

**УСТОЙЧИВОЕ НЕРАВНОВЕСИЕ,  
ВНУТРЕННИЕ КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ  
И ВРЕМЯ В БИОЛОГИЧЕСКИХ  
СИСТЕМАХ**

**Андрей Игамбердиев**  
Memorial University of Newfoundland  
Canada

# Краткое содержание

- Философское введение
- Принципы Шредингера
- Измерение и вычисление
- Внутренние квантовые состояния
- Время и релаксация

# Декарт (1596-1650)

- *Res extensa – Res cogitans*
- Две независимые сущности
- Могут соединяться в мозге  
(Шишковидная железа)
- Имеет смысл искать аналог  
шишковидной железы  
(Hameroff and Penrose) – IQS



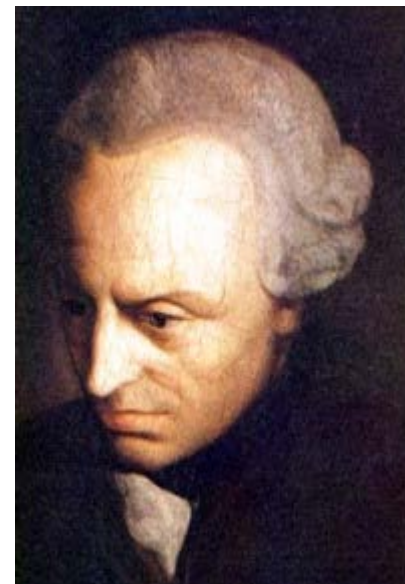
# Лейбниц (1646-1716)

- *Res cogitans* в своей множественности порождает *Res extensa*
- Реальный мир отличается от других возможных тем, что обладает максимально возможным разнообразием при максимально возможном порядке
- Монада неразрушима и неразложима на части
- Она – базисный элемент мироздания, а материя и пространство – релятивны к ней



# Кант (1724-1804)

- Res extensa – априорная форма Res cogitans
- Единство потенциального и актуального, ноумена и феномена
- Формальные ограничения описания трансцендентальной активности разума



# COMPUTATION

- Единое существует как множество – Парменид у Платона – Гедделевское предложение
- *Res extensa* порождается через процесс вычисления (computation)
- Время необходимо для реализации пространственной структуры в процессе ее построения

# Организационная инвариантность

- Следуя Роберту Розену, мы можем сказать, что живое состояние поддерживает **организационную инвариантность** в меняющемся мире.



Роберт Розен  
(1934-1998)

# Устойчивое неравновесие

- Термодинамически организационная инвариантность соответствует принципу **устойчивого неравновесия Эрвина Бауэра**.



Эрвин Бауэр  
(1890-1938)



# LIFE ITSELF

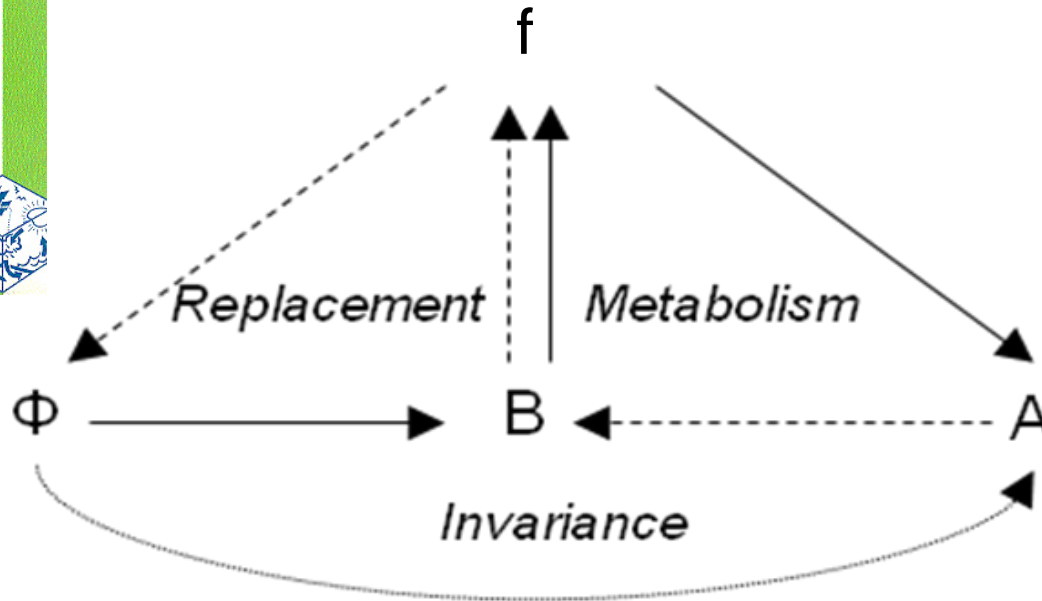
*A Comprehensive Inquiry into the Nature, Origin, and Fabrication of Life*

ROBERT ROSEN



COMPLEXITY IN ECOLOGICAL SYSTEMS

## (M,R) system



The diagram representing the structure of (M,R) system. The broken arrows indicate that a function (located at the start of the arrow) uses a variable (at the destination) to produce a result (i.e. it corresponds to material cause). The solid arrows indicate a transformation (corresponding to the efficient cause). The dashed arrow indicates the final cause (goal) aiming the initial variable. Every function (metabolism, replacement, and organizational invariance) is entailed by another element in the diagram (no external causality).

