**«Эволюция глазами физиков. Возникновение жизни»**(межфакультетский курс, 30 часов)

Лектор Копцик Сергей Владимирович

**Аннотация**

Курс предназначен для студентов всех естественных специальностей, главным образом не биологов, и тех студентов-биологов, кто хочет расширить свои представления об эволюции «сторонним» взглядом физиков на область знания, изучаемую биологами на более высоких, надмолекулярных уровнях. Он не требует специальной предварительной подготовки по биологии или физике.

Цель курса состоит, с одной стороны, в расширении естественнонаучного мировоззрения слушателей в области живой природы, минимально необходимого для университетского образования. А с другой стороны, мы хотим показать, что возникновение инструктированного молекулярного синтеза, или возникновение жизни, является не столько чудом, сколько, скорее, хотя пока и не полностью экспериментально подтвержденным, но вполне закономерным этапом наших теоретических представлений о молекулярной эволюции. Курс стремится заложить основу, необходимую для дальнейшего самостоятельного развития слушателей в области наук о жизни, перебросить мостики между уже полученными ими базовыми физическими знаниями и представлениями о жизни и биосфере. Анализируется применимость методологии точных наук и принципиальные ограничения, накладываемые все более часто используемой в эволюционных работах методологией точного знания.

Наряду с рассмотрением базовых понятий об эволюции, в лекциях излагаются отдельные вопросы использования физических подходов в этих науках. Основные принципы самоорганизации рассматриваются как суть эволюции от изначального хаоса неживой материи до сложных живых систем, существующих в условиях постоянно изменяющейся среды. Основное внимание уделяется анализу эволюции на молекулярном уровне, возникновению и усложнению неорганических соединений, возможности возникновения относительно сложных органических соединений в условиях первобытной Земли и экспериментальному обоснованию возникновения пребиотических соединений (большинства современных метаболитов) в опытах Миллера-Юри и других исследователей. Разбираются физические ограничения случайного синтеза, обосновывается принципиальная невозможность случайной самосборки современных информационных молекул. Теоретическая модель, предложенная советским и российским физиком Д.С. Чернавским, рассматривается как звено, соединяющее наши представления о домолекулярной, пребиологической молекулярной и надмолекулярной эволюции в единую логическую цепь. Рассматриваются феноменологическая теория отбора Эйгена и гипотетические сценарии возникновения сложных информационных макромолекул; азы представлений о современной живой клетке и экспериментальные успехи последних лет на пути создания протоклетки.

