

УДК 53.047

КВАНТОВАЯ БИОЛОГИЯ И ГЕНЕТИКА: РОЛЬ КВАНТОВЫХ ЭФФЕКТОВ В ЭВОЛЮЦИИ

Кайгородова М.А.

студентка 1 курса факультета агрономии и экологии

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина («КУБГАУ»)

Краснодар, Россия

Емелин А.В.

доцент, кандидат технических наук

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина («КУБГАУ»)

Краснодар, Россия

Аннотация. В статье рассматривается влияние квантовых эффектов на эволюционные процессы в биологии. Обсуждаются явления, такие как квантовое туннелирование и квантовые вихри, которые способствуют ускорению ферментативных реакций и сложному развитию живых организмов. Исследуются механизмы, связывающие квантовую физику с биологической эволюцией, открывая новые перспективы для понимания происхождения и адаптации жизни на Земле.

Ключевые слова: квантовая биология, генетика, эволюция, фотосинтез, мутации ДНК, природный отбор, эволюционные процессы, биомолекулы, адаптация.

QUANTUM BIOLOGY AND GENETICS: THE ROLE OF QUANTUM EFFECTS IN EVOLUTION

Kaigorodova M.A.

1st year student of the Faculty of Agronomy and Ecology

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KUBGAU)

Krasnodar, Russia

Emelin A.V.

Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin (KUBGAU)

Krasnodar, Russia

Annotation. The article examines the influence of quantum effects on evolutionary processes in biology. Phenomena such as quantum tunneling and quantum vortices, which contribute to the acceleration of enzymatic reactions and the complex development of living organisms, are discussed. The mechanisms linking quantum physics with biological evolution are being investigated, opening up new perspectives for understanding the origin and adaptation of life on Earth.

Keywords: quantum biology, genetics, evolution, photosynthesis, dna mutations, natural selection, evolutionary processes, biomolecules, adaptation.

ВВЕДЕНИЕ

•Квантовая биология — это область биофизики, которая исследует квантовые эффекты в живых системах и использование квантовой механики для изучения биологических структур и их функций.

Квантовая биология тесно связана с квантовой биохимией, фотобиологией и фотохимией.

Она изучает: свойства переходов при возбуждении хромофоров светом; характеристики возбужденных состояний молекулы (энергии, продолжительность жизни и др.), определяющие их реакционную способность; механизмы процессов,

связанных с образованием свободных радикалов, разделением зарядов; явления передачи (миграции) энергии между молекулами.

•Связь между квантовыми явлениями и генетикой заключается в том, что обе теории установили две фундаментальные черты материального мира — дискретность и скачкообразность. На протяжении всего XX столетия квантовая физика и генетика шли параллельными курсами, обогащаясь новыми фактами и идеями.

Некоторые аспекты связи: Эрвин Шрёдингер в своей книге «Что такое жизнь?» выдвинул гипотезу, что квантовая механика способна оказывать значительное влияние на клеточные функции. Он предположил, что генетический материал может сохраняться и передаваться через хранение информации в различных квантовых состояниях.

Квантовое туннелирование. Ферменты — катализаторы реакций в клетке — используют этот механизм, чтобы перемещать электрон или протон из одной части молекулы в другую.

Роль квантовых процессов в мутациях ДНК. Протон туннелирует вдоль водородной связи, соединяющей цепи ДНК, и при их разделении может оказаться не на той стороне, что становится причиной мутации.

•ЦЕЛЬ статьи : исследовать, как квантовые эффекты влияют на эволюционные процессы.

1. ОСНОВЫ КВАНТОВОЙ МЕХАНИКИ.

•Основные принципы квантовой механики:

Принцип неопределённости Гейзенберга. Невозможно одновременно точно измерить положение и скорость частицы. Чем точнее определяется координата, тем менее точно будет известна скорость, и наоборот.

Принцип дополнительности. Динамические характеристики микрочастиц (импульс, координата, энергия) не присущи частице сами по себе, а отражают её взаимосвязь с классическими объектами, например измерительными приборами.

Принцип суперпозиции. Результирующий эффект может представлять сумму эффектов от каждого воздействующего явления в отдельности.

Также фундаментальной особенностью квантовой теории является то, что она не может с определённой предсказательной силой предсказать значения физических величин, а только даёт вероятности их измерения.