# Definitions of life



By life we mean the power of self-nourishment (δι' αὐτοῦ τροφήν)  
and of independent growth and decay.  
Aristotle

Living systems are closed to efficient causation

Robert Rosen

Life is a self-generating and self-reproducing activity of open non-equilibrium systems  
determined by their semiotic structure

In *Defining Life*, ed. by Martino Rizzotti

# Пространство возможного

- Квантовая механика демонстрирует существование пространства возможного:  
Рассеяние электронов на двух щелях
- Волна – возможность, частица – действительность.

## Три принципа организации живых систем (Schrödinger)

Principle	Description
Aperiodic crystal	A small group of atoms in living systems produces orderly events
Negentropy	Living system is fed by negative entropy (extracts order from the environment)
Zero temperature	Life maintains virtually zero temperature of its quantum state

# Принципы Шредингера

- **Первый принцип – аperiodический кристалл:** основа молекулярной генетики, но может быть интерпретирован шире.
- **Второй принцип Шредингера:** “existing order displays the power of maintaining itself and of producing orderly events”. Это более относится к живым системам, чем “Порядок из хаоса” Пригожина. Вторым принципом Шредингера – принцип **устойчивого неравновесия** Бауэра (как первый закон Ньютона – принцип Галилея)
- Это соответствует принципу Бауэра: «Сравнение живой системы с водопадом является правильным, если мы учитываем, что разница уровней воды поддерживается самим водопадом».
- **Третий принцип Шредингера наиболее важен.** Он гласит, что **сложность живых систем поддерживается при температуре, близкой к 0 К.**
- Третий закон термодинамики Нернста оказывается базовым принципом, объясняющим сложность живых систем. По Шредингеру, “...the aperiodic crystal forming the hereditary substance, <is> largely withdrawn from the disorder of heat motion”.

# Основной принцип физики живого

- Живое состояние защищено от теплового движения
- Средство для достижения этого – принцип устойчивого неравновесия Бауэра, он же «второй принцип» Шредингера

# Закон Нернста

- Необходима адекватная формулировка, например: Все точки пространства состояний нулевой температуры физически адиабатически недостижимы из пространства состояний простой системы (Wreszinski and Abdalla, 2009).
- Это означает недостижимость абсолютного нуля за конечное время (или путем «конечного количества операций»).
- Однако, используя достаточно длительные времена квантовых измерений, возможно приблизиться в этому нулевому состоянию, в котором все точки адиабатически эквивалентны.
- Третий закон термодинамики – наиболее важный принцип функционирования живых систем. Это принцип аппроксимации к точке нулевой температуры через поддержание квантовой когерентности внутри тепловой машины.

# Кванты и измерение

- Вся квантовая механика основана на фундаментальном философском принципе: **действие не может быть бесконечно малым**. Любое деление материи и, следовательно, любой физический процесс ограничивается фундаментальной константой (квант действия Планка). Это ограничивает наблюдаемость мира и разделяет реальность на актуальную (видимую) и потенциальную (невидимую).
- Измерение и его результат связаны условием соответствия (consistency): выражением этого соответствия являются инварианты – фундаментальные мировые константы.
- Фундаментальные константы выражают соответствие актуализации и непротиворечивости актуализированного мира.
- Потенциальное поле (вакуум) есть суперпозиция взаимоисключающих состояний. Фундаментальные константы соответствуют оптимальности мира (по Лейбницу).



# ВНУТРЕННИЕ КВАНТОВЫЕ СОСТОЯНИЯ

- Живые системы и их компоненты содержат в себе внутренние квантовые состояния, поддерживаемые в течение длительного времени с помощью рефлексивной коррекции ошибок.
- Эти состояния представляют собой макрокванты (квазичастицы), которые имеют очень низкую температуру (порядка нескольких милликельвин и ниже), защищены от температурных флуктуаций окружающей среды и посылают в нее декогерентные команды, имеющие адаптивную функциональность.

