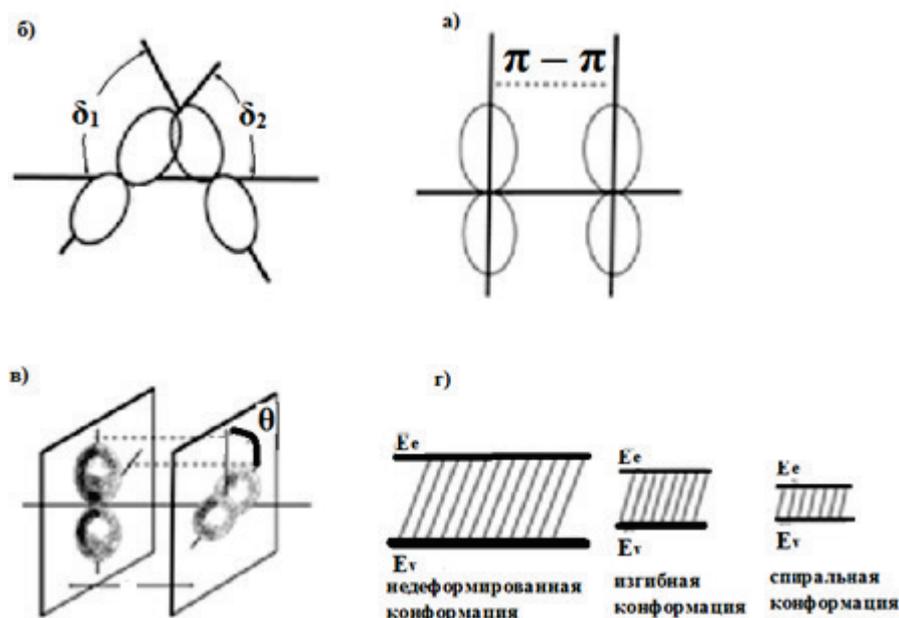


Рисунок 4. Схема типов мономеров: а) недеформированная конформация; б) изгибная деформация; в) хиральная деформация; г) схематическая деформация разрешенной зоны

Последняя формула позволяет, с учётом пропорциональности обменного интеграла ширине разрешённой электронной зоны, а также с учётом соотношения неопределённости Нильса Бора, немедленно получить зависимость отношения времён заливания деформированного и недеформированного биополимера через интегралы перекрывания.

$$\tau'_e/\tau_e = |\hbar/\Delta E_V|/|\hbar/\Delta E_V| \approx S/S' \quad (5)$$

После этого можно использовать найденные методами квантовой химии соотношения между интегралами перекрывания для деформированного и недеформированного участка через все углы деформации:

$$S' = S_{\sigma-\sigma}(\cos\delta)^2 + S_{\pi-\pi}(\sin\delta)^2 \cdot \cos\theta \quad (6)$$

Собирая все вышеприведённые формулы легко получим величину, доказывающую во сколько раз увеличивается дефектообразование в деформированных биополимерах:

$$\gamma(\delta, \theta) = [\sigma'_d/\sigma_d] \approx \{exp[-\tau_+/\tau_e]\}^{(S'/S)-1} \quad (7)$$

Равенство (7) имеет очень важные частные случаи:

1.  $\delta = 0$ ;  $\theta \neq 0$ , что даёт  $d\sigma_d/d\theta > 0$  (хиральная конформация)
2.  $\delta \neq 0$ ;  $\theta = 0$ , что даёт  $d\sigma_d/d\theta \geq 0$  (изгибная конформация; знак этой величины зависит от исходного типа связи ( $\sigma - \sigma$  или  $\pi - \pi$ ))

