



ЖИВОЕ

От принципов к механизмам

В.А. Твердислов

КОЛЛОКВИУМ

*«Земля на ранних этапах развития
солнечной планетной системы»*

28-30 ноября 2016 г., ГАИШ, МГУ, Москва



**Естественный отбор в
биологии происходит по
физическим критериям**

***«Насколько я знаю, все физические результаты
a priori имеют свои источники в симметрии»***

Герман Вейль

***«Развитие Вселенной с момента ее возникновения выглядит
как непрерывная последовательность нарушений симметрии...
Феномен жизни естественно вписывается в эту картину».***

Фриман Дж. Дайсон

***«Присущая явлениям симметрия – это максимальная симметрия,
совместимая с существованием явления. Определенные элементы
симметрии могут сосуществовать с определенными явлениями,
но они не являются необходимыми; необходимо лишь отсутствие
определенных элементов симметрии.
Именно асимметрия создает явление»***

Пьер Кюри (1894)

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ, СВЯЗАННЫЕ С СИММЕТРИЕЙ И АСИММЕТРИЯМИ

- Дискретность
- Термодинамическая неравновесность
- Хиральность
- Нелинейность
- Иерархичность
- Машинность

*«Through the Looking-Glass,
and What Alice Found There»
Lewis Carroll (1871)*

Хиральность (*χειρ* = *рука*) — свойство молекулы или объекта быть несовместимым со своим зеркальным отображением при любых комбинациях перемещений и вращений в трёхмерном пространстве.

В энантиомере (энантиоморфе) отсутствует симметрия относительно сторон и осевая симметрия.

$IX = IV + V$



$V + VI = XI$

В живых системах можно выделить две главные асимметрии: хиральную - молекулярную и ионную – клеточную. Будучи физическими по существу, они имеют фундаментальное биологическое значение.

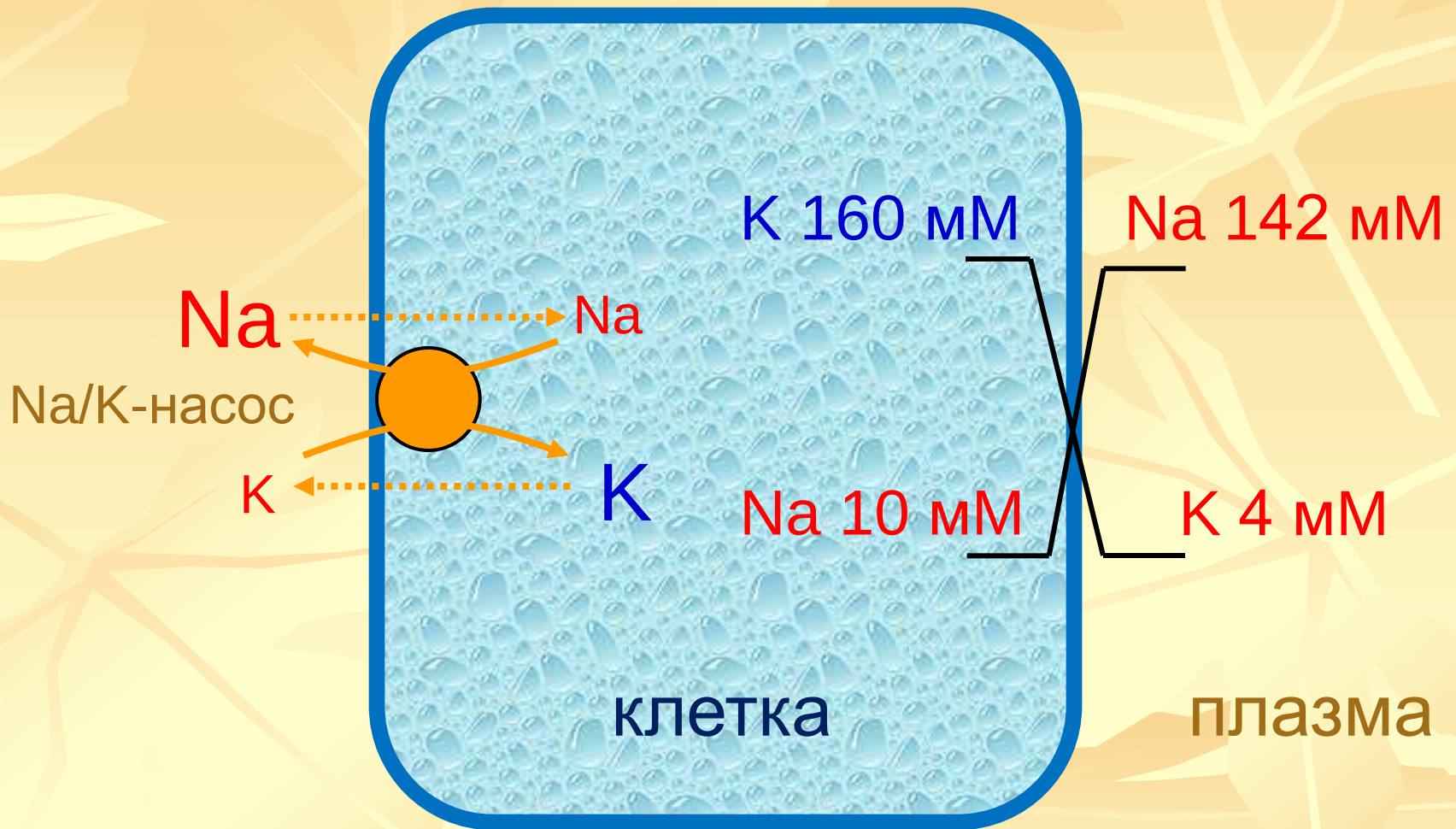
Хиральная асимметрия определяет иерархичность, нелинейность, функционирование машин. макромолекулярных структур, их специфичность взаимодействия, биологических молекулярных машин.

Ионная асимметрия определяет термодинамическое неравновесие элементарных дискретных живых систем – клеток и их органелл.

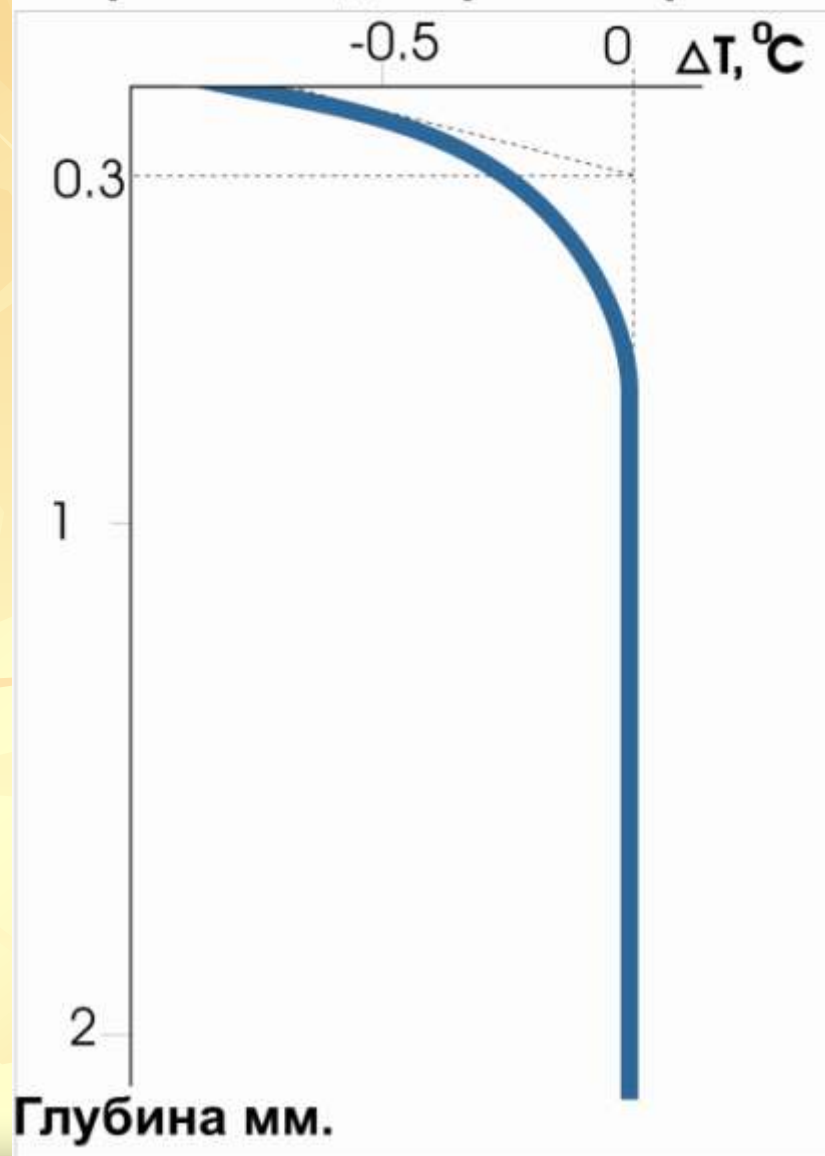
Концентрации ионов в морской воде, гигантском аксоне кальмара, клетках сердечной мышцы (mM)

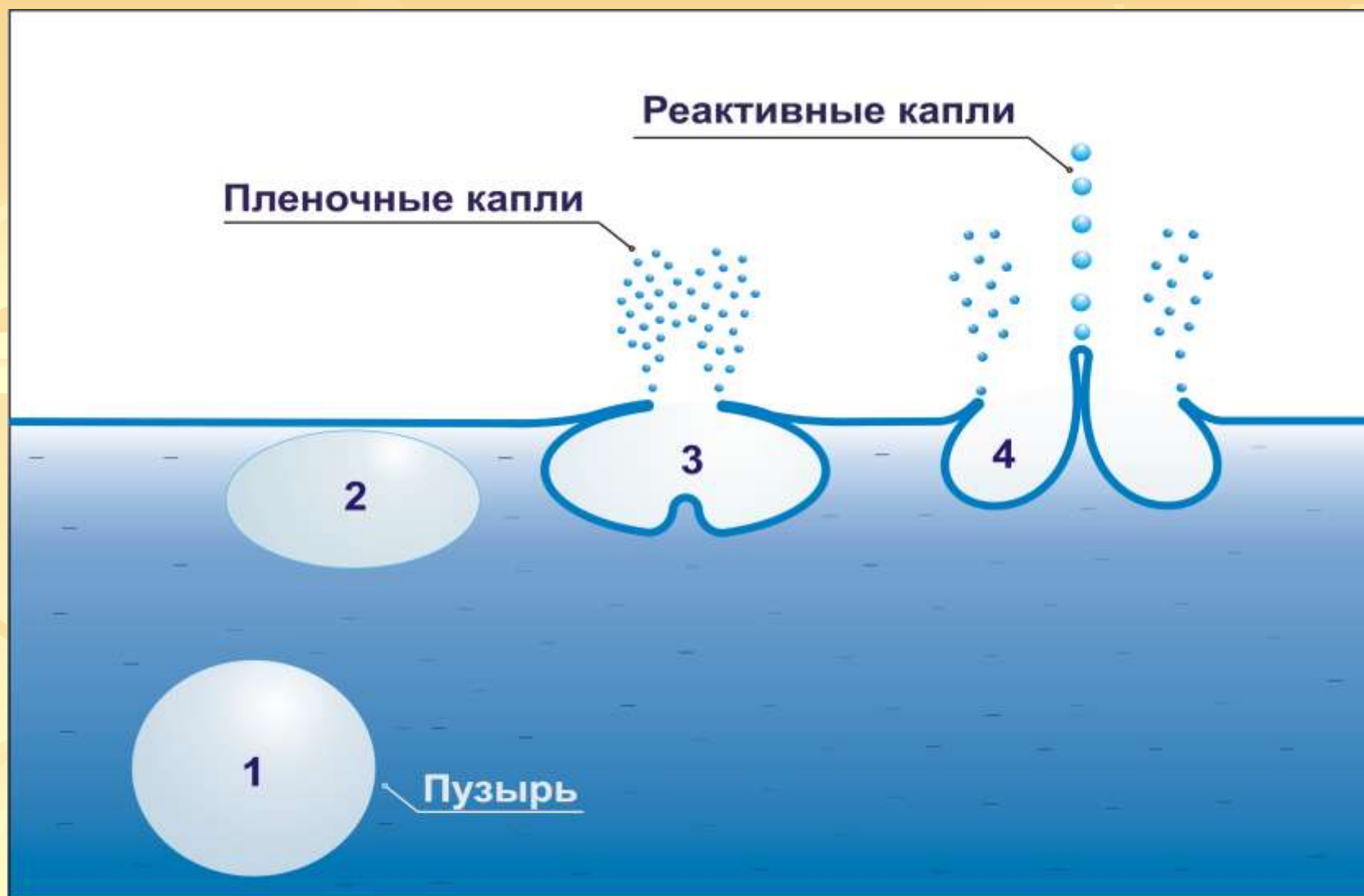
		Гигантский аксон кальмара		Клетка сердечной мышцы	
ИОН	Морская вода	Кровь	Аксоплазма	Внеклеточная концентрация	Внутриклеточ. концентрация
Na^+	468.02	440	50	145	12
K^+	10.21	20	400	4	140
Mg^{2+}	53.34	54	10	1.5	0.8
Ca^{2+}	10.20	10	10^{-4}	2	10^{-4}
Cl^-	545.87	560	40	115	4