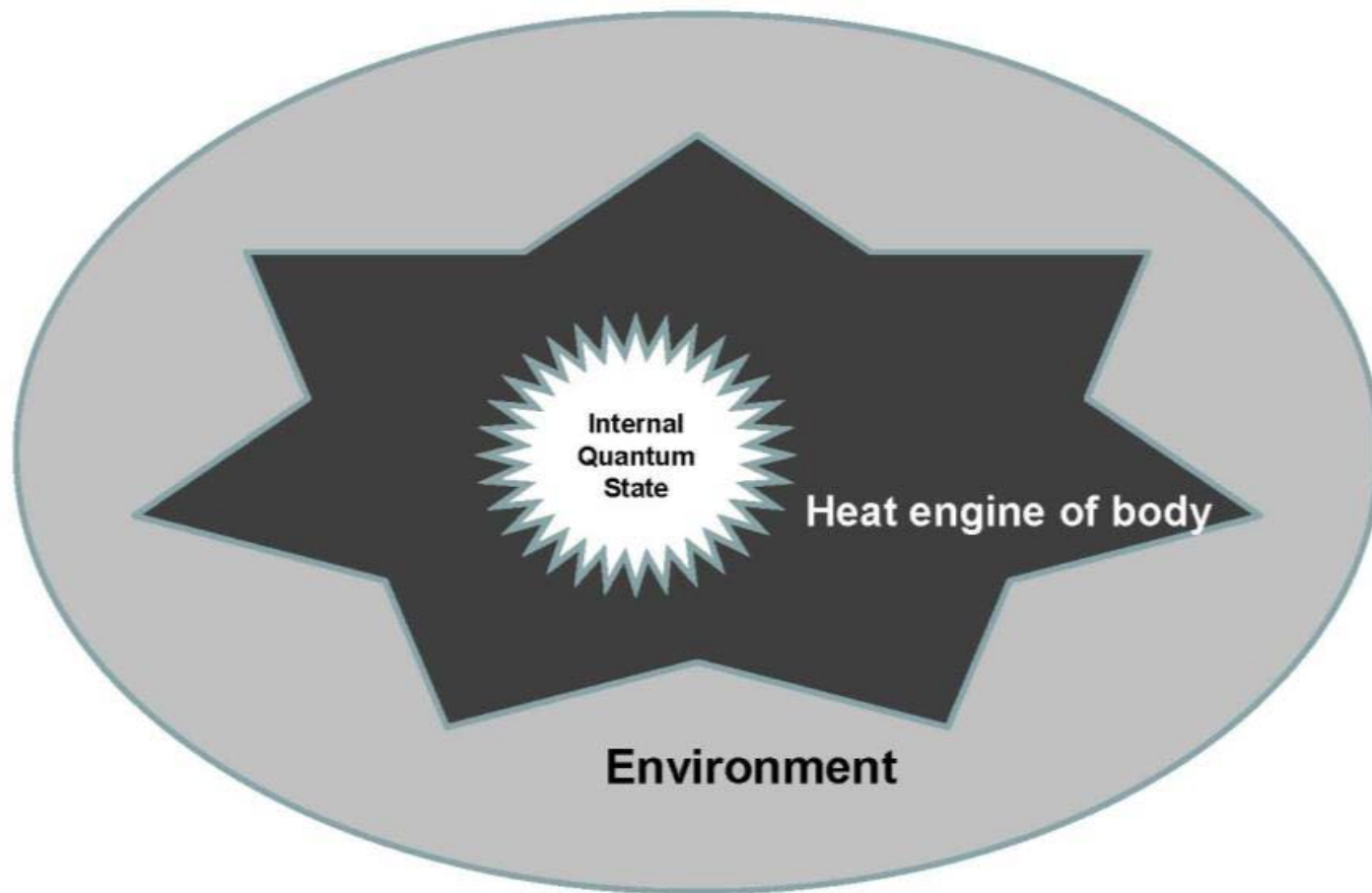
# Внутреннее квантовое состояние

## Internal quantum state (IQS)

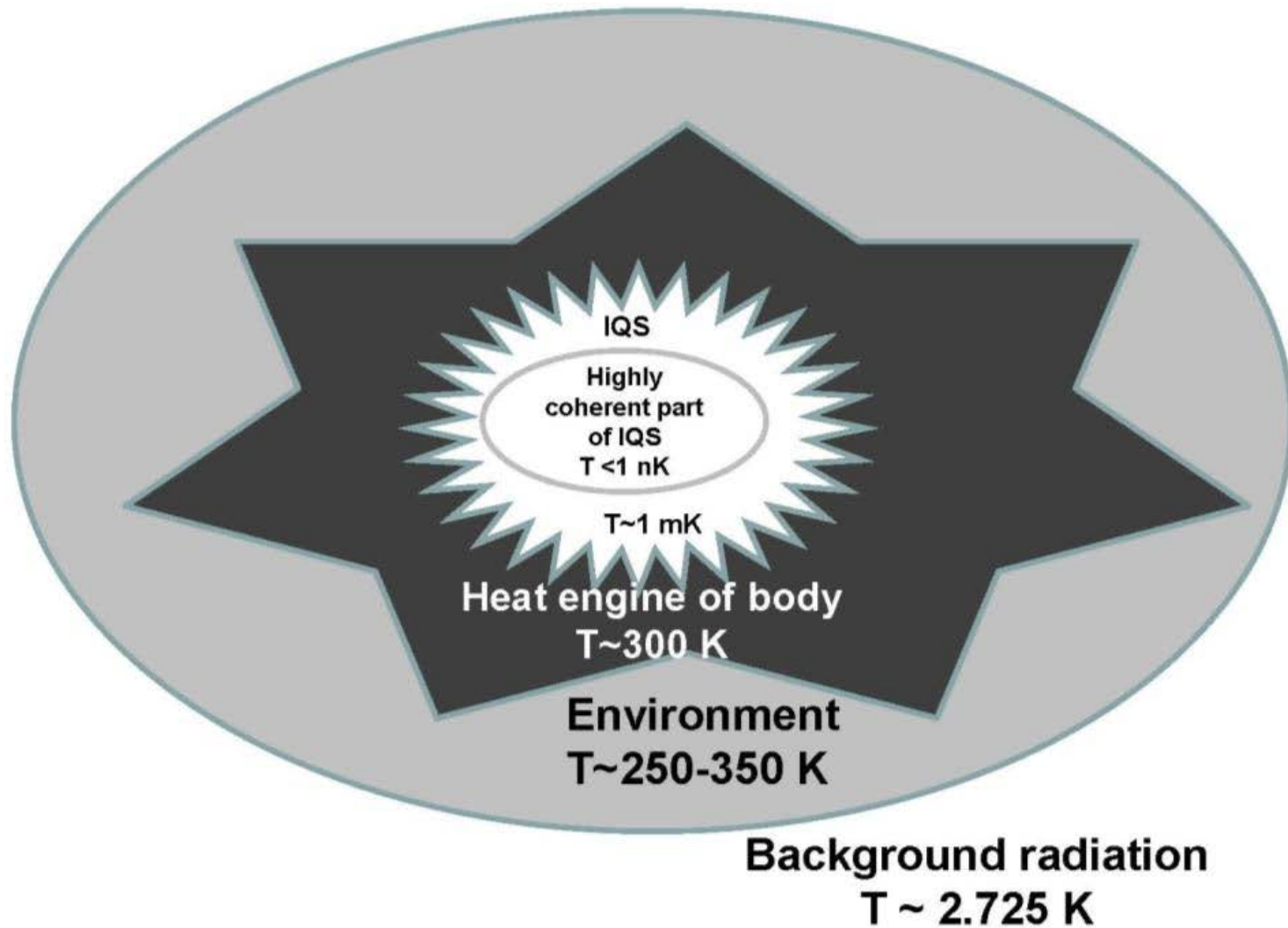
- Когерентное состояние с экстремально низкой температурой делокализовано внутри тепловой машины организма, которая функционирует в диапазоне «температуры тела»  $\sim 300$  К и температуры делокализованного когерентного состояния  $< 10^{-3}$  К
- Очень длительное время декогеренции в биологических системах обеспечивают поддержание внутреннего квантового состояния (**IQS**)
- Это состояние должно описываться статистикой Бозе-Эйнштейна