Отметим, что выше обозначенный случай (1) и есть тот важный результат, который нам понадобится далее, и он гласит, что с увеличением хирального угла  $\theta$  вероятность деструкции хиральной цепи возрастает, причём, как показывает детальный анализ, он возрастает по закону

$$\gamma(\delta, \theta) = \gamma(\delta, 0)^{(S'/S)} \quad (8)$$

Перейдем теперь к исследованию основного предмета данного раздела – уникальной устойчивости гомохиральных цепей к появлению локуса противоположной симметрией. Рассмотрим гомохиральный полимер, и пусть в результате тепловой флуктуации на нем образуется локус иной – противоположной симметрии. Это означает что появляются либо одна, либо две границы доменов с противоположной симметрией. Теперь учтем, что во время эволюции с течением времени вся эта цепь, включая и границы доменов, подвергается облучению (например, рентгеновскому). Тогда в каждом из участков этой длинной цепи стохастически генерируются К-дырки на самых глубоких электронных оболочках тяжелых многоэлектронных атомов цепи, по уже обсужденной нами схеме, каждая из этих дырок в результате Оже-каскада вносит определенный заряд  $Z > Z^*$ , который оказывается в соответствующем месте валентной зоны. Дальнейшая судьба этой кулоновской нестабильности, как указывалось выше, сводится к кулоновскому взрыву (каждый в своей области локализации), либо к нейтрализации через электронное заливание. Далее, как следует из формулы (8), каждая потенциально способная к кулоновскому взрыву область действительно деструктурирует согласно своему сечению  $\sigma_d$ , причем  $\sigma_d$  будет зависеть от хирального угла  $\theta$  в виде функции  $\theta^2$ , находящейся в показателе экспоненты. С увеличением  $\theta$  резко уменьшается скорость заливания электронами и резко увеличивается сечение деструкции. Однако, в местах границы доменов угол изменения равняется  $2\theta$ , поэтому вероятность деструкции в этих местах увеличивается еще сильнее, пропорционально некоторому числу (которое больше единицы) в четвертой степени. Характерные оценки этого эффекта весьма впечатляющи: сечение Оже-деструкции для нехирального полимера в случае его хирального состояния может увеличиваться на два - три порядка, тогда как границы доменов при этом дают увеличение сечение деструкции в  $10^4 - 10^8$ . Это означает что как только к концу хирального биополимера присоединяется «кинородный мономер», то он с большой вероятностью «срезается» кулоновским взрывом от Оже-эффекта. Если же присоединяется «свой мономер», то возможная деструкция менее вероятна и на много порядков меньше, а для достройки следующего мономера имеется весьма большой период времени. Эти несложные соображения весьма легко приводят к кинетике нарастания длины биополимера, который с подавляющей вероятностью оказывается монохиральным.

### 3. Заключение.

В эволюции живых систем заметную роль играют множество факторов, и это обстоятельство является предметом весьма детального изучения [28]. Среди таких факторов всегда особого внимания требуют те факторы воздействия, которые сопровождали изучаемые системы всё время эволюции (в частности, «вода», «радиация»). В данной статье, как и в совокупности наших предыдущих работ, мы концентрировали внимание именно на радиации. Это связано со многими факторами. Кроме того, что она была «всегда», в частности, и с тем, что типы радиационного воздействия чрезвычайно разнообразны, а также разнообразны факторы воздействия каждого из них (энергия, интенсивность, доза, степень когерентности, поляризация). Из-за такого разнообразия почти всегда найдётся биологический (или предбиологический) объект, который под действием радиации существенно модифицирует многие свои свойства. Среди этих свойств, как совершенно особо важное свойство, следует упомянуть возможность стимулирования атомных перестроек (активационных процессов) при воздействии

