

СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА НА БАЗЕ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ И ПОЛУЧЕНИЕ ЧИСТОЙ ВОДЫ



А может лучше ничего
не делать...?



Дмитриев А.С., д.т.н., проф.
Национальный исследовательский университет «МЭИ»,
Институт тепловой и атомной энергетики, Москва, Россия,
NanoSolarEnergy Inc., Seoul, Korea

asdmitriev@mail.ru

ЭНЕРГЕТИКА БУДУЩЕГО

Общий тренд для развития энергетики до 2050 года сохраняется – основными источниками энергии примерно такие, как и сейчас, однако прогнозируется некоторое перераспределение между отдельными видами энергии и их источниками. Вместе с тем, развитие человечества никогда не происходило равномерно – начиная с середины XIX века технологические революции заметно изменили большинство представлений не только об отдельных технологиях, но и об основных тенденциях их развития. Хорошо известный афоризм, что **«каменный век закончился не потому, что кончились камни...»** точно соответствует и нынешним представлениям о нашем энергетическом будущем. **Что нас ждет в будущем?**

1

СМЕНА ТРЕНДОВ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ;

2

СМЕНА ТЕХНОЛОГИЙ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ;

3

СМЕНА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИКОЙ;

4

СМЕНА ИДЕОЛОГИИ И СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ

**«Когда небо покрыто
мраком, веревки кажутся
змеями...»**



Энергетические запасы Земли

1 ТВт-год=8760 ТВт-час (1 ТВт=10⁹ кВт)



Уголь, общие запасы – 900 ТВт

Уран, общие запасы – 90-300 ТВт

Нефть, общие запасы – 240 ТВт

Природный газ, общие запасы – 215 ТВт

Ветер, 25-70 в год

Океан, 3-11 в год

Гидро, 3-4 в год

Биомасса, 2-6 в год

Волны, Приливы, Геотермальная,
0,2-2 в год 0,3 в год 0,3-2 в год

Солнце 23000 ТВт в год!

Энергопотребности в мире, 2021г. – 18,6 ТВт в год

Энергопотребности в мире, 2050г. – 28,0 ТВт в год
2060г. – 48,0 ТВт в год
2070г. – 71,0 ТВт в год

Рассеянная энергия (низкопотенциальное тепло, атмосферное электричество, механическая энергия и т.п.) – 2500-5000 ТВт

???