- Оно защищено от температуры фоновой микроволновой радиации Большого Взрыва, которая составляет  $2.725$  К

# IQS

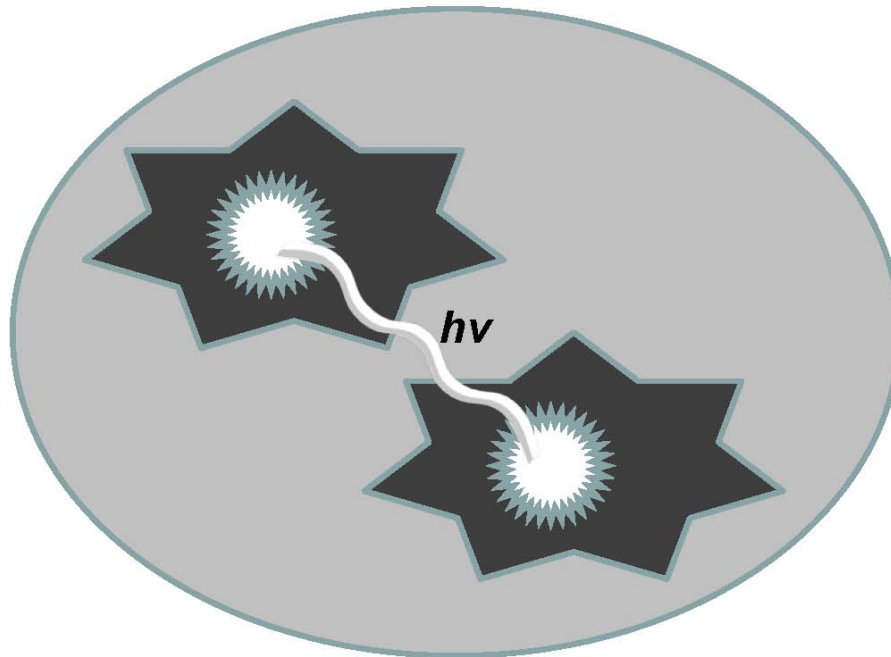
- Жизнь есть процесс поддержания IQS.  
Организм жив пока он поддерживает свой IQS.  
«Прикрепленность» IQS к тепловой машине тела продолжается в течение всей жизни.
- Мы определяем IQS как субатомное делокализованное когерентное состояние.
- IQS – наиболее сложная форма кванта во Вселенной.
- С точки зрения философии IQS – это монада Лейбница, реализованная в пространстве-времени.