радиации. Более того, среди эффектов подобного рода во второй половине 20-го века был выявлен совершенно особый класс атомных перестроек, так называемых электронно-стимулированных, которые легли в основу целой области радиационной физики – «подпороговой радиационной физики» [29]. К этой подпороговой радиационной физике относятся многие атомные процессы, для реализации которых отнюдь не нужна температура и они могут происходить и в «космическом холоде» [30]. Тип радиационного воздействия, способный на это достаточно широк, но, в первую очередь, это свет, ультрафиолетовое излучение, низкоэнергетическое рентгеновское излучение и т.д. Для этого типа атомных перестроек характерен такой сценарий: радиация возбуждает вначале электронную подсистему, а потом эти электронные возбуждения сбрасывают свою энергию на атомные степени свободы, в том числе на координату реакции. В качестве примера, именно применительно для биологии, можно упомянуть радиационно-стимулированные химические реакции, управляющие удлинением цепей с участием формальдегида (В.Гольданский и др.[30]). Однако в этих реакциях удлинения цепей, обязательно должна присутствовать и диффузионная стадия доставки «мономеров» к концам растущих цепей, то есть без радиационно-стимулированной диффузии здесь никак не обойтись. И такой механизм радиационно-стимулированной диффузии был предложен и получил название «инверсный механизм диффузии», который даже может превратить диффузант в квазичастицу – дефектон; эта квазичастица получила название «инверсон» [31,32]; (недавние расчеты показали, что инверсный механизм диффузии способен весьма существенно снизить по времени начало биологического периода).

Изучаемый в настоящей статье механизм радиационной деструкции на основе Оже-процессов, целиком и полностью относится именно к подпороговой радиационной физике, возникшей на основе детальнейшего изучения повреждения кристаллов кремния низкоэнергичной радиацией – рентгеновским излучением и электронами [29]. Как показано в данной работе, выдвинутые соображения весьма основательно демонстрируют действенность механизма Оже-деструкции в двух парадоксальных биологических фактах: парадоксе элементного состава в живой природе и парадоксе уникальной устойчивости к флуктуациям гомохиральных состояний биополимеров. Не безынтересно отметить, что обсуждаемые особенности процессов деструкции в многоэлектронных атомах и входящих в хиральные биополимеры (типа РНК, ДНК) могут быть основой для подхода к борьбе с вирусами (в том числе и вызывающим COVID-19) на основе радиационно-стимулированной Оже-деструкции (серия наших публикаций принятых к печати [32,33]).