**Эволюция глазами физиков. Возникновение жизни**

Программа межфакультетского курса

Лектор Копцик Сергей Владимирович

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Лек-ции | Темы лекций | Часы |
| 1. | Биосфера как открытая термодинамическая система. "Живая" и "неживая" части биосферы, их взаимосвязь и совместная эволюция. | 2 |
| 2-3. | Химическая эволюция. Эксперименты по синтезу пребиотических молекул в модельных условиях первобытной Земли. Синтез пребиотических молекул в открытом космосе. Возникновение относительно сложных органических молекул без участия органических ферментов как физическая неизбежность. Синтез и распад как два параллельных конкурирующих процесса, ограничивающих уровень сложности случайно возникающих соединений. | 4 |
| 4. | Становление представлений о молекулярном устройстве современной жизни (краткий исторический экскурс). | 2 |
| 5. | Развитие феноменологических представлений о биологической эволюции в 20-ом веке. Синтетическая теория эволюции. | 2 |
| 6-7. | Биохимическая эволюция. Современное состояние: сложность молекулярных и клеточных структур живой материи. Значение генетической информации для синтеза биомолекул. Принципиальная невозможность случайного синтеза сложных биомолекул. Представления об автокатализе и его значение для эволюции макромолекул. Гигантские изменения скорости синтеза при усложнении катализаторов. | 4 |
| 8. | Эволюционный подход как альтернатива представлениям о случайном синтезе. Гипотеза об эволюции органоминеральных комплексов. Индуцированный синтез сложных органических молекул на неживых структурах (эксперименты Кацира). |  |
| 9. | Фото- и хемосинтетики – два домена жизни (по источнику энергии). «Черные курильщики». Сценарий Вехтерхойзера пребиотического синтеза вблизи глубоководных гидротермальных источников. | 2 |
| 10. | Феноменологическая теория гиперциклов Эйгена. Критерий отбора как физическое определение дарвиновского понятия наиболее приспособленного на макромолекулярном уровне. Характерная динамика эволюции гиперциклов. Квазивиды. | 4 |
| 11. | Ограничения детерминистического подхода. Флуктуационная катастрофа. Выживание не только наиболее приспособленных как характерная черта систем с ограниченным (параболическим) размножением. Необходимость дополнительных условий и ограничений (напр., компартментализация) для селекции и дрейфа. | 2 |
| 12. | Гипотетический сценарий первичного синтеза белка-репликазы, возникновение белков-адаптеров и первичных гиперциклов (по Чернавскому) как «снятие» проблемы комбинаторно малой вероятности возникновения жизни. | 2 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Лек-ции | Темы лекций | Часы |
| 13. | Сложность аминокислот как отражение эволюции генетического кода. Незавершенность эволюции генетического кода как свидетельство о смещении основных современных эволюционных процессов на более высокие уровни организации материи. | 2 |
| 14. | Макро- и микроинформация, кодовая и смысловая информация, ценность информации. Микроинформация и энтропия. Информационный характер синтеза биомолекул как ключевой момент определения жизни с физической точки зрения. | 2 |
| 15. | Синтетическая биология и постгеномная эволюция. Синтия ‑ первая бактерия с полностью синтетическим геномом. Построение белков не только из природных аминокислот. Взаимоотношения искусственных систем с биологическим миром ‑ уже реальный вопрос эволюции. Экспериментальные успехи последних лет на пути синтеза протоклетки. | 2 |

**Вопросы к зачету по межфакультетскому курсу**

1 Охарактеризуйте развитие феноменологических представлений о биологической эволюции в XX веке.

2 Дайте определение свободной энергии. Поясните физический смысл использования слова «свободная» в этом термине. Как свободная энергия определяет направление самопроизвольной эволюции системы?

3 Охарактеризуйте фото- и хемосинтетики – два домена жизни (по источнику энергии).

4 Дайте определение дарвиновского понятия наиболее приспособленного на макромолекулярном уровне.

5 Дайте краткую характеристику молекулярного устройства современной жизни.

6 Охарактеризуйте возможную роль твердых тел в возникновении первичного инструктированного синтеза.

7 Докажите, что нарушение чистоты хиральности биомолекул может быть губительным для современных живых организмов.

8 Поясните, что такое автокатализ и его значение для эволюции макромолекул.

9 Дайте определение кодовой и смысловой информации, ценности информации.

10 Поясните, могут ли представления о молекулярной эволюции быть альтернативой представлениям о случайном синтезе.

11 Дайте краткую характеристику взаимосвязи случайности и необходимости в жизни и эволюции.

12 Кратко охарактеризуйте типы термодинамических систем. Приведите примеры.

13 Охарактеризуйте основные ограничения детерминистического подхода (в рамках теории гиперциклов Эйгена).

14 Дайте краткую характеристику понятия «жизнь» с физической точки зрения.

Список литературы:

1. М. Эйген. Самоорганизация материи и эволюция биологических макромолекул. M.: Мир, 1973.

2. Ю.М. Романовский, Н.В. Степанова, Д.С. Чернавский. Математическая биофизика. M.: Ижевск, 1984.

3. Е. Кунин. Логика случая. О природе и происхождении биологической эволюции. М.: Центрполиграф, 2017. 527 С.

4. Д.С. Чернавский. Проблема происхождения жизни и мышления с точки зрения современной физики. УФН, 2000, 170 (2), 157-183.

5. В.П. Реутов, А.Н. Шехтер. Как в XX веке физики, химики и биологи отвечали на вопрос: что есть жизнь? УФН, 2010, 180 (4), 393-414.