Схематическое представление живой системы, которая включает внутреннее квантовое состояние, тепловую машину биологического тела, защищающую это состояние, и окружающую среду, которая снабжает тело энергией



Схематическое представление живой системы с указанием температур внутреннего квантового состояния (IQS) с его максимально когерентной частью соответствующей перцепции сигналов и сознанию, тепловой машины организма, окружающей среды и фоновой радиации Вселенной



Схематическое представление двух биологических единиц (например клеток) с их внутренними квантовыми состояниями, взаимодействующими посредством эмиссии низкоэнергетических когерентных фотонов

# ВЫЧИСЛИМОСТЬ

- Поддержание внутренних квантовых состояний происходит посредством реализации индивидуальных внутренних программ, тогда как генеративное развитие возникает в результате преодоления комбинаторных ограничений системы.
- Таким образом, появление жизни приносит во Вселенную творческую активность, которая преодолевает пределы вычислимости.

# Когерентные состояния и вычислимость

- Основное условие вычислимости физического мира состоит в том, чтобы оно могло быть стабильно осуществлено
- В сложных биологических системах, чтобы иметь точный результат (антиципация), биохимические процессы должны сохранять квантовую когерентность в течение макроскопического времени (секунды – для макромолекул, годы – для организмов)



# Энергия вычисления

- Процесс вычисления основан на активности, связывающей математические уравнения с материальным физическим миром
- Он потребляет энергию («забирает потенциальность»), наименьший предел которой определен Планковскими величинами, т.е. физической структурой Вселенной
- Эффективное квантовое вычисление возможно путем поддержания долгоживущих холодных когерентных квантовых состояний

# Измерение и время

- Квантовое измерение является неразрушающим (невозмущающим), т.е. диссипирующим минимальное количество энергии, когда период релаксации прибора (макроскопического осциллятора) ( $t$ ) во много раз длиннее, чем интервал времени исходного квантового эффекта ( $\tau$ ).
- Согласно В.Б. Брагинскому, минимальная диссипация энергии в квантовом измерении:

$$\Delta E_{\min} \approx 2kT (t/\tau)$$

- $t$  – время процесса в отсутствие квантовомеханического прибора, осуществляющего неразрушающее измерение, и  $\tau$  – время релаксации прибора (время, в течение которого поддерживается когерентное состояние в ходе измерения).

## Основные теории квантового измерения

Theory	Author	Explanation of measurement
Copenhagen	Bohr, Heisenberg	Collapse of wave function in interaction with measurement device
Multi-world	Everett	Wave function is only real and it does not collapse
Pilot-wave	De Broglie, Bohm, Hiley	Wave function and its actualization coexist and interact in a dual reality
Consistent histories (including environmental decoherence)	Griffiths, Omnes, Gell-Mann, Hartle	Refinement of wave functions through self-consistence or environmental fitness
Gravitational collapse	Penrose	Objective collapse of wave function when space curvature reaches the value of Planck's mass
Semiotic	Christiansen	Refinement of wave functions through significative validity

# Пределы квантового измерения

- Горизонт причинности (Causal horizon) ограничивает объем пространства внутри которого информация может распространяться за время  $t$  с начала расширения Вселенной,  $\sim (ct)^3$
- Максимальная скорость элементарных операций  $2E/\pi\hbar$  может достигаться в идеальном квантовом компьютере
- Минимальная длительность тиканья часов с энергией  $E$ :  $\Delta t = \pi\hbar/2E$

## Три основные фундаментальные константы

Constant	Symbol	Relation to measurement
Gravitational constant	$G$	Reduction of superposed potential states during measurement
Speed of light	$c$	Finite velocity of observation propagation
Quantum of action	$\hbar$	Causal consistency of the measurement process

# Фундаментальные константы

- Относительно фундаментальных констант следует вспомнить вопрос Эйнштейна: «имел ли Бог выбор при сотворении этого мира»
- Если выбора нет, то мы живем в лучшем из миров (Лейбниц) несмотря на факт, что он несовершенен (что может просто означать, что он не может вместить все сосуществования)
- Если выбор есть, то он может быть реализован в других вселенных Мультиверса, однако наблюдаемость (и следовательно – существование) этих вселенных должна быть доказана

# Минимальная цена вычисления

- В классической термодинамике каждый шаг вычисления должен потреблять по меньшей мере  $kT \ln 2$  энергии.
- В квантовых компьютерах, реализованных на макромолекулах, шаг вычисления может потреблять энергию порядка  $kT (t/\tau)$ .
- Минимальная цена вычисления (соответствующая одному биту информации) может быть уменьшена до величины постоянной Планка (Либерман).

# Физические ограничения вычисления

- Следуют из соотношения неопределенностей Гейзенберга «Энергия – время»
- Максимальная скорость элементарных операций, вычисляемая из этого соотношения:  $2E/\pi\hbar$
- Минимальное время:  $t_{\text{flip}} = \pi\hbar r/2e^2$   
для осуществления квантовой логической операции для двух частиц