#### Список литературы / References:

1. Чернавский Д.С. *Синергетика и информация: Динамическая теория информации*. КД Либроком, 2016, 300 с. [Chernavsky D.C. *Synergetics and Information: Dynamic Information Theory*. KD Librokom, 2016, 300 p. (In Russ.)]
2. Синай Я.Г. Динамические системы с упругими отражениями. *УМН*, 1970, т. 2, с. 141-192. [Sinai Ya.G. *Dynamical Systems with Elastic Reflections*. *UMN*, 1970, vol. 2, pp. 141-192. (In Russ.)]
3. Кун Т. *Структура научных революций*. 1969, М.: Прогресс, 1977, 300 с. [Kuhn T. *The structure of scientific revolutions*. 1969, Moscow: Progress, 1977, 300 p. (In Russ.)]
4. Холтон Дж. *Тематический анализ науки*. М.: Прогресс, 1981, 384 с. [Holton J. *Thematic analysis of science*. М.: Progress, 1981, 384 p. (In Russ.)]
5. Гольданский В.И., Кузьмин В.В. Спонтанное нарушение зеркальной симметрии в природе и происхождение жизни. *УФН*, 1989, т. 157, с. 3-50. DOI: 10.3367/UFNr.0157.198901a.0003. [Gol'dansky V.I., Kuzmin V.V. Spontaneous breaking of mirror symmetry in nature and the origin of life. *UFN*, 1989, vol. 157, pp. 3-50. (In Russ.)]
6. Твердислов В.А., Малышко Е.В. О закономерностях спонтанного формирования структурных иерархий в хиральных системах неживой и живой природы. *УФН*, 2019, т. 189, № 4, с. 375-385. DOI: 10.3367/UFNr.2018.08.038401. [Tverdislov V.A., Malysheko E.V. Regularities of spontaneous formation of structural hierarchies in chiral systems of inanimate and living nature. *UFN*, 2019, vol. 189, no. 4, pp. 375-385. (In Russ.)]
7. Иваницкий Г.Р. XXI век: Что такое жизнь с точки зрения физики. *УФН*, 2010, т. 180, № 4, с. 337-369. DOI: 10.3367/UFNr.0180.201004a.0337. [Ivanitsky G.R. XXI century: What is life from the point of view of physics. *UFN*, 2010, vol. 180, no. 4, pp. 337-369. (In Russ.)]
8. Sherrington D. Physics and Complexity. *Phil. Trans. R. Soc. A*, 2010, vol. 368, pp. 1175-1189. DOI: 10.1098/rsta.2009.0208.
9. Milan Randi, Dejan Plav. On the Concept of Molecular Complexity. *CROATICA CHEMICA ACTA, CCASAA*, 2002, vol. 75, no. 1, pp. 107-116.
10. Mazzocchi F. Complexity in biology. Exceeding the limits of reductionism and determinism using complexity. *EMBO Reports*, 2008, vol. 9, no. 1, pp.10-4. DOI: 10.1038/sj.embor.7401147.
11. Мигдал А.Б. *Поиски истины*. М.: Молодая гвардия, 1983, 239 с. [Migdal A.B. *The search for truth*. Moscow: Molodaya gvardiya, 1983, 239 p. (In Russ.)]
12. Иваницкий Г.Р. Запоминание случайного выбора уничтожает альтернативы (ответ на комментарий к статье “XXI век: что такое жизнь с точки зрения физики”). *УФН*, 2011, т. 181, № 4, с. 451-454. [Ivanitsky G.R. Memorizing a random choice destroys alternatives (response to the commentary to the article “XXI century: what is life from the point of view of physics”). *UFN*, 2011, vol. 181, no. 4, pp. 451-454. (In Russ.)]
13. Кист А.А. *Феноменология биогеохимии и биоорганической химии*. Ташкент: Фан, 1987. [Kist A.A. *Phenomenology of biogeochemistry and bio-organic chemistry*. Tashkent: Fan, 1987. (In Russ.)]