•Квантовое туннелирование — это явление, когда частица проникает через потенциальный барьер, который классически она не могла бы пройти. Например, кот, используя квантовое туннелирование, может мгновенно проникнуть за закрытую дверь или просочиться сквозь узкое пространство между мебелью.

Когерентность — это состояние квантовых частиц (двух и более), при котором между ними устанавливается определенная связь, даже если они находятся на значительном расстоянии друг от друга. Например, если изменить один кубит, связанный с ним, то и другой изменится.

Суперпозиция — это суперпозиция состояний, которые не могут быть реализованы одновременно с классической точки зрения, это суперпозиция альтернативных (взаимоисключающих) состояний. Например, когда есть выбор между двумя типами кофе: эспрессо и капучино. В классическом мире выбирают один из них, а в квантовом — одновременно заказывают и эспрессо, и капучино до тех пор, пока кто-то не принесёт заказ. Как только его берут (как «измерение» в квантовой механике), суперпозиция «коллапсирует» в одно состояние: либо эспрессо, либо капучино.[1.]

2.КВАНТОВЫЕ ЭФФЕКТЫ В БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

•Один из примеров квантовых явлений в живых организмах — фотосинтез. В этом процессе квантовая когерентность позволяет световой энергии передаваться с максимальной эффективностью.

В основе фотосинтеза лежит фотосинтетический реакционный центр, который улавливает фотоны света и преобразует их в электроны, несущие энергию. Квантовая когерентность означает, что энергия поглощённых фотонов может перемещаться по нескольким путям одновременно. Этот квантовый «поиск» наиболее эффективного маршрута передачи энергии позволяет фотосинтезирующим организмам оптимизировать использование солнечного света.

•Некоторые механизмы, через которые квантовые эффекты могут влиять на биохимию:

Квантовая когерентность атомных ядер. Ядерные спины могут легко стать связанными с другими физическими свойствами, например, с тем, как вибрирует молекула. Когда так происходит, свойства неразличимости воздействуют на всю молекулу целиком. Особенно сильный эффект это явление оказывает на маленькие симметричные молекулы, такие как вода или водород. Такой механизм может играть важную роль, например, в ферментативном катализе, поскольку многие ферменты зависят от водорода, или в фракционировании изотопов.

Влияние электромагнитного поля на скорость ферментативной реакции. Электромагнитное поле существенно влияет на скорость ферментативной реакции через возбуждение низкочастотных колебаний молекул фермента.

Спин-химический механизм. Магнитное поле, воздействуя на квантовое состояние магнитных моментов электронов, изменяет их спиновое состояние, которое является основным химическим фактором. Это может оказать влияние на перераспределение электронов, например, в реакции распада молекулы на свободные радикалы.[6.]

3. КВАНТОВОЕ ТУННЕЛИРОВАНИЕ И МУТАЦИИ

•Квантовое туннелирование — это эффект, при котором квантовые частицы могут проходить через барьеры, высота которых больше, чем энергия частиц.

Объяснение процесса основано на вероятностной природе квантового мира. Как было установлено принципом неопределенности Вернера Гейзенберга, положение и импульс частицы не могут быть известны одновременно. Например, если известно местоположение электрона, то невозможно определить его скорость, а если известна скорость, то нельзя точно установить его положение в пространстве. Из-за этого используются вероятности для «предсказания», где может находиться частица в конкретный момент времени: электрон может иметь большую вероятность оказаться в одном месте, а не в другом. Эти вероятности формируют так называемое «облако вероятностей».

Когда электрон приближается к барьеру с более высокой энергией, в большинстве случаев он не может его преодолеть. Однако из-за вероятностной природы электронов в момент, когда электрон приближается к барьеру, в облаке вероятности все еще существует небольшая вероятность того, что электрон может быть обнаружен на другой стороне барьера. Когда этот малый шанс реализуется и электрон оказывается по ту сторону, это означает, что произошло квантовое туннелирование. Технически электрон не проходит сквозь барьер, потому что в момент квантового туннелирования времени для электрона не существует; это происходит мгновенно.

•Квантовое туннелирование может приводить к спонтанным мутациям в ДНК.

Это физическое явление заключается в том, что квантовые частицы могут спонтанно «телепортироваться» сквозь барьер, на преодоление которого в нормальных условиях у них не имеется достаточного количества энергии.