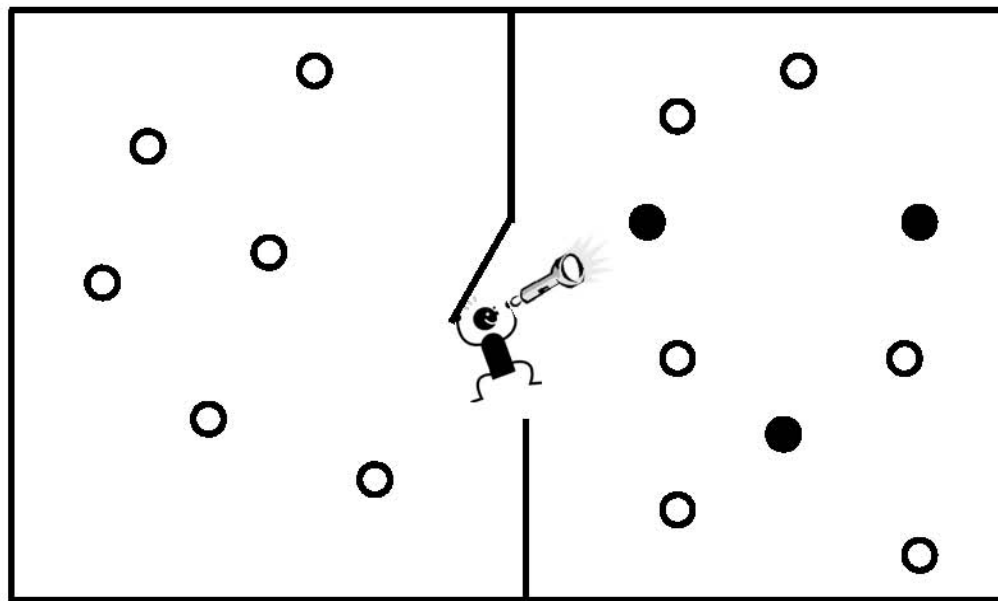
# Принцип Landauer – Wheeler

- Реальные вычисления производятся с участием физических объектов, следовательно существуют физические ограничения, до которых вычислимость работает в реальном мире, что в свою очередь обуславливает наличие фундаментальных ограничений на применимость законов физики
- Квант Планка – единица, определяющая предел, до которого мир может быть описан математически (computed) (Е.А. Либерман)

# Bekenstein bound

$$kER/\hbar cS \geq (1/2)\pi$$

- $k$  – постоянная Больцмана
- $R$  – размер системы (предполагаемой в виде сферы)
- $S$  – энтропия
  
- Этот предел достигается в черных дырах
- Он позволяет определить максимальное число ( $\sim 10^{123}$ ) элементарных операций со времени Большого Взрыва (Big Bang)



Демон Максвелла

# Температура когерентного состояния

- Диссипация энергии происходит путем эмиссии квантов, несущих энергию  $E$  за время  $\tau$ . Возможно определение этого потока энергии.
- Такое измерение было осуществлено Матсуно и Патоном для актомиозинового комплекса.
- Определено, что активируемая актином АТФазная активность миозина высвобождает  $5 \times 10^{-13}$  эрг энергии АТФ за  $10^{-2}$  секунд в ходе конформационной релаксации.
- Количество квантов, высвобождаемых в этом процессе, вычисляется в соответствии с принципом неопределенности Гейзенберга как  $\hbar\tau/E$  и составляет  $2.2 \times 10^6$  квантов, энергия которых  $2.2 \times 10^{-19}$  эрг или  $1.6 \times 10^{-3}$  К в единицах температуры.
- Эта экстремально низкая температура обеспечивает поддержание квантовой когерентности.

# Ферменты, цитоскелет...

- Идея о специальном типе кванта в живых системах принадлежит К. Матсуно.
- Ферменты уменьшают неопределенность неорганического катализа за счет очень длительных периодов релаксации. Специфическое узнавание субстрата и его точное превращение в продукт реакции характеризуется минимальной диссипацией энергии.
- Переходя от актомиозинового комплекса, мы можем сказать, что во многих других биологических феноменах цитоскелет представляет среду, поддерживающую квантовую когерентность.

# ВРЕМЯ

- Время появляется как результат того, что парадоксы, возникающие в чистой математической реальности, при их привнесении в реальный физический мир должны получить разрешение во времени. Время разделяет противоположные решения, в результате чего начинается эволюция.
- Генерирование одинаковых пределов вычисления в процессах, осуществляемых неэквивалентными наблюдателями, приводит к появлению общего для всех времени в мире объективных физических процессов.
- Биологические организмы, являясь квантовомеханическими наблюдателями, имеющими собственные часы, генерируют постоянно эволюционирующий обитаемый ландшафт и затем приспосабливаются к нему.

