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
- Всепроникающие 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

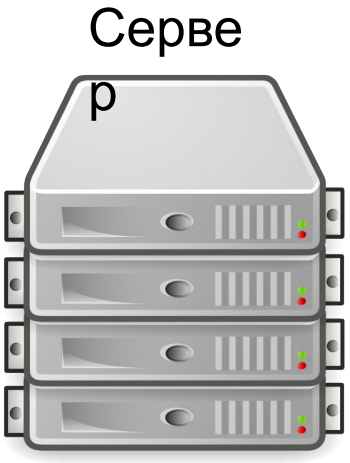
Развитие сетей связи

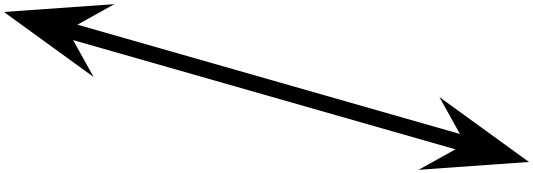
Коммуникация человек-человек

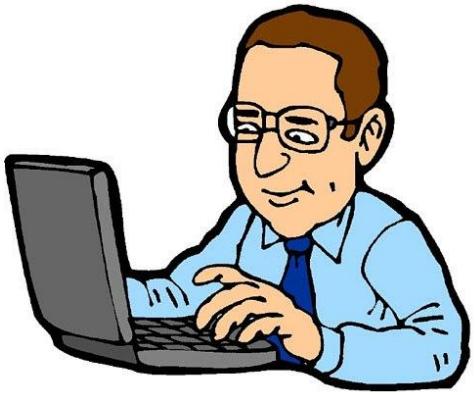
Сети и устройства связи служат лишь средством для коммуникации между людьми.

Развитие сетей связи

Коммуникация человек-«машина»



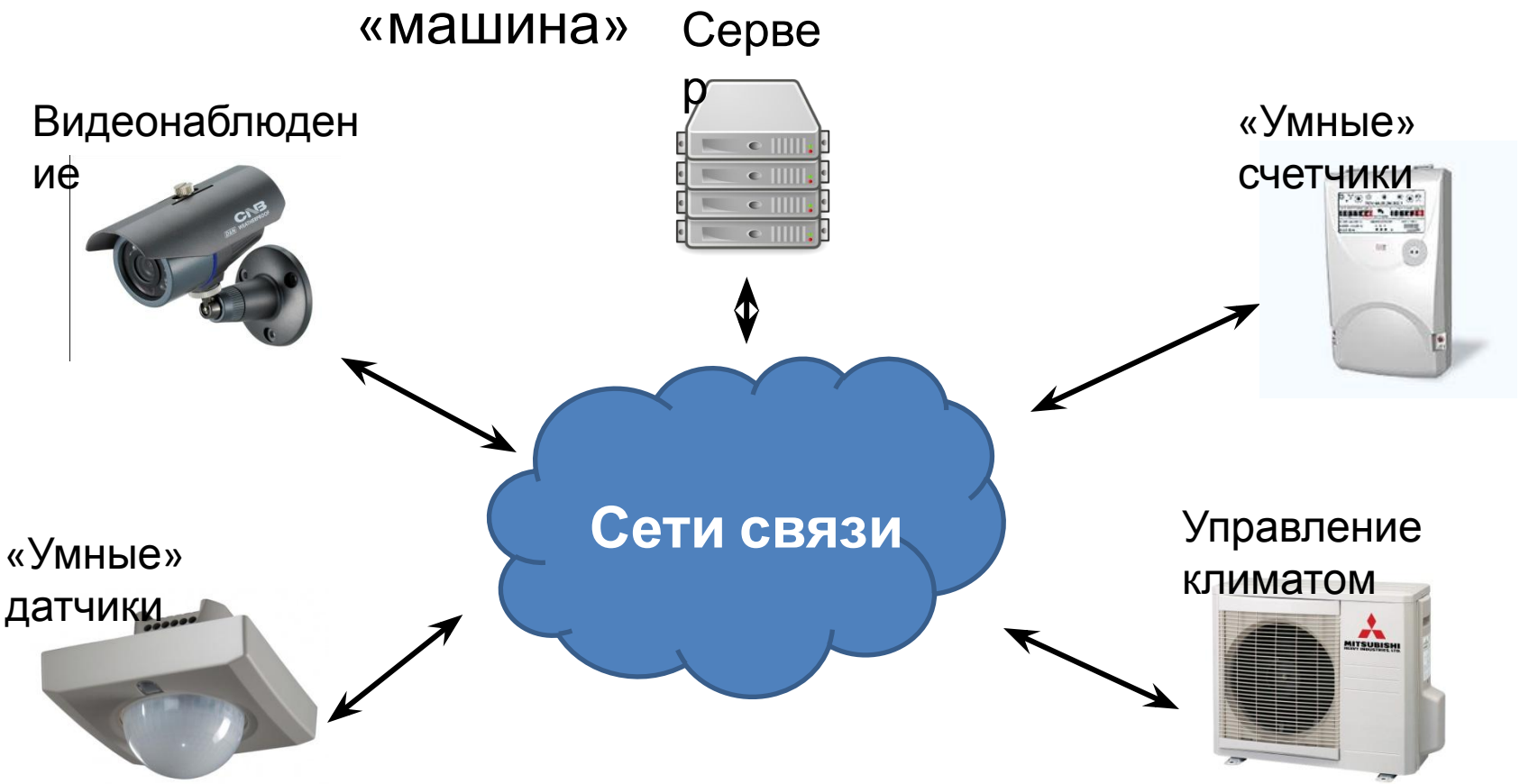




Просмотр веб-страниц, работа с удаленными данными

Развитие сетей связи

Коммуникация «машина»-«машина»



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;

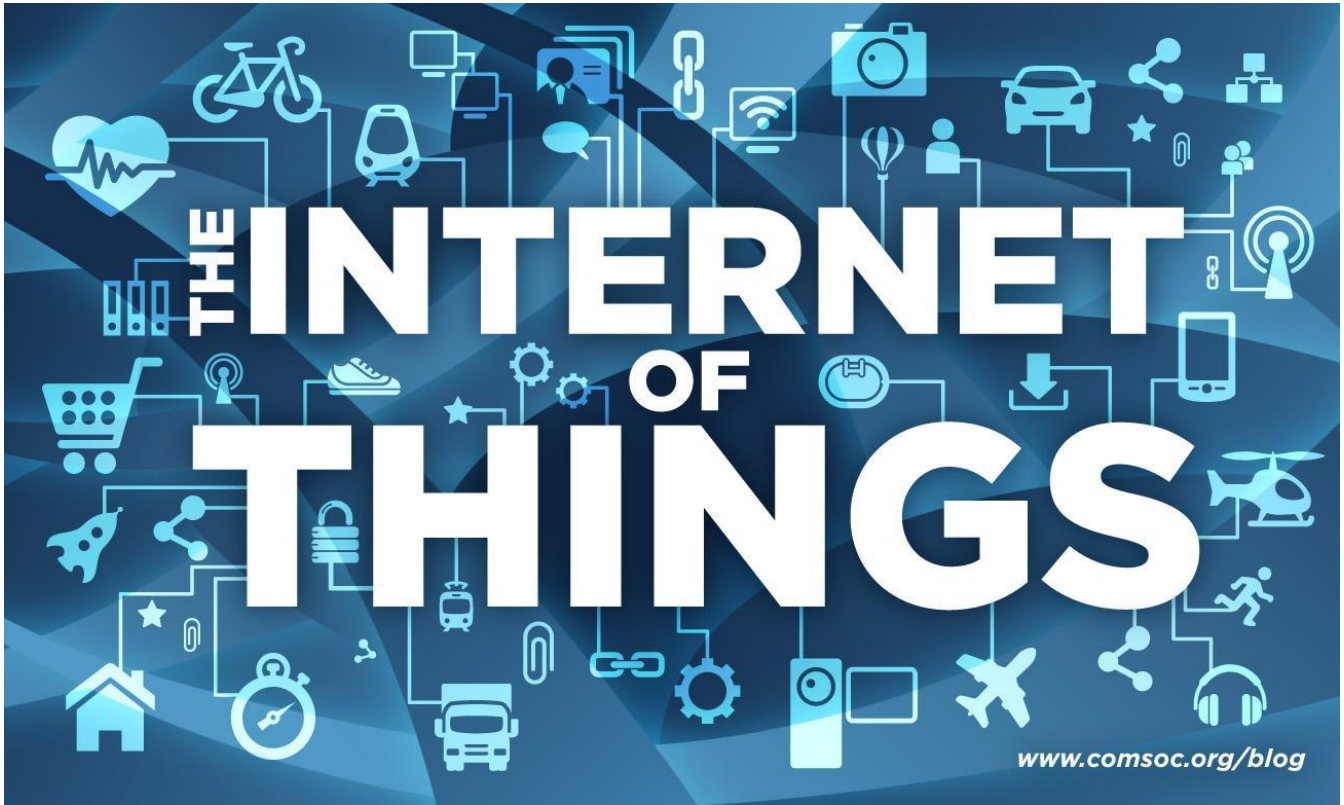
-быть дешевыми (дешевле 1$);

-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 наномашины.

Наномашины – 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:

- Развития биокомпьютеров
- 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

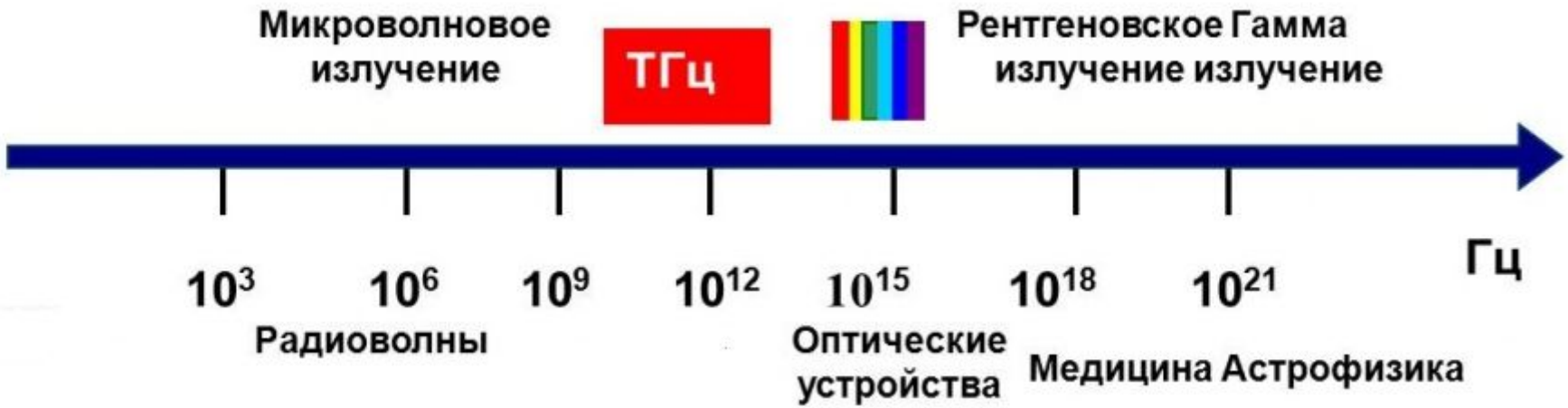
  Передача информации между наномашинами осуществляется за счет перемещения вещества

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:

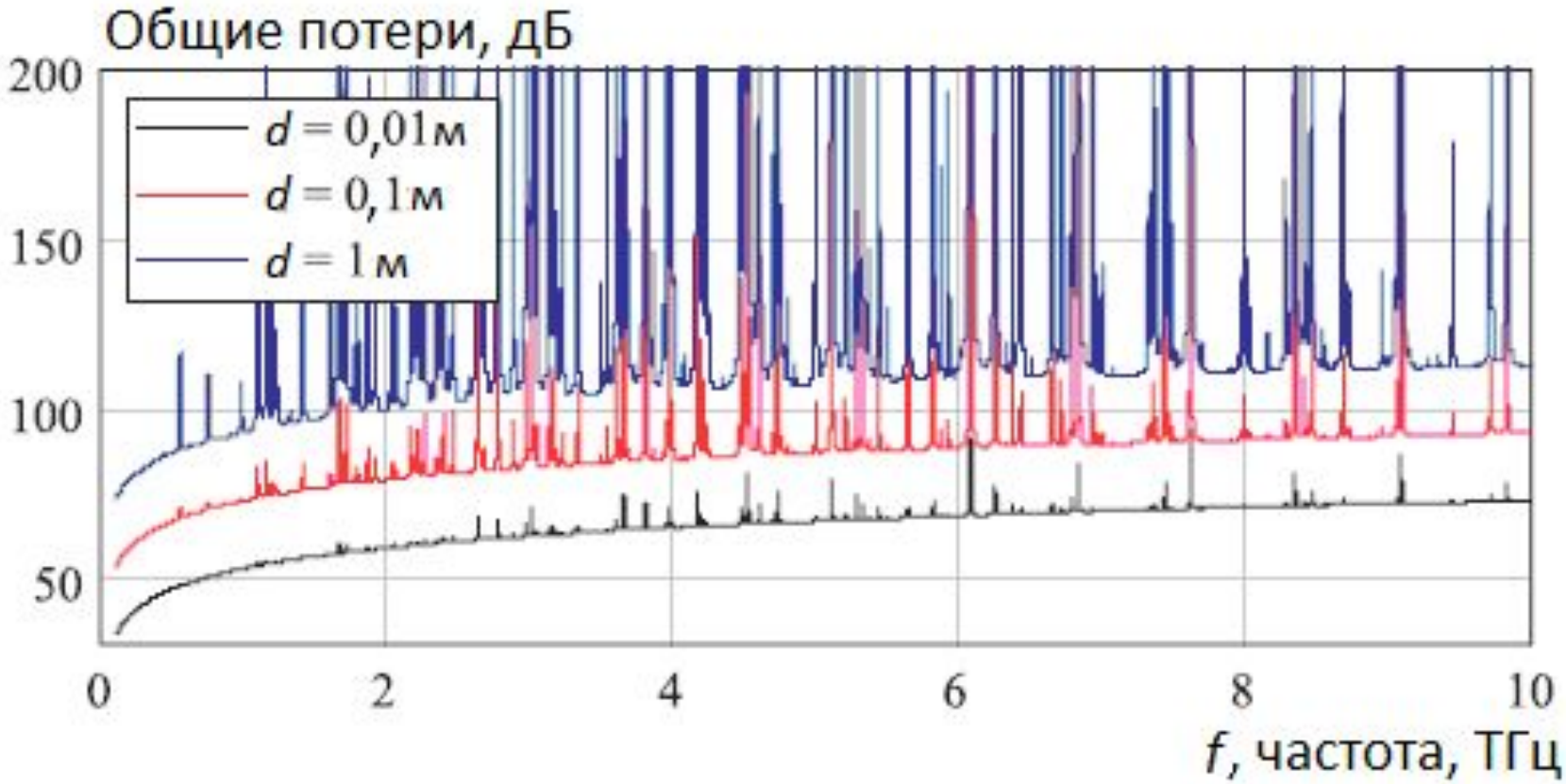
P_{Tx} – спектральная плотность мощности переданного сигнала (СПМ);

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?

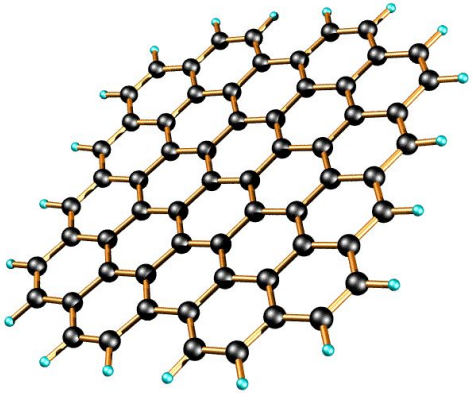
Миниатюризация классических металлических антенн потребует использования очень высоких резонансных частот (более 100 ТГц)

РЕШЕНИЕ:

Применение антенн на основе графена

Графен

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

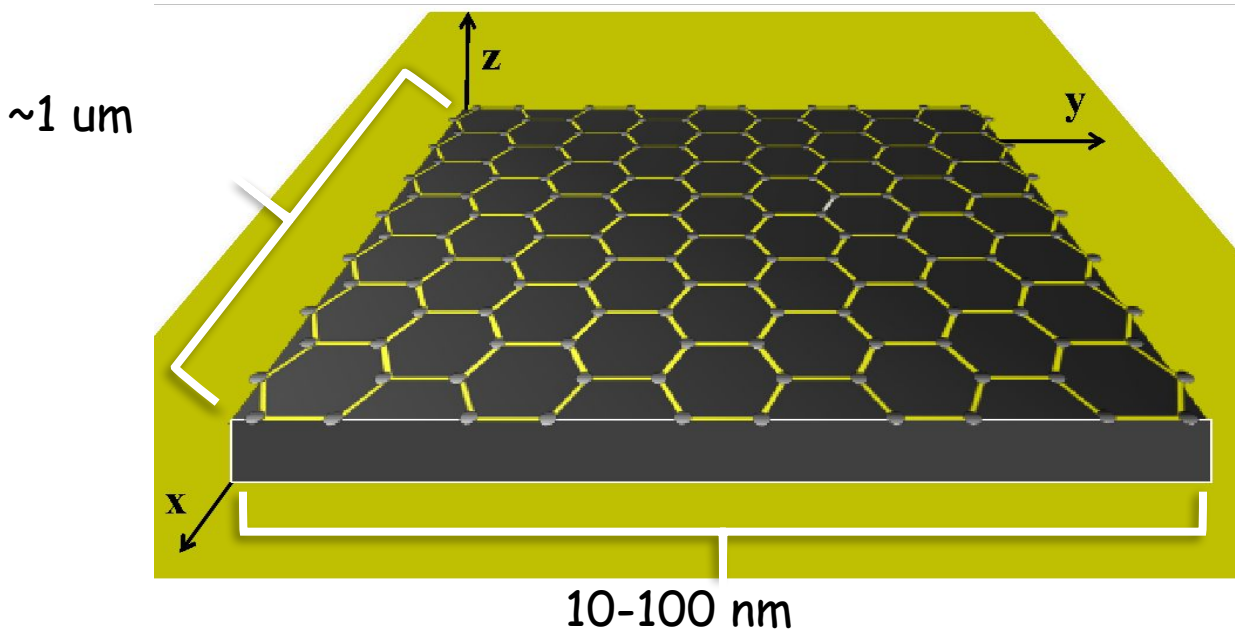


- Высокая механическая жесткость (жестче чем бриллиант, в 300 раз крепче стали)
- Рекордно большая теплопроводность
- Самый тонкий и легкий в мире материал
- Проводит электричество намного лучше меди

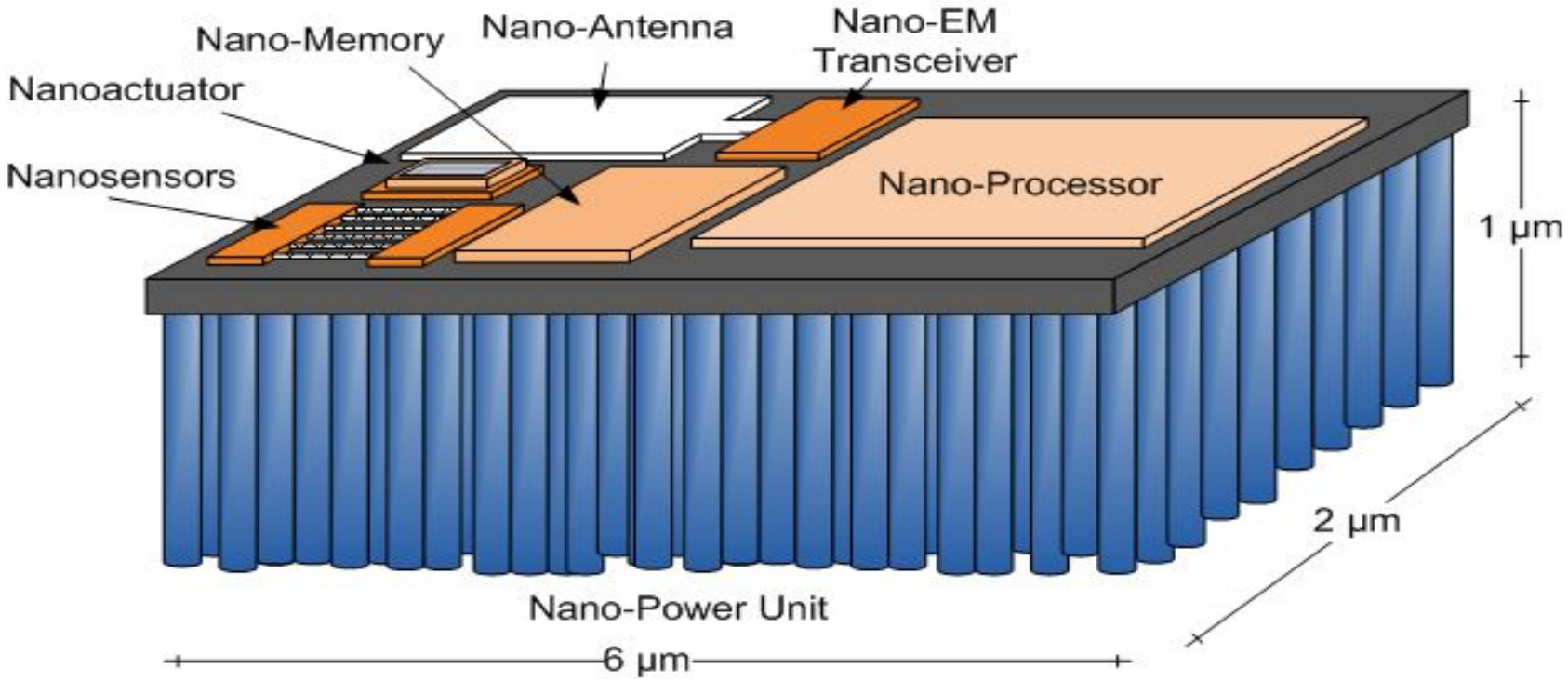
Графен впервые экспериментально получен в 2004 А. Геймом и К. Новоселовым (Нобелевская премия 2010)