В случае мутаций ДНК частицы, которые туннелируются из одной области пространства в другую, являются протонами, ядрами атомов водорода. Если такие «прыжки» происходят во время процесса копирования ДНК, который является

частью процесса деления клетки, то копируемая цепочка получает дефект и её последовательность отличается от последовательности исходной молекулы.

•Пример исследования, подтверждающего гипотезу, — изучение обесцвечивания кораллов. Была предположена гипотеза о том, что повышенная температура воды может вызвать обесцвечивание. Её проверили экспериментально на небольшом количестве кораллов в специальных резервуарах.

Чтобы распространить результаты на множество видов кораллов в их естественной среде обитания, экспериментально изменить температуру воды в море было бы невозможно или неэтично. Тогда исследователи создали компьютерную программу, которая предсказывала события обесцвечивания на основе данных о температуре воды в реальном времени. Например, программа предсказывала обесцвечивание, если температура воды превышала среднемесячный максимум на определённое количество градусов.

Эта модель позволила предсказать множество событий обесцвечивания за несколько недель или даже месяцев до их фактического происхождения, включая крупное событие обесцвечивания на Большом Барьерном рифе в 1998 году.

Этот пример показывает, как неэкспериментальные методы могут подтвердить гипотезу, когда экспериментальное тестирование невозможно из-за практических или этических ограничений. [5.]

4. РОЛЬ КВАНТОВОЙ КОГЕРЕНТНОСТИ В ГЕНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССАХ

•Когерентность — это явление согласованности между состояниями или процессами, в основе которого лежит интерференция.

Значение когерентности для биохимических реакций заключается в том, что она позволяет электронам перемещаться по наиболее эффективным путям, не затрачивая энергию на тепло. Согласно квантовой когерентности, электроны могут двигаться в нескольких направлениях одновременно благодаря своим волновым свойствам. Например, когерентные явления играют важную роль в первичных процессах передачи энергии на световых стадиях фотосинтеза. В зависимости от

пространственного расположения хромофоров и энергии взаимодействия между ними перенос энергии может быть как некогерентным, так и когерентным. В первом случае взаимодействие между молекулами минимально, и в каждый момент времени в возбужденном состоянии находится только один хромофор. Передавая энергию соседней молекуле, он возвращается в основное электронное состояние. При сильном взаимодействии хромофоров электронное возбуждение может охватывать сразу несколько молекул — в этом случае говорят об экситонном механизме переноса, который имеет когерентный характер.

•Комплементарность играет ключевую роль в репликации ДНК и других молекулярных процессах. При репликации последовательность синтезируемой цепи ДНК однозначно определяется последовательностью материнской цепи в соответствии с принципом комплементарности. Это свойство не только обеспечивает стабильность и прочность ДНК, но и делает возможными такие процессы, как репликация и транскрипция. В структуре ДНК полинуклеотидные цепи удерживаются друг около друга благодаря образованию водородных связей между азотистыми основаниями нуклеотидов, располагающихся друг против друга. Например, аденин комплементарен тимину, и между ними образуются две водородные связи, а гуанин — цитозину (три водородные связи).

•Некоторые возможные последствия эволюции:

Адаптация. При изменении среды обитания происходит адаптация, что обеспечивает выживание биологического вида.

Образование новых видов. Протекающие в течение длительного времени эволюционные процессы могут привести к образованию новых видов и их дальнейшей дивергенции.

Вымирание целых видов. Изменчивость окружающей среды может быть быстрее эволюции, поэтому многие виды погибают, не успев эволюционировать.

Распад генома. Скорость пагубных мутаций может быть высока, а естественный отбор неэффективен в устранении повреждений.

Также есть предположение, что изменение условий жизни на планете, вызванное, в том числе деятельностью человека, приведёт к вымиранию одних видов живых существ и появлению новых. [4.]

5.ЕСТЕСТВЕННЫЙ ОТБОР И ГЕНЕТИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ

•Квантовые эффекты могут увеличивать генетическое разнообразие, вызывая спонтанные мутации в ДНК.

