

# Введение в наносети

Пирмагомедов Рустам  
Ярахмедович

кандидат технических наук,  
доцент кафедры Сетей связи и передачи  
данных  
(seti.sut.ru)

*LTS.PTO@YANDEX.RU*

# Цель курса

- Сформировать представление о текущих исследованиях в области передовых телекоммуникаций;
- Научиться работать с иностранной научно-технической литературой;
- Расширить угол восприятия телекоммуникаций, за пределы стандартных шаблонов и штампов.

# О чем курс?

- Интеграция биологических и электронных систем
- Всепроницающие телекоммуникации
- Телекоммуникации на наноуровне
- Медицинские приложения Интернета Вещей

И о том как это может повлиять на нашу  
жизнь

# План курса

- Лекции
- Практика – работа с зарубежной литературой
- Лабораторные работы

# Влияние телекоммуникаций на наш образ жизни

Появление новых технологий в области телекоммуникаций сильно влияют на наш образ жизни



# Развитие сетей связи

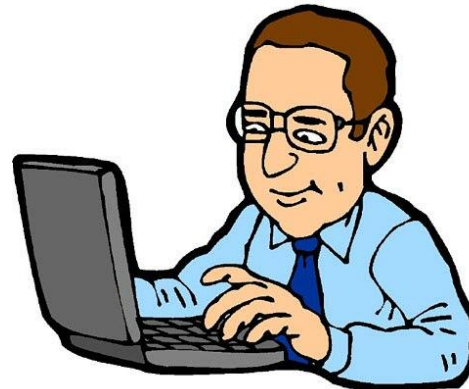
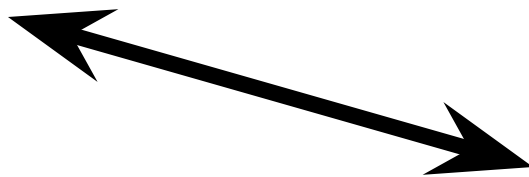
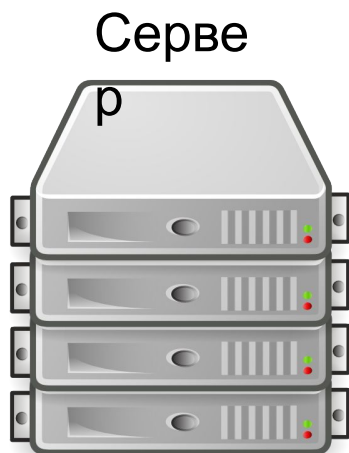
Коммуникация человек-человек



Сети и устройства связи служат лишь средством для коммуникации между людьми.

# Развитие сетей связи

Коммуникация человек-  
«машина»



Просмотр веб-страниц,  
работа с удаленными  
данными

# Развитие сетей связи

Коммуникация «машина»-

«машина» Серве



Видеонаблюдение



«Умные» счетчики



«Умные» датчики



Сети связи

Управление климатом



2009 год – количество устройств, подключенных к сети, превысило численность населения Земли



# Развитие сетей связи

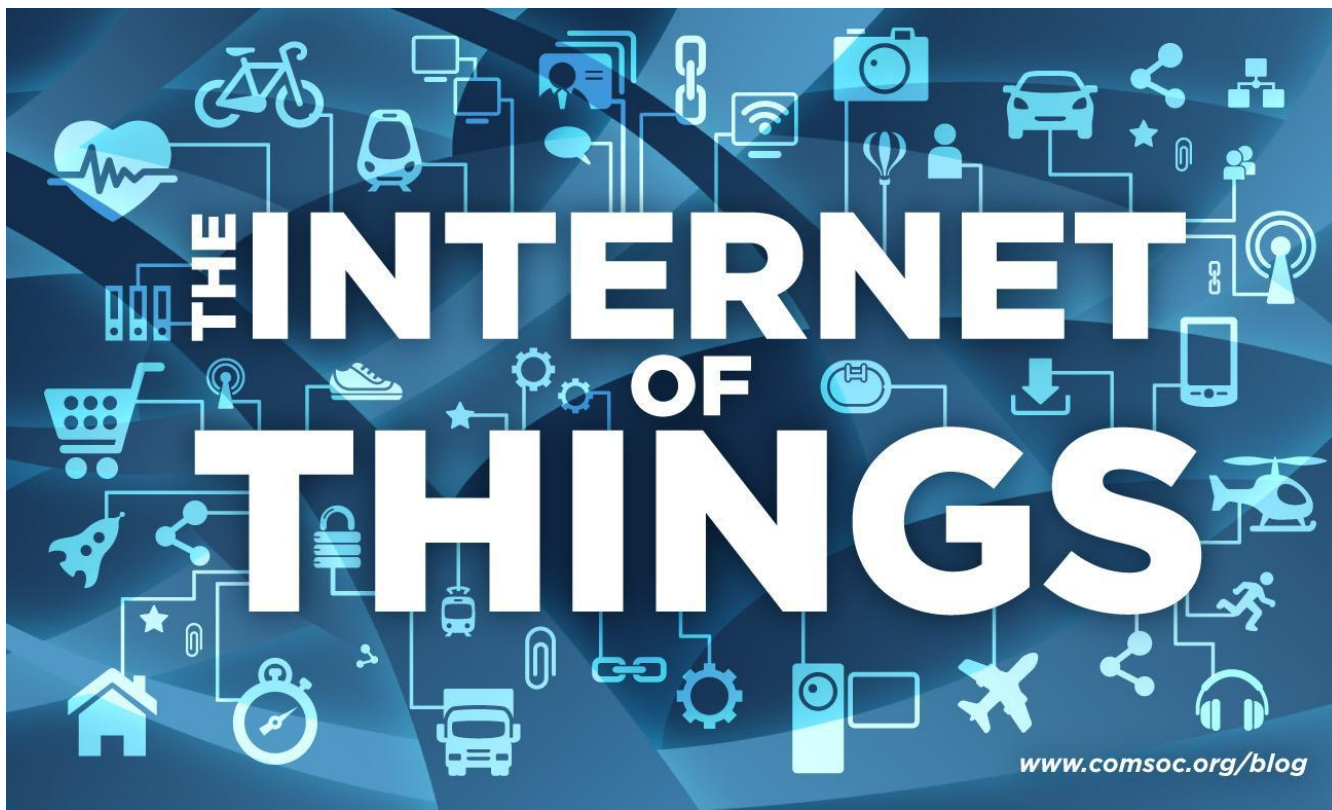
Почему бы не объединить все окружающие нас предметы при помощи телекоммуникационной сети?



- Для этого нужно снабдить предметы устройствами связи, которые должны:
- быть очень миниатюрными;
  - быть дешевыми (дешевле 1\$);
  - потреблять очень мало энергии;
  - поддерживать беспроводную передачу данных.

# Интернет вещей

**Интернет вещей** - это глобальная инфраструктура для информационного общества, которая обеспечивает возможность предоставления более сложных услуг путем соединения друг с другом вещей на основе существующих и развивающихся функционально совместимых информационно-коммуникационных технологий.



# Интернет вещей

## **Мы стоим на пороге новой технологической революции**

В ближайшие 10-15 лет концепция IoT, вероятно, будет активно развиваться и создаст новое «информационное общество». Реализация концепции IoT направлена на создание наиболее комфортной и безопасной среды обитания для человека.

## **Более 7 триллионов беспроводных устройств прогнозируется к 2020 году\***

Каждое устройство будет интегрировано в сеть и будет являться источником/ретранслятором/потребителем данных.

## **Переход к самоорганизующимся сетям**

Самоорганизующиеся сети - децентрализованные беспроводные сети, не имеющие постоянной структуры. Устройства соединяются «на лету», образуя собой сеть. Промежуточные узлы участвуют в пересылке данных, предназначенных другим узлам.

*\* По прогнозу Wireless World Research Forum.*

# Интернет вещей

Развитие концепции Интернета Вещей и нанотехнологий приводит к появлению термина наносети.

Наносеть – сеть объединяющая наномашинны.

Наномашинны – это устройства основанные на использовании уникальных свойств наноматериалов и наночастиц для определения и измерения характеристик процессов протекающих в наномире.

# Что дальше?

**Новый тренд в развитии техники – интеграция биологических и электронных систем:**

- Развитие биокomпьютеров
- Разработка биологических устройств по функционалу схожих с электронными
- Создание всепроникающего информационного пространства

# Интернет нановещей

Примеры практического применения интернета

## нановещей

- **Медицина**

- «Умные» имплантаты
- On-line мониторинг уровня сахара в крови у больных диабетом
- Мониторинг сердца
- «Умные» лекарства (доставляются непосредственно к патогенным организмам)

- **Производство**

- Контроль качества пищи
- Тотальный контроль процессов производства

- **Окружающая среда**

- Контроль состояния водных ресурсов
- Контроль состояния почвы
- Контроль загрязнения воздуха

# Наносети

Взаимодействие между наномашинами осуществляется при помощи:

- **Электромагнитных коммуникаций**

*Используются электромагнитные волны для передачи информации между наномашинами*

- **Молекулярных коммуникаций**

*Передача информации между наномашинами осуществляется за счет перемещения вещества*

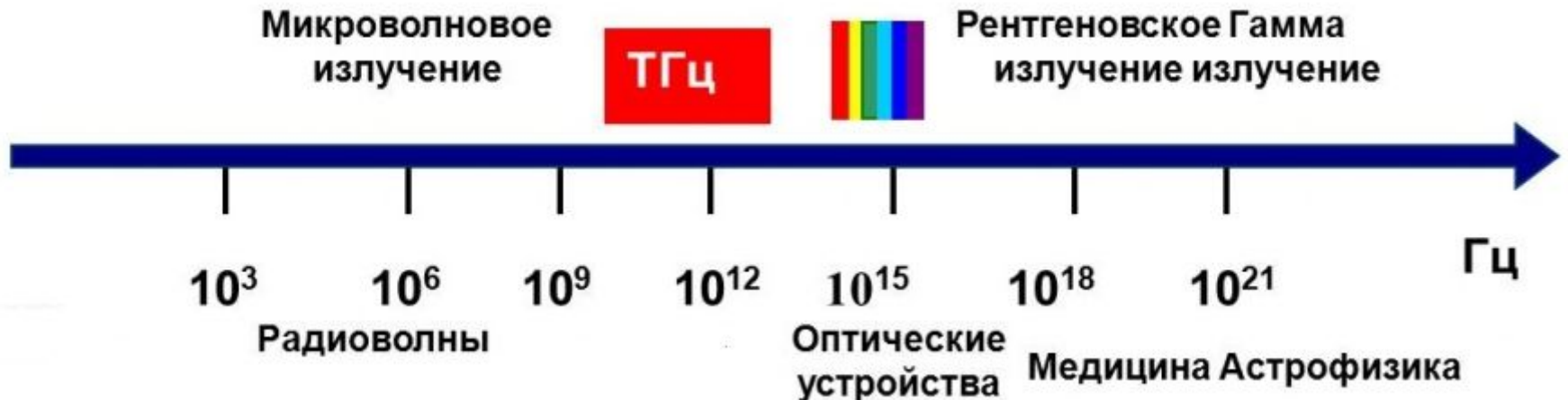
# Электромагнитные коммуникации в наносетях



# Электромагнитные коммуникации в наносетях (ЭМКН)

ЭМКН - передача и прием электромагнитного излучения с использованием компонентов на основе новейших наноматериалов

Для коммуникации используется терагерцовый диапазон частот



# Характеристики терагерцового канала

Формула передачи в терагерцовом диапазоне:

$$P_{Rx}(f, d) = P_{Tx}(f) - L_P(f, d) - L_A(f, d)$$

Где:

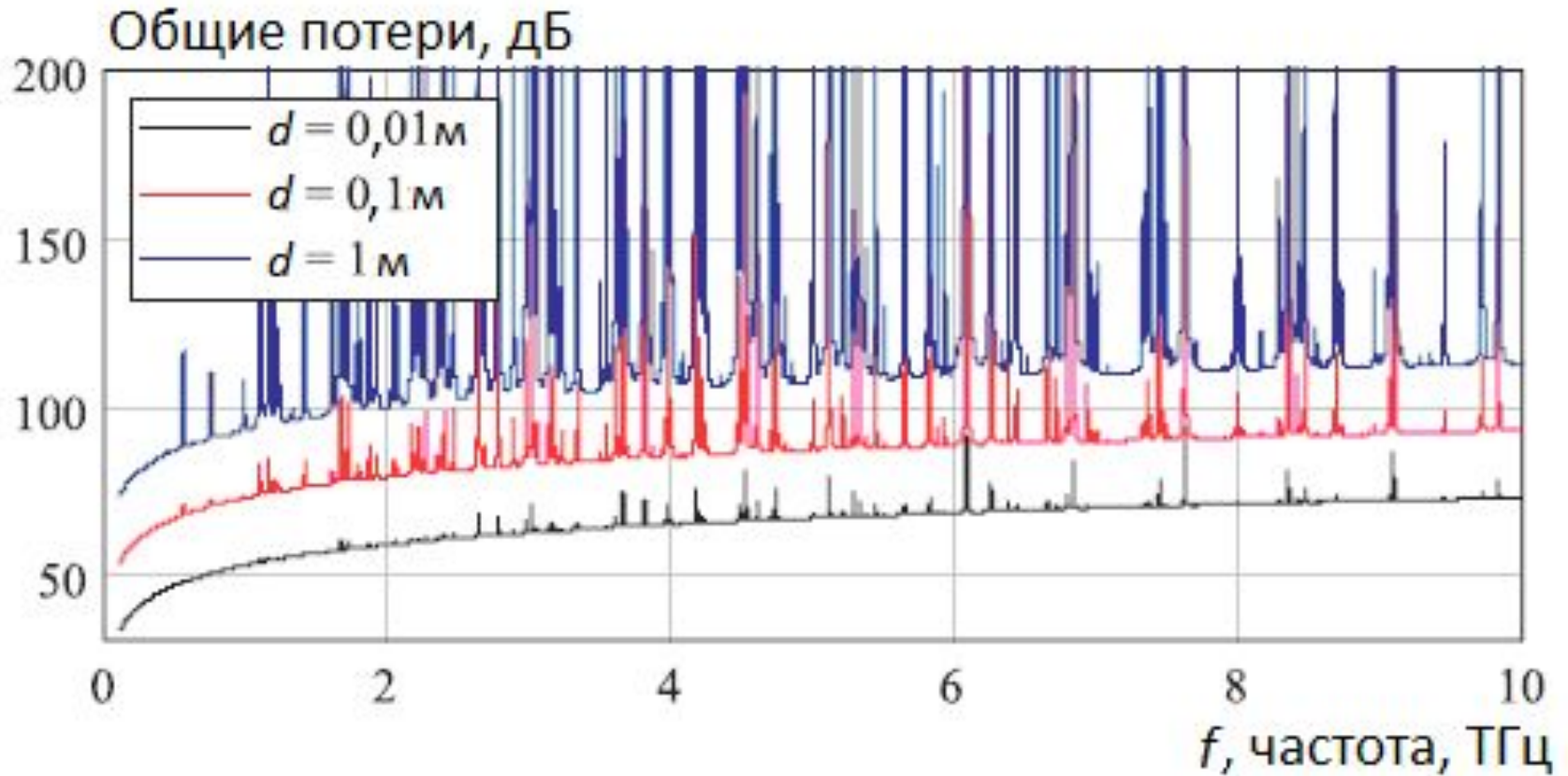
$P_{Tx}$  – спектральная плотность мощности переданного сигнала (СПМ);

$P_{Rx}$  – СПМ принятого сигнала;

$L_P$  – потери сигнала в пространстве;

$L_A$  – потери из-за молекулярной абсорбции.

# Окна прозрачности в диапазоне ТГц..



# Нано антенны

Можем ли использовать классические металлические

*антенны? Миниатюризация классических металлических антенн потребует использования очень высоких резонансных частот (более 100 ТГц)*

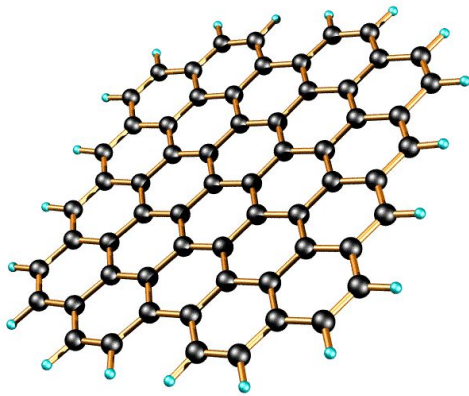


## **РЕШЕНИЕ:**

Применение антенн на основе графена

# Графен

Графен (англ. graphene) — двумерная аллотропная модификация углерода, образованная слоем атомов углерода толщиной в один атом (первый известный истинно двумерный кристалл).



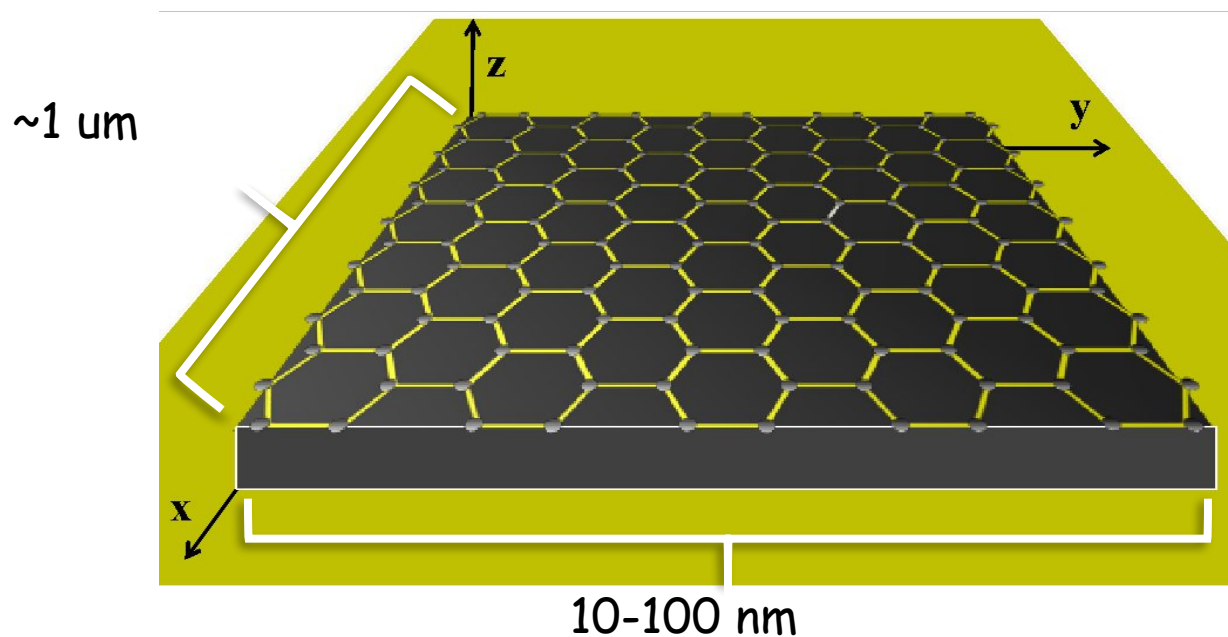
- Высокая механическая жесткость (жестче чем бриллиант, в 300 раз крепче стали)
- Рекордно большая теплопроводность
- Самый тонкий и легкий в мире материал
- Проводит электричество намного лучше меди

Графен впервые экспериментально получен в 2004 А. Геймом и К. Новоселовым (Нобелевская премия 2010)

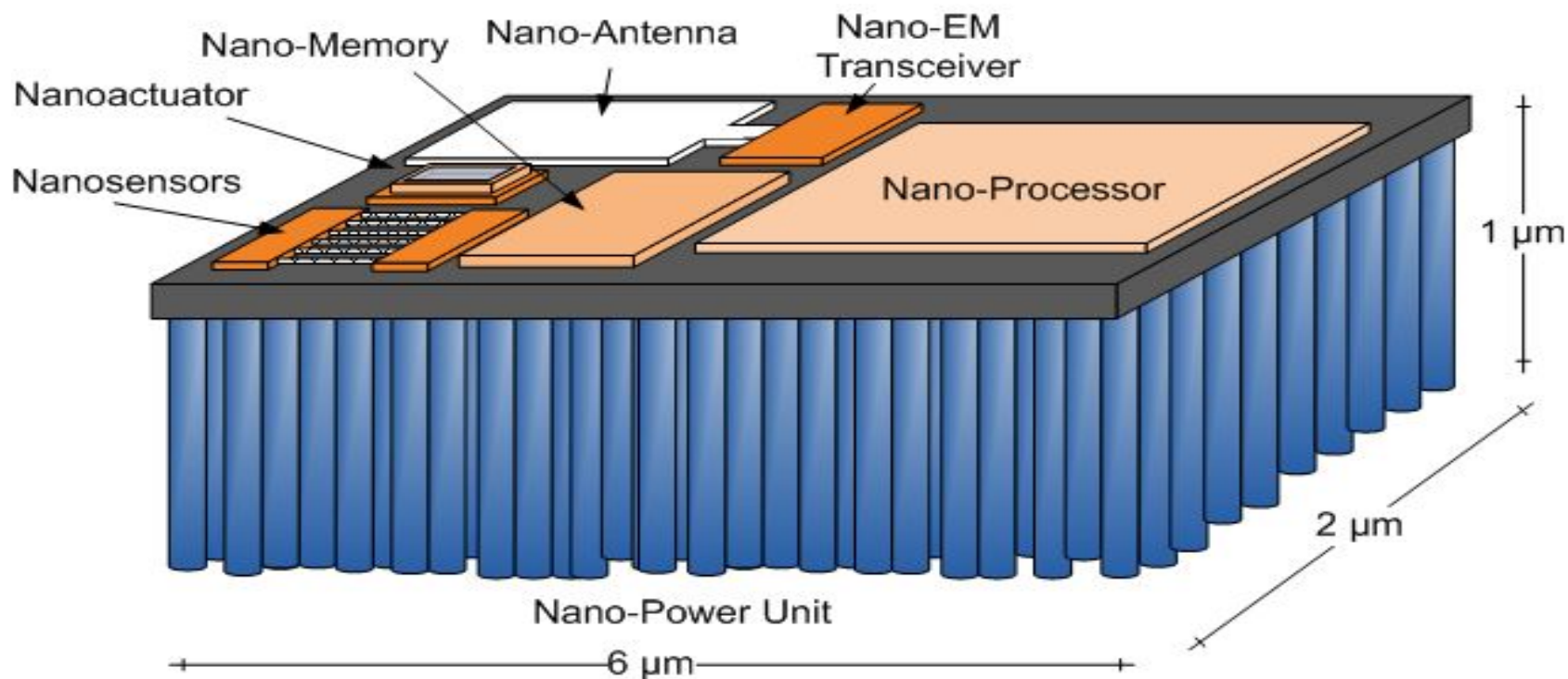


# Графеновые антенны

Графеновая наноантенна длиной 1 мкм позволяет эффективно излучать электромагнитные волны в терагерцовом диапазоне

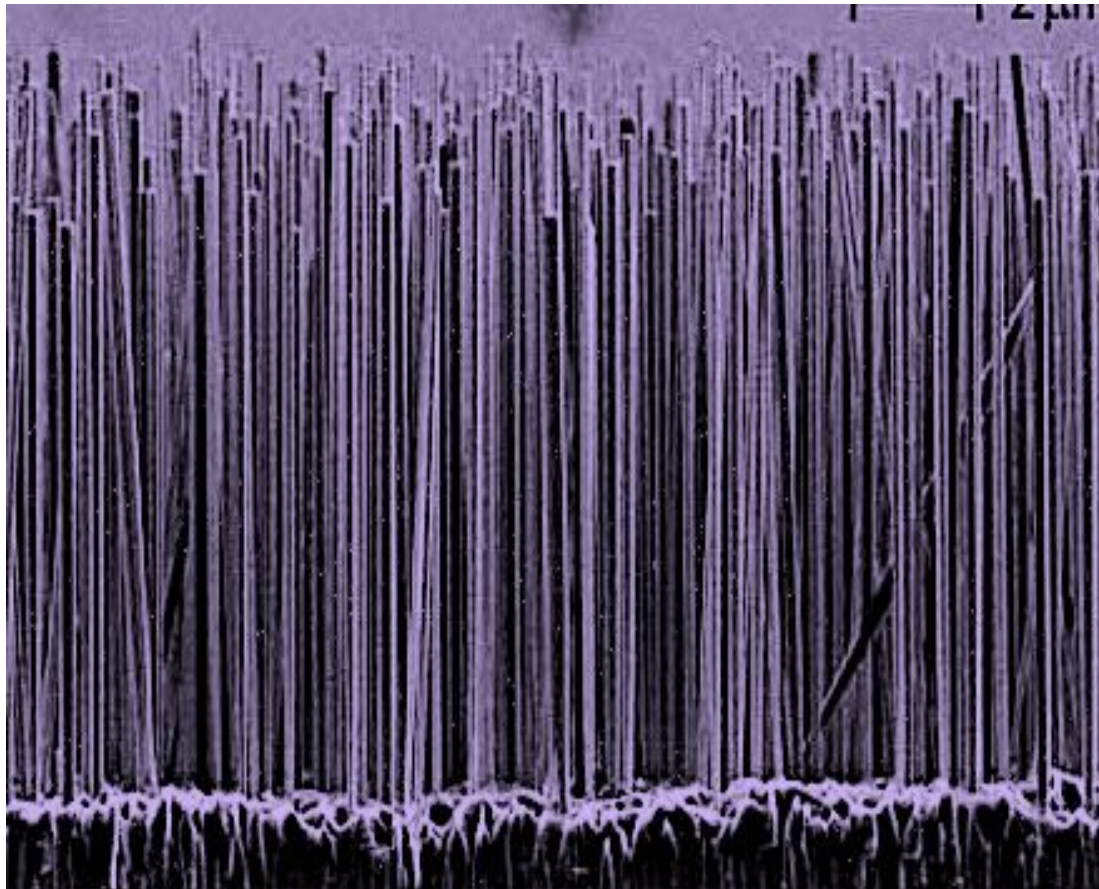


# Пример ЭМ наномашины



# Генератор энергии

Нанопроволки из оксида цинка могут быть использованы для генерирования энергии от вибраций





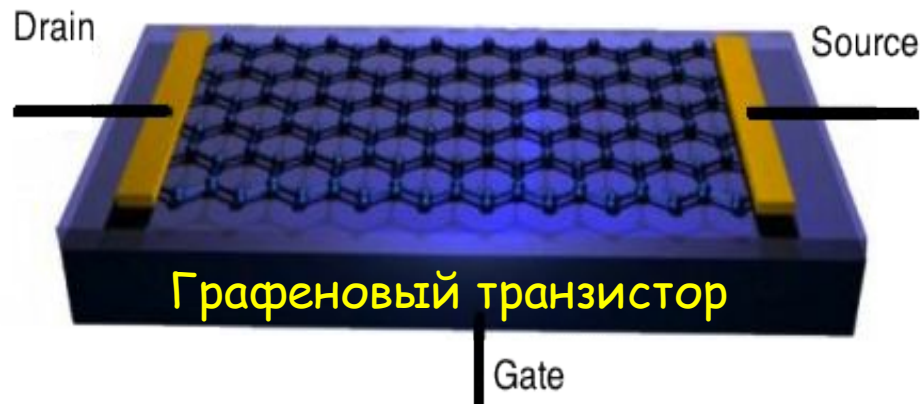
# Наше предложение по решению проблемы электропитания

Для функционирования наномашин использовать энергию внешних устройств, по аналогии с пассивными RFID метками.

# Нанопроцессор

При создании современных процессоров используются 20 нм транзисторные технологии.

Применение графена позволило создать транзистор размером 1 нм.



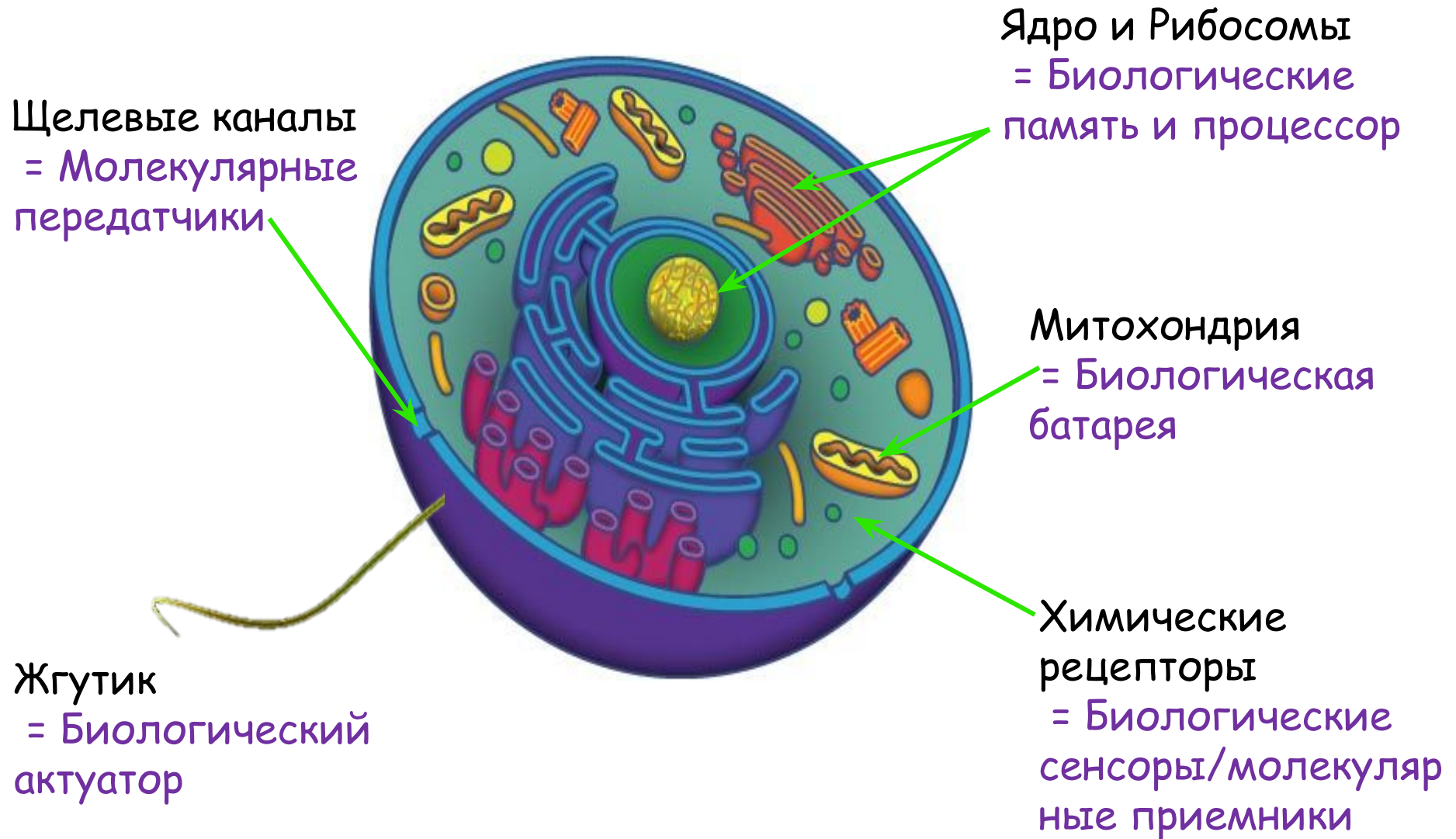
Частота работы графенового транзистора близка к 1 ТГц (у кремниевых транзисторов несколько гигагерц)

# Молекулярные коммуникации в наносетях

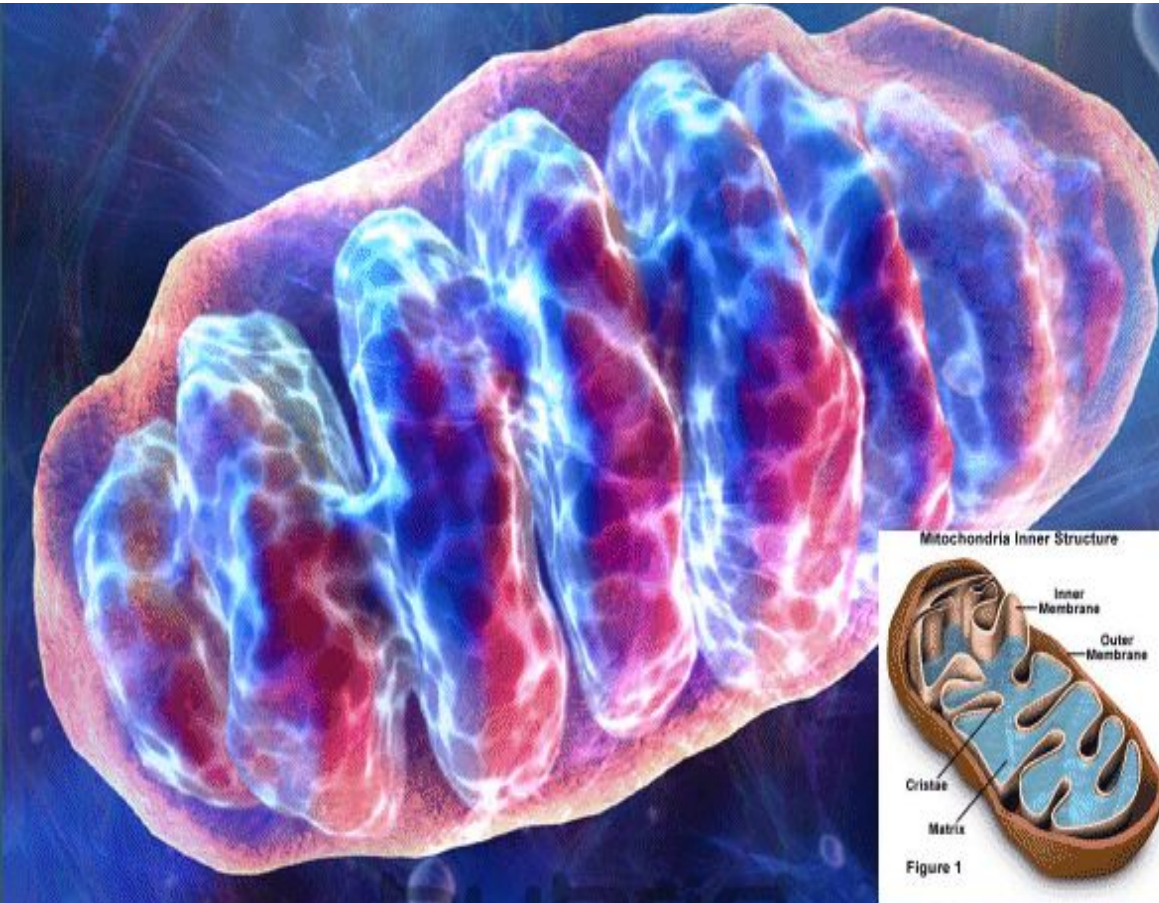
# Молекулярные коммуникации

- Передача основана на молекулярном взаимодействии наномашин
  - Передача и прием информации, закодированной в молекулах
  - Молекулярные трансиверы легко интегрировать в нано устройства благодаря их размерам
    - Эти трансиверы могут реагировать на определенные молекулы и испускать другие типы молекул в ответ на внутренние команды или вследствие выполнения преобразования поступившей информации
    - Молекулы, испущенные наномашинами, распространяются:
      - Вследствие случайной диффузии в жидкой среде
      - Вследствие передачи «течениями» в жидкой среде (например, кровеносная система)
      - При помощи активных переносчиков, которые движутся по предустановленным путям

# Клетки - биологические наномашинны



# Митохондрия – биологическая батарея



Митохондрия получает энергию путем объединения:

- Глюкозы
- Аминокислот
- Жирных кислот
- Кислорода

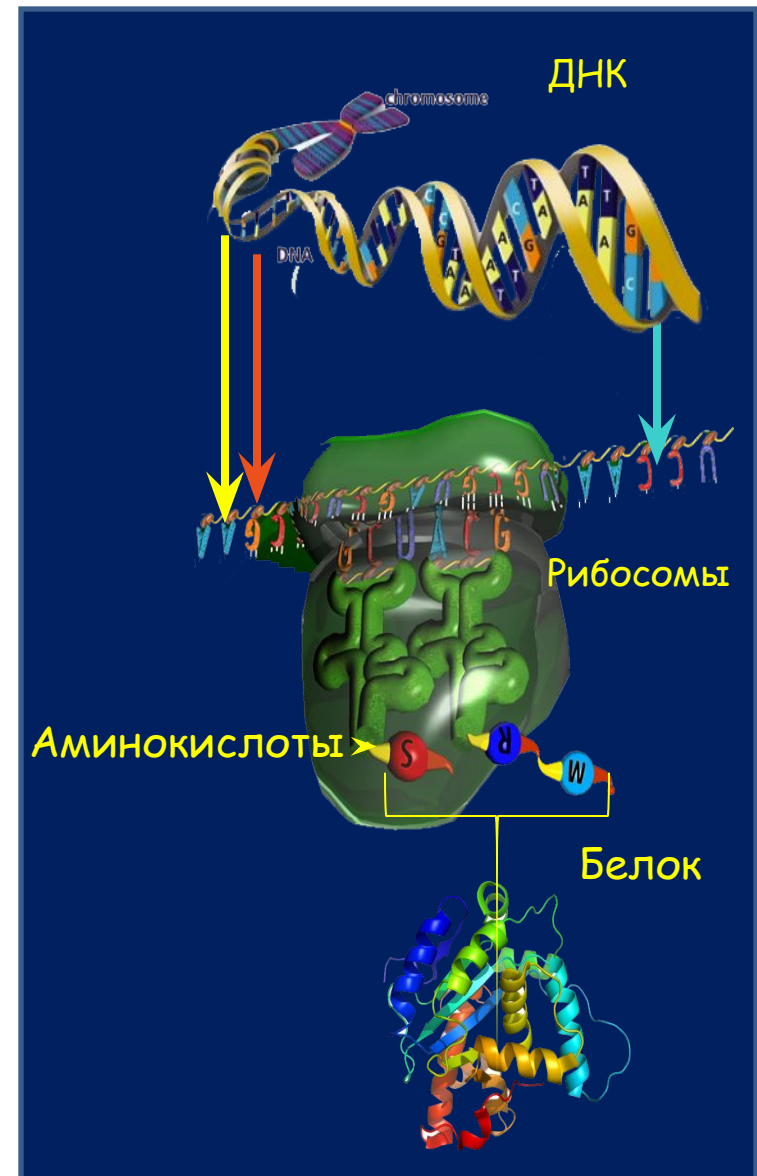
И синтезирует:

□ Аденозинтрифосфат (АТФ)

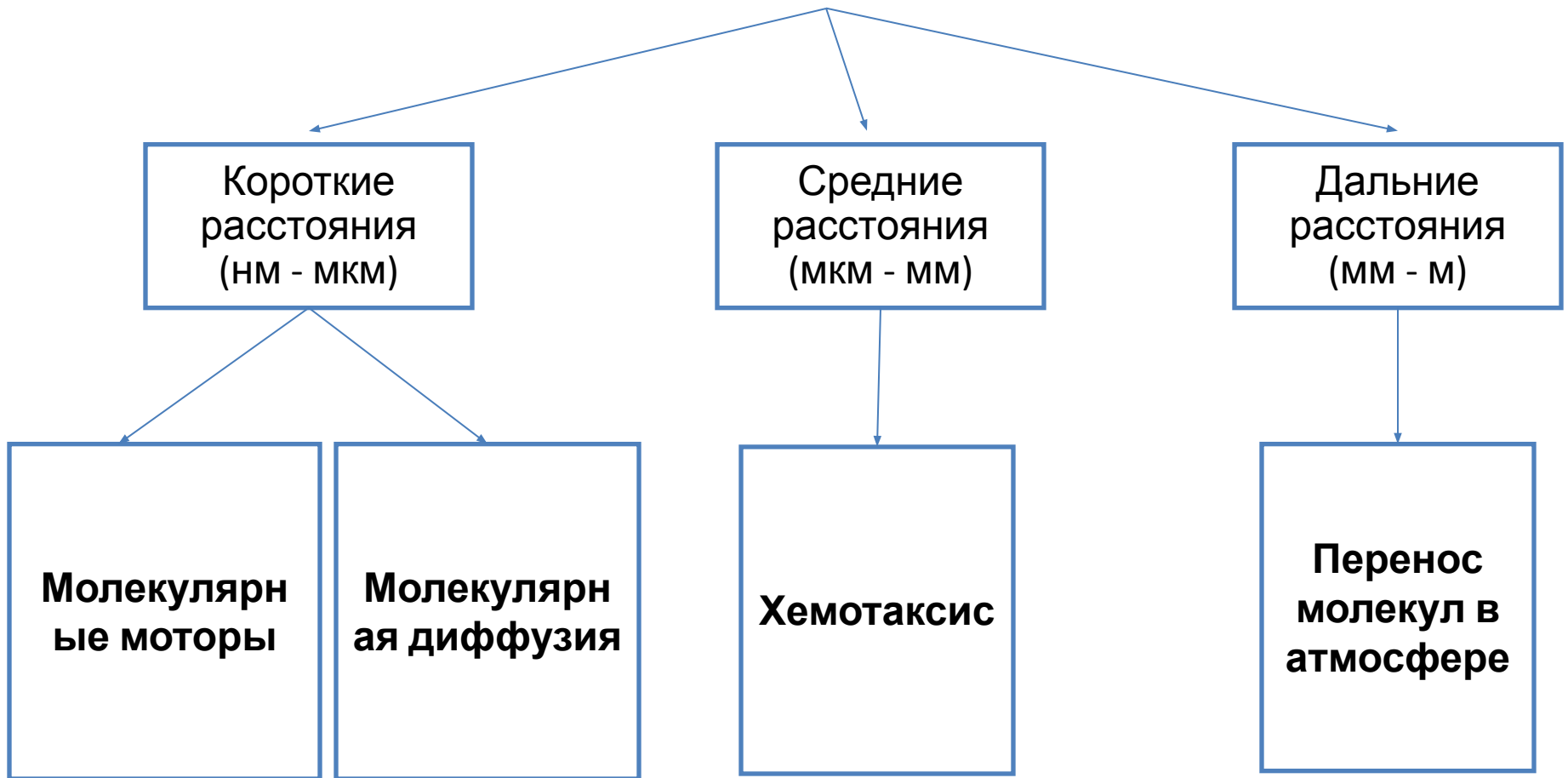
**АТФ – универсальный источник энергии для всех биохимических процессов**

# Биологическая память и процессор

- **ДНК** выполняет функцию **памяти** и содержит информацию о структуре протеина
- **Рибосомы** выполняют функцию **процессора**, считывают и обрабатывают информацию ДНК и синтезируют белки
- **Белки** управляют функционированием всей клетки (в т. ч. передача информации во внешнюю среду, считывание информации с сенсоров и т.д.)



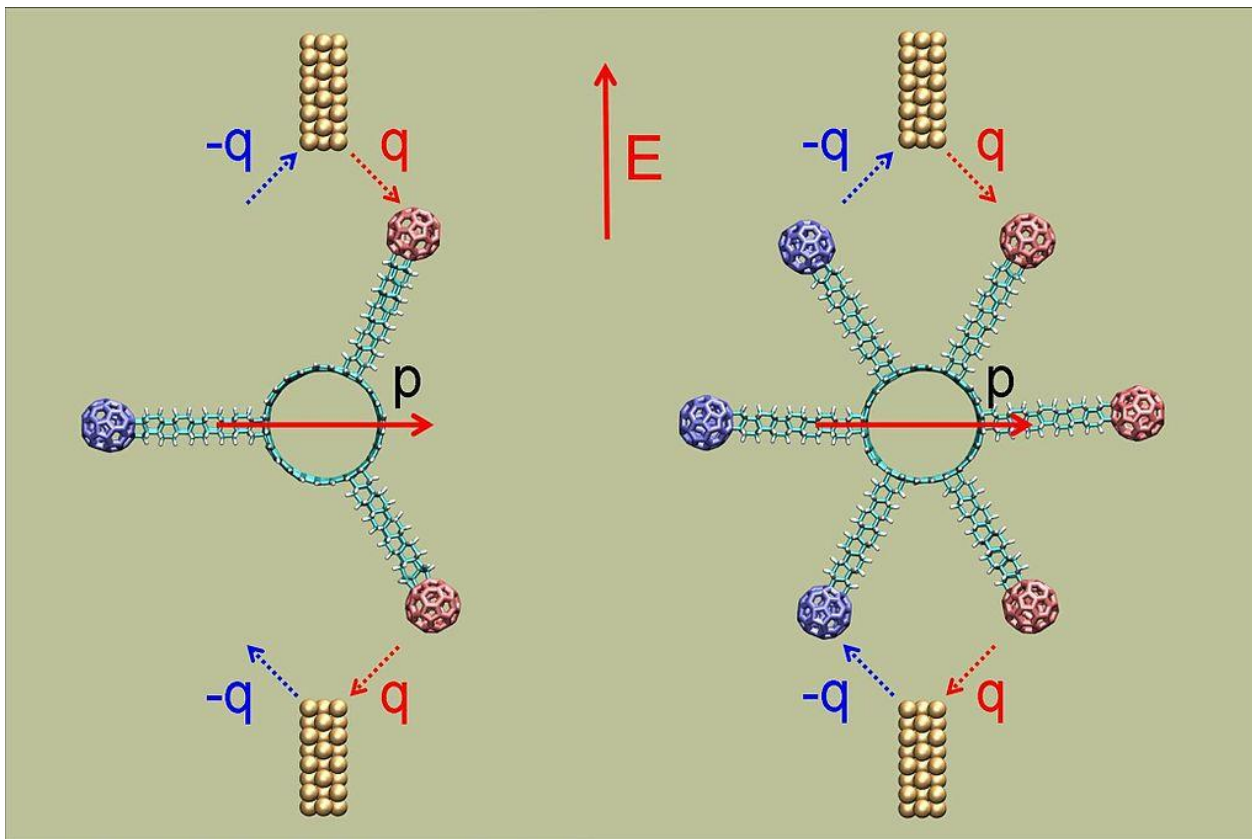
# Молекулярные коммуникации



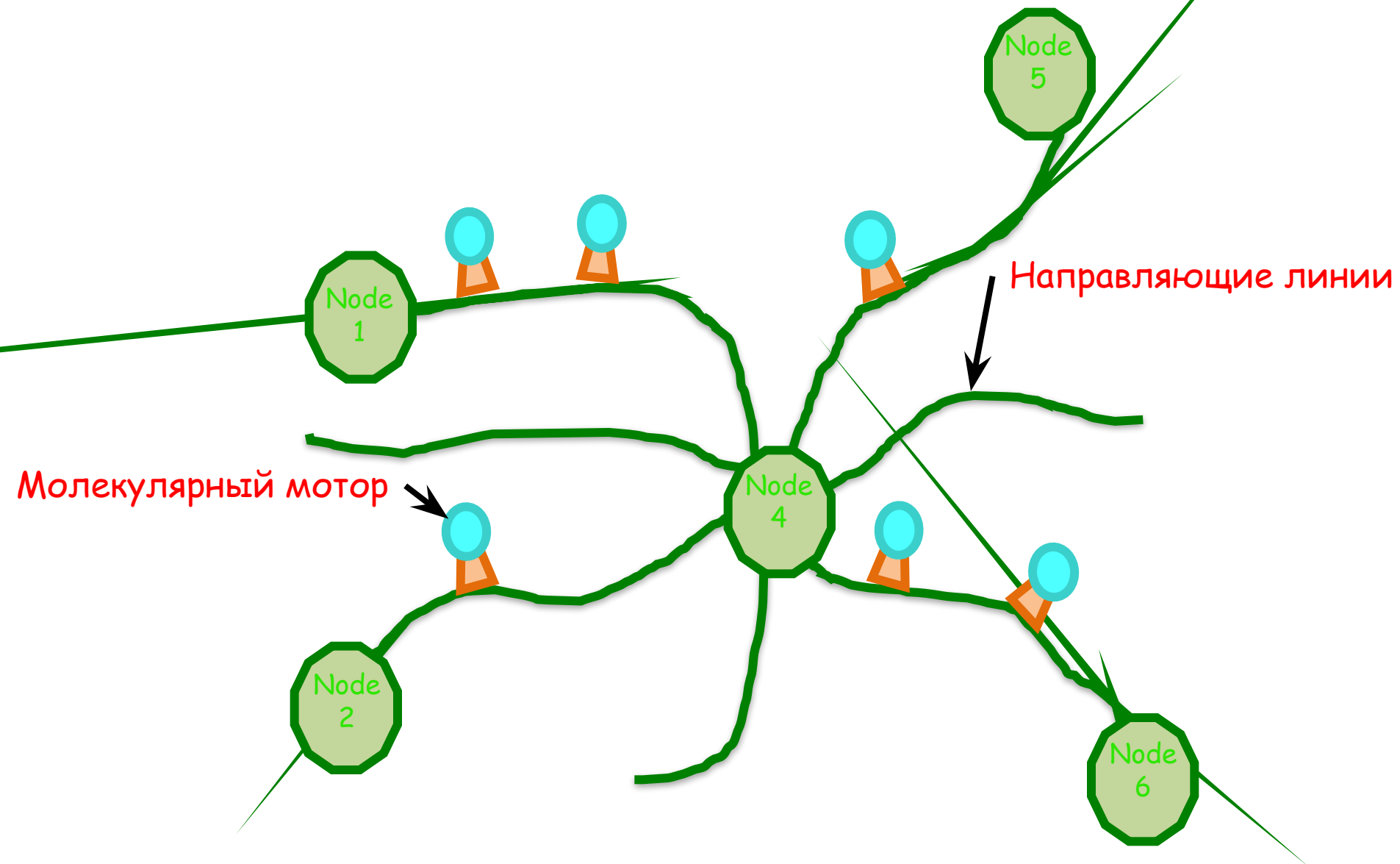


# Молекулярные моторы

Двигутся по направляющим линиям, вследствие происходящих химических реакций. В молекулярном моторе может содержаться «груз» (например, сообщение).

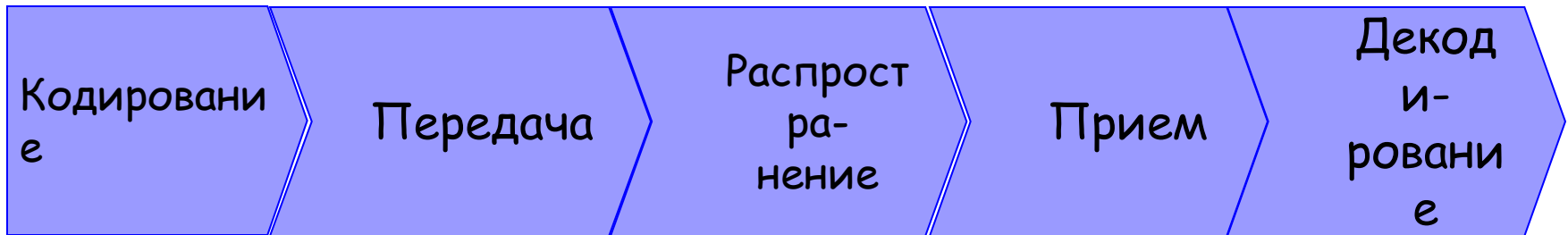


# Молекулярные моторы



# Молекулярные моторы

## Классическая теория связи



## Молекулярные моторы



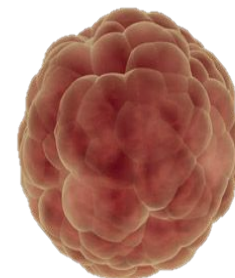
# Молекулярная диффузия

Tx

Эукариоты



Rx

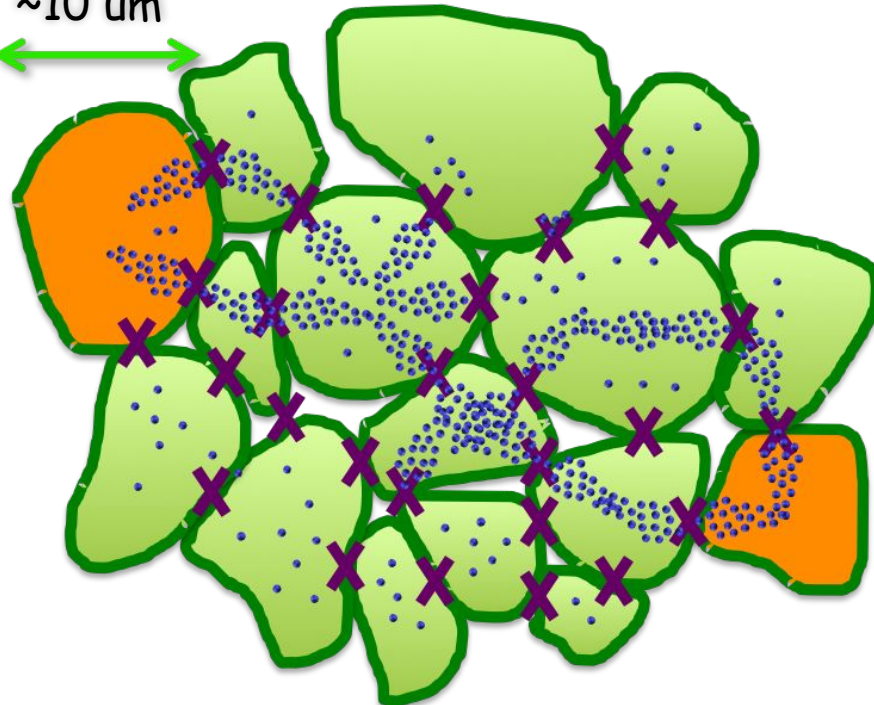


Протеины, ионы, гормоны

~10  $\mu\text{m}$



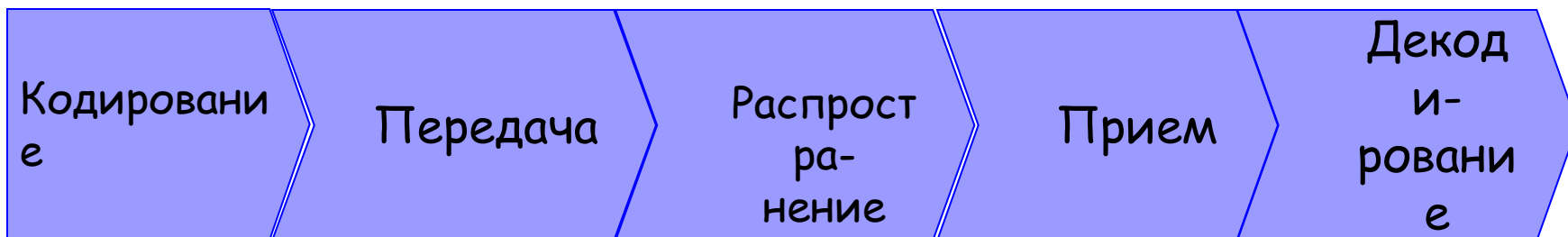
Tx



Rx

# Молекулярная диффузия

Классическая теория связи

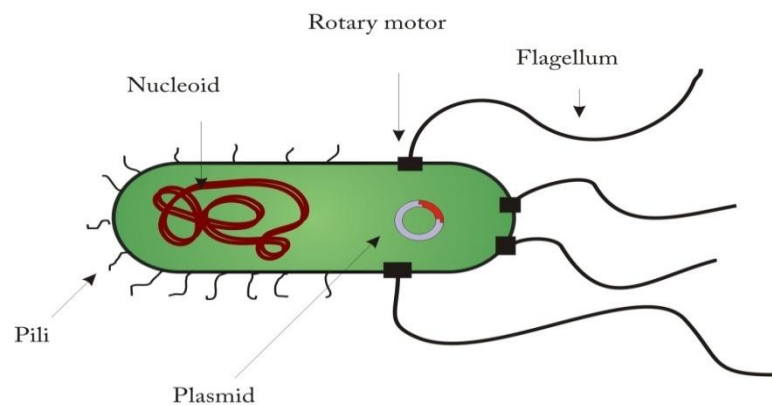
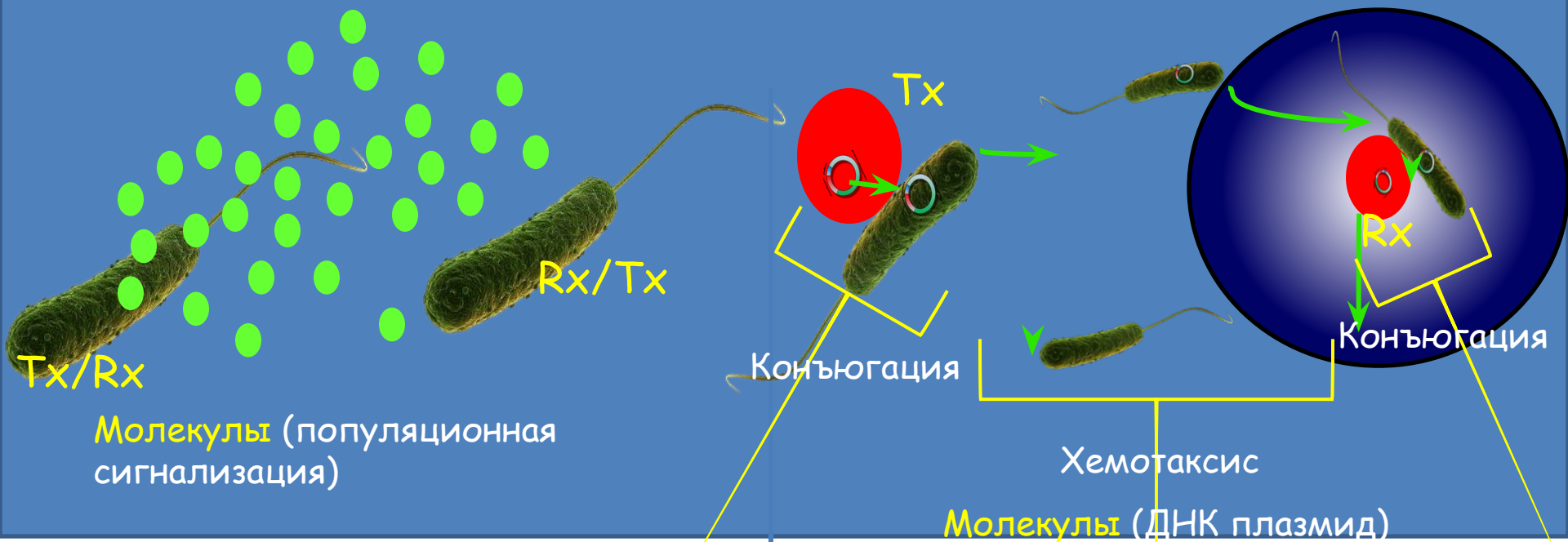


## Молекулярная диффузия



# Коммуникация при помощи

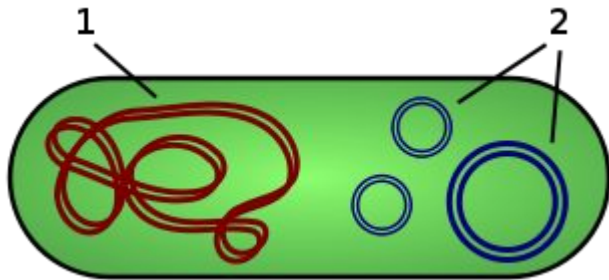
## Прокариоты



Примерная длина бактерии 2 мкм,  
диаметр 1 мкм

# Плазмид

**Плазмиды** — небольшие молекулы ДНК, физически отдельные от геномных хромосом и способные реплицироваться автономно



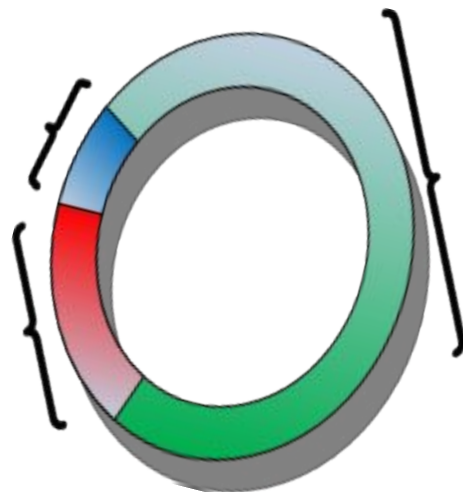
1 – хромосомная ДНК

2 – плазмид

- Примерный объем сообщения около 600 КВ на один плазмид
- Активная и трансферные области □ регулируют поведение бактерии

Активная область

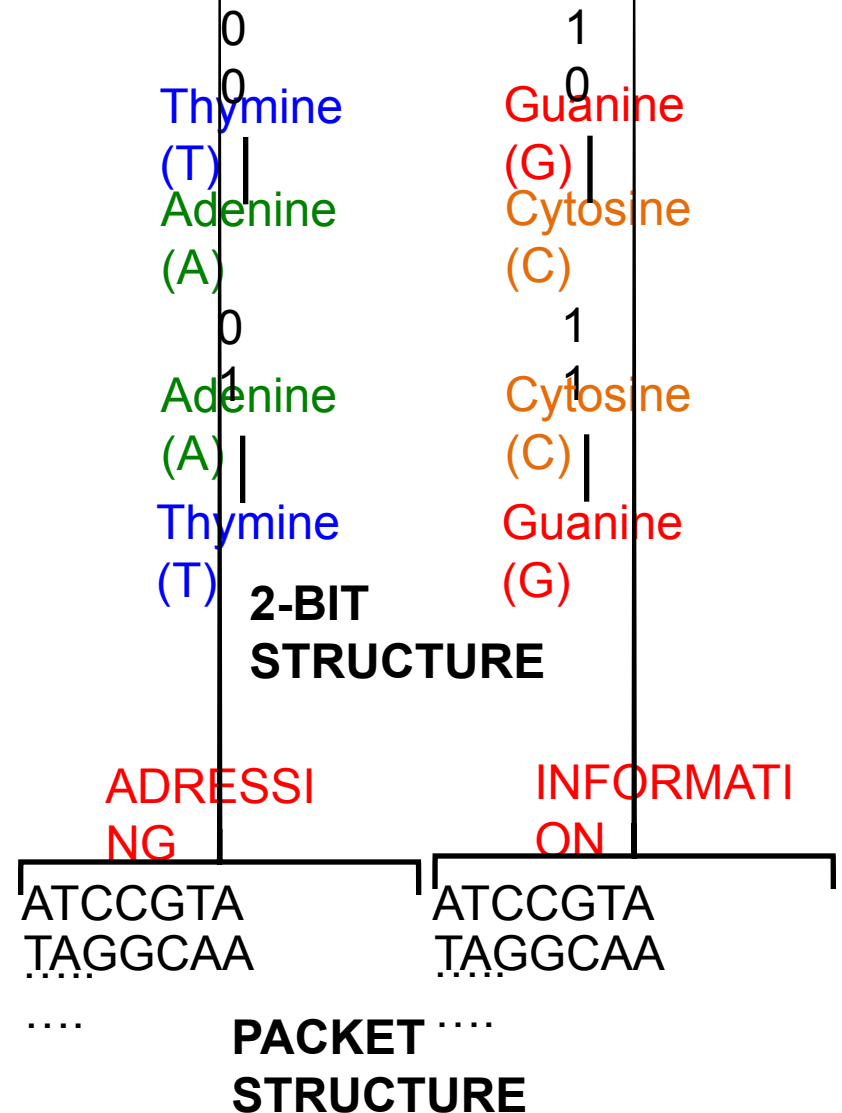
Трансферная область



Сообщение

# Кодирование сообщения в плазмид

- Плазмид представляет последовательность пар нуклеотидных оснований, пример показывает один из возможных способов 2-х битного кодирования

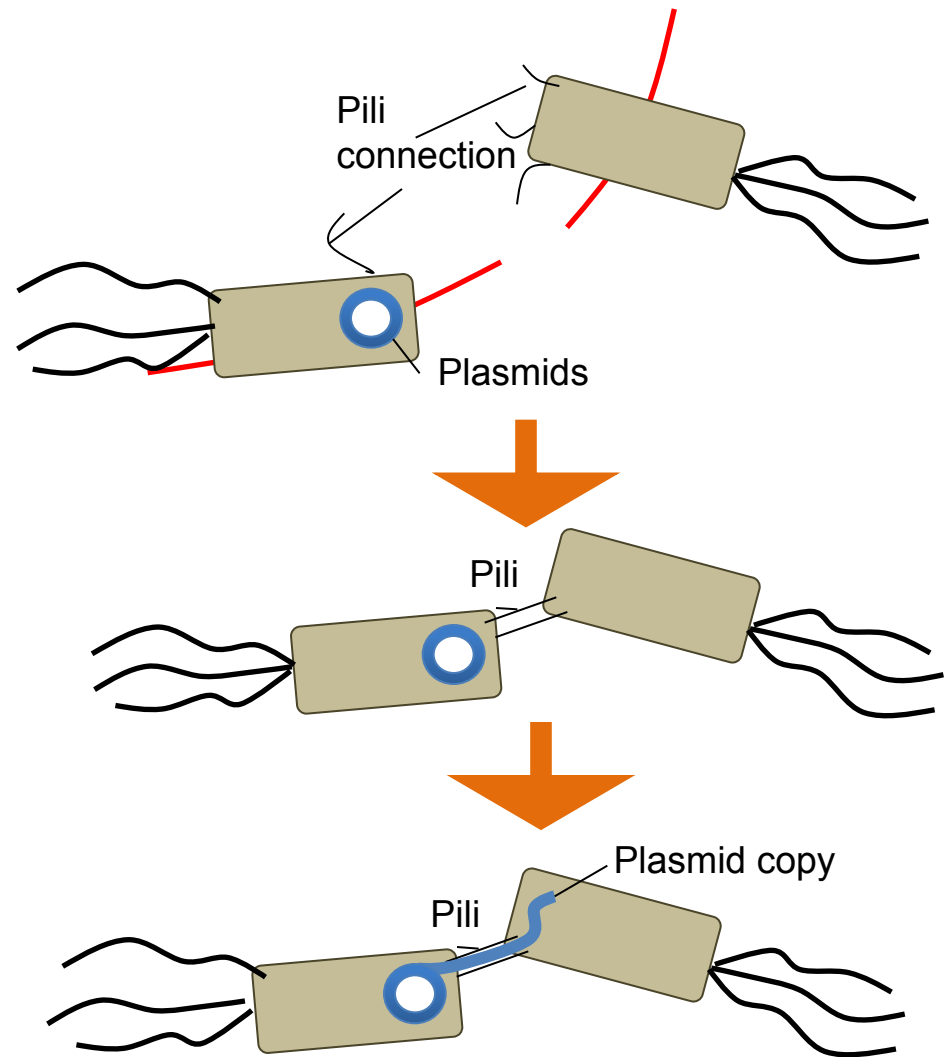




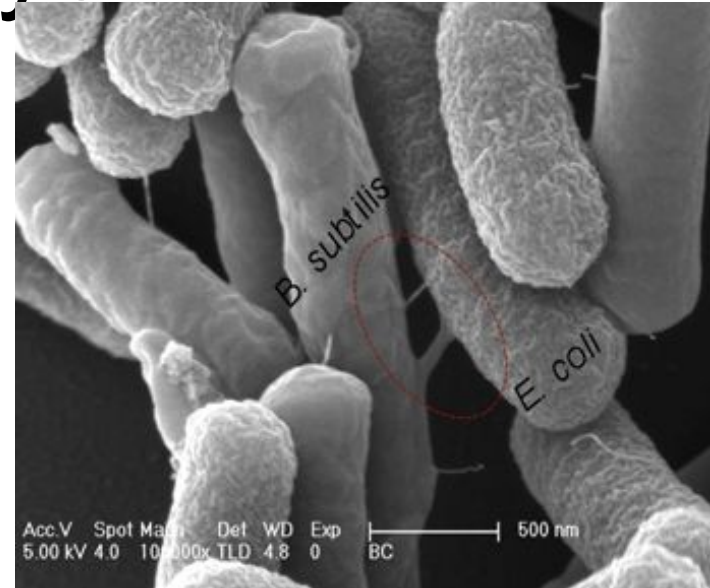
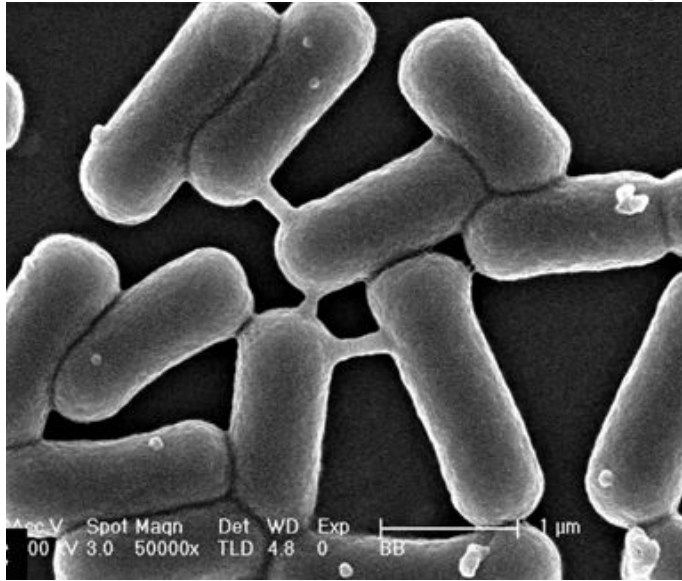
# Конъюгация

Конъюгация –  
*однонаправленный перенос*  
*части генетического*  
*материала (плазмид,*  
*бактериальной хромосомы)*  
*при непосредственном*  
*контакте*  
*двух бактериальных клеток*

Передача плазмиды  
осуществляется через  
специальные каналы (Pili)



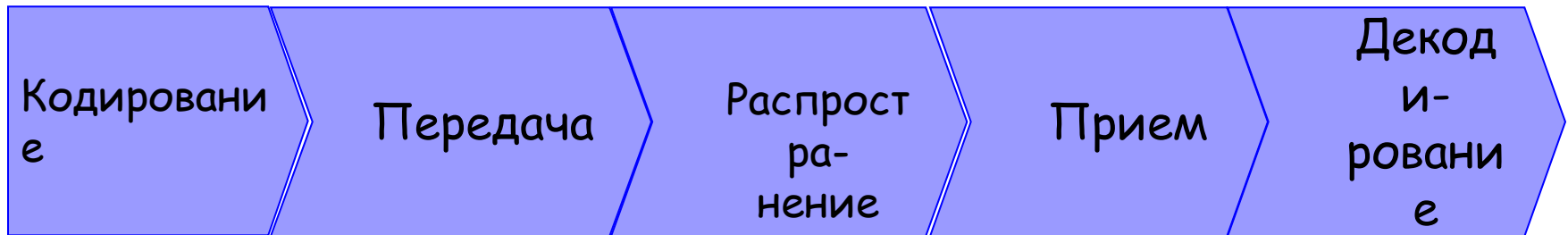
# Коммуникации через нанотрубки



- Нанотрубки могут формироваться как между представителями одного вида (*Bacillus*), так и между представителями разных видов (*Bacillus* and *E.coli*)
- Через нанотрубки могут передаваться различные носители информации:
  - Протеины, ионы
  - Плазмид (не конъюгация!)

# Бактериальная коммуникация

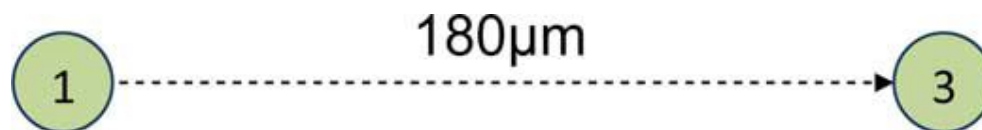
## Классическая теория связи



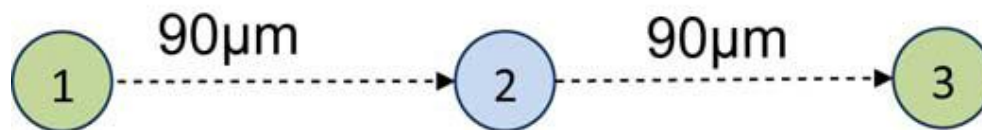
## Хемотаксис



# Численная оценка параметров передачи сообщений при помощи бактерий (процесс конъюгации)



(a) Single-hop

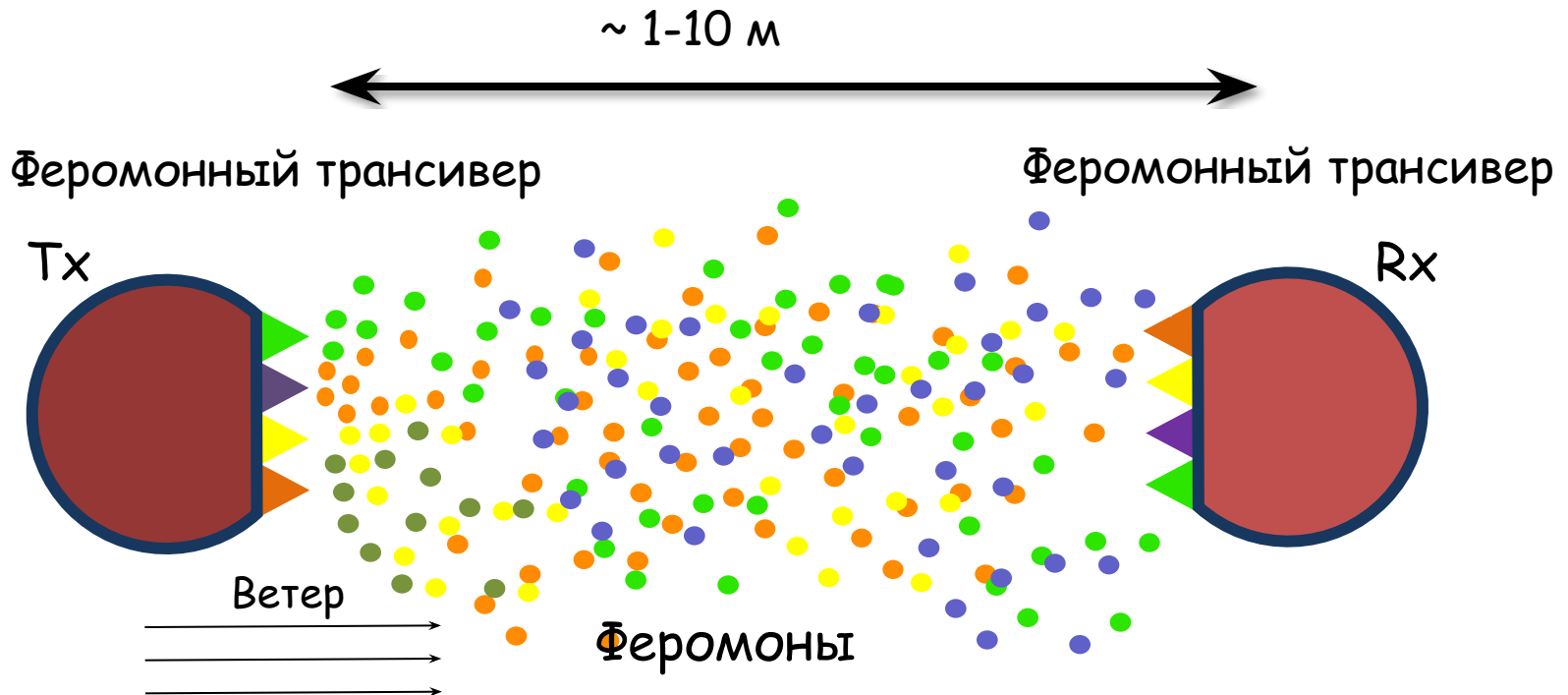


(b) Multi-hop

Тип канала	Среднее время получения сообщения (сек)
Single-hop	299,96
Multi-hop	34621,5

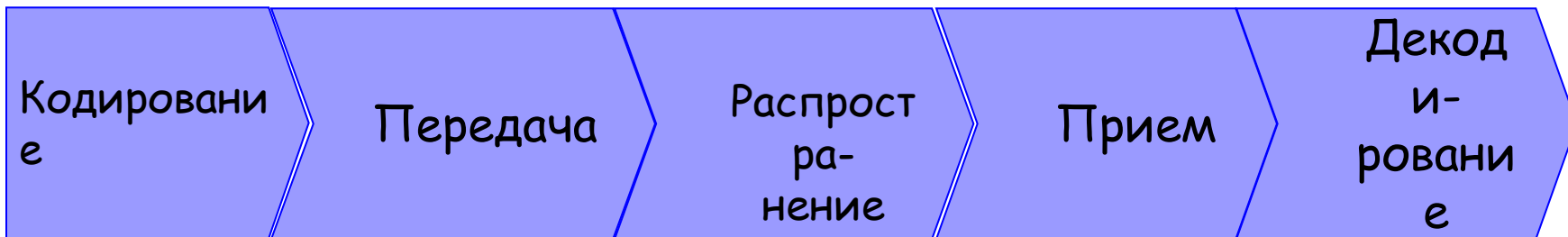
# Коммуникации на дальние расстояния. Феромоны.

Феромоны - продукт секреции живых организмов, обеспечивающий химическую коммуникацию между особями одного вида.

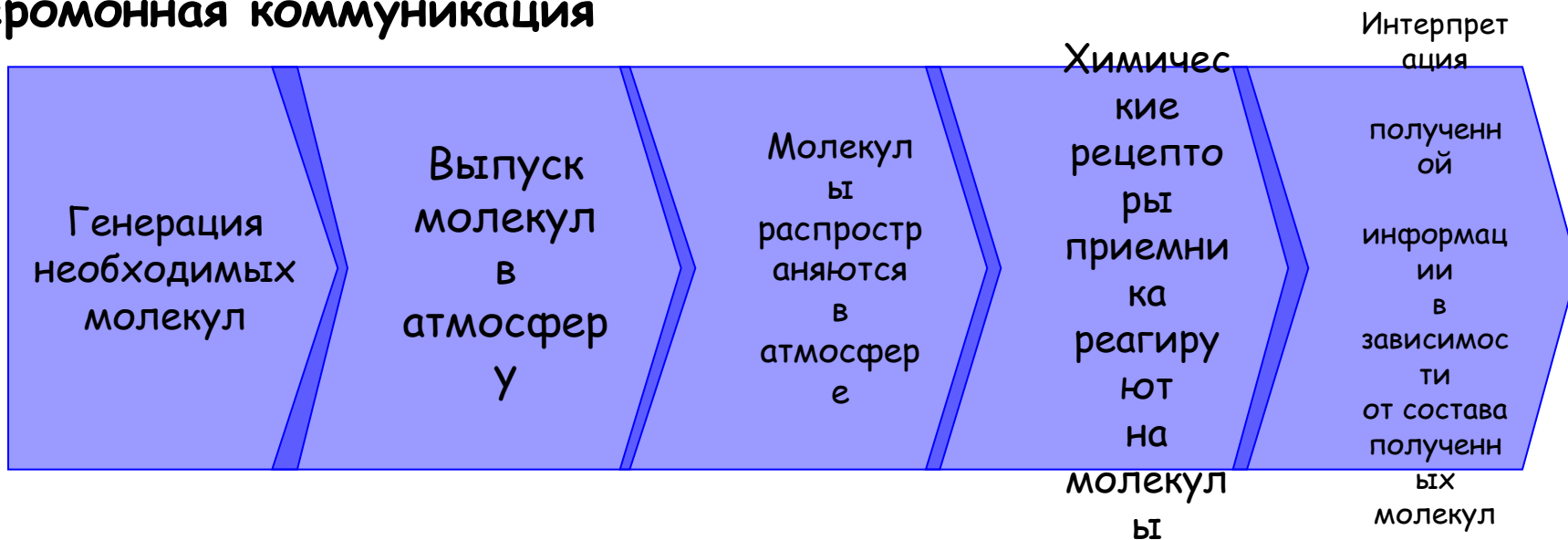


# Коммуникации на дальние расстояния. Феромоны.

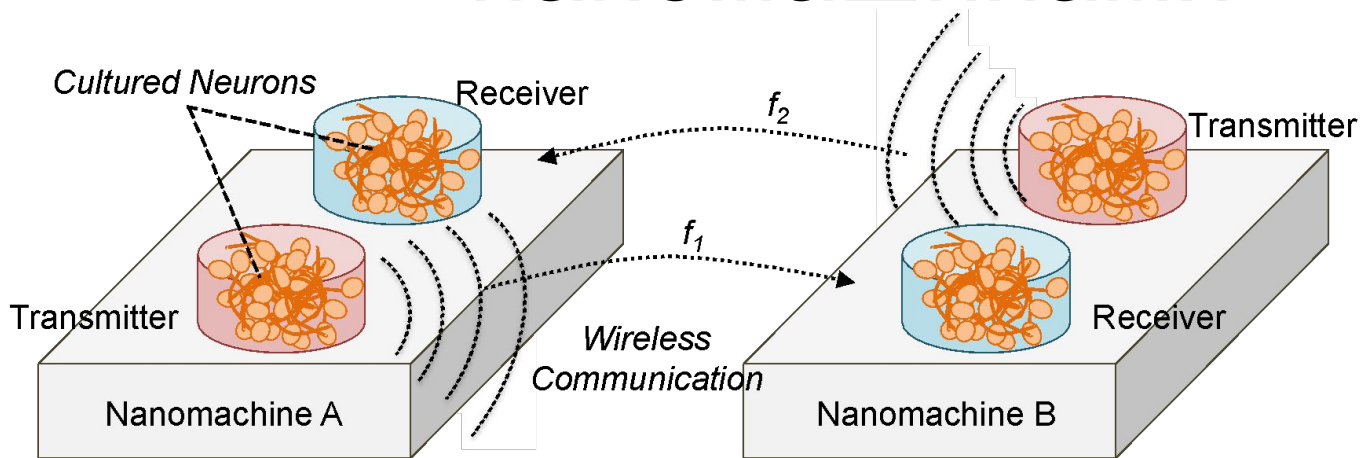
## Классическая теория связи



## Феромонная коммуникация



# Нейронная антенна для беспроводной связи между наномашинами

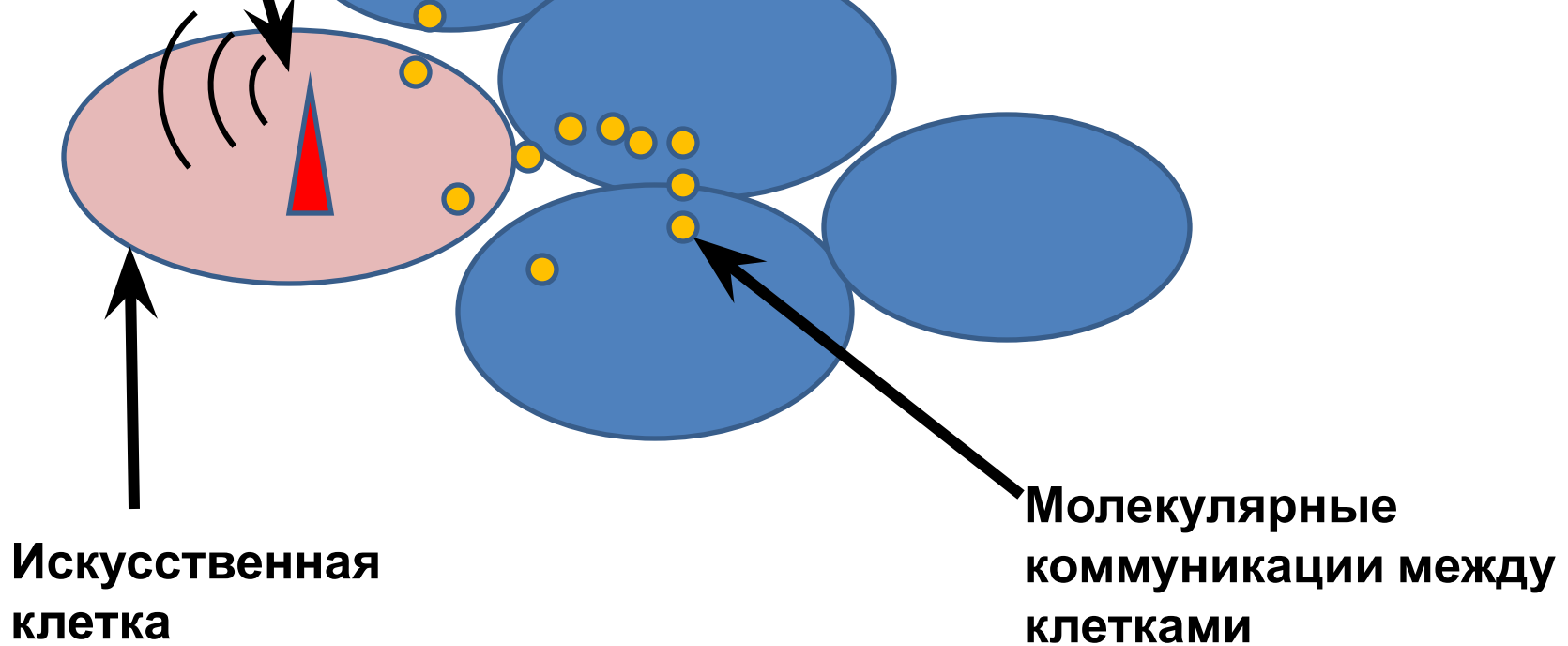


- Расстояние беспроводной передачи – 1мм
- Система остается достаточно стабильной даже когда нейроны начинают погибать

# Комбинированное использование ЭМ и молекулярных коммуникаций

Трансивер ТГц  
диапазона

Клетки  
организма





Наш вклад

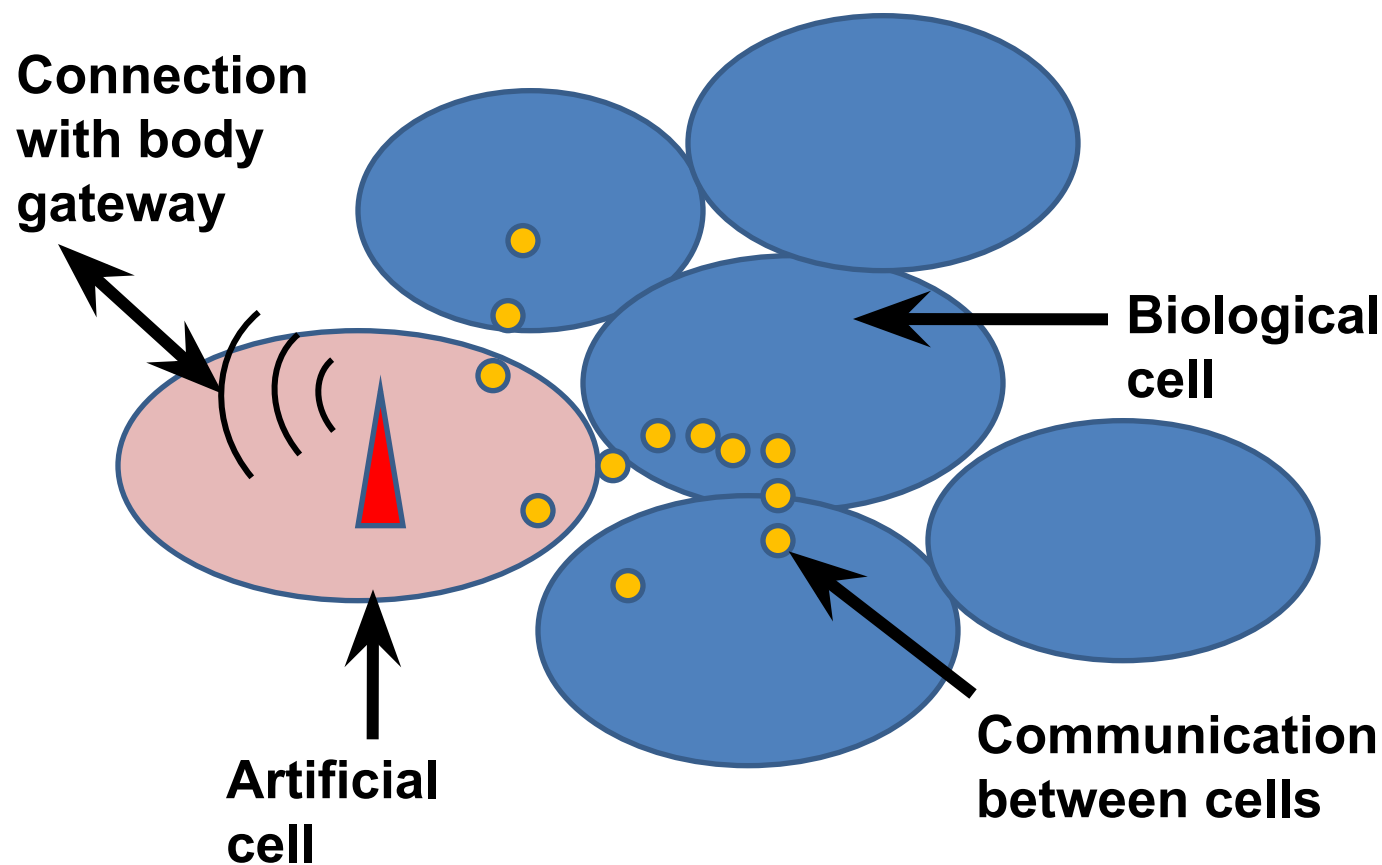
# Концепция гармоничной интеграции

Интеграция биологических сетей связи с телекоммуникационными сетями макромира должны быть основаны на использовании традиционных для биологических сетей способов передачи и типов информации (другими словами **нужно научиться понимать язык, на котором общаются организмы и говорить на нем**).

Концепция основана на тезисах:

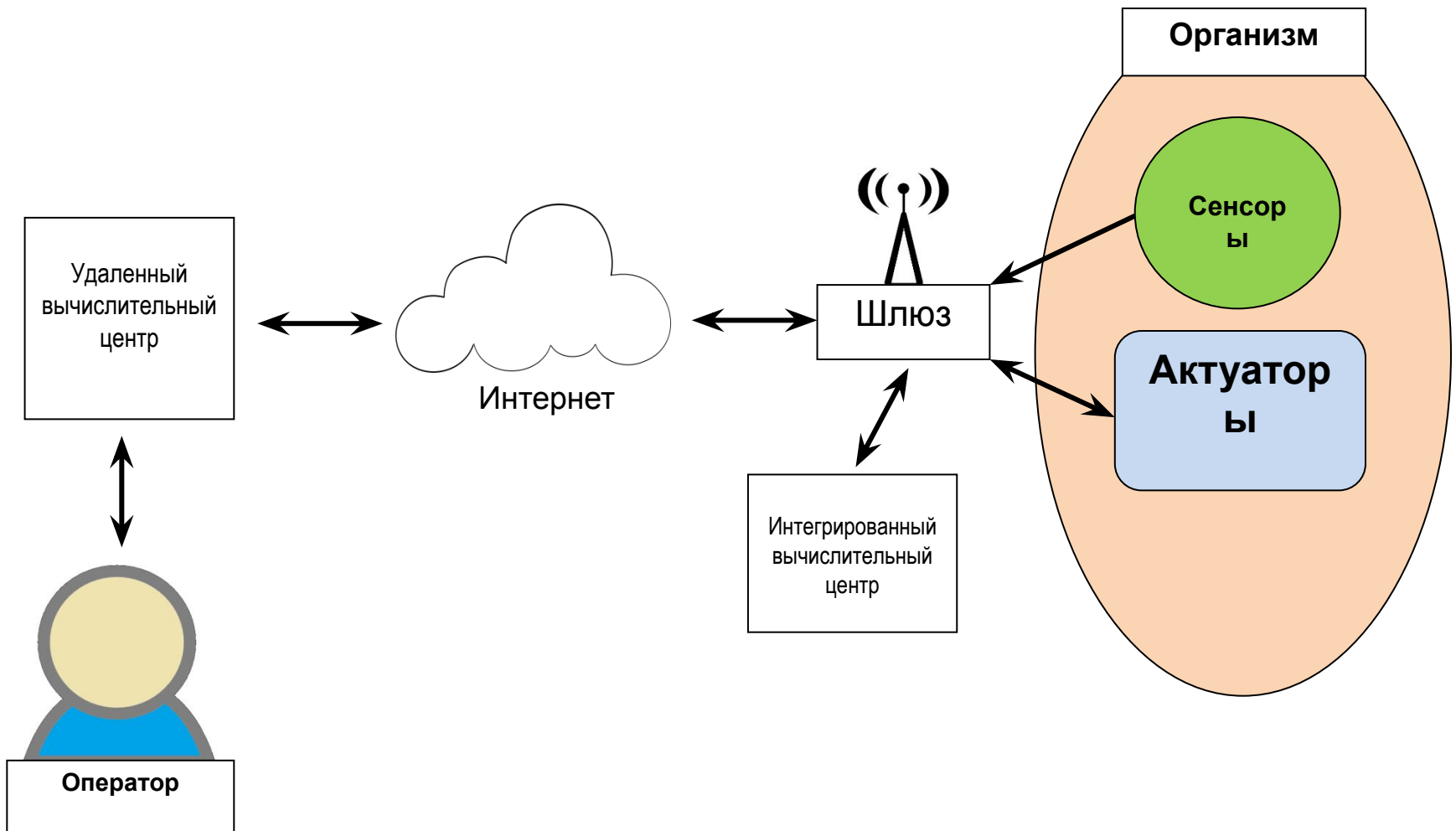
- На текущий момент, параметры передачи в молекулярных наносетях не подходят для передачи «традиционных» видов информации (видео, картинки, голос и т.д.)
- Функциональность целостного многоклеточного организма существенно превышает возможности входящих в его состав более простых организмов, это достигается благодаря взаимодействию между одноклеточными организмами входящими в состав многоклеточного организма.
- Сети связи и способы передачи информации существующие в сложном организме, являются продуктом длительного, естественного процесса оптимизации и являются вполне эффективными для решения задач обмена информацией между клетками.

# Комбинированное использование ЭМ и молекулярных коммуникаций, для реализации концепции гармоничной интеграции

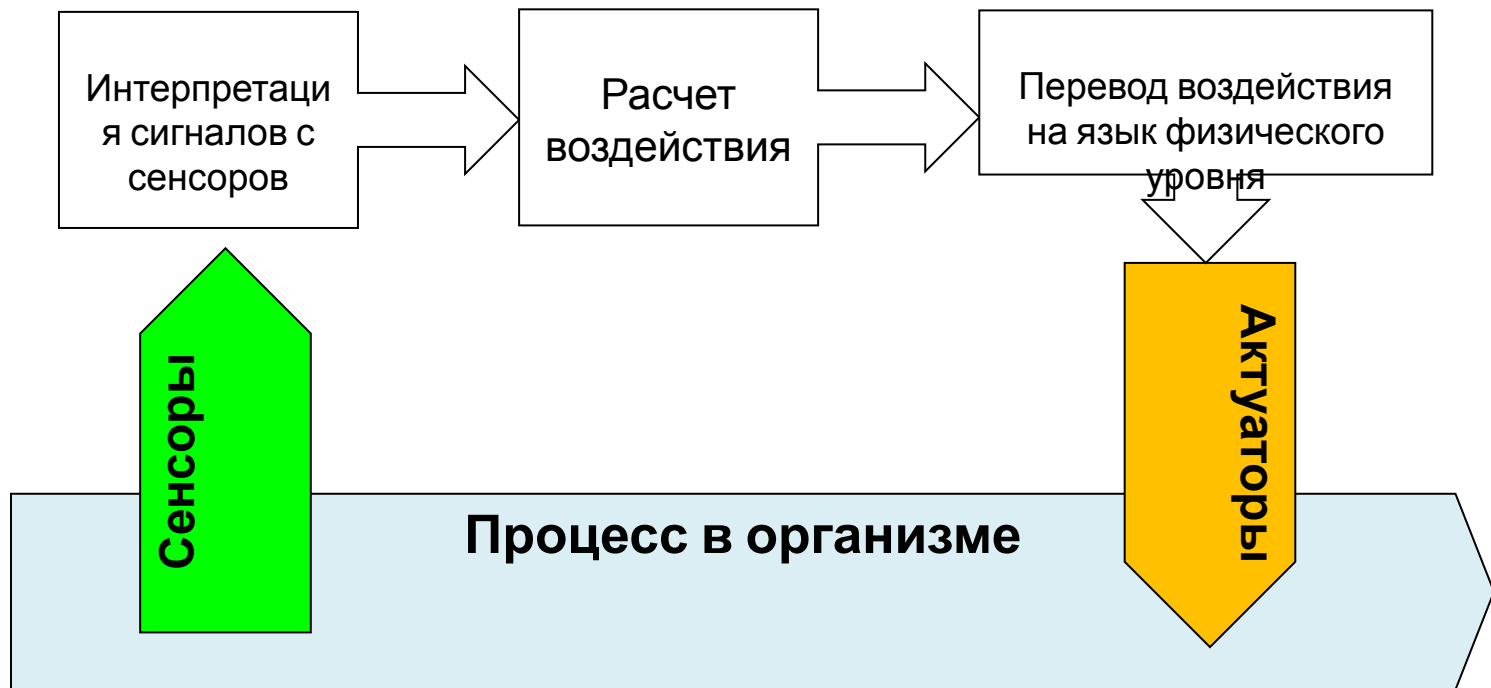


# Проект Биодрайвер

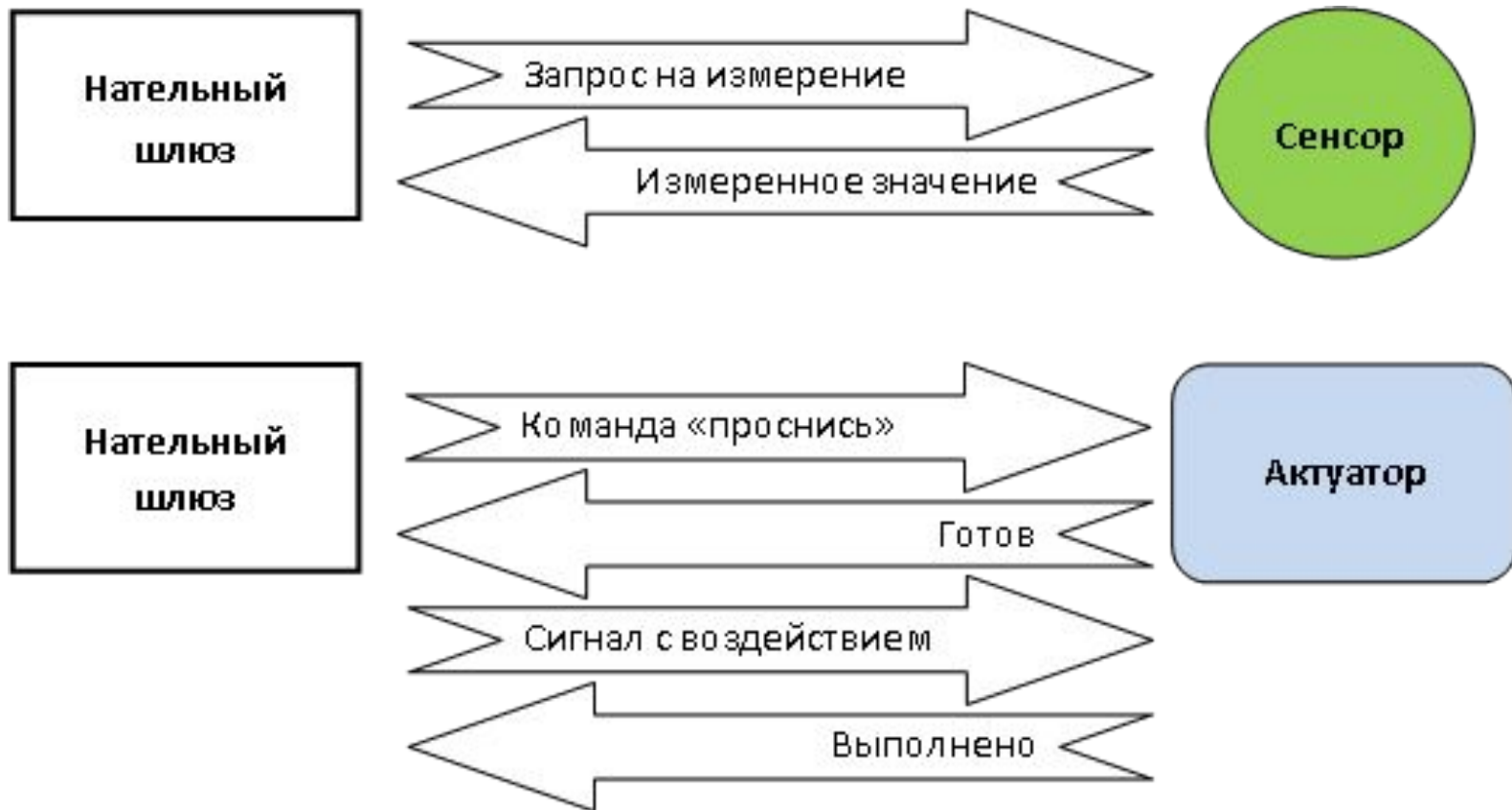
Цель: разработка системы для мониторинга и управления процессами, протекающими в организме человека



# Цикл работы системы Биодрайвер



# Сеансы связи нательного шлюза с наномашинами



# Исследования в области наносетей

## **Основная цель:**

научиться управлять обменом информацией между макромиром и микромиром (микроорганизмами, нановещами)

## **Главный тезис:**

сложный многоклеточный организм - это совокупность одноклеточных организмов + связь

## **Что это сулит?**

- создание биологических процессоров;
- прорыв в области биомедицинских технологий;
- прорыв в области природосберегающих технологий;

# Заключение

- Мы находимся на начальном этапе исследования вопросов наносетей
  - Исследования потребуют много времени
  - Однако, некоторые промежуточные результаты и первые практические внедрения могут произойти уже скоро
- Наносети – важное направление для грядущей декады
- Внедрение этих технологий приведет к огромному общественному эффекту
  - Много этических вопросов



# При подготовке презентации использовались труды следующих авторов



Prof Y. Koucheryavy



Prof I. F. Akyildiz



S. Balasubramaniam