Ионная асимметрия



Зависимость температуры поверхностного слоя морской воды при испарении





**Механизм образования аэрозоля при
барботировании поверхности раствора.**

1-4 последовательные стадии разрушения пузырька на поверхности

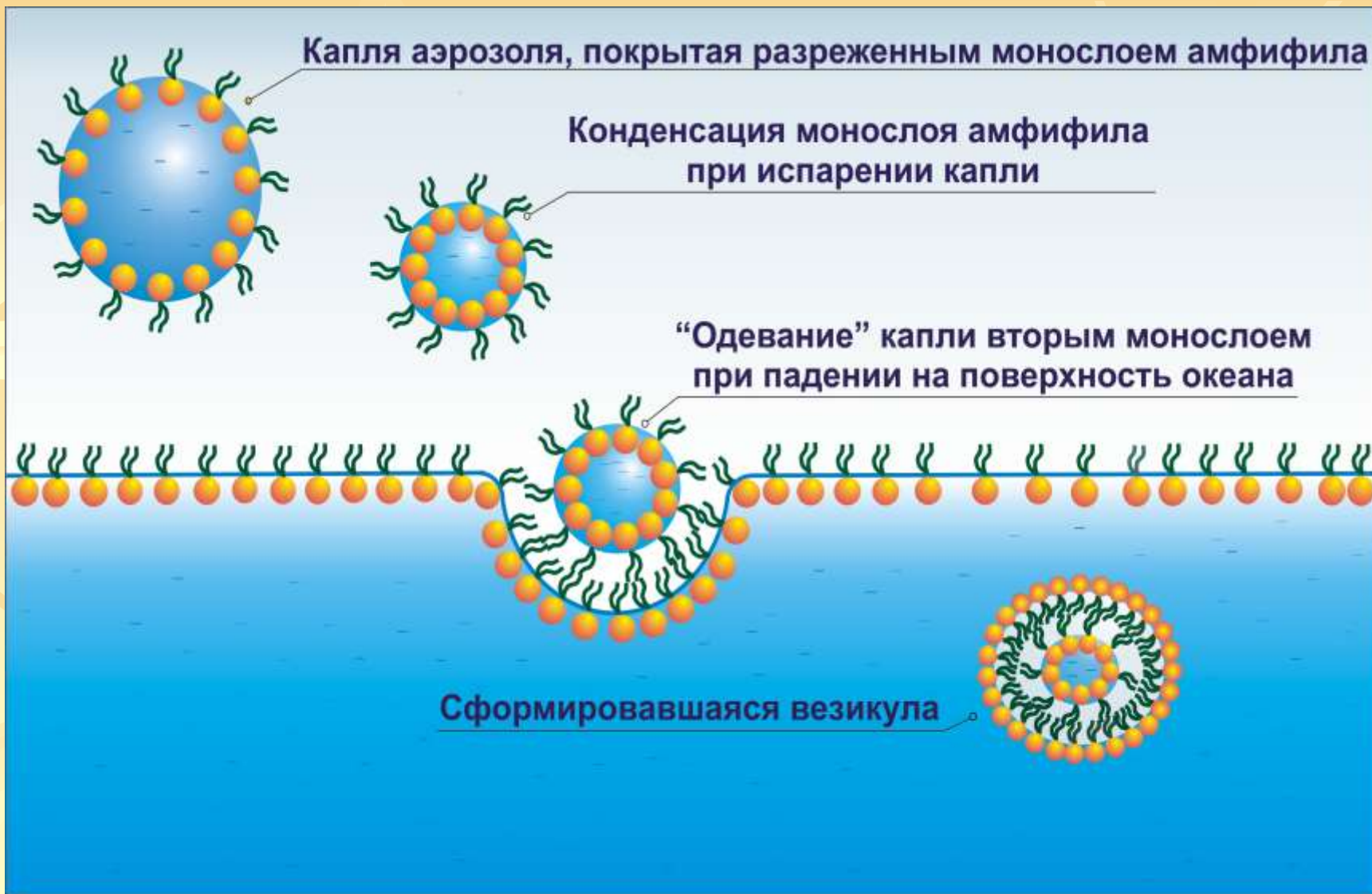
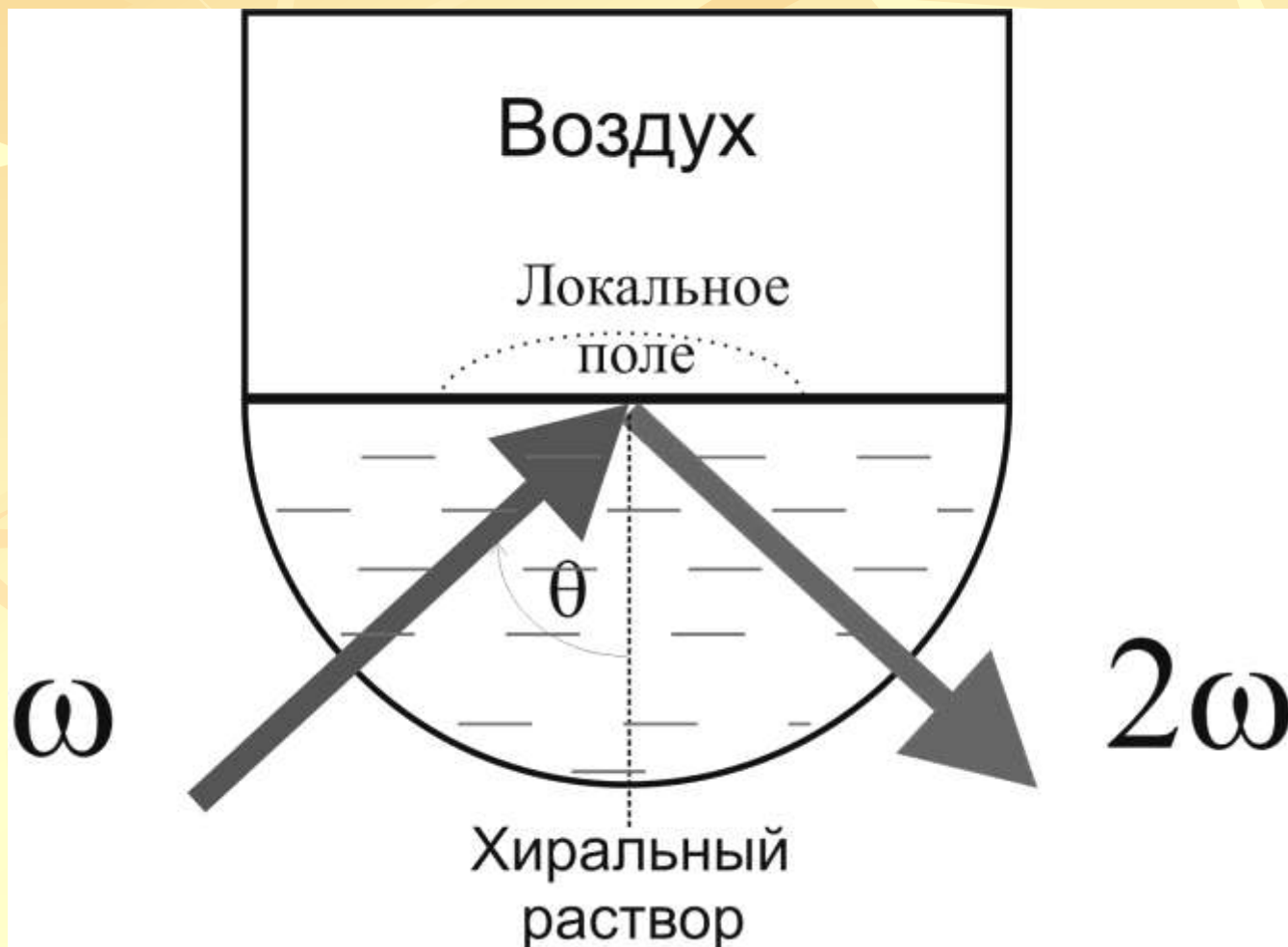


Схема образования бислойной липидной везикулы при падении капли аэрозоля на поверхность воды океана

Схемы эксперимента по исследованию оптических свойств второй гармоники, генерируемой при отражении от поверхности изотропного раствора хиральных молекул



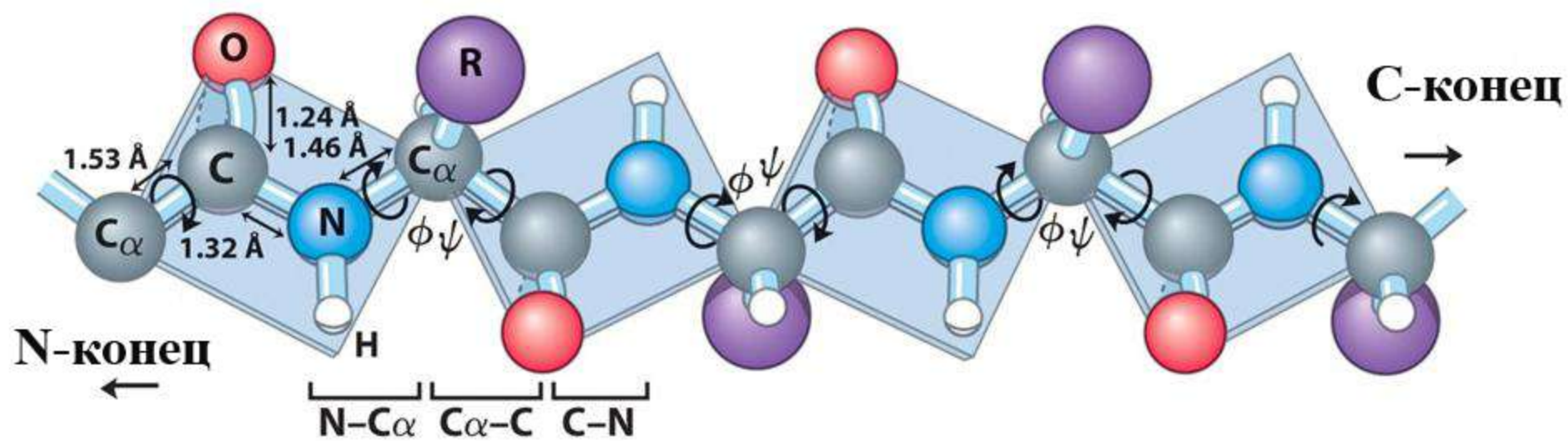
ХИРАЛЬНОСТЬ – НЕ КУРЬЁЗ, А ВАЖНЕЙШИЙ ИНСТРУМЕНТ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭВОЛЮЦИИ !

Хиральность всех классов биомакромолекул не является простым следствием исходного выбора природой атома углерода в качестве главного и универсального элемента органической химии.