Учёные из Университета Суррея продемонстрировали, что атомы водорода, соединяющие две цепи молекулы ДНК, непрерывно туннелируют, очень быстро перемещаясь от одной цепи молекулы к другой. В результате, когда ДНК распадается на отдельные нити, часть протонов оказывается не на той стороне, что приводит к ошибке. Протоны в ДНК могут туннелировать вдоль водородных связей и изменять основания, которые кодируют генетическую информацию. Изменённые основания называются «таутомерами» и могут пережить процессы разбиения и репликации ДНК, вызывая «ошибки транскрипции» или мутации.

•Некоторые факторы, влияющие на скорость эволюционных процессов:

Численность популяции. В больших популяциях скорость эволюции выше, так как меньше влияние дрейфа генов и сильнее действие отбора.

Продолжительность поколений. Чем она короче, тем быстрее идёт эволюция.

Структура популяции. В случайно организованных популяциях для закрепления новой мутации требуется меньше времени, чем в строго организованных.

Степень благоприятности условий. Если условия крайне благоприятны, то у случайной мутации мало шансов повысить приспособленность, следовательно, полезные мутации будут возникать редко — темп адаптивной эволюции будет низким. В неблагоприятных условиях вероятность того, что случайная мутация окажется полезной, выше, следовательно, полезные мутации будут возникать чаще.

Наличие свободных ниш. Например, если образуется новое большое озеро, и туда попадают представители 1–2 видов рыб, можно ожидать быструю эволюцию и

видообразование в течение первых десятков–сотен тысячелетий. Затем все легкодоступные, «очевидные» ниши будут заняты, и темп эволюции замедлится.

Географический фактор. Например, высота обитания млекопитающих и птиц влияет на скорость их эволюции и увеличение биоразнообразия. По мере увеличения высоты температура окружающей среды обычно понижается, и, чтобы привыкнуть к этим изменениям, видам нужно активно адаптироваться.

6. ПРАКТИЧЕСКИЕ ПРИМЕРЫ И ИССЛЕДОВАНИЯ

•Некоторые примеры организмов, у которых наблюдаются квантовые эффекты:

Бактерии. В эксперименте учёных Оксфордского университета, проведённом в 2016 году, удалось запутать бактерий с фотонами — частицами света. Для этого несколько сотен фотосинтезирующих зелёных серных бактерий поместили между двумя зеркалами и пустили белый свет между ними. В результате некоторые фотоны одновременно поражали и пропускали фотосинтетические молекулы внутри бактерий — это был отличительный признак запутывания.

Птицы. Квантовые эффекты лежат в основе способности перелётных птиц ориентироваться в магнитном поле Земли. На сетчатке глаз птиц находятся специальные белки-рецепторы, которые активируются солнечным светом. Фотоны выбивают электроны из молекул этих белков, превращая их в свободные радикалы. Эти радикалы получают заряд и начинают реагировать на магнитное поле, подобно магнитам. Изменение магнитного поля может переключать пару радикалов между двумя состояниями, которые существуют одновременно. Считается, что птицы способны ощущать различия между этими «квантовыми скачками» и корректировать свой курс в зависимости от них. [2.]

7. ПЕРСПЕКТИВЫ И ВЫЗОВЫ

•Некоторые будущие направления исследований в области квантовой биологии:

Изучение квантовых явлений в биологических молекулах. Квантовая теория описывает, как ферменты и белки могут обрабатывать информацию и преобразовывать энергию на уровне одного атома или иона. Эти процессы играют

центральную роль в работе клеток и раскрывают новые возможности в области разработки лекарств и терапевтических методов.

Квантовая нейробиология. Комплексная система нервных импульсов и сигналов в организме человека может быть более эффективно описана и понята с использованием квантовой физики. Некоторые исследования показывают, что квантовые эффекты могут играть роль в передаче информации и обработке сигналов между нейронами, открывая новые возможности в области понимания мозговой деятельности и лечения неврологических заболеваний.

Диагностика и обнаружение болезней. Некоторые исследования показывают, что квантовые системы могут быть использованы для обнаружения раковых клеток или инфекций на ранних стадиях развития. Это предлагает новые возможности для более точной и ранней диагностики, что способствует более эффективному лечению и профилактике заболеваний.

Также перспективным направлением считается технология управления свойствами и функциями живых клеток и тканей.

Ещё одна задача будущих исследований — понять, как во влажной и шумной среде (например, в белке, мембране, клетке и целом организме) сохраняются «идеальные» законы квантовой физики.