14. Parilis E.S., Turaev N.Yu. et. al. *Atomic Collisions on Solid Surfaces*. Amsterdam-London-New York-Tokyo: North-Holland, 1993, vol. 93, no. 3, 382 p. DOI: 10. 1016/0168-583X(94)95492-5.
15. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. *Теоретическая физика в 10 томах. Том 3. Квантовая механика (нерелятивистская теория)*. М.: Наука, 1989, 768 с. [Landau L.D., Lifshits E.M. *Theoretical physics in 10 volumes. Volume 3. Quantum mechanics (nonrelativistic theory)*. Moscow: Nauka, 1989, 768 p. (In Russ.)]
16. Мигдал А.Б. *Качественные методы в квантовой теории*. М.: Наука, 1975, 336 с. [Migdal A.B. *Qualitative methods in quantum theory*. Moscow: Nauka, 1975, 336 p. (In Russ.)]
17. Varley J.A. Mechanism for the Displacement of Ions in an Ionic Lattice. *Nature*, 1954, vol. 174, pp. 886-887. DOI: 10.1038/174886a0.
18. Dexter D.L. Varley Mechanism for Defect Formation in Alkali Halides. *Physical Review*, 1960, vol. 118, p. 934.
19. Вавилов В.С., Кив А.Е., Ниязова О.Р. *Механизмы образования и миграции дефектов в полупроводниках*. М.: Наука, 1981, 368 с. [Vavilov V.S., Kiv A.E., Niyazova O.R. *Mechanisms of the formation and migration of defects in semiconductors*: Nauka, 1981, 368 p. (In Russ.)]
20. Оксенгендлер Б.Л., Тураева Н.Н. *Радиационная физика конденсированных сред. Концепции*. Ташкент: Фан, 2006, т. 1, 136 с. [Oksengendler B.L., Turaeva N.N. *Radiation physics of condensed media. Concepts*. Tashkent: Fan, 2006, vol. 1, 136 p. (In Russ.)]
21. Пастер Л. *Избранные труды в двух томах*. М.: АН СССР, 1960, 836 с. [Pasteur L. *Selected Works in Two Volumes*. Moscow: AN SSSR, 1960, 836 p. (In Russ.)]
22. Вант-Гофф Я.Г. *Избранные труды по химии* М: Наука, 1984, 544 с. [Van't Hoff Ya.G. *Selected works in chemistry*. Moscow: Nauka, 1984, 544 p. (In Russ.)]
23. Аветисов В.А., Гольданский В.И. Физические аспекты нарушения зеркальной симметрии биоорганического мира. *УФН*, 1996, т. 166, № 8, с. 873-891. [Avetisov V.A., Gol'dansky V.I. Physical aspects of breaking the mirror symmetry of the bioorganic world. *UFN*, 1996, vol. 166, no. 8, pp. 873-891. (In Russ.)]
24. Твердислов В.А., Яковенко Л.В., Жаворонков А.А. Хиральность как проблема биохимической физики. *Рос.хим.ж.*, 2007, т. 51, № 1, с. 13-22. [Tverdislov V.A., Yakovenko L.V., Zhavoronkov A.A. Chirality as a problem in biochemical physics. *Ros.khim. zh.*, 2007, vol. 51, no. 1, pp. 13-22. (In Russ.)]
25. Твердислов В.А., Малышко Е.В. Хиральный дуализм как системный фактор иерархического структурообразования в молекулярно биологической эволюции. *Сложность. Разум. Постнеклассика*, 2016, № 1, с. 78-83. DOI: 10.12737/18816. [Tverdislov V.A., Malyshko E.V. Chiral dualism as a systemic factor of hierarchical structure formation in molecular biological evolution. *Complexity. Mind. Postneklassika*, 2016, no. 1, pp. 78-83. (In Russ.)]
26. Косевич А.М. *Физическая механика реальных кристаллов*. Киев: Наукова Думка, 1981, 328 с. [Kosevich A.M. *Physical mechanics of real crystals*. Kiev: Naukova Dumka, 1981, 328 p. (In Russ.)]
27. Roberts J. *Notes on Molecular Orbital Calculations*. London . Amsterdam Don Mills, Ontario. Sydney. Tokyo: the benjamin cummings publshing company, INC., 1962, 156 p.
28. Волькенштейн М.В. *Общая биофизика*. М.: Наука, 1978, 592 с. [Volkenstein M.V. *General biophysics*. М.: Nauka, 1978, 592 p. (In Russ.)]
29. Юнусов М.С., Оксенгендлер Б.Л. и др. *Подпороговые радиационные эффекты в полупроводниках*. Ташкент: Фан, 1987, 222 с. [Yunusov M.S., Oksengendler B.L. et al. *Subthreshold radiation effects in semiconductors*. Tashkent: Fan, 1987, 222 p. (In Russ.)]
30. Гольданский В.И., Трахтенберг Л.И., Флеров В.Н. *Туннельные явления в химической физике*. Москва: Наука, 1986, 296 с. [Gol'dansky V.I., Trakhtenberg L.I., Flerov V.N. *Tunneling phenomena in chemical physics*. Moscow: Nauka, 1986, 296 p.]
31. Оксенгендлер Б.Л. The inverson--a new type of defecton. *JETP Letters*, 1976, vol. 24, no. 1, pp. 9-11.
32. Oksengendler B.L., Turaeva N.N. Periodic Landau-Zener problem in long-range migration. *Journal of Experimental and Theoretical Physics*, 2006, vol. 103, no. 3, pp. 411-414.
33. Оксенгендлер Б.Л., Тураева Н.Н., Зацепин А.Ф. и др. Селективное радиационное воздействие на нанополимеры и его применение к деградации актуальных вирусов. *Международная конференция «Радиационная физика твердого тела»*, Севастополь, 2020. (в печати) [Oksengendler B.L., Turaeva N.N., Zatsepin A.F. et al. Selective radiation action on nanopolymers and its application to the degradation of actual viruses. *International conference "Radiation Physics of Solids"*, Sevastopol, 2020. (in press) (In Russ.)]
34. Оксенгендлер Б.Л., Тураева Н.Н., Сулейманов С.Х. и др. Радиационная деструкция квазиодномерных молекулярных объектов: особенности и применение. *ДАН АН РУз*, 2020. (в печати) [Oksengendler B.L., Turaeva N.N., Suleimanov S.Kh. et al. Radiation destruction of quasi-one-dimensional molecular objects: features and applications. *DAN AN RUz*, 2020. (in press) (In Russ.)]