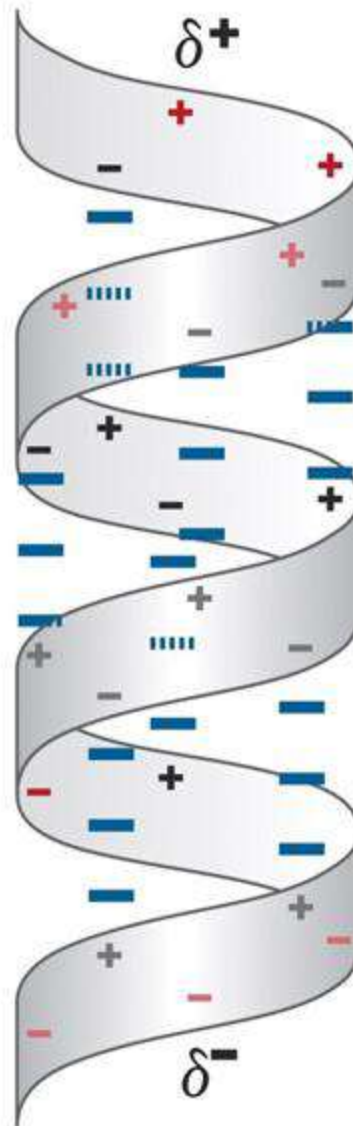
Наоборот: исходный выбор углерода был эволюционно обусловлен общим физическим принципом построения биологических структур – требованием иерархичности их организации на основе хирального дуализма базовых соединений углерода.

Хиральный дуализм базовых соединений углерода служит физической основой спонтанного формирования иерархических знакопеременных внутри- и межмолекулярных хиральных структур в белках и нуклеиновых кислотах.

Просматривается
закономерная смена знака
хиральности
L-D-L-D
при переходе на более
высокий уровень
структурно-функциональной
организации белковых
структур



N-конец

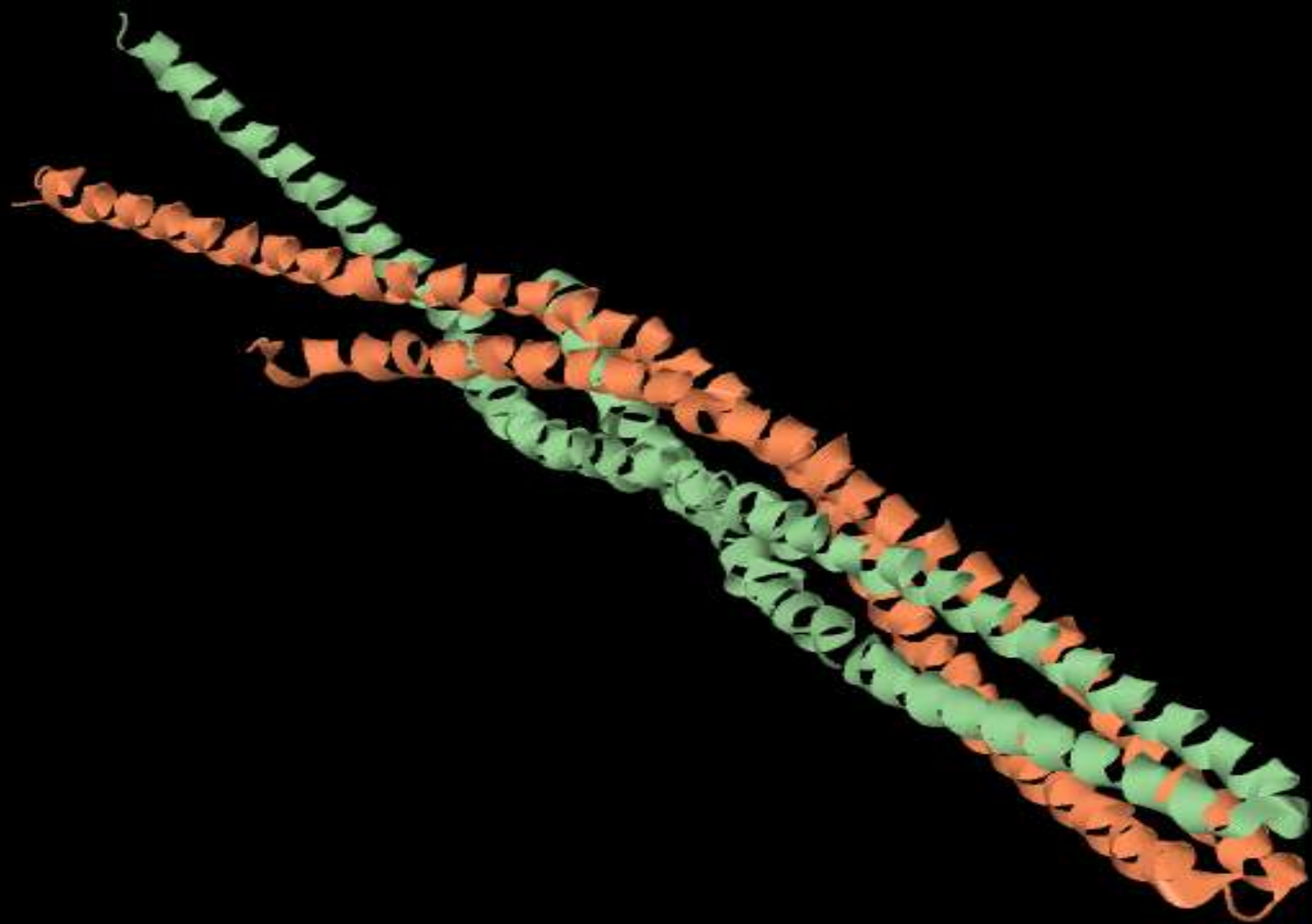


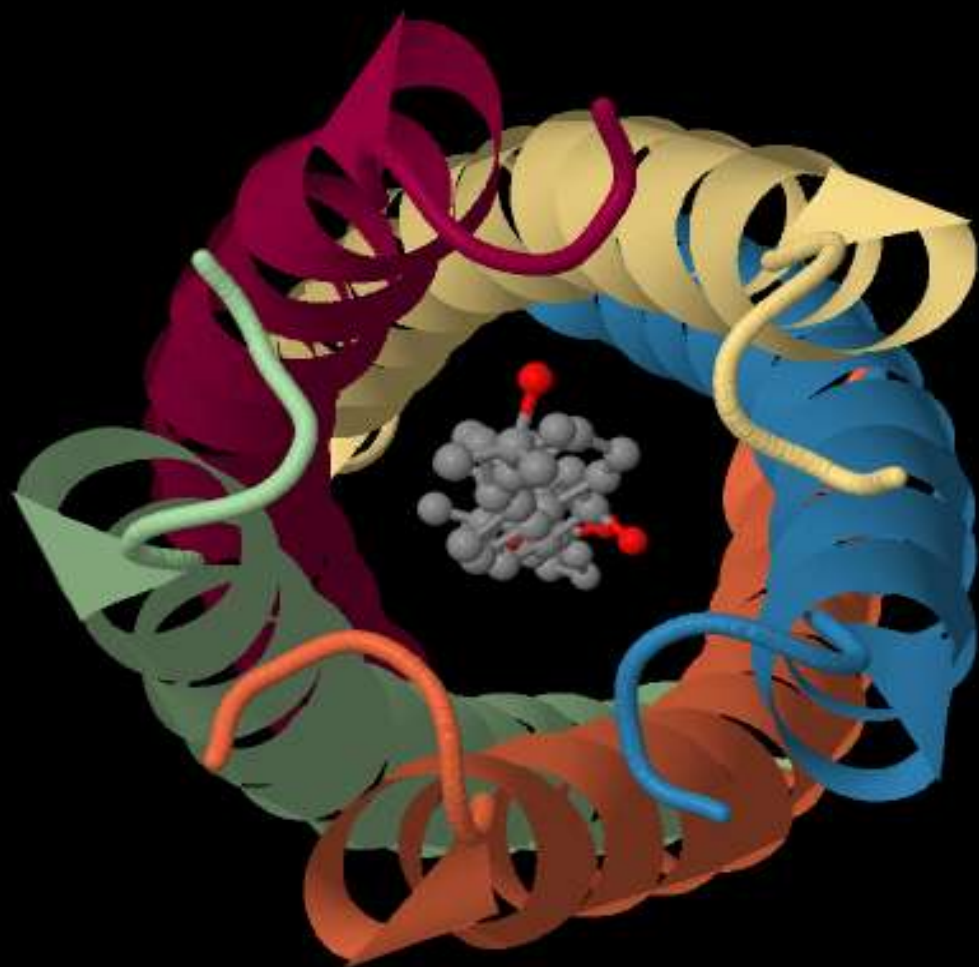
C-конец

Структура кератинового микрофиламента









Белок-белковые взаимодействия

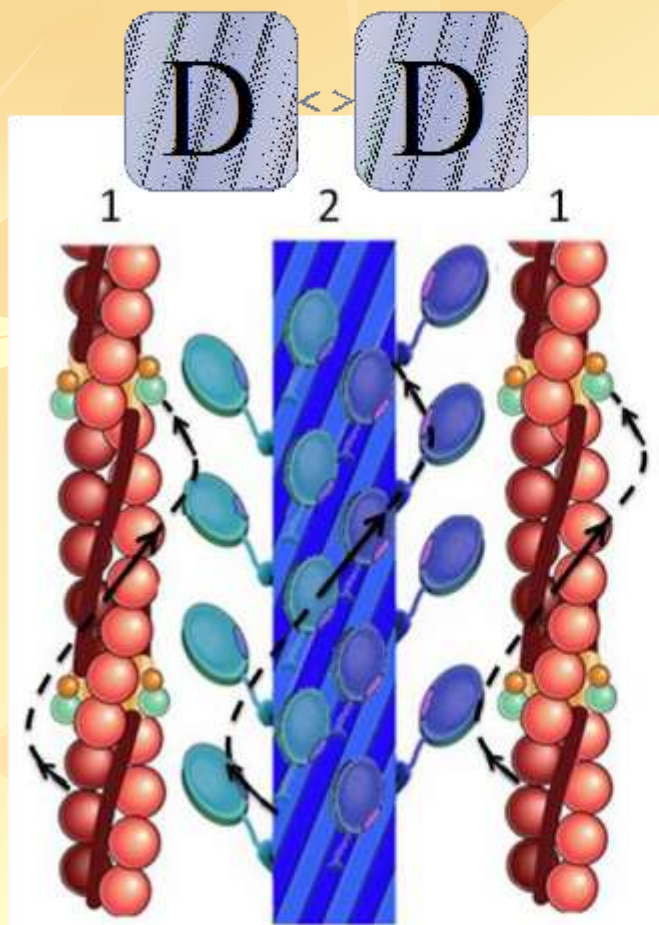


Рис. 1. Схема структуры взаимодействия актиновой фибриллы (1) с миозиновой фибриллой (2). Пунктирными стрелками показаны направления спирализации.