•Некоторые возможные вызовы и ограничения в изучении квантовых эффектов в биологических системах:

Трудность выделения и контроля квантовых эффектов в сложной и постоянно меняющейся среде. Малейшее внешнее воздействие может привести к потере квантовой когерентности системы.

Масштаб и сложность биологических систем. Они могут затруднить применение традиционных квантовомеханических моделей и теорий.

Влияние окружающей среды. Она имеет динамические зарядовые, магнитные (спиновые) и колебательные (вибрационные) степени свободы, которые взаимодействуют с квантовой сетью и влияют на протекающие в ней процессы.

Влияние тепловых флуктуаций. Случайные движения атомов, формирующих биомолекулярные объекты, а также входящих в состав окружающей среды, могут подавлять когерентное волновое движение электрона.[3.]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

•Некоторые выводы о значении квантовых эффектов для понимания эволюции:

1. Значение квантового туннелирования в ферментативных реакциях. Это явление позволяет частицам, таким как электроны или протоны, преодолевать энергетические барьеры, которые классическая физика считала бы непреодолимыми. Квантовое туннелирование может увеличить скорость реакции.
2. Влияние квантовых вихрей на эволюцию макромира. Появившись однажды, квантовые вихри способны усложняться и развиваться. Когда таких вихрей становится много, они переплетаются, инициируя эволюцию объектов больших размеров.
3. Квантовые модели возникновения жизни и эмбрионального развития живого организма. Например, предложена квантовая модель мейоза и морфогенеза эмбриона от зиготы до новообразований путём телепортации квантового состояния ДНК.
4. Исследования учёных Объединённого института высоких температур (ОИВТ) РАН. В экспериментах с частицами сверхпроводящей керамики в сверхтекучем гелии было продемонстрировано, что квантовые эффекты можно применять для управления эволюцией. Это открывает возможности для решения фундаментальных задач изучения процессов возникновения, развития и эволюции сложных макроскопических объектов как живой, так и неживой природы, а также для поиска общих физических закономерностей и механизмов эволюции.

•Важность дальнейших исследований в области биологии для расширения знаний о жизни на Земле заключается в следующем:

Понимание происхождения жизни. Развитие биохимических методов и современных аналитических приборов позволяет получить новое понимание

процессов, которые произошли более чем 3 миллиарда лет назад и положили начало жизни на Земле.

Выявление факторов, механизмов и закономерностей функционирования живых систем. Это помогает понять ход эволюционного процесса в органическом мире в прошлом и прогнозировать его перемены в будущем.

Изучение биологического разнообразия и биоресурсов. Такие исследования необходимы для создания новых биологических коллекций и разработки новых биотехнологий (для сельского, лесного и рыбного хозяйства, фармацевтики, сохранения окружающей среды и др.).

Понимание условий, при которых жизнь может развиваться не только на Земле, но и в других уголках космоса. Если изучить факторы, благодаря которым жизнь процветает на нашей планете, легче будет разобраться с условиями, при которых она может развиваться и в других уголках космоса.

Библиографический список :

- [1.] Гинзбург И. Ф. Основы квантовой механики (нерелятивистская теория). — М.–Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2018.
- [2.] Емелин, А. В. Физика / А. В. Емелин, С. Н. Харченко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2021. – 146 с. – ISBN 978-5-907516-22-9. – EDN RWJUVG.
- [3.] Емелин, А. В. Физика: механика движения материальных тел и их взаимодействий : Учебное пособие / А. В. Емелин, С. Н. Харченко. – Краснодар : Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – 88 с. – ISBN 978-5-907668-75-1. – EDN OSFWNA.
- [4.] Сюракшина А. В., Салеева В. А., Юшанхая В. Ю. Квантовые модели в биологии // Вестник Самарского университета. Естественнонаучная серия. - 2022.

[5.] Горетая С.Е. Квантовое туннелирование: вопросы теории и практики // Международный студенческий научный вестник. - 2024

[6.] Казначеев В.П. , Кузнецов П. Г., Набиулин М. С, Субботин М. Я. Некоторые проблемы квантовой биологии и вопросы передачи информации в биологических системах // «Автоматика» (СО АН СССР). – 1965. - №2. - с. 3–10.

Оригинальность 76%