Графеновые антены

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

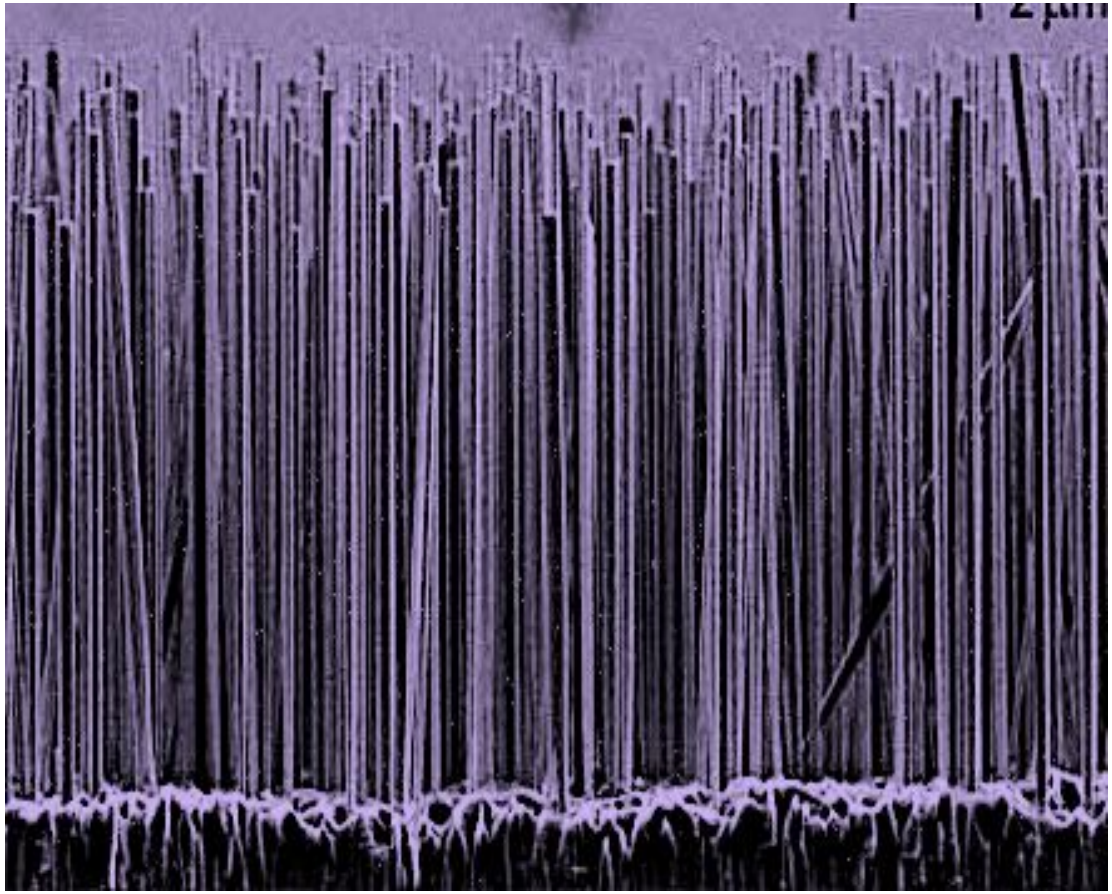


Пример ЭМ наномашины



Генератор энергии

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



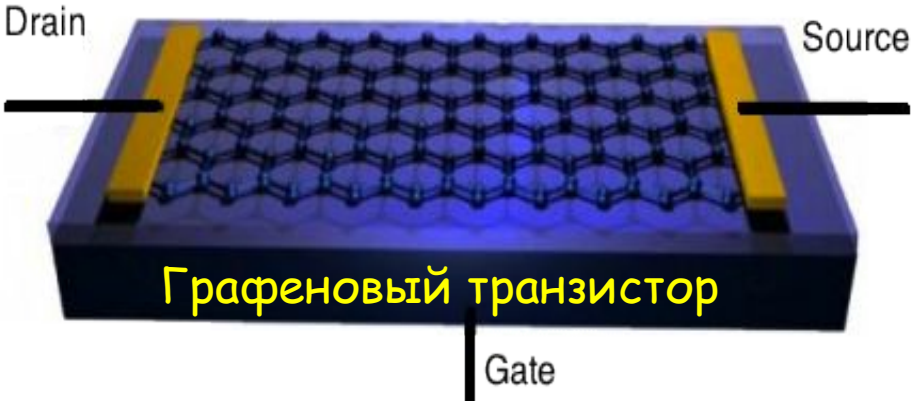
Наше предложение по решению проблемы электропитания

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.



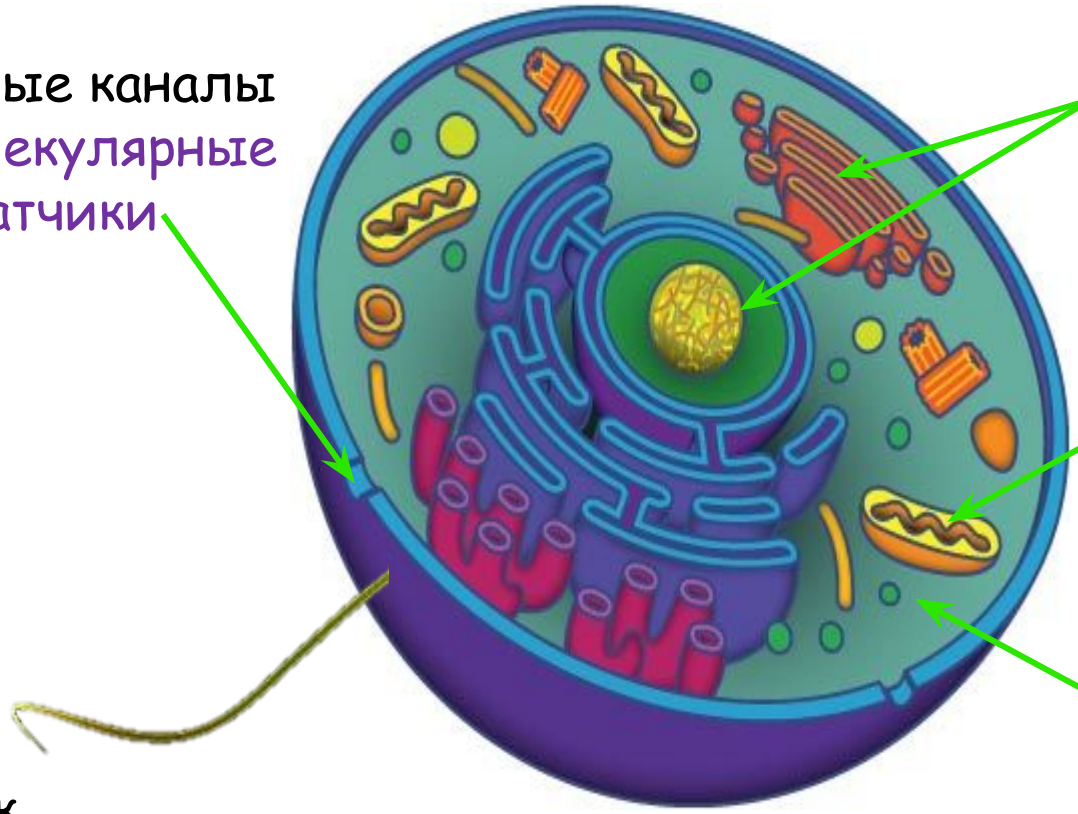
Частота работы графенового транзистора близка к 1 ТГц (у кремниевых транзисторов несколько гигагерц)

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 наномашины



Ядро и Рибосомы
= Биологические память и процессор

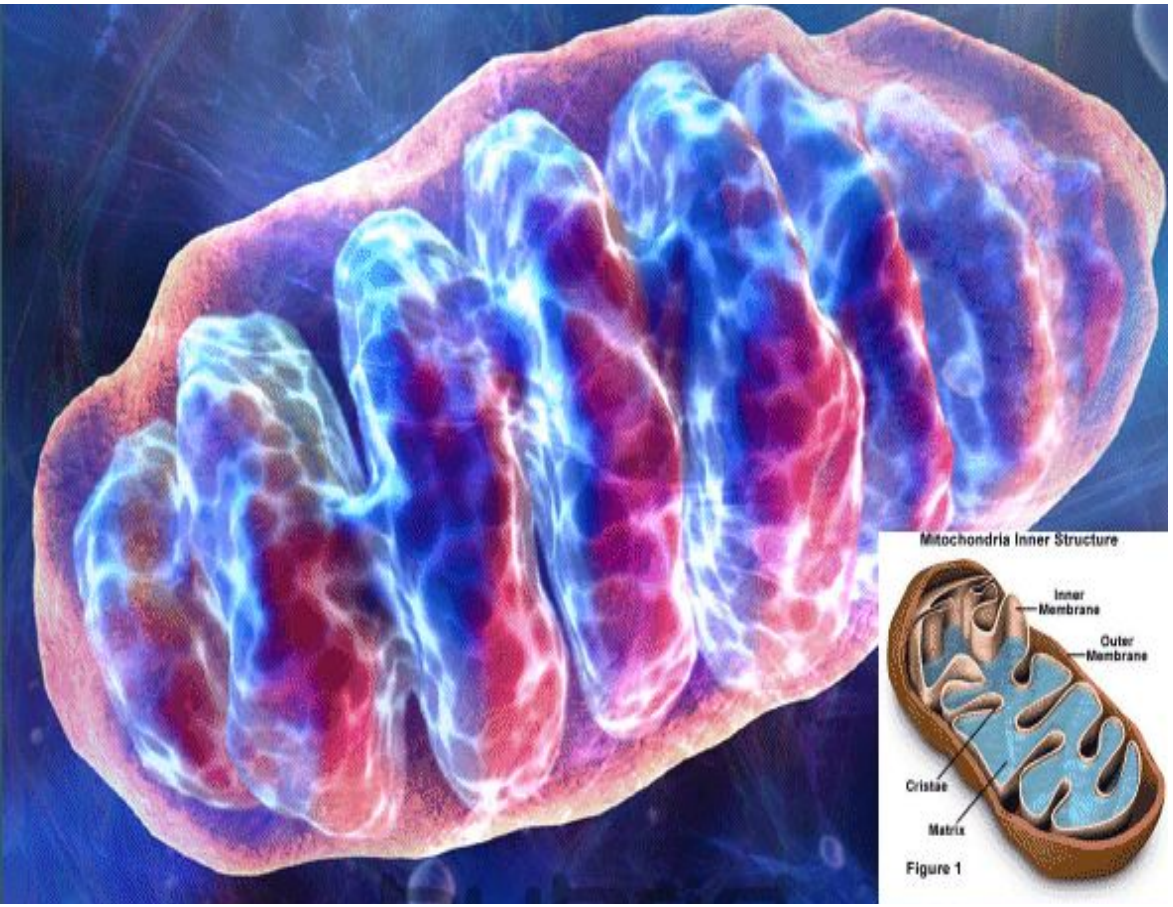
Щелевые каналы
= Молекулярные передатчики

Митохондрия
= Биологическая батарея

Химические рецепторы
= Биологические сенсоры/молекулярные приемники

Жгутик
= Биологический актуатор

Митохондрия – биологическая батарея



Митохондрия получает энергию путем объединения:

- Глюкозы
- Аминокислот
- Жирных кислот
- Кислорода

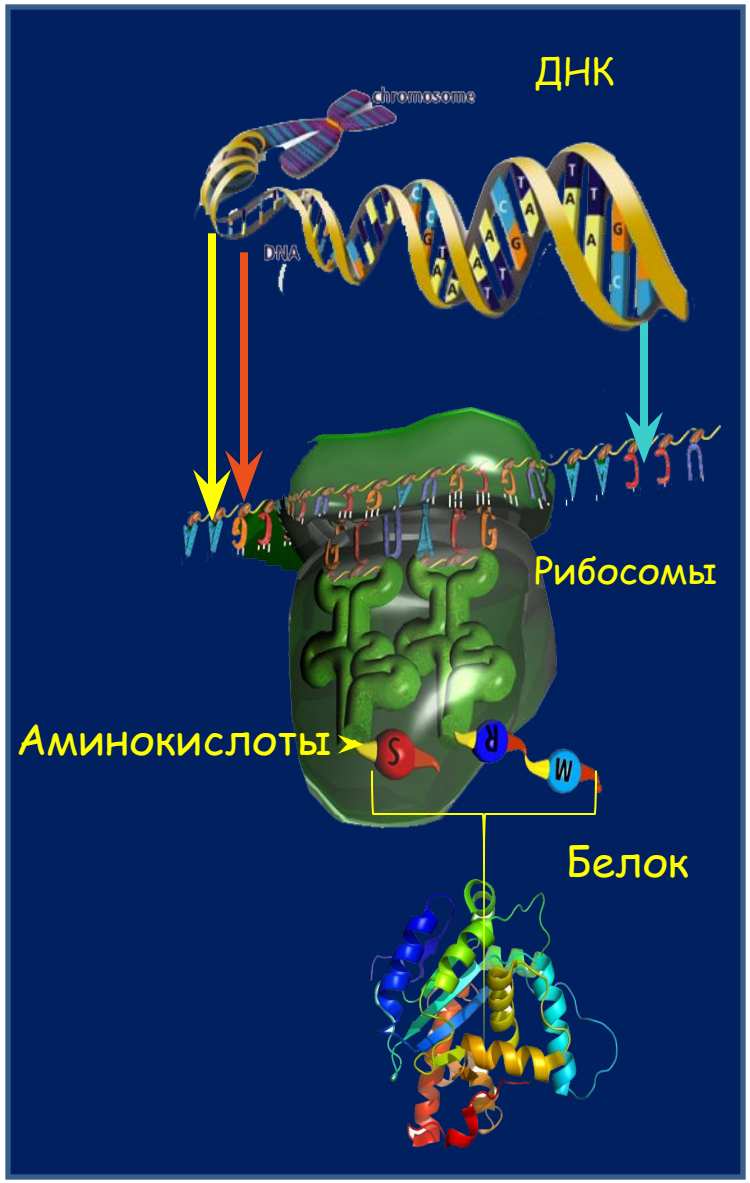
И синтезирует:

Аденозинтрифосфат (АТФ)

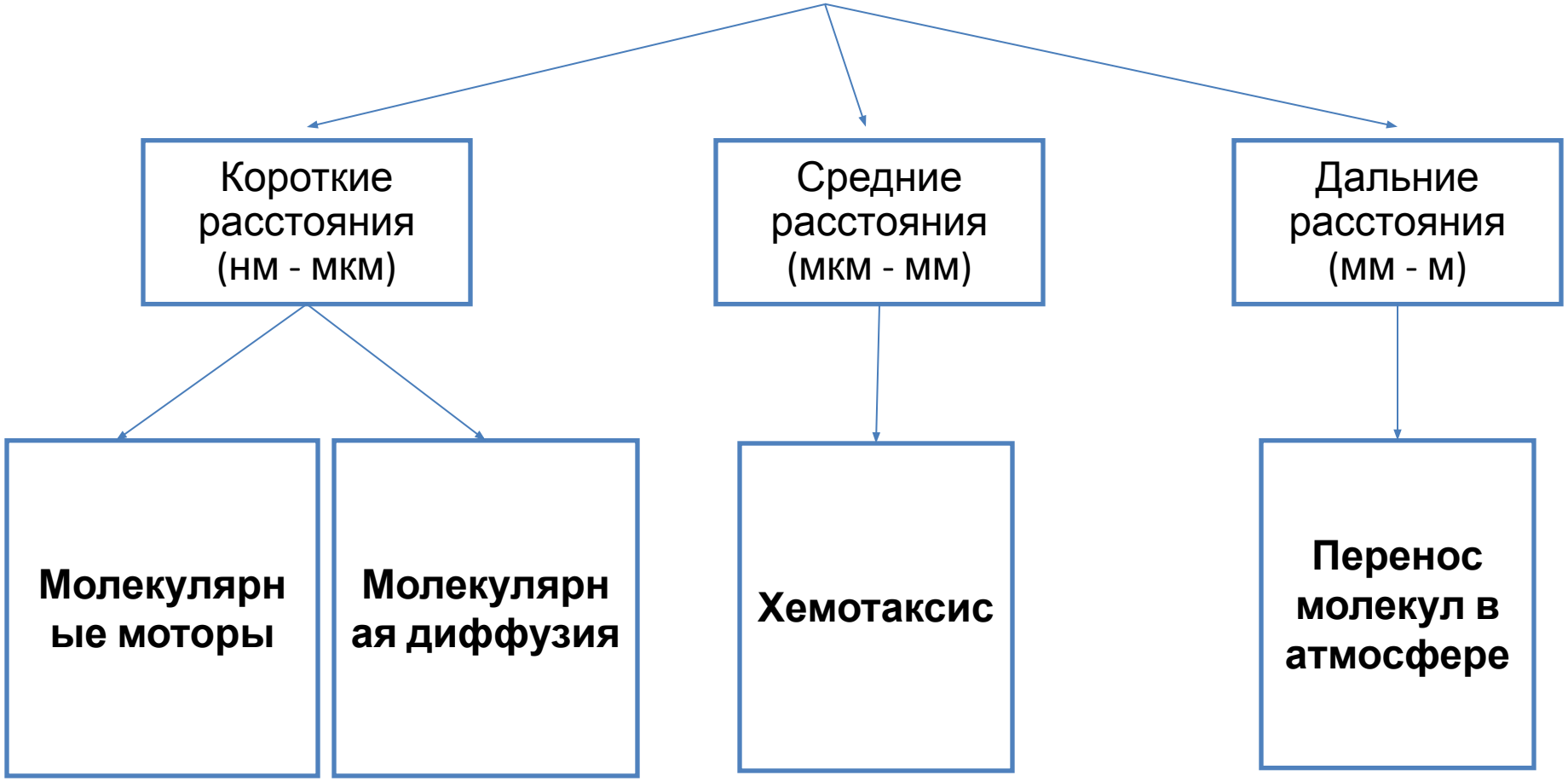
АТФ – универсальный источник энергии для всех биохимических процессов

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.)