В будущем потребуется передавать

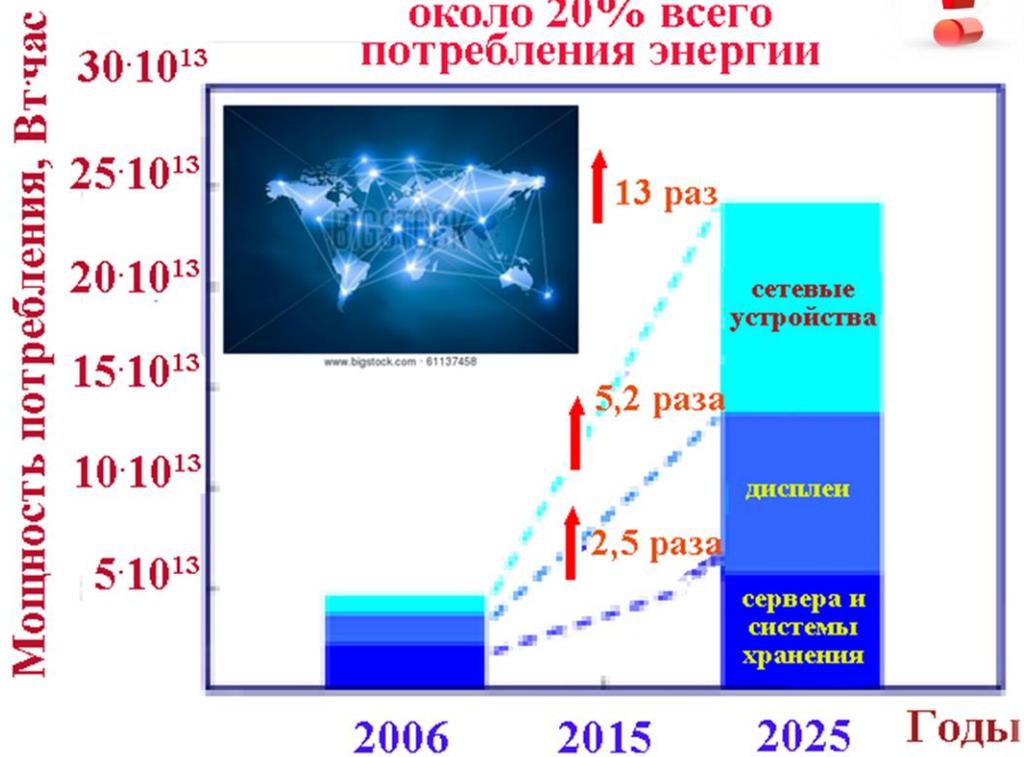
5000-7000 км, 1-3 ТВт

ЧТО НАС ЖДЕТ В БЛИЖАЙШЕМ БУДУЩЕМ?



~ 240 миллиардов кВт*час

около 20% всего потребления энергии



**К 2050-2070гг. - интернет трафик вырастет до 1000-5000 Тбит/сек!!! (рост - в 500-1000 раз!)
 Потребление энергии IT-технологиями вырастет до 30-40% от всей мощности**

恶犬.....中国连锁
 Не нужно ничего бояться:
 «Собака злая... цепь китайская»...

БАЗОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ И ПЕРСПЕКТИВНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА НА ОРГАНИЧЕСКОМ ТОПЛИВЕ
(ГАЗ, УГОЛЬ, НЕФТЬ, ОТХОДЫ)

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- ГИДРОЭНЕРГЕТИКА;
- ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА;
- СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА;
- ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА;
- ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА (ПРИЛИВЫ, ОТЛИВЫ, ВОЛНЫ, ...)

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ, ХРАНЕНИЕМ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ



АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
(УРАН, ТОРИЙ)

ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
- СТАЦИОНАРНЫЕ ТЯУ (ТОКАМАКИ, СТЕЛЛАТОРЫ, ПИНЧИ,...);
- ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ (ЛАЗЕРЫ, ПУЧКИ ЭЛЕКТРОНОВ ИЛИ ИОНОВ)

СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

FUTURE

СМЕНА ТРЕНДОВ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ ПОСЛЕ 2050-2070ГГ. (МЕЧТЫ, МЕЧТЫ, МЕЧТЫ...)

ТЕПЛОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА:

- ЭКОЛОГИЯ;
- ТОПЛИВО;
- ВЫБРОСЫ CO₂;
- НЕХВАТКА ВОДЫ...



АТОМНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- ЭКОЛОГИЯ;
- ТОПЛИВО;
- ВЫБРОСЫ CO₂;
- НЕХВАТКА ВОДЫ...

ВОЗОБНОВЛЯЕМАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- ГИДРОЭНЕРГЕТИКА (экология, территории,...);
- ГЕОТЕРМАЛЬНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (запасы, мало возможностей,...);
- СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА (нужно радикальное развитие, повышение эффективности и снижение стоимости!!!);
- ВЕТРОВАЯ ЭНЕРГЕТИКА (экология, территории, птицы,...);
- ЭНЕРГИЯ ОКЕАНА (неясность технологических перспектив, ...)

ТЕРМОЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

- СТАЦИОНАРНЫЕ ТЯУ (много проблем, сроки, сомнения в реальном освоении в ближайшие 100 лет...);
- ИНЕРЦИАЛЬНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ (привлекательно, но есть сложности технологические и стоимость)

СИСТЕМЫ ХРАНЕНИЯ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (нужны новые перспективные технологии!!!)

СИСТЕМЫ ТРАНСПОРТИРОВКИ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (нужны новые перспективные технологии!!!)

FUTURE

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДАЧЕЙ, ХРАНЕНИЕМ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (нужны новые перспективные технологии!!!)