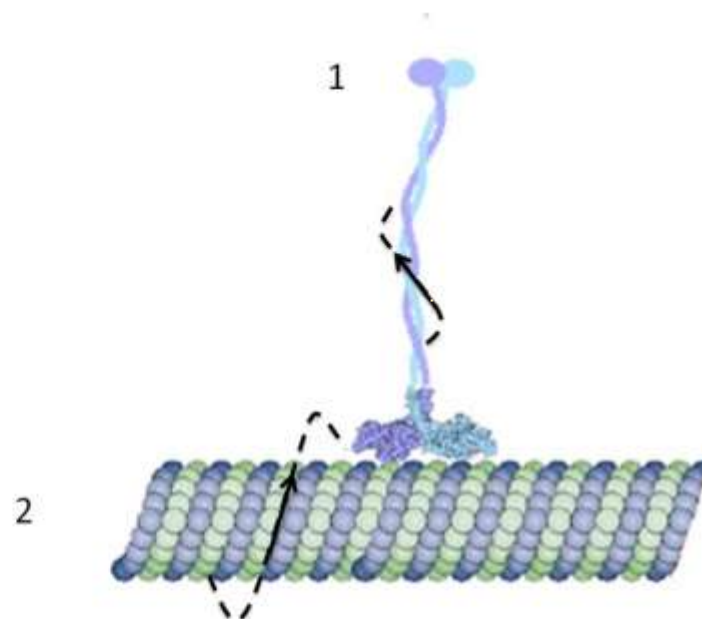
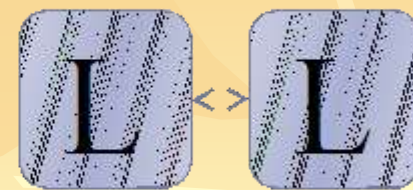
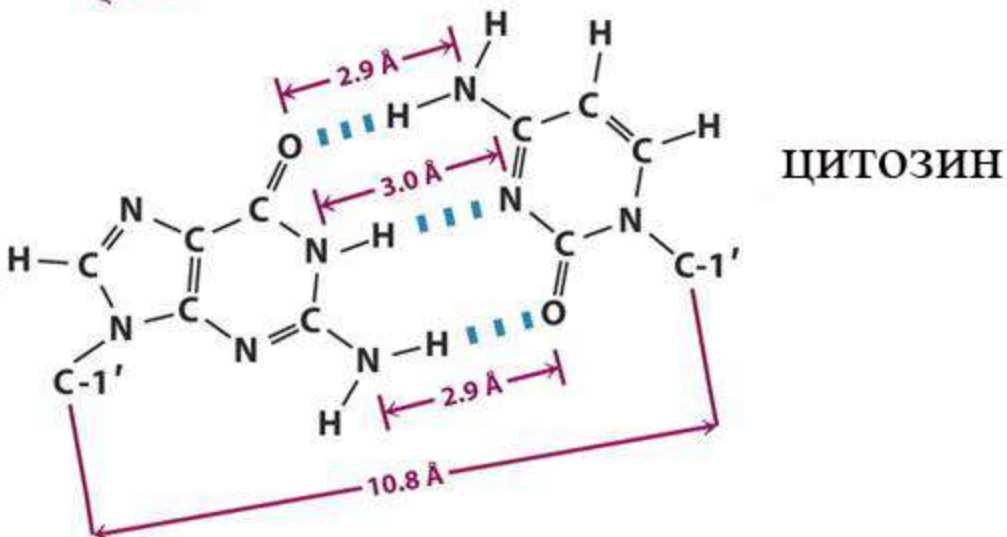
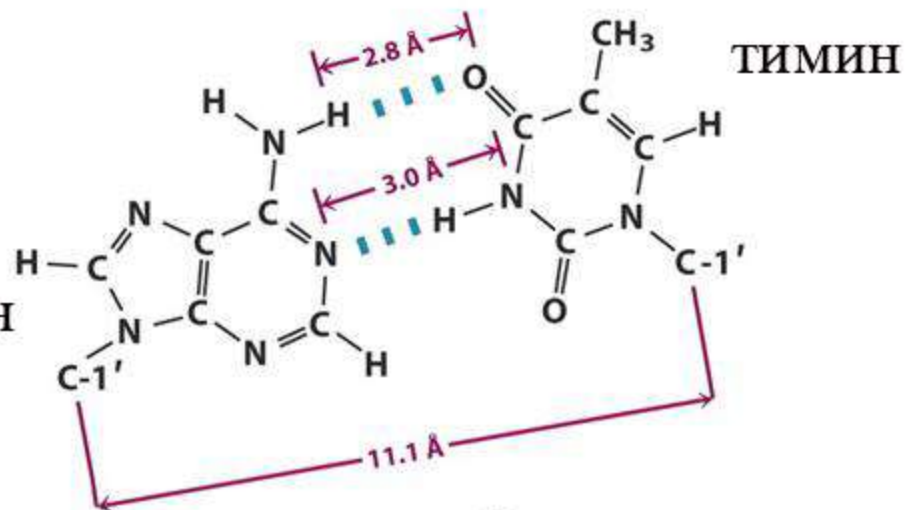
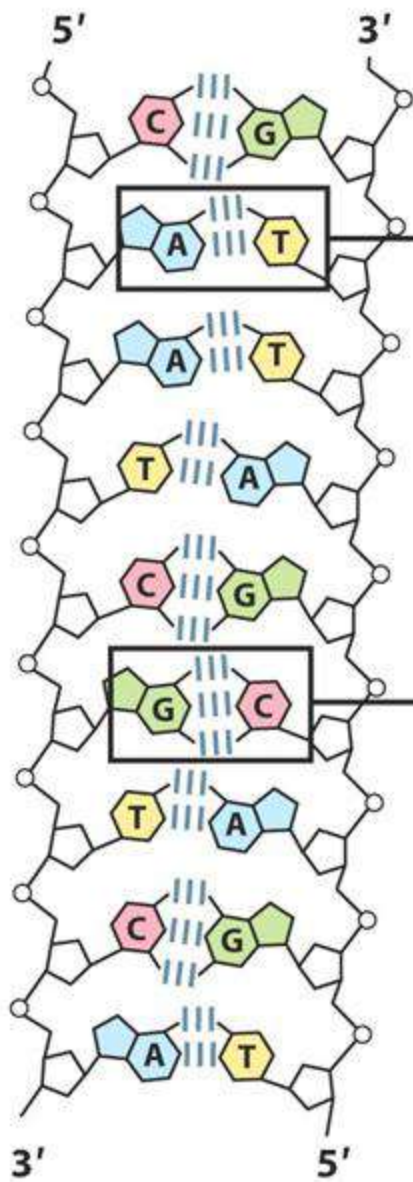
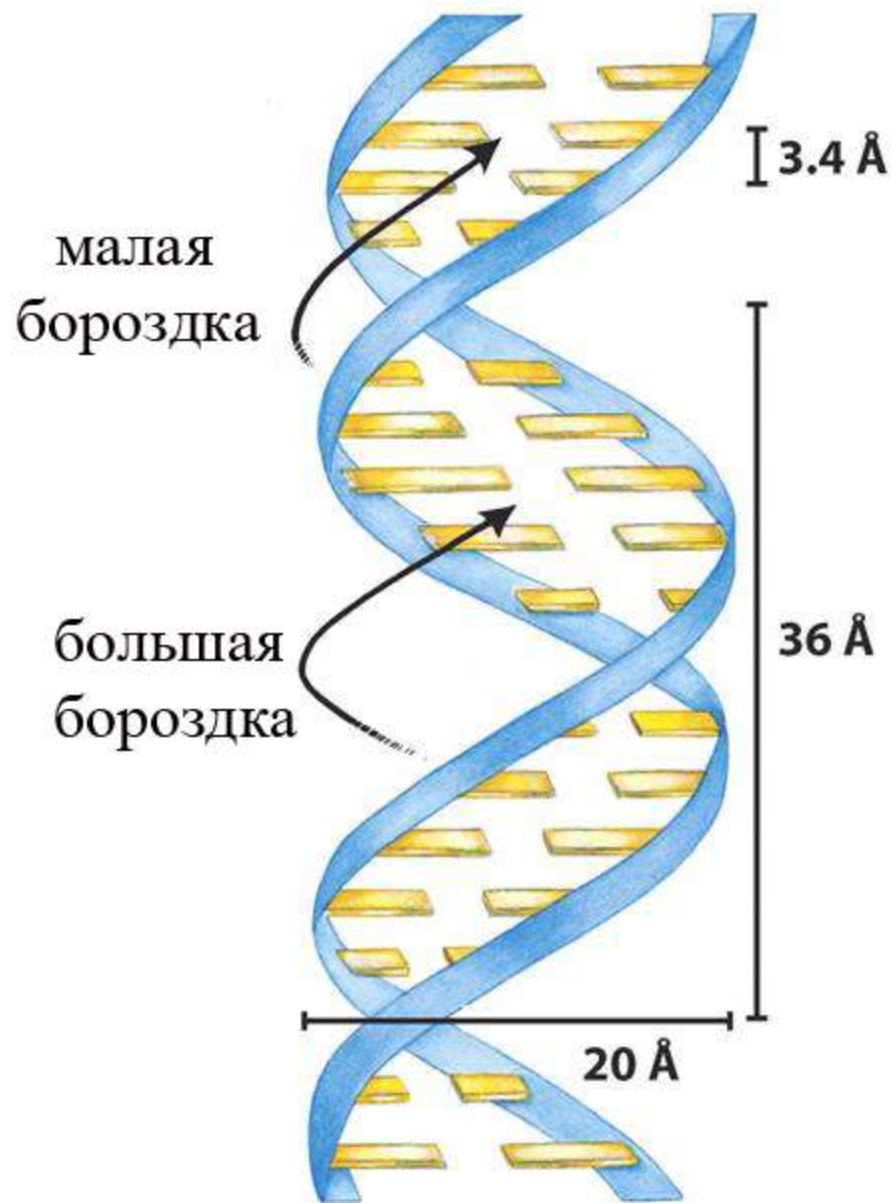


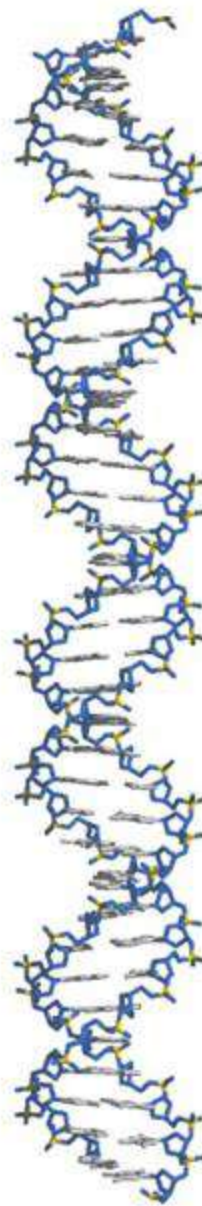
Рис. 2. Схема структуры взаимодействия кинезина(1) с микротрубочкой (2). Пунктирными стрелками показаны направления спирализации.

Просматривается
закономерное чередование
знака хиральности
D-L-D-L
при переходе на более
высокий уровень
структурно-функциональной
организации ДНК.

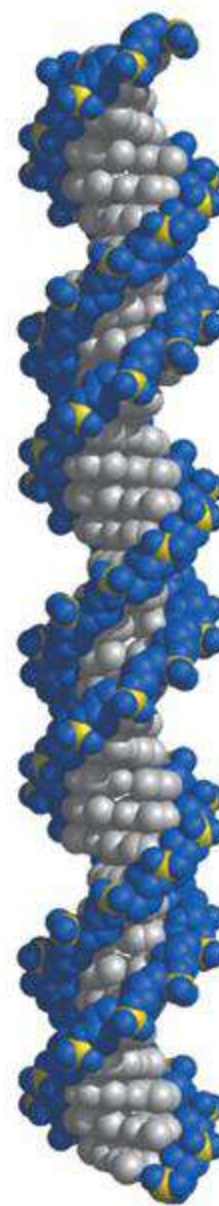




(a)

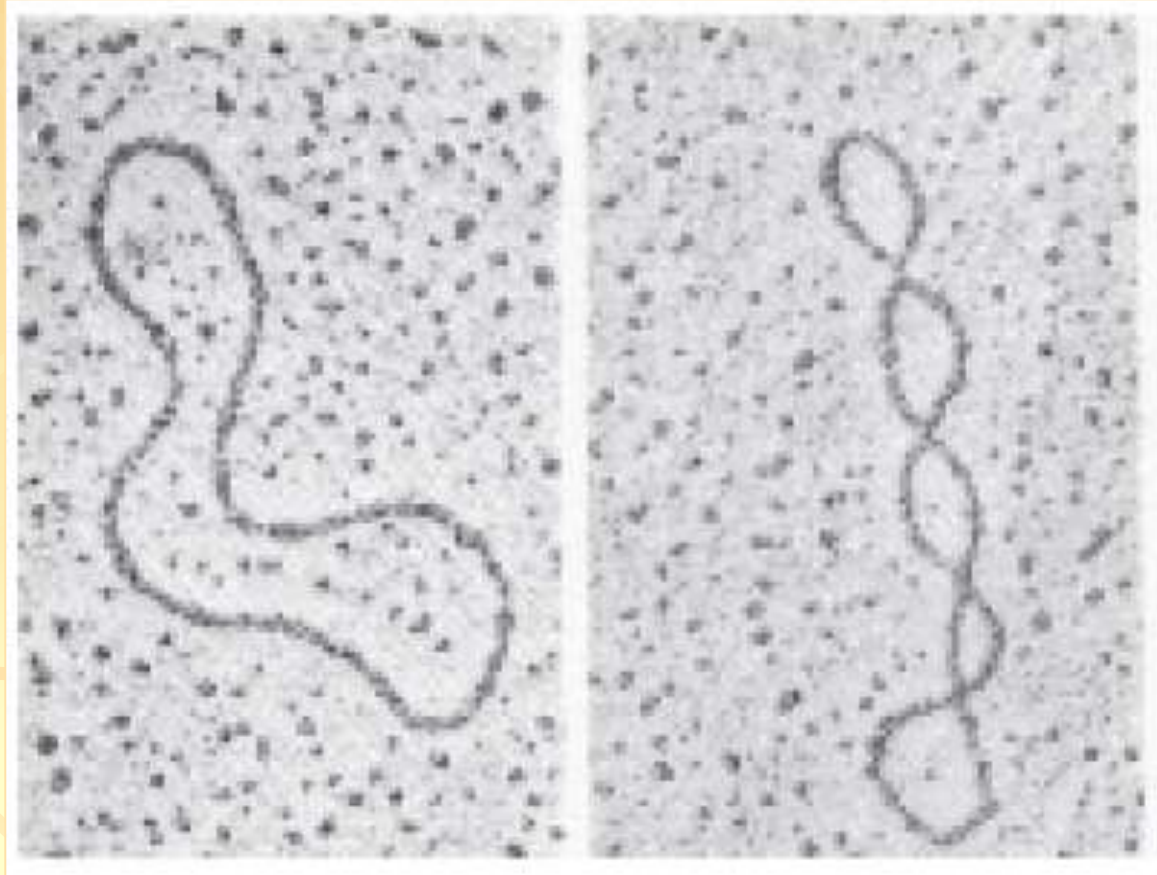


(b)



(c)

Суперспираль ДНК



Nelson D.L., Cox, M.M. *Lehninger Principles of Biochemistry*,
4th Edn., Worth Publishers, N.Y. (2005) pp. 931-932.