## HYPOTHESIS ABOUT THE UNIVERSAL ROLE OF THE AUGER CASCADE IN THE SELECTION OF THE ELEMENTAL COMPOSITION AND CHIRAL DISSYMMETRY OF MACROMOLECULES IN LIVING SYSTEMS

Oksengendler B.L.<sup>1,2</sup>, Turaeva N.N.<sup>3</sup>, Nikiforova N.N.<sup>1</sup>, Minina M.V.<sup>4</sup>, Chechulina M.V.<sup>4</sup>, Iskandarova F.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Institute of Ion-Plasma and Laser Technologies, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan  
33 Durmon yuli st., Tashkent, 100125, Uzbekistan; e-mail: oksengendlerbl@yandex.ru

<sup>2</sup> Institute of Polymer Chemistry and Physics, Academy of Sciences of the Republic of Uzbekistan  
st. A. Kadyri, 7 "b", Tashkent, 100128, Uzbekistan

<sup>3</sup> Webster University, Biological Department  
470 East Lockwood Ave., St. Louis, MO 63119-3141, USA

<sup>4</sup> OLC "NIKA PHARM", Quality Department  
7th Sairam Ave., 48 A, Tashkent, 100170, Uzbekistan

<sup>5</sup> Center for the Prevention of Plague, Quarantine and Especially Dangerous Infections, Ferghana branch  
59 Yangi Fargona str., Yangi Margilon city 150113, Uzbekistan

**Abstract.** The article formulates a hypothesis about the possibility of a unified solution of two fundamental problems of biology on the basis of participation of the Auger effect as a filter in the evolutionary processes; these are a) the inhomogeneity of the elemental composition of living systems in terms of atomic weight (the existence of “leaders” and “outsiders”) and b) the unique stability of homochiral biopolymers with respect to fluctuations of loci of opposite symmetry. We have shown that both paradoxical phenomena can be explained on the basis of one and the same radiation process - Auger cascade after the formation of a vacancy in the K-shell with the subsequent "Coulomb explosion" in the biopolymer, which, however, is impeded by electronic neutralization - "flooding" from the rest of the intact biopolymer chains. It was found that the high damageability is associated with the presence of additional electronic shells, as well as with the existence of chiral deformation of the biopolymer. These two circumstances make it possible to resolve the paradoxes both qualitatively and quantitatively. In particular, the proposed hypothesis explains the existence of carbon life and the impossibility of silicon life. In addition, the enhancement of destruction from the Auger cascade with an increase in the chiral angle revealed special points of the damage to the chiral biopolymer - the contact areas of two domains with different chiralities, which are “washed out” by ionizing radiation with an increased probability, preventing the formation of heterochiral polymers. It is noted that the processes underlying these two paradoxes are, apparently, good examples of the general concept of “complexity”. It is indicated that the Auger cascade is only one of the types of subthreshold radiation physics processes that can explain a number of low-temperature phenomena in biology.

**Key words:** *biopolymers, paradoxes in biology, elemental composition, chirality, radiation, Auger cascade, “Coulomb explosion”, electronic neutralization, “flooding”.*