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОЙ И ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ (нужны новые перспективные технологии!!!)

МЕТОДЫ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ТЕПЛОВОЙ
ЧАСТИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ



ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИКА,
НАНОФОТОНИКА, НАНОПЛАЗМОНИКА И
ГИБРИДНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НА БАЗЕ
СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НАНОМАТЕРИАЛОВ И
НАНОТЕХНОЛОГИЙ



ПРЕОБРАЗОВАНИЕ «БРОСОВОЙ»
НАЗЕМНОЙ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В
ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ



ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ И ГИБРИДНОЕ
ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НА БАЗЕ
СОВРЕМЕННЫХ И ПЕРСПЕКТИВНЫХ
НАНОМАТЕРИАЛОВ И
НАНОТЕХНОЛОГИЙ



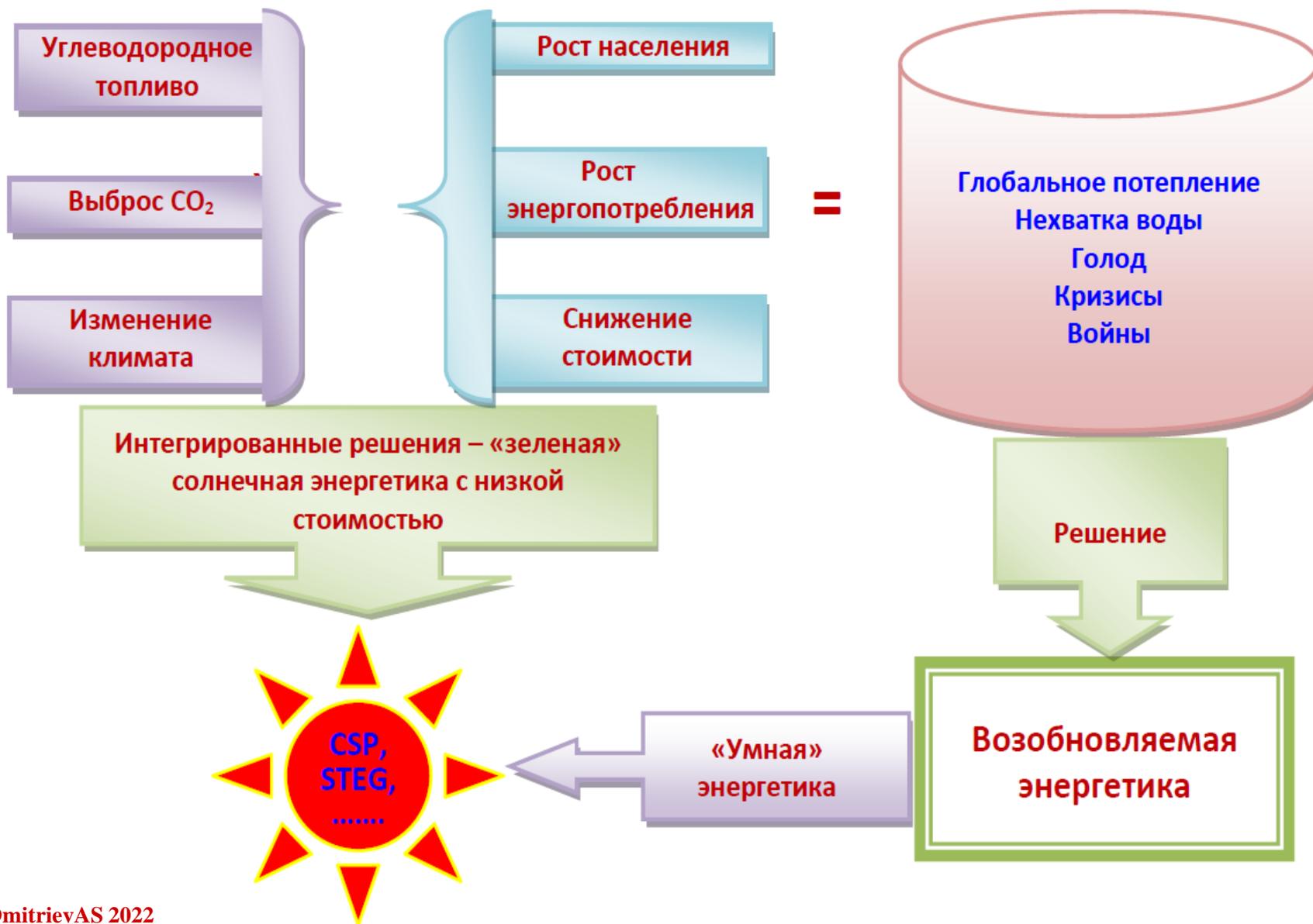
ПУТИ КОНВЕРСИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ (ВСЬ ПЛАНКОВСКИЙ СПЕКТР ИЗЛУЧЕНИЯ)