Еще одно подтверждение правила смены знака хиральности:
«правая» D-глюкоза образует
«левую» спираль амилозы



Центральный блок молекулярной биологии, реализующий управляющую и исполнительскую функции живых систем и включающий информационно детерминированные макромолекулы нуклеиновых кислот и белков, образует периодическую систему, составленную из хиральных элементов и замкнутую в ахиральный инвариант

ДНК

Белки

Биосинтез

белка

Суперспираль

Двойная
спираль ДНК

Нуклеотиды

Дезоксирибоза

L

D

D

L

L

D

D

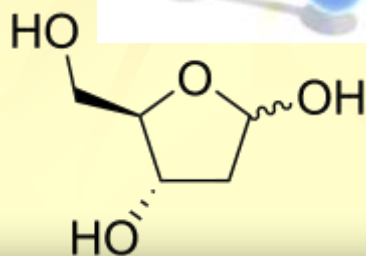
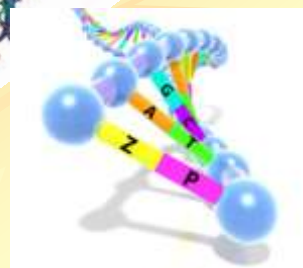
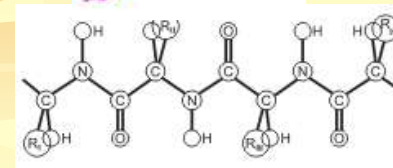
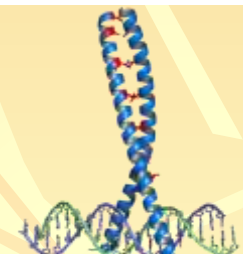
L

Четвертичная
структура

Третичная
структура

Вторичная
структура
(α -спираль)

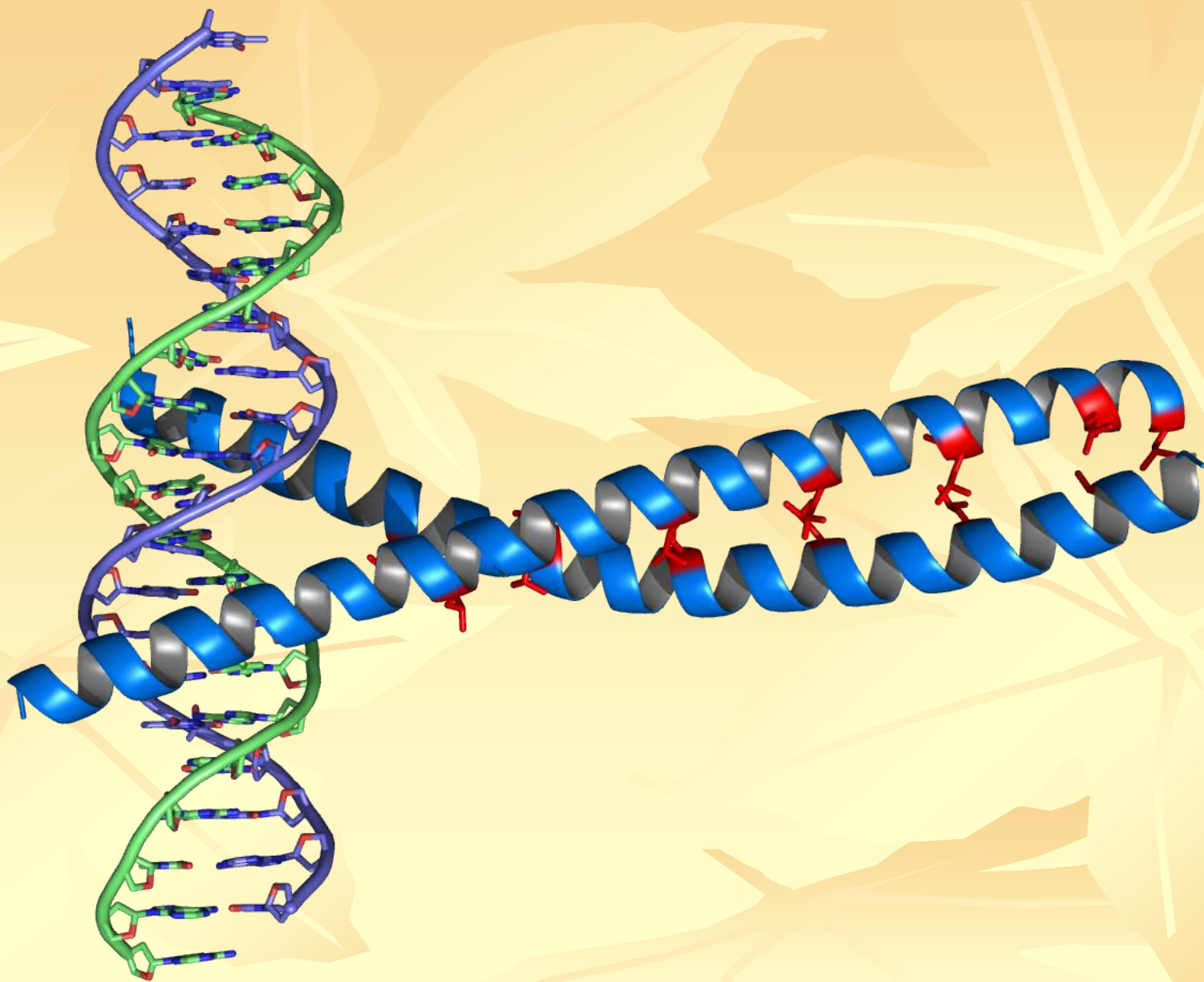
Первичная
структура
(аминокислоты)

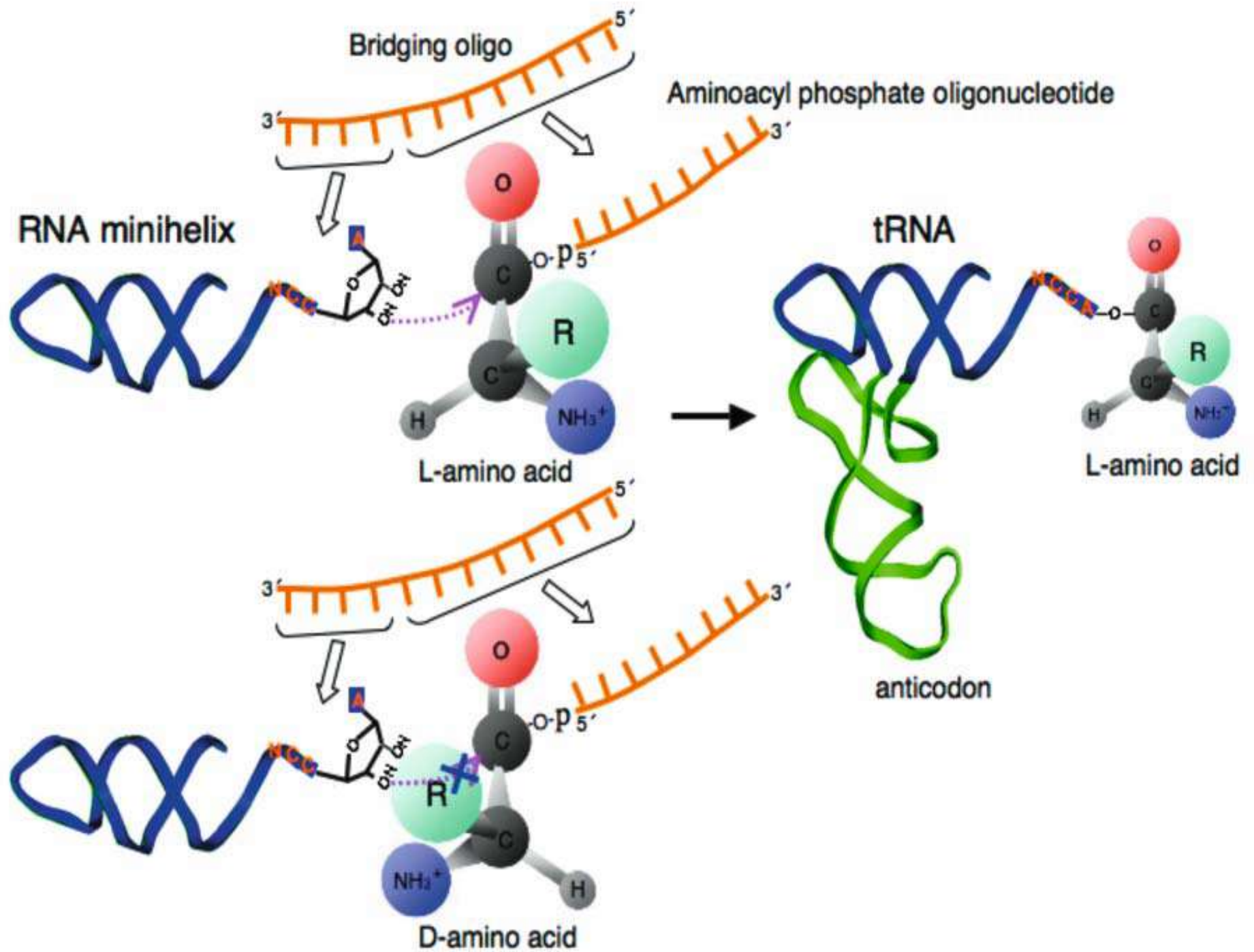


Гомохиральность первичных структур белков (L-аминокислоты пептидной цепи) и нуклеиновых кислот (D-дезоксирибоза и D-рибоза) является распределенным резервуаром свободной энергии для формирования знакопеременных хиральных иерархий структур в процессах фолдинга по типу автоволновой самоорганизации в активных средах.

**Обусловленная знакопеременной
хиральной иерархичностью
стратификация структурных уровней в
белках и нуклеиновых кислотах
позволяет сформироваться в них
выделенным (квантово)механическим
и мезоскопическим степеням свободы,
необходимым для их
функционирования как молекулярных
машин.**

При межмолекулярных взаимодействиях в каждой из молекул доминирует знак хиральности внутримолекулярной структуры высшего уровня, непосредственно участвующей во взаимодействиях. Для однотипных молекул (белок-белок, ДНК-РНК, тРНК-мРНК, рибозимы) взаимодействие преимущественно реализуется в случае одного знака хиральности L-L или D-D, а для разнотипных молекул (ДНК-белок, тРНК-аминокислоты, фермент-субстрат) — в случае разного знака D-L или L-D.