# Время

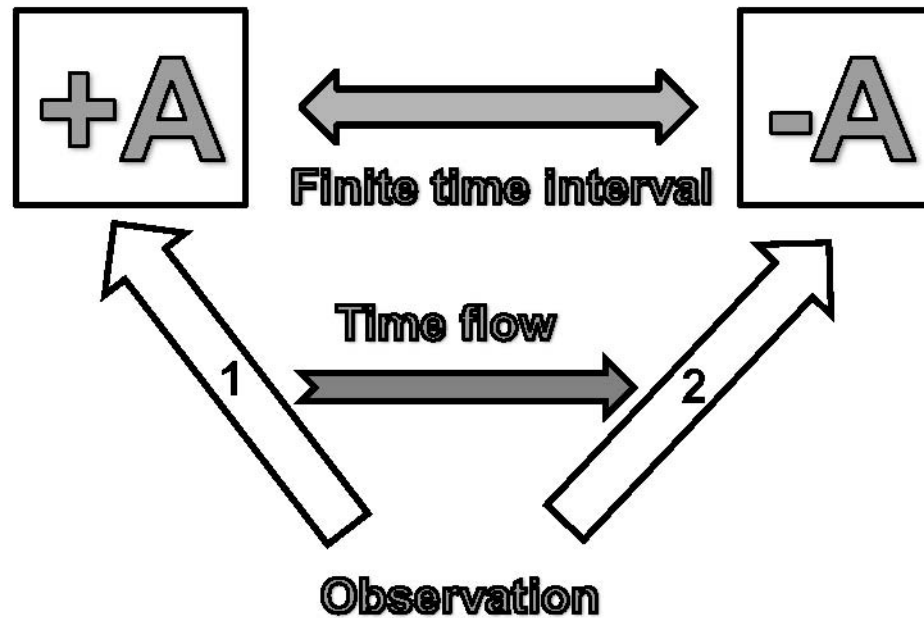
- Время – это сущность, которая разделяет противоположные результаты измерений, генерируя последовательность их появления
- Время логически спасает от парадоксов в ходе самореференции. В этом смысле время соответствует степени свободы позволяющей вещам изменяться и оставаться самими собой.
- Время вводит парадокс в реальный мир, и эволюционирующая система реализует доказательство неполноты системы в процессе, имеющем конечную скорость квантового измерения.
- **Противоположные суждения оказываются разделенными интервалом времени.**

# Линейное время

- Линейное время: объективный паттерн, формирующийся в процессе осцилляций между возможным и действительным



# ВРЕМЯ И НАБЛЮДЕНИЕ

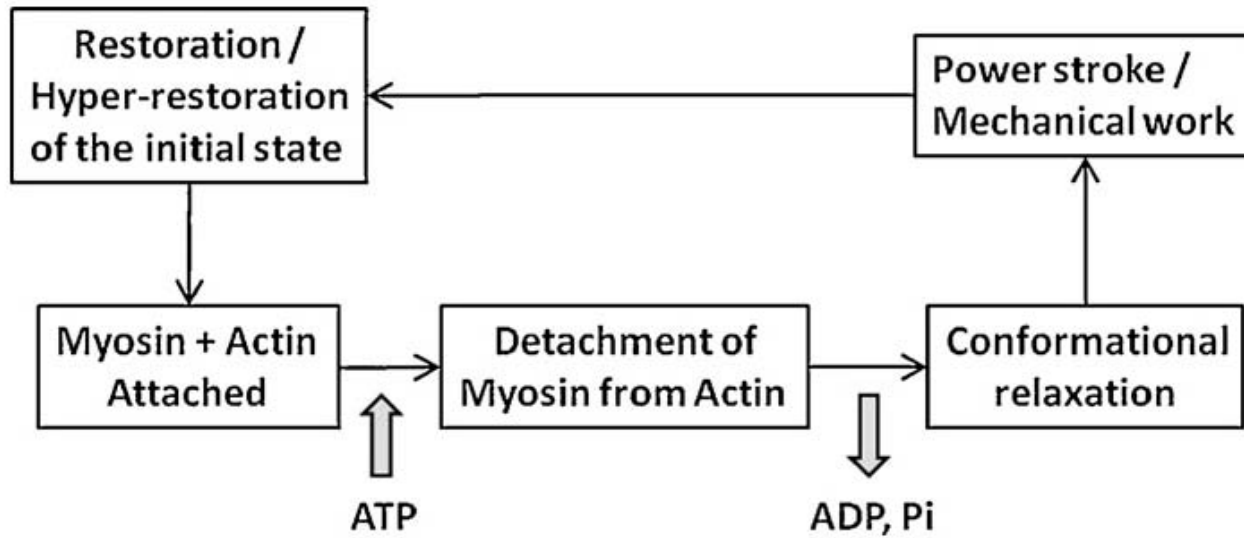


КОНЕЧНАЯ СКОРОСТЬ Наблюдения. Противоположные утверждения  $A$  и  $\neg A$  могут регистрироваться будучи разделенными конечным интервалом времени. Это устраняет противоречие и соответствует ЭВОЛЮЦИИ системы. Направление времени обусловлено фактом, что наблюдение 1 предшествует наблюдению 2.