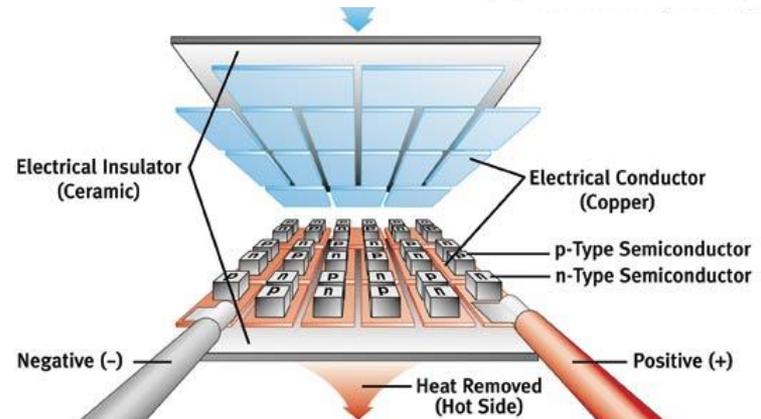
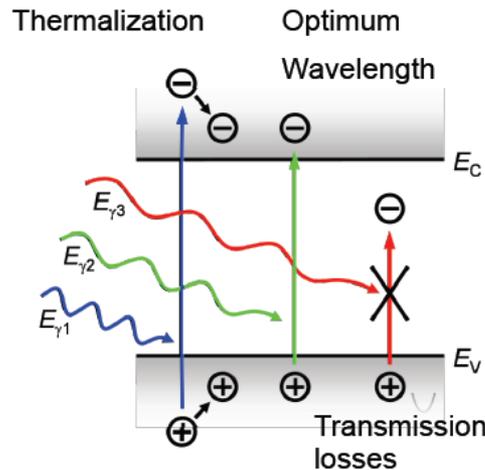
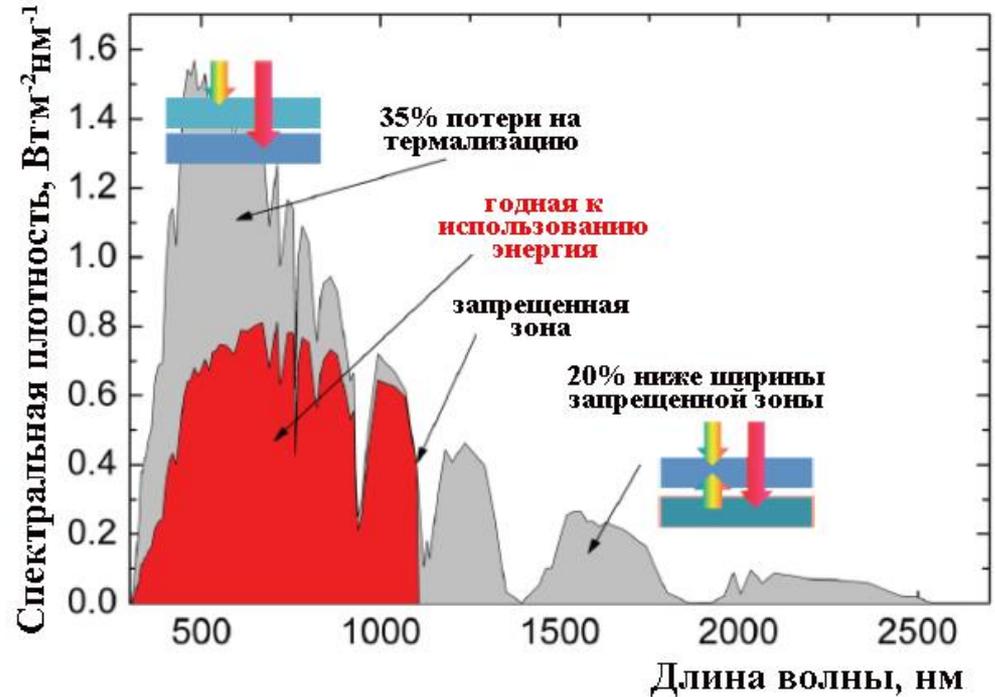
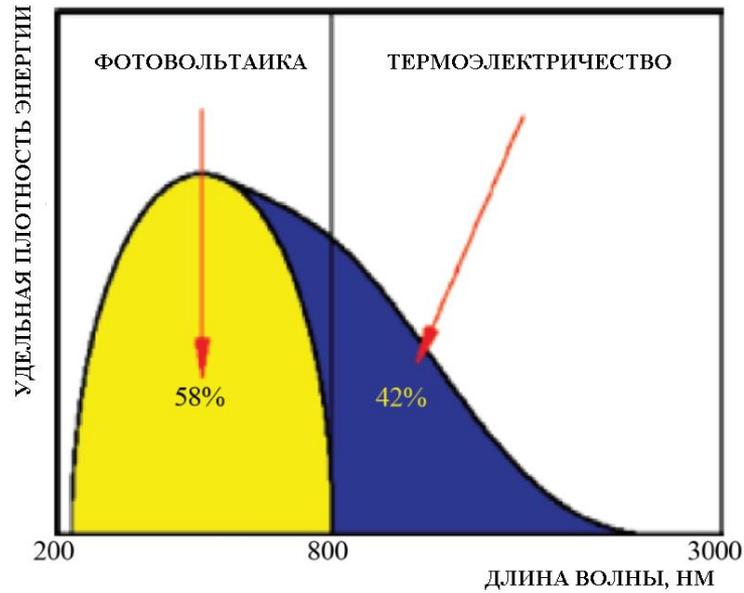
PV - ФОТОВОЛЬТАИКА, ОБЫЧНЫЕ СОЛНЕЧНЫЕ ПАНЕЛИ;
TPV - ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИКА