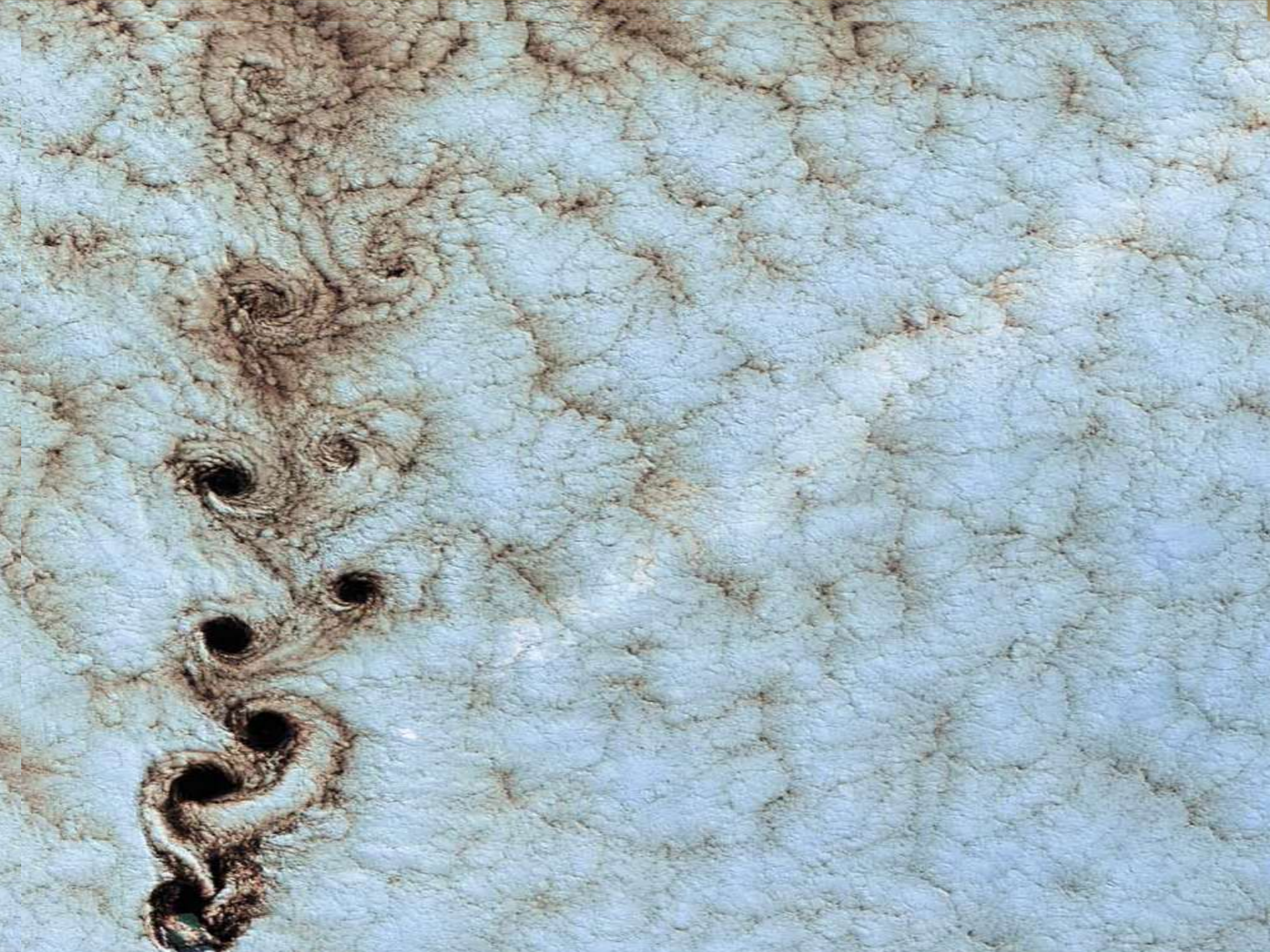




**Выявленное свойство
биомакромолекул формировать
хирально знакопеременные
структурные уровни в исходно
гомохиральных системах есть
проявление общей физической
(физико-химической)
закономерности.**



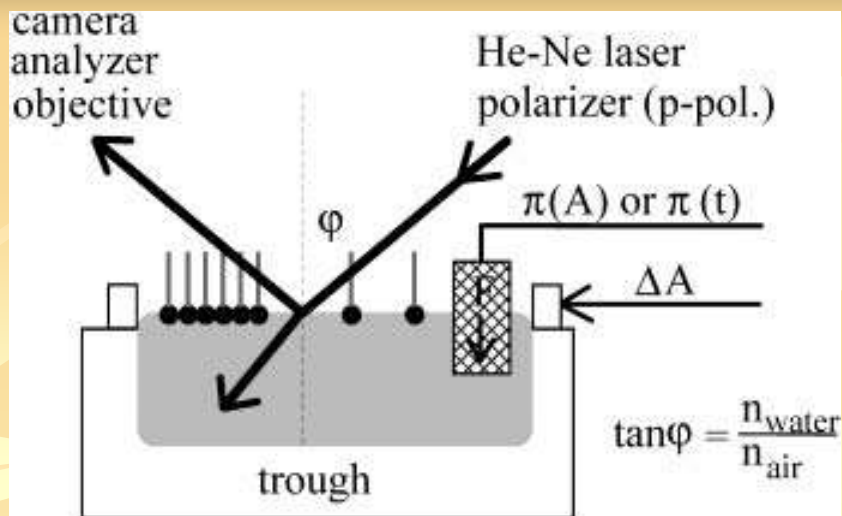




ХЕТОНЫ

(«heton» – от «heat»)

Сопряженные массо- и теплопереносом бароклинные вихри в слоях морской воды разной температуры образуют хиральные пары или иерархию холодных и теплых хетонов, согласованных законом сохранения момента импульса и способных к латеральной миграции.



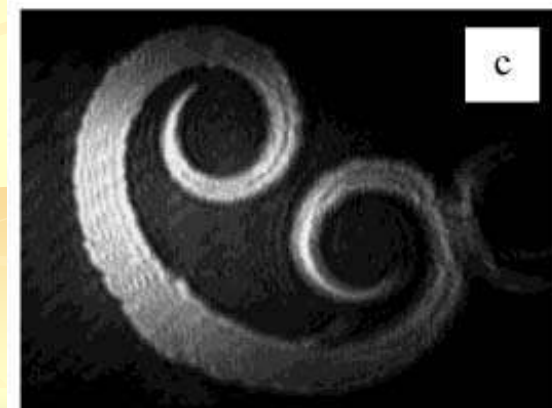
Поляризационная микроскопия поверхностного слоя (φ – угол Брюстера)

Домены конденсированной фазы, формируемые в монослоях энантиомеров и рацемата N-R-пальмитоилтреонина, имеют вид спиралей, закрученных в противоположные стороны:

(a) – D-энантиомер, (b) – L-энантиомер, (c) – рацемат.

Размер изображения 350 350 мкм.

Nilashis Nandi, Dieter Vollhardt **Effect of Molecular Chirality on the Morphology of Biomimetic Langmuir Monolayers.**
Chem. Rev. 2003, 103, 4033–4075 4033



Модель четвертичных структур

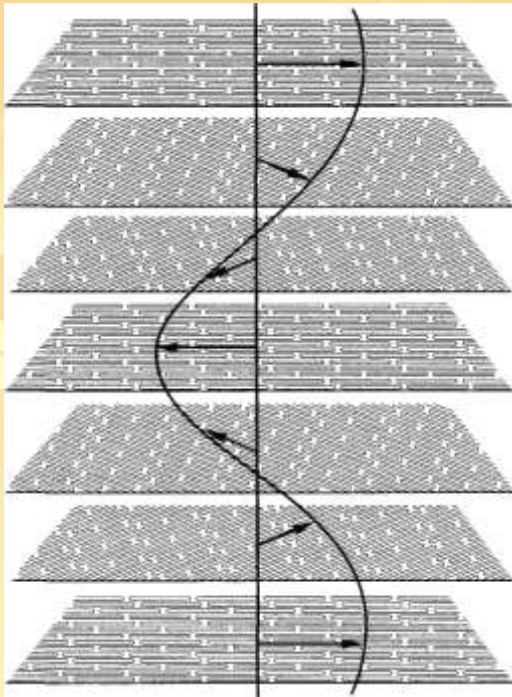


Рис. 3. Холестерические жидкие кристаллы составлены хиральными молекулами. Внутри слоёв молекулы преимущественно ориентированы вдоль директора. А сам директор вращается вокруг холестерической оси, образуя спираль, по знаку противоположную знаку хиральности молекул.