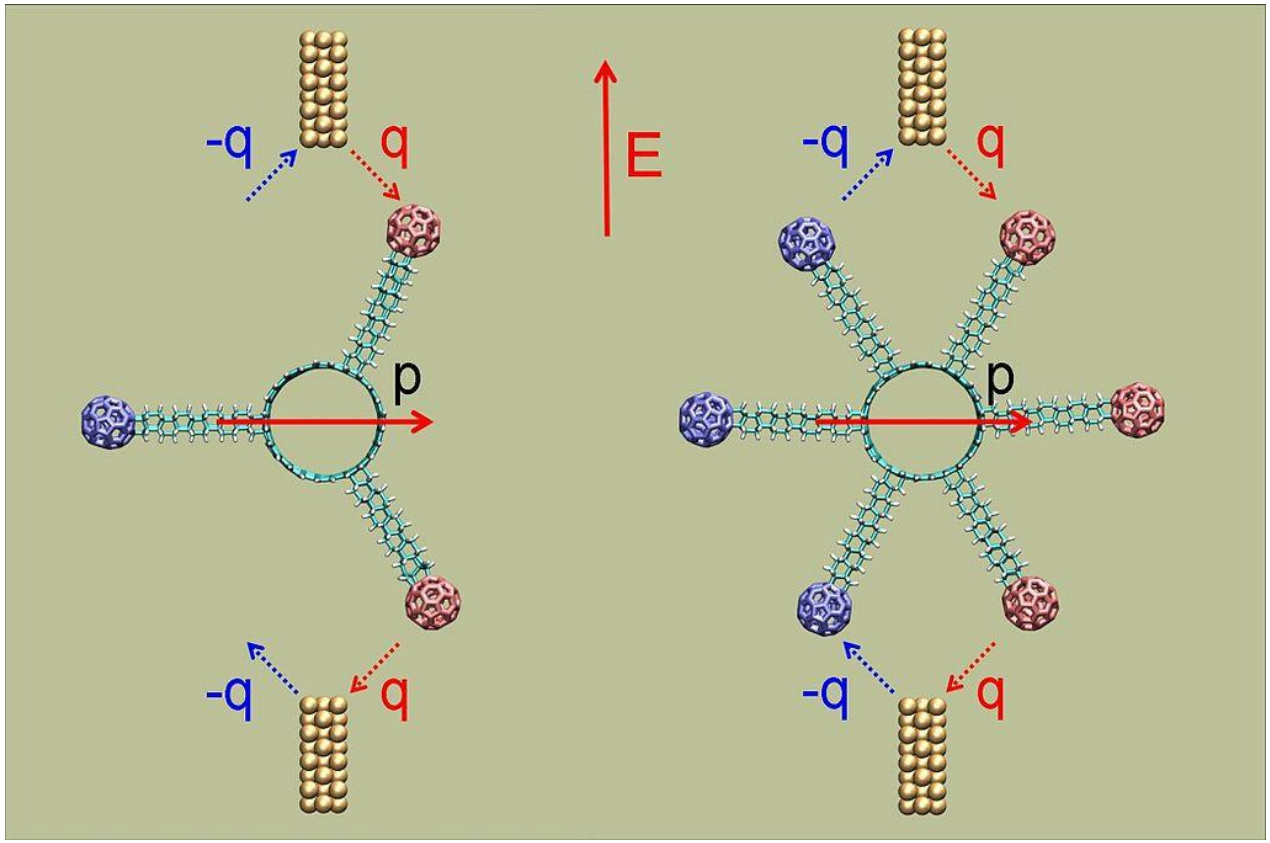


Молекулярные коммуникации

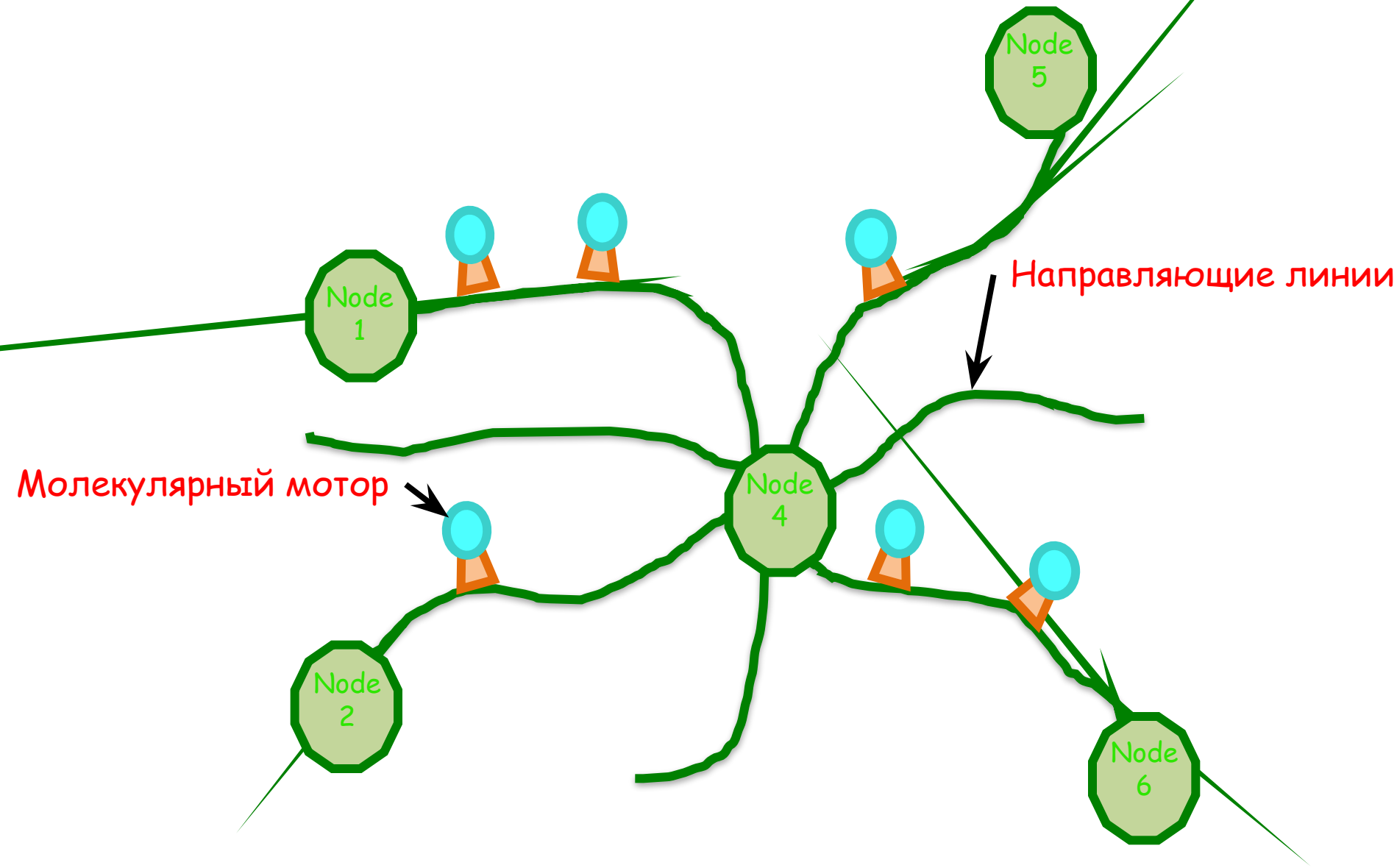


Молекулярные моторы

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



Молекулярные моторы



Молекулярные моторы

Классическая теория связи

Молекулярные моторы

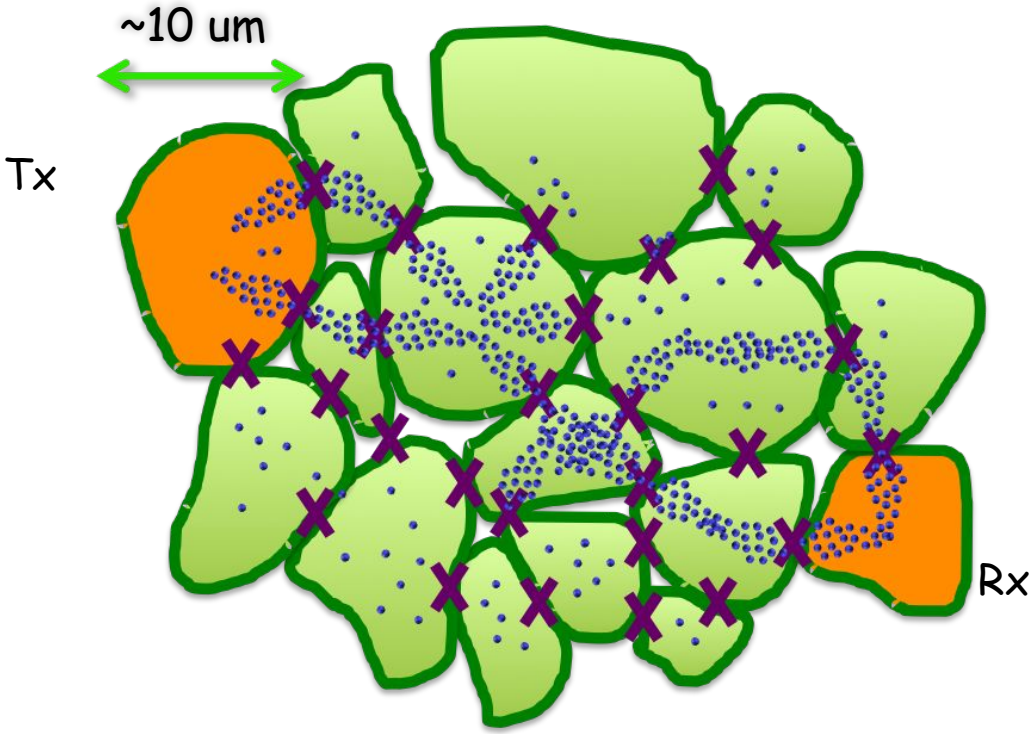
Молекулярная диффузия

Эукариоты

Tx

Rx

Протеины, ионы, гормоны



Молекулярная диффузия

Классическая теория связи

Молекулярная диффузия

Коммуникация при помощи

Прокариоты

Tx/Rx

Rx/Tx

Молекулы (популяционная сигнализация)

Tx

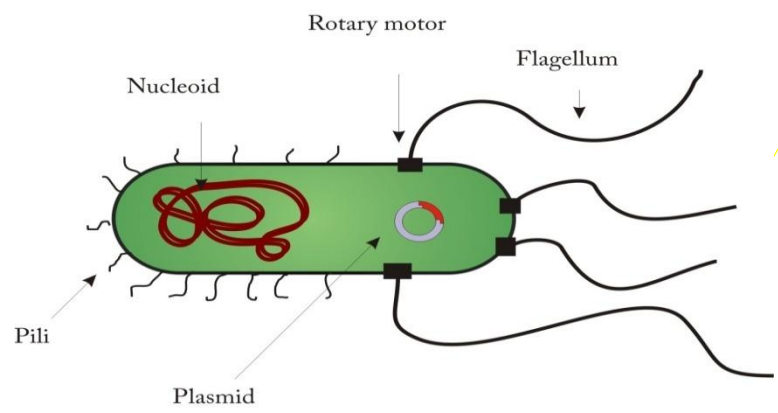
Конъюгация

Rx

Конъюгация

Хемотаксис

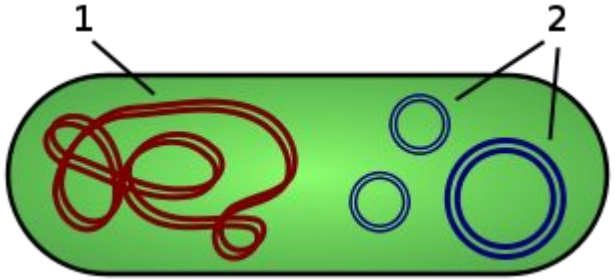
Молекулы (ДНК плазмид)



Примерная длина бактерии 2 мкм, диаметр 1 мкм

Плазмид

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



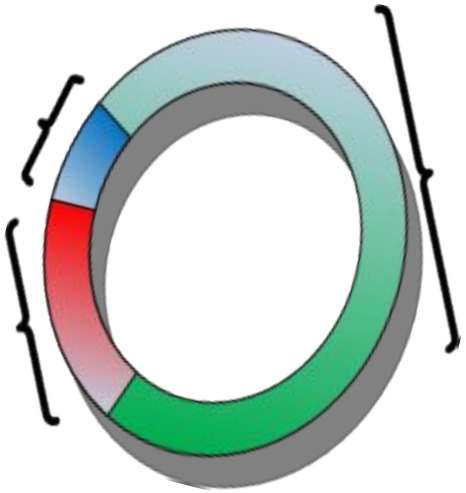
1 – хромосомная ДНК

2 – плазмид

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

Активная область

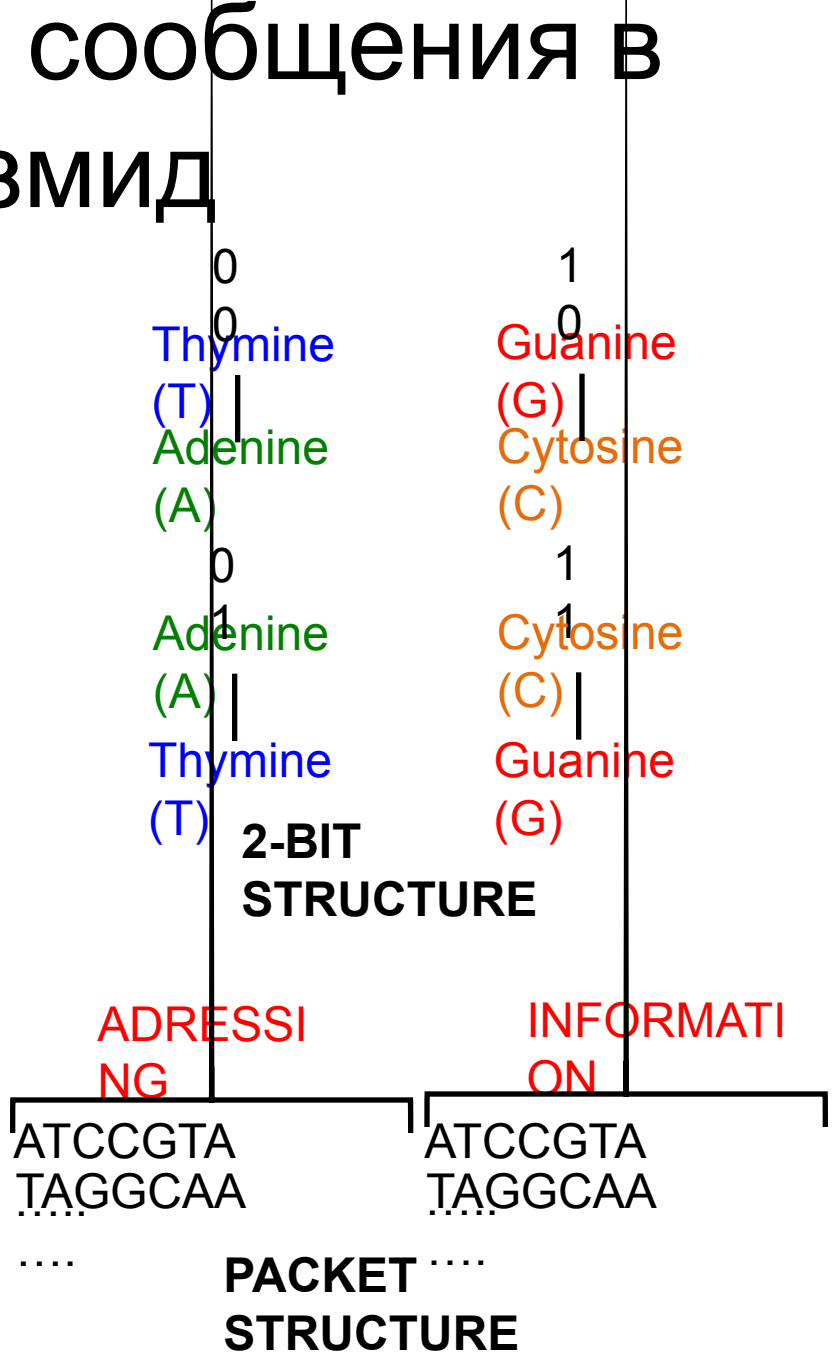
Трансферная область



Сообщение

Кодирование сообщения в плазмид

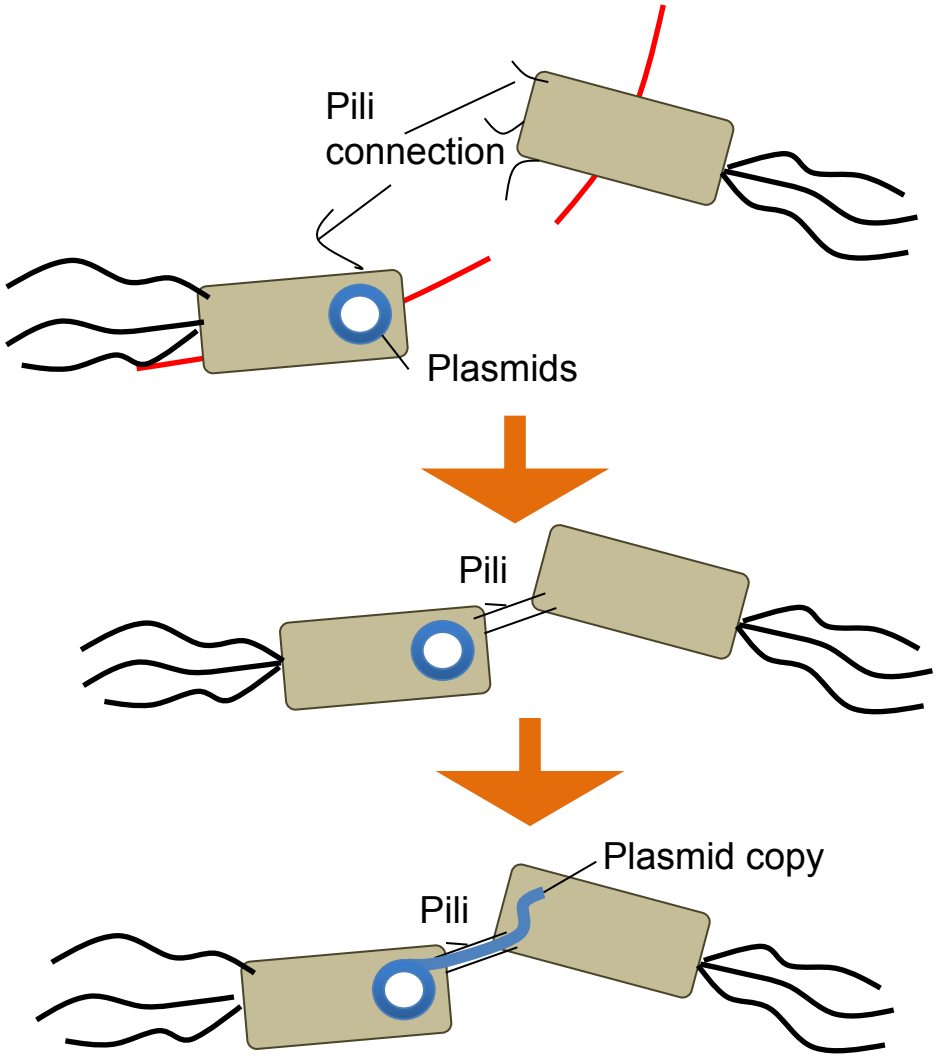
- Плазмид представляет последовательность пар нуклеотидных оснований, пример показывает один из возможных способов 2-х битного кодирования