СМЕНА ТРЕНДА - ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ТОПЛИВ К НЕОБХОДИМОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ ВЫЗОВОВ И РЕШЕНИЙ: МОТИВАЦИИ ДЛЯ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ГЕНЕРАЦИИ



ТЕРМОФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЯЧЕЙКИ – ЭФФЕКТИВНОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЕ НЕ ТОЛЬКО ВИДИМОГО СПЕКТРА, НО И ТЕПЛОЙ ЧАСТИ ПЛАНКОВСКОГО СПЕКТРА СОЛНЦА





**СОЛНЕЧНАЯ
ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИКА (TRV)**

**СОЛНЕЧНАЯ
ФОТОВОЛЬТАИКА (PV)**

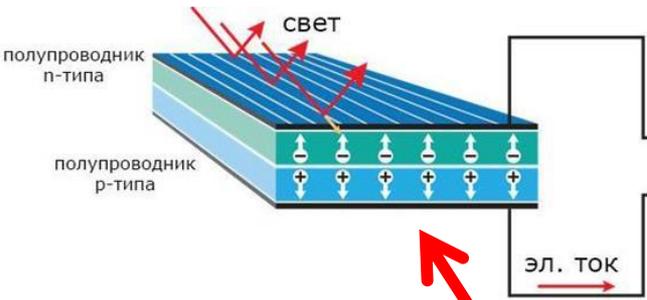
**СОЛНЕЧНАЯ
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА
(ГЕНЕРАЦИЯ ПАРА)**

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

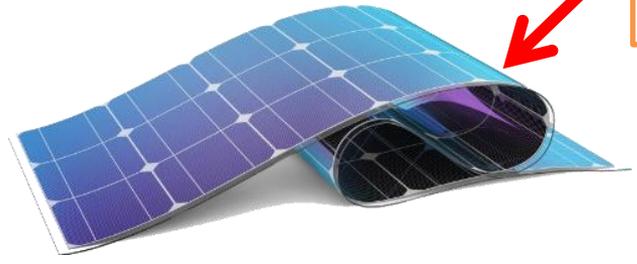
**СОЛНЕЧНАЯ
ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**

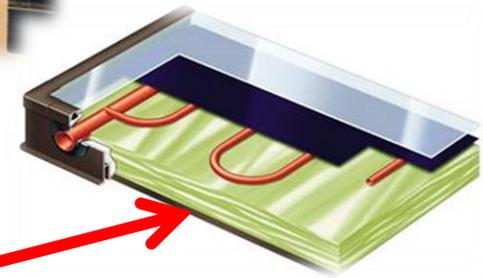
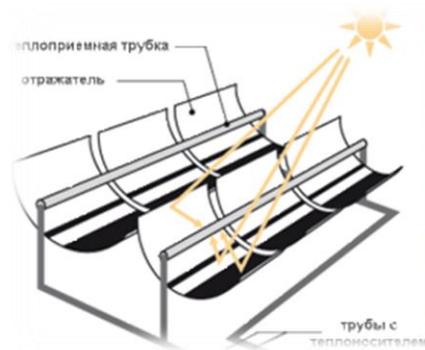
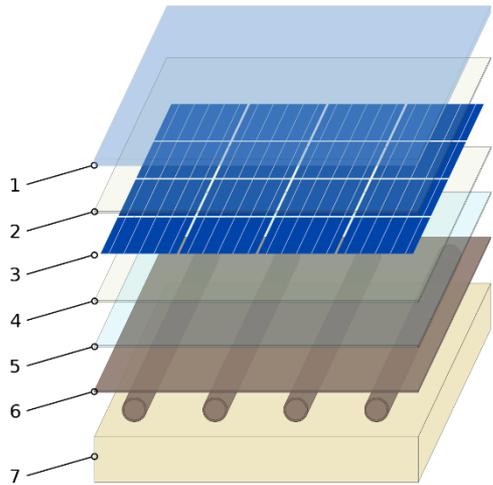
**СОЛНЕЧНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ
ОБЕССОЛЕННОЙ И
ЧИСТОЙ ВОДЫ**

**СОЛНЕЧНЫЙ
ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ
ФОТОСИНТЕЗ**

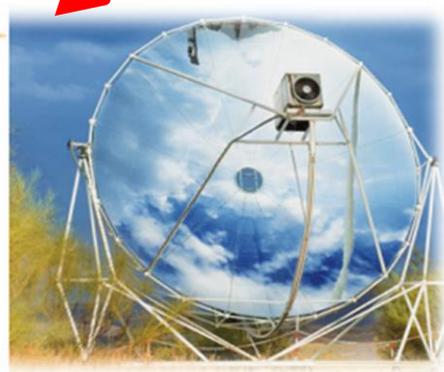
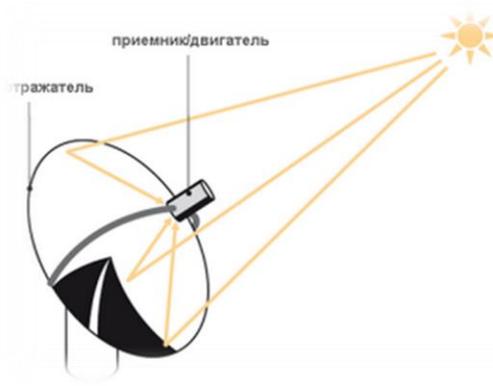


**СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГЕТИКА
(ФОТОВОЛЬТАИКА)**