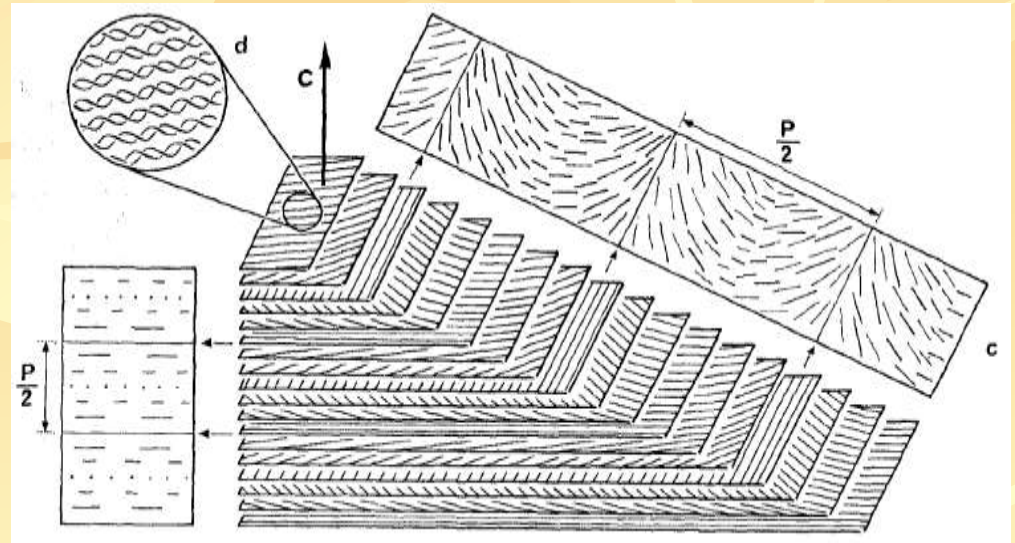
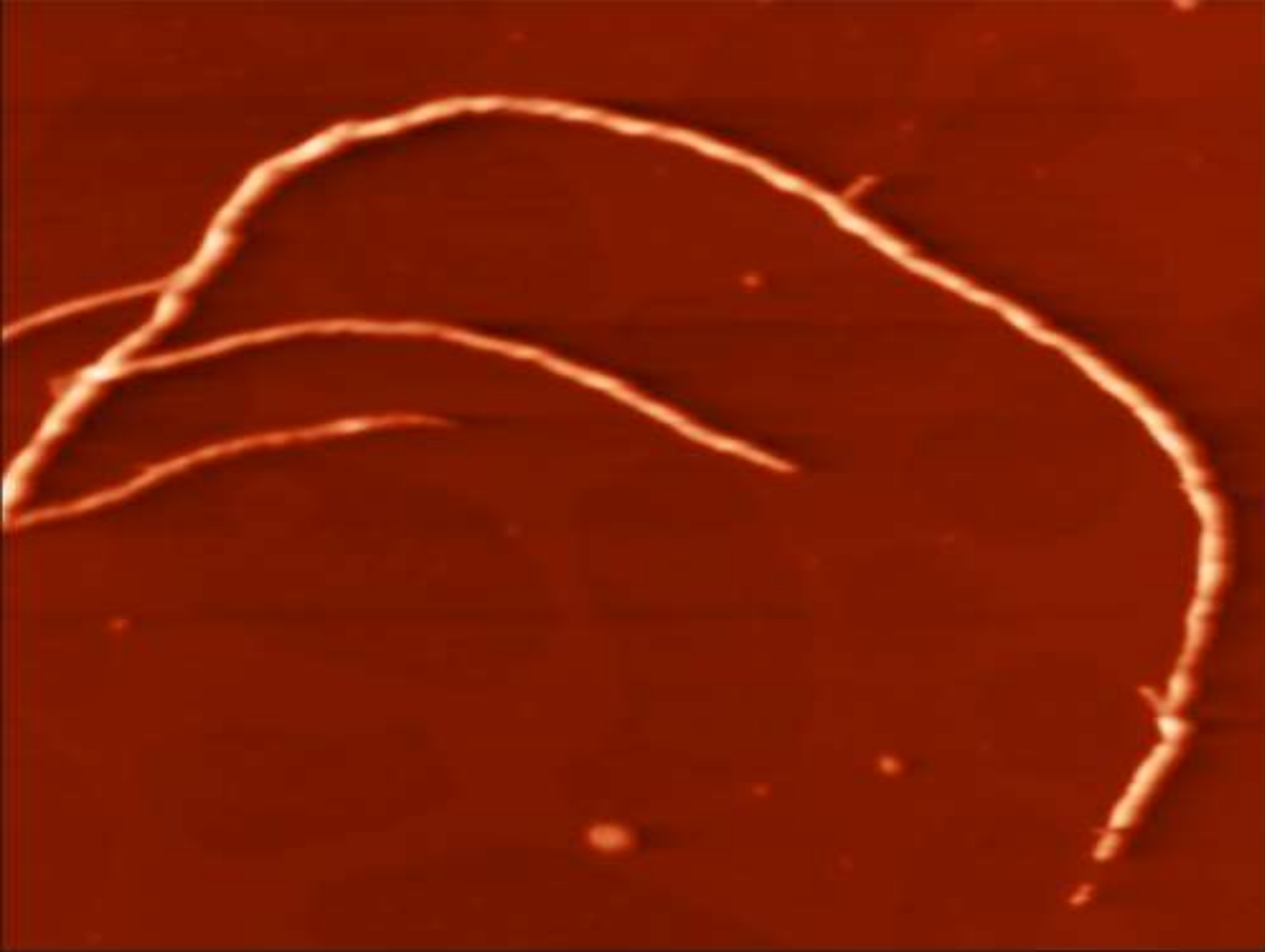
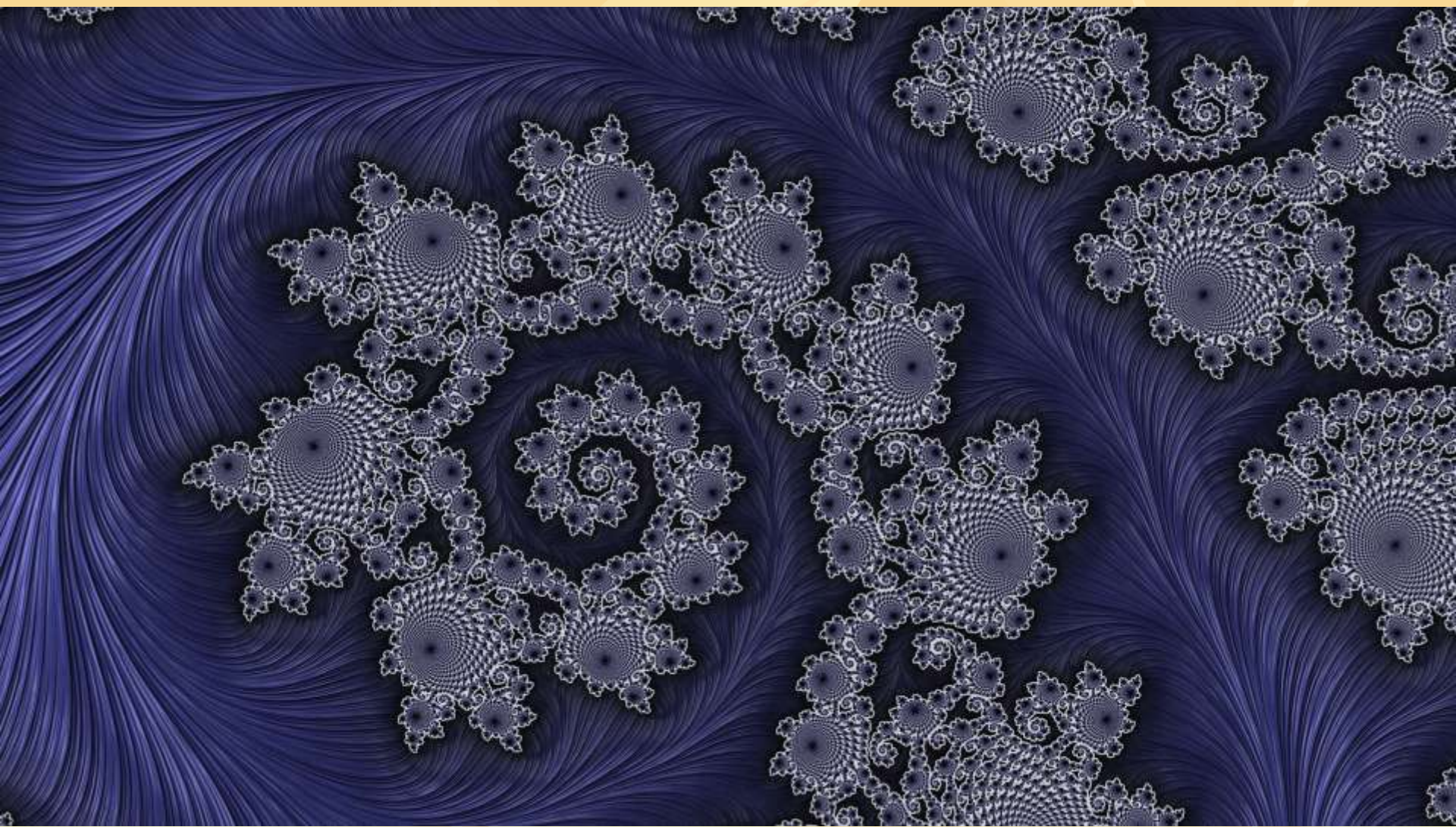


Рис. 4. Схематичное изображение холестерической фазы ДНК [1].

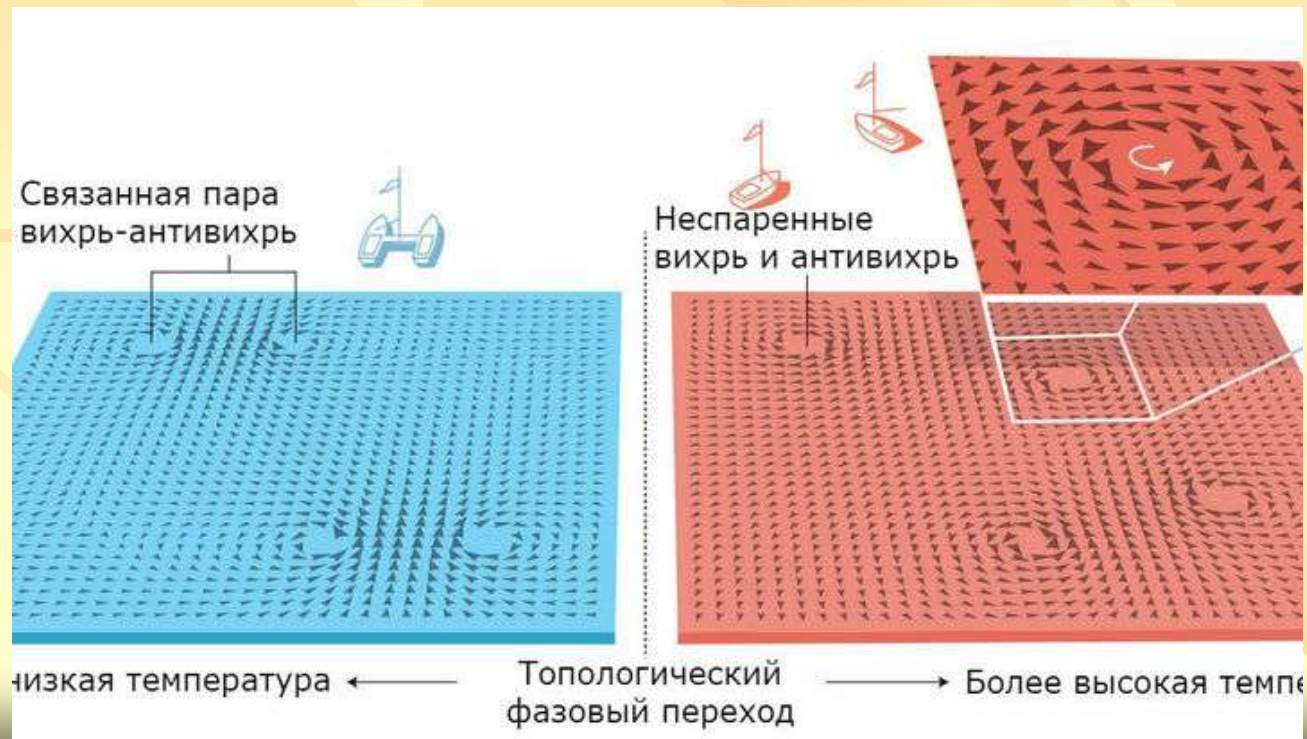


**На уровне феноменологического
рассмотрения выявленная
закономерность, связанная со
спонтанным формированием
знакопеременных хиральных уровней в
исходно гомохиральных структурах,
может быть отнесена к категории
фрактальных структур и
топологических фазовых переходов.**



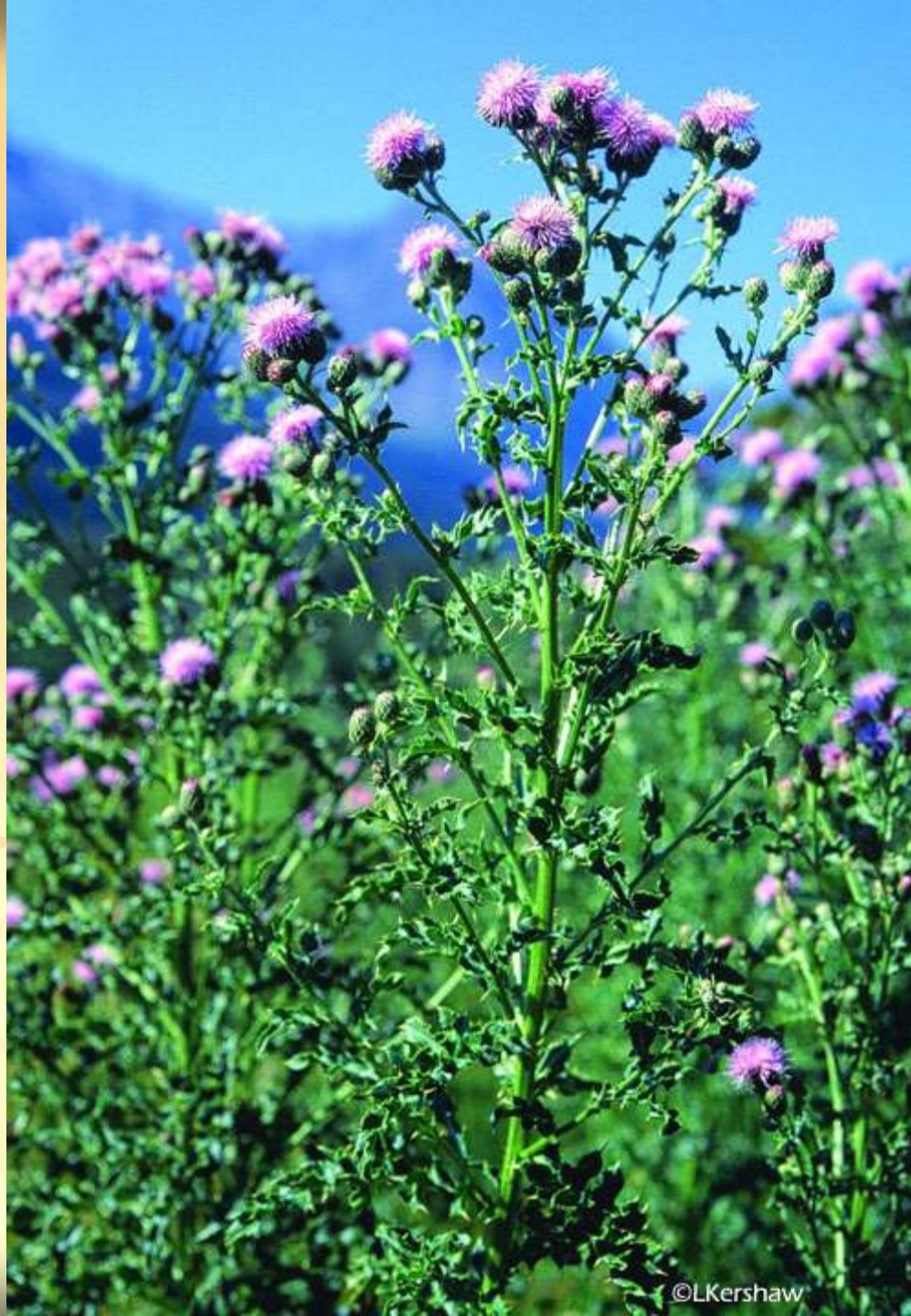
Нобелевская премия по физике за 2016 год присуждена Дэвиду Таулесу, Дункану Халдейну и Джону Костерлицу «за теоретические открытия топологических фазовых переходов и топологических фаз материи» (США)

В честь Березинского — Костерлица — Таулеса был назван фазовый переход в двумерной XY-модели. Это переход из состояния связанных пар вихрь-антивихрь при низких температурах в состояние с неспаренными вихрями и антивихрями при высокой температуре.