# Эффективная температура

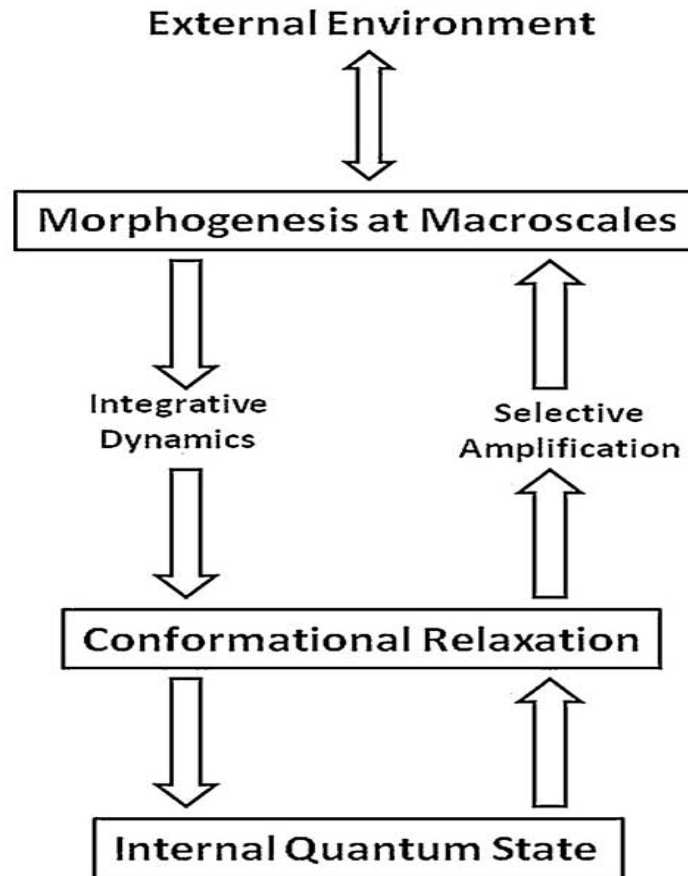
- Организмы используют термодинамические градиенты оперируя как тепловые машины уменьшающие эффективную температуру макромолекулярных комплексов (Matsuno, 2006).
- Эффективная температура когерентного состояния актомиозинового комплекса была определена (через энергию эмиссии квантов) как  $10^{-3}$  К
- В процессах, связанных с сознанием, эффективная температура может быть значительно ниже

# Конформационная релаксация АКТОМИОЗИНОВОГО КОМПЛЕКСА



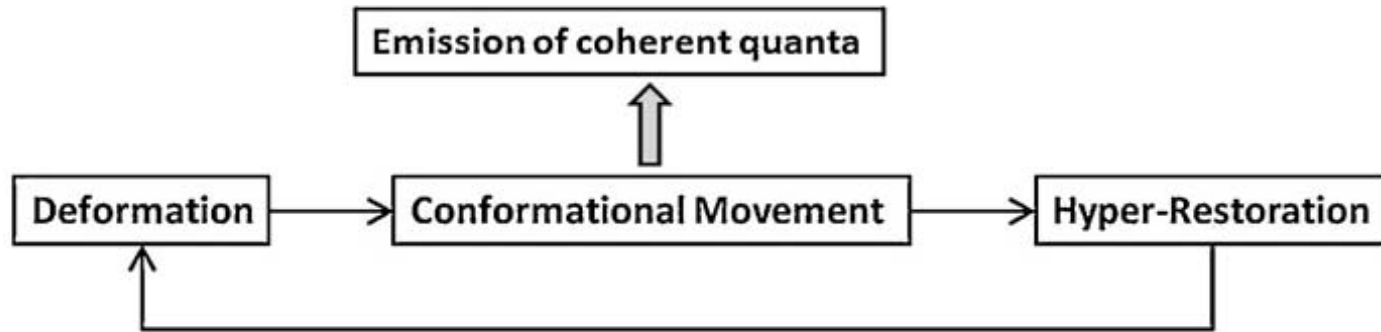
**Fig. 1.** The general scheme of operation of cytoskeleton during muscle contraction. The energy of ATP is used for detachment of myosin from actin and not directly for power stroke.

# Схема морфогенеза



**Fig. 3.** Mesoscopic dynamics of morphogenesis (following Conrad, 1996). The percolation network includes the coupling of coherent and mechanical degrees of freedom at the microscopic level during conformational relaxation of biomacromolecules that maintains their internal quantum state. The relaxation events are amplified at meso- and macrolevel to macroscopic morphogenetic events that in turn control molecular events (via integrative dynamics) and affect the external environment providing its input in the process of morphogenesis.

# Морфогенетическая релаксация



**Fig. 2.** The basic simplified scheme of the relaxational model of morphogenesis. Fast deformation is followed by the slow conformational relaxation which moves not to the initial state but to a hyper-restored condition that causes further deformation. This sequence of events is accompanied by emission of coherent quanta that can bear the morphogenetic information.

# Кто вычисляет? (Проблема субъекта)

- Schrödinger (1944) был первым, кто предположил, что природа субъекта – квантово-механическая, т.е. Субъект – это состояние вне квантовой редукции, которое генерирует порождающие события путем аппликации квантовой редукции извне и наблюдая их.
- Субъект нелокально находится «внутри» квантового состояния, а локальность пространства находится «вне» его.
- Жизнь возникает как воплощение базовых принципов вычисления, и в процессе эволюции преодолевает локальные физические пределы вычислимости мира.

# ЭТИЧЕСКИЙ ВЫВОД

- Обладавая свободной волей и сознанием, мы можем принять этот мир как подходящее место для жизни или отвергнуть его (т.е. выразить оптимистический или пессимистический этический подход), но математически формулируемые физические параметры могут строго соответствовать наблюдаемости мира в нем живущими организмами имеющими внутреннюю семиотическую структуру с алфавитом и грамматикой, которая генерирует уникальное решение для появления свободной воли и сознания