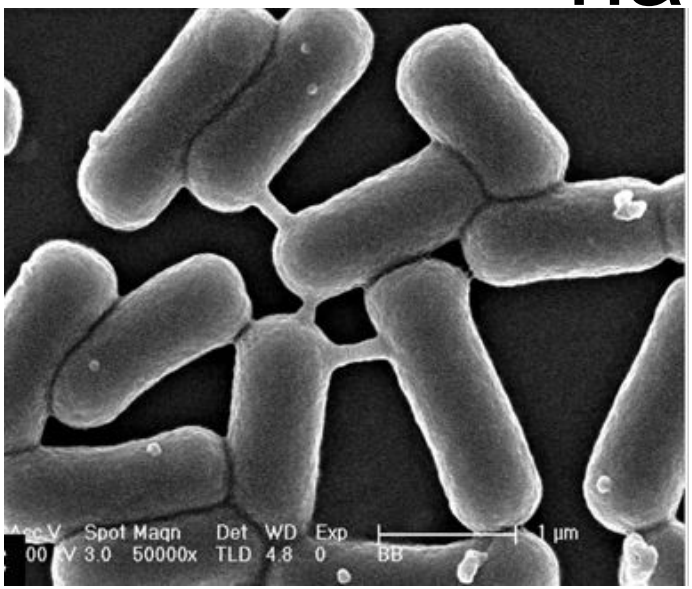
Конъюгация

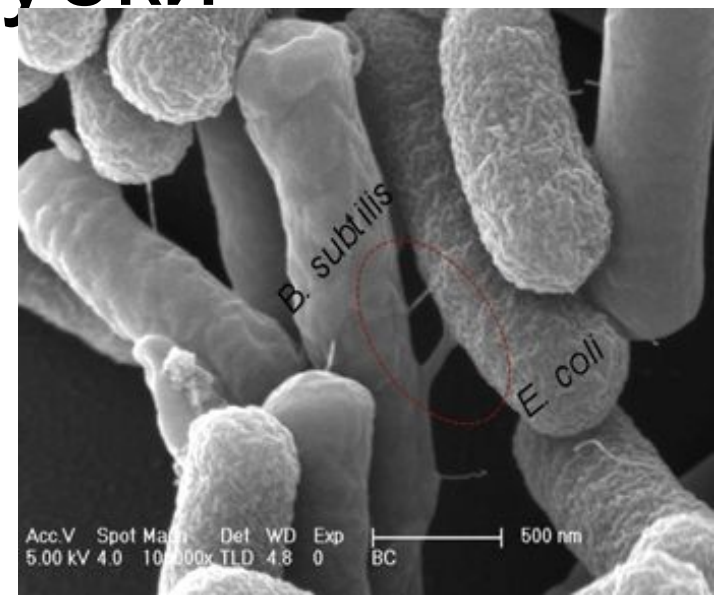
Конъюгация –
однонаправленный перенос части генетического материала (плазмид, бактериальной хромосомы) при непосредственном контакте двух бактериальных клеток

<u>Передача плазмида осуществляется через специальные каналы (Pili)</u>



Коммуникации через нанотрубки

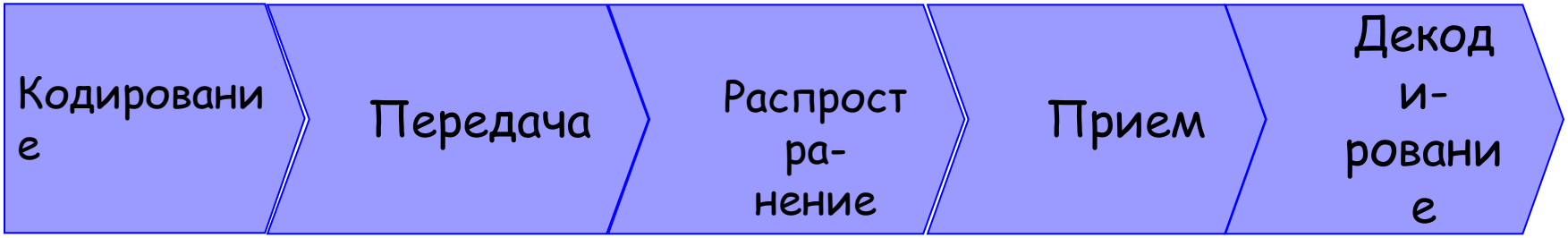




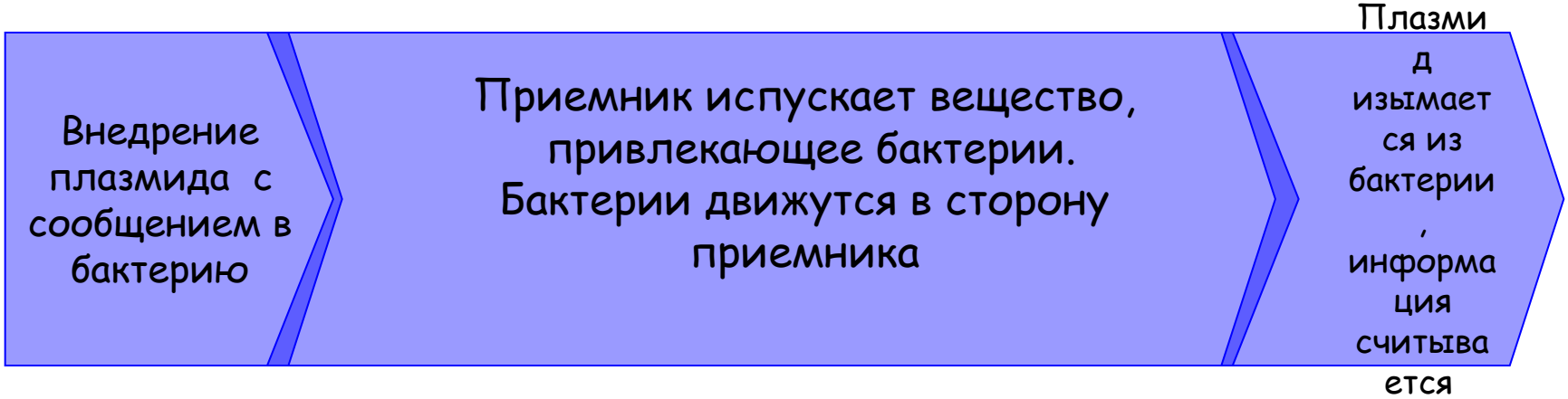
- Нанотрубки могут формироваться как между предствителями одного вида (Bacillus) , так и между представителями разных видов (Bacillus and E.coli)
- Через нанотрубки могут передаваться различные носители информации:
  - Протеины, ионы
  - Плазмид (не конъюгация!)

Бактериальная коммуникация

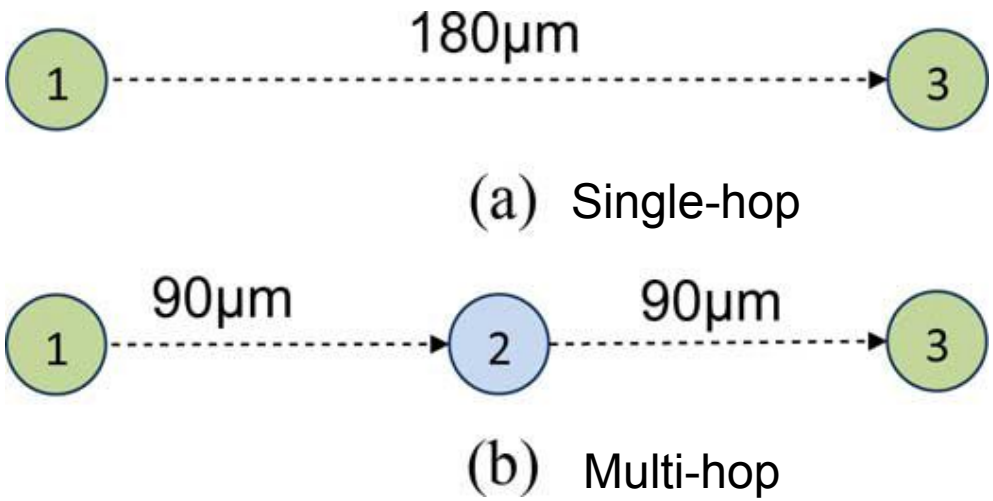
Классическая теория связи



Хемотаксис



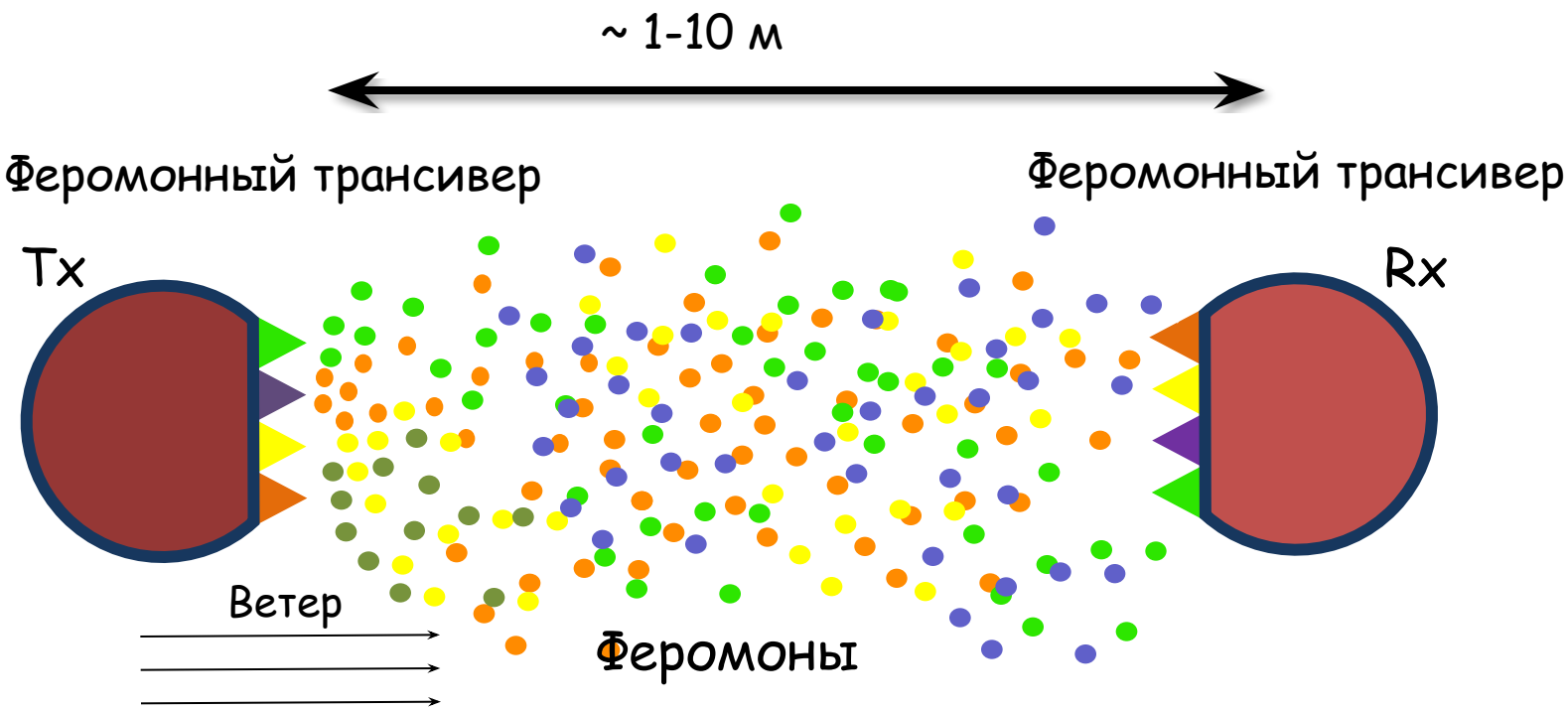
Численная оценка параметров передачи сообщений при помощи бактерий (процесс конъюгации)



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

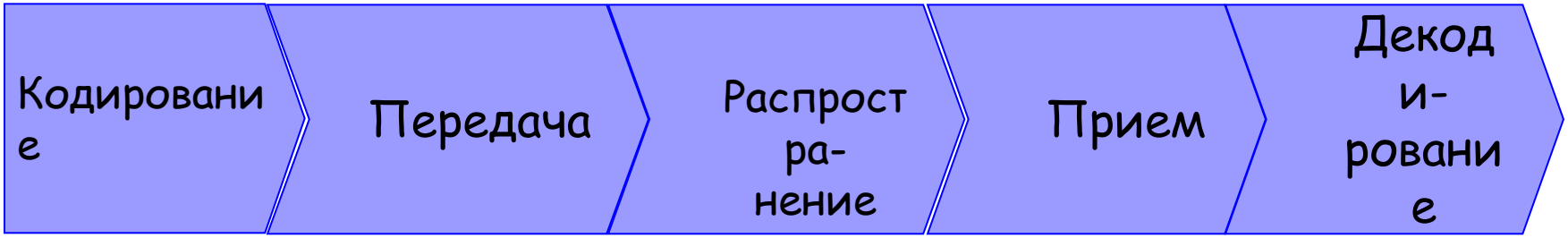
Коммуникации на дальние расстояния. Феромоны.

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

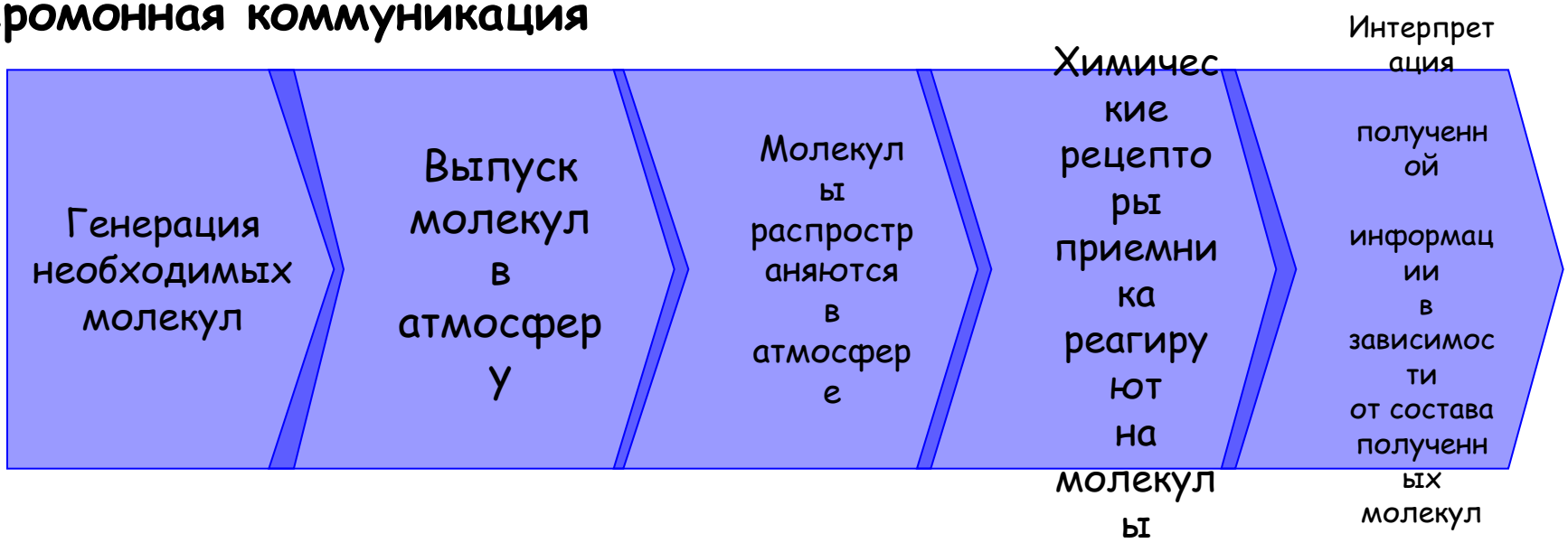


Коммуникации на дальние расстояния. Феромоны.

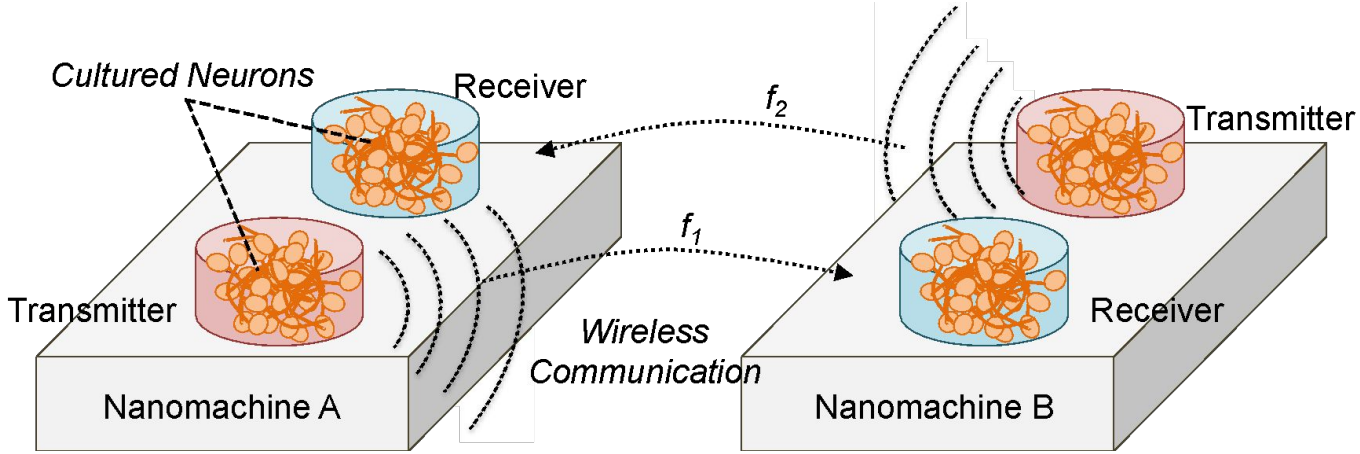
Классическая теория связи



Феромонная коммуникация

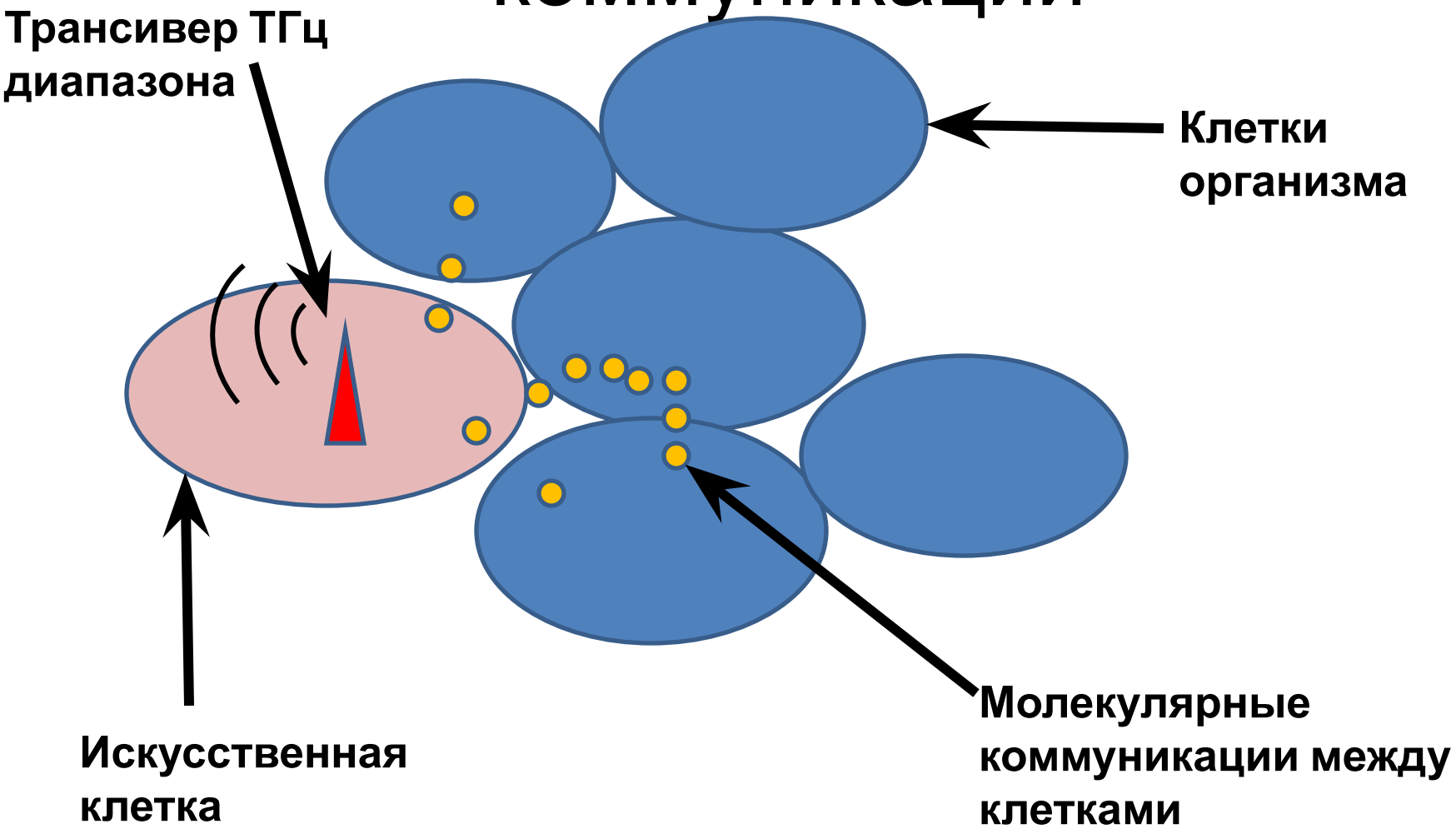


Нейронная антенна для беспроводной связи между наномашинами



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

Комбинированное использование ЭМ и молекулярных коммуникаций



Наш вклад

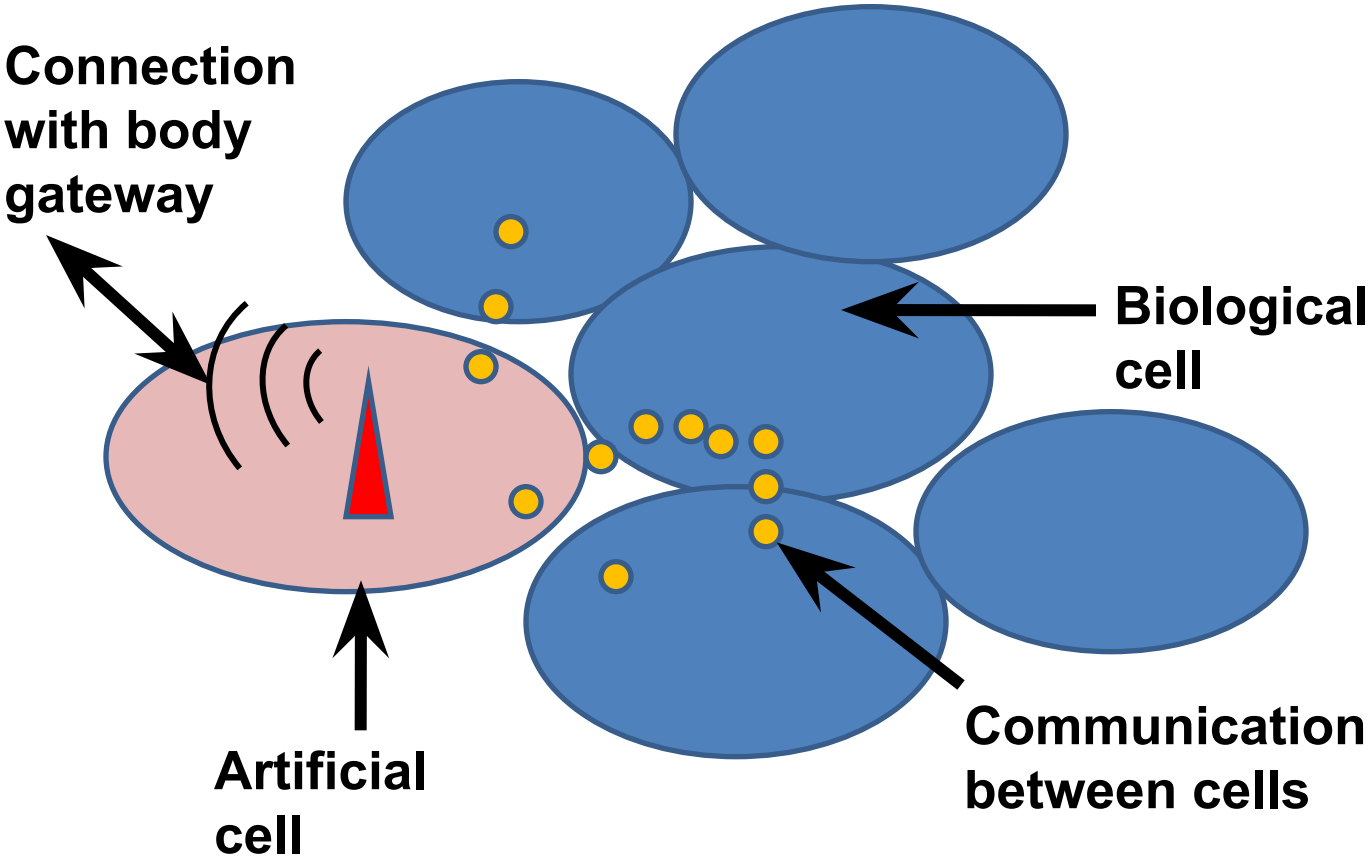
Концепция гармоничной интеграции

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:

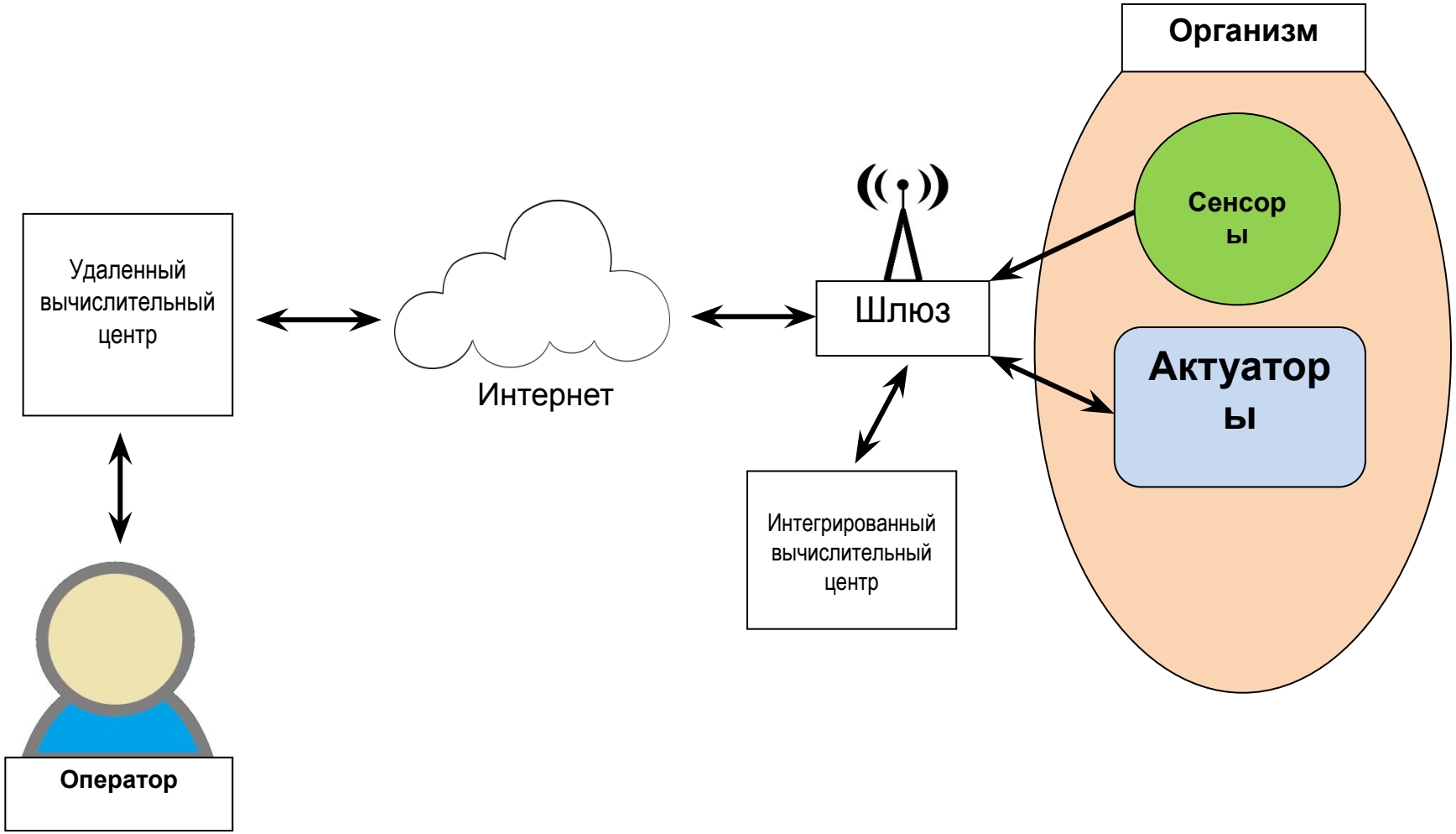
- На текущий момент, параметры передачи в молекулярных наносетях не подходят для передачи «традиционных» видов информации (видео, картинки, голос и т.д.)
- Функциональность целостного многоклеточного организма существенно превышает возможности входящих в его состав более простых организмов, это достигается 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

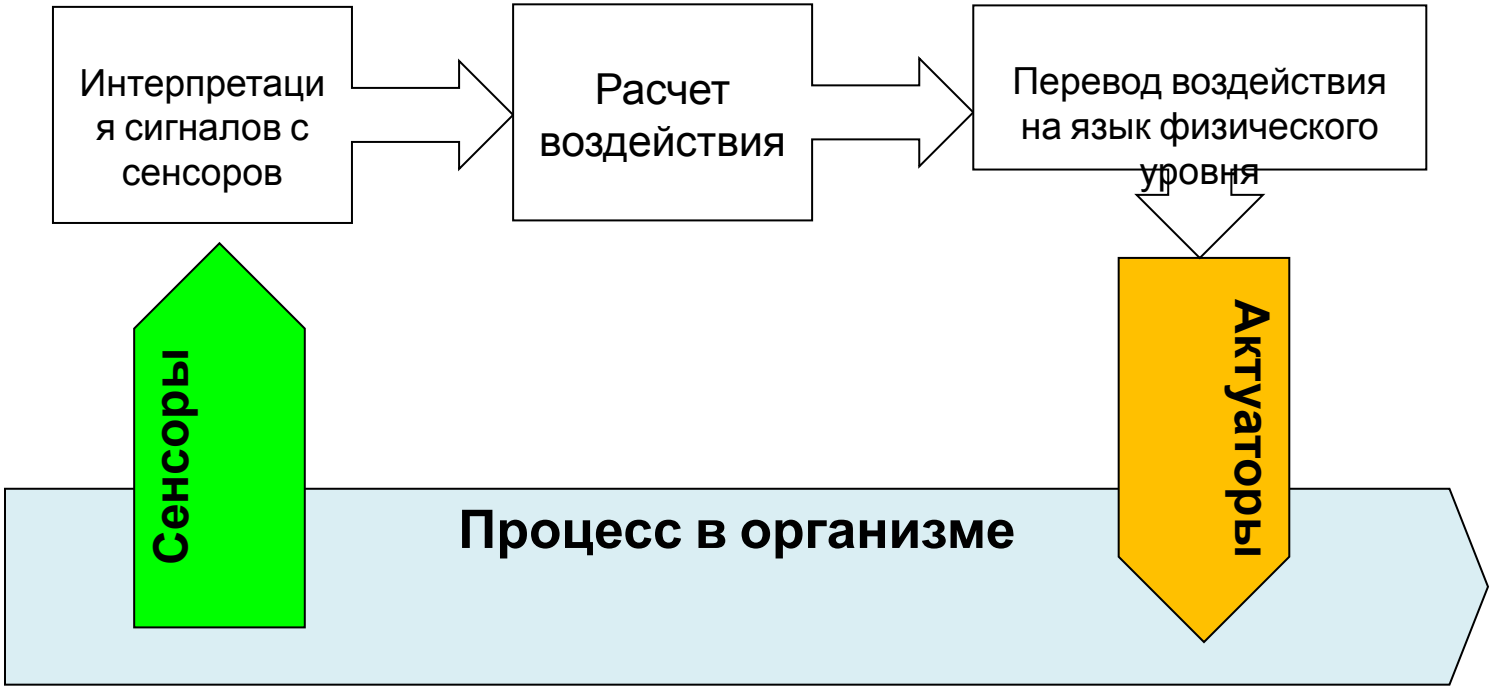


Проект Биодрайвер

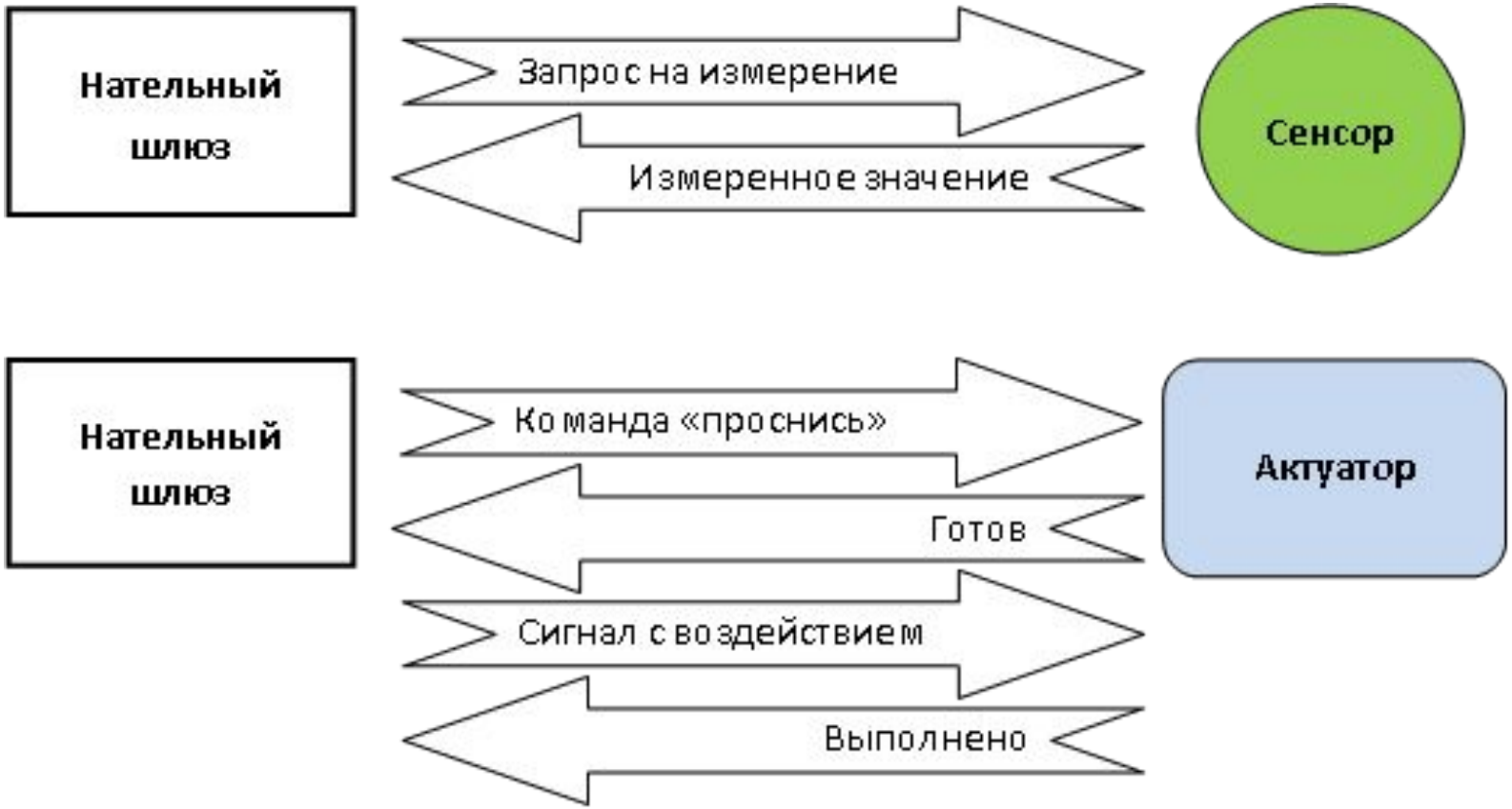
Цель: разработка системы для мониторинга и управления процессами, протекающими в организме человека



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