***Естествоиспытатель
знает, что во вселенной
мы встречаем повторение
типов явлений.***

Н.А.Умов (1901) Эволюция атома.

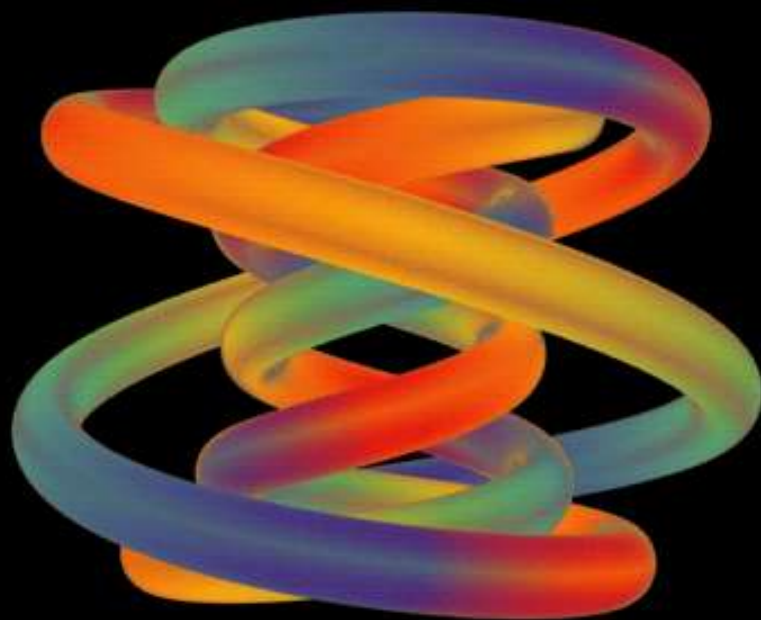


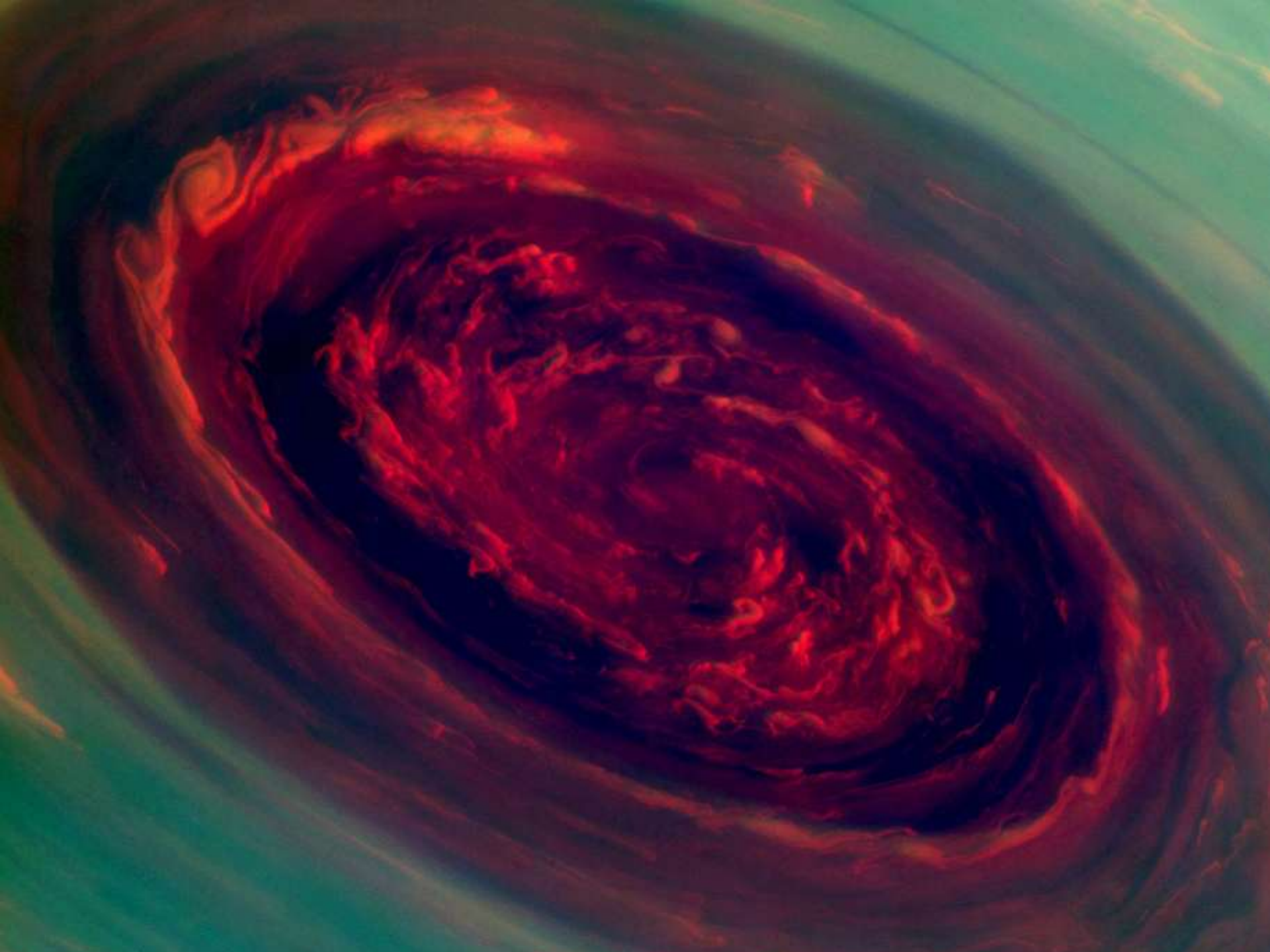


Автор благодарит за участие в совместных исследованиях и за полезные обсуждения своих коллег и друзей:

Л.В.Яковенко, Е.В.Малышко, С.А.Ильченко,
В.Д.Скуриду, О.А. Жулябину, С.В.Стовбуна,
А.Э.Сидорову, А.Н.Заикина

**БЛАГОДАРЮ
ЗА
ВНИМАНИЕ!**





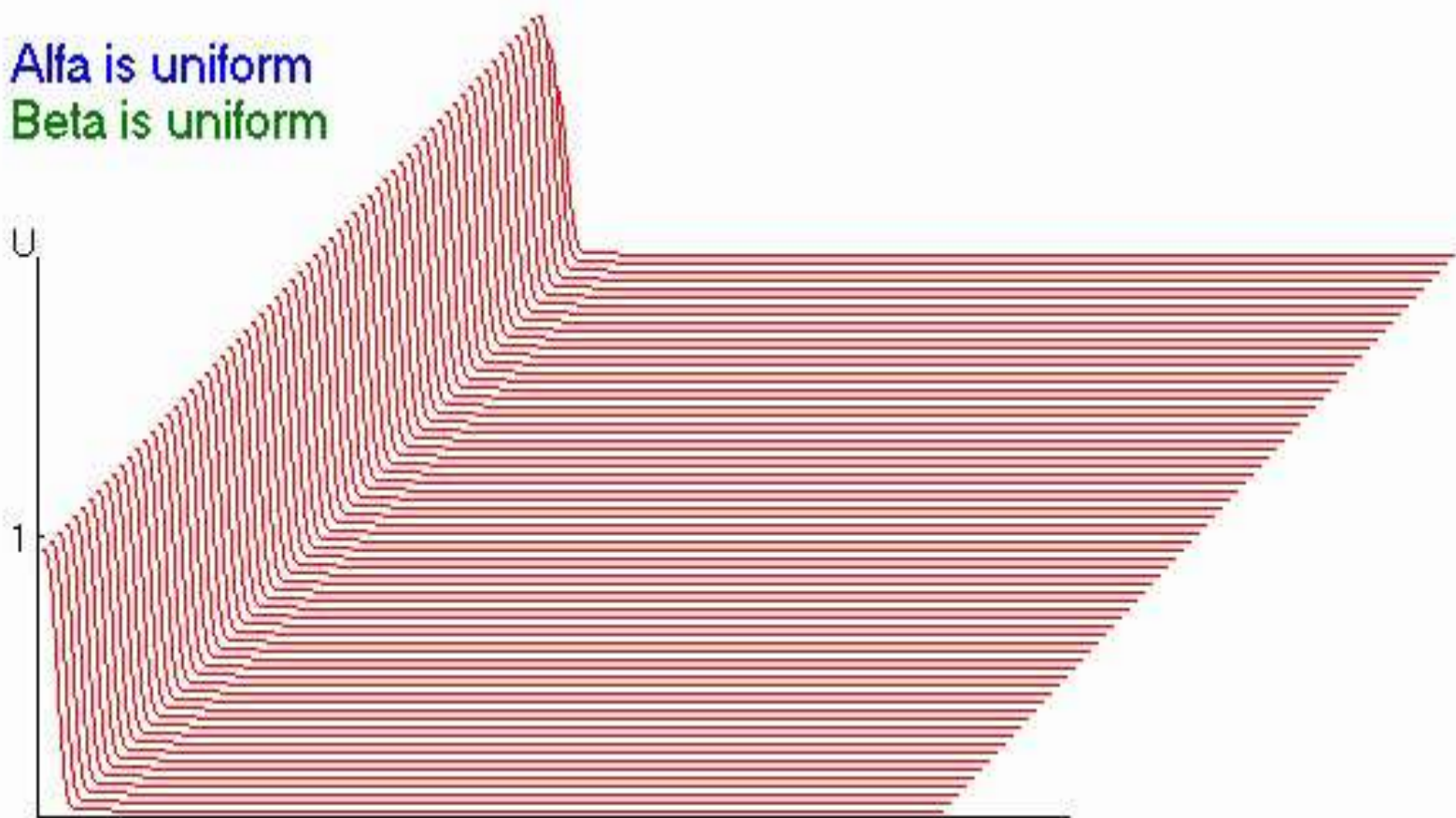


072198 16:09 00:01:04





Alfa is uniform
Beta is uniform



Формирование спиральной автоволны при наложении
неоднородности на плоскую автоволну



**Концентрические структуры,
возникающие в ходе физико-
химической колебательной
реакции Белоусова-Заикина-
Жаботинского**



**Концентрические структуры,
возникающие в процессе роста
лишайника.**







ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ЖИВОЙ МАТЕРИИ

- Системность
- Сопряжение микро- и макроуровней, фаз
- Дискретность
- Термодинамическая неравновесность
- Нелинейность
- Синергизм
- Иерархичность
- Симметрийность
- Хиральность
- Машинность

РАЗМЕРЫ И РАЗМЕРНОСТИ

- **0D** - малые молекулы, гидратированные ионы
- **1D** - информационно детерминированные линейные полимеры – нуклеиновые кислоты и пептидные цепи белков
- **2D** - клеточные мембраны
- **3D** - нативные структуры макромолекул, клеточные органеллы и клетки, органы, организмы, биоценозы, биосфера Земли

Машиной можно назвать устройство (конструкцию), которое способно в циклическом режиме преобразовывать форму энергии, совершая «полезную» работу, благодаря наличию «выделенных механических, в том числе, квантовомеханических) степеней свободы» (поступательных, вращательных), кинетически разделяющих работу и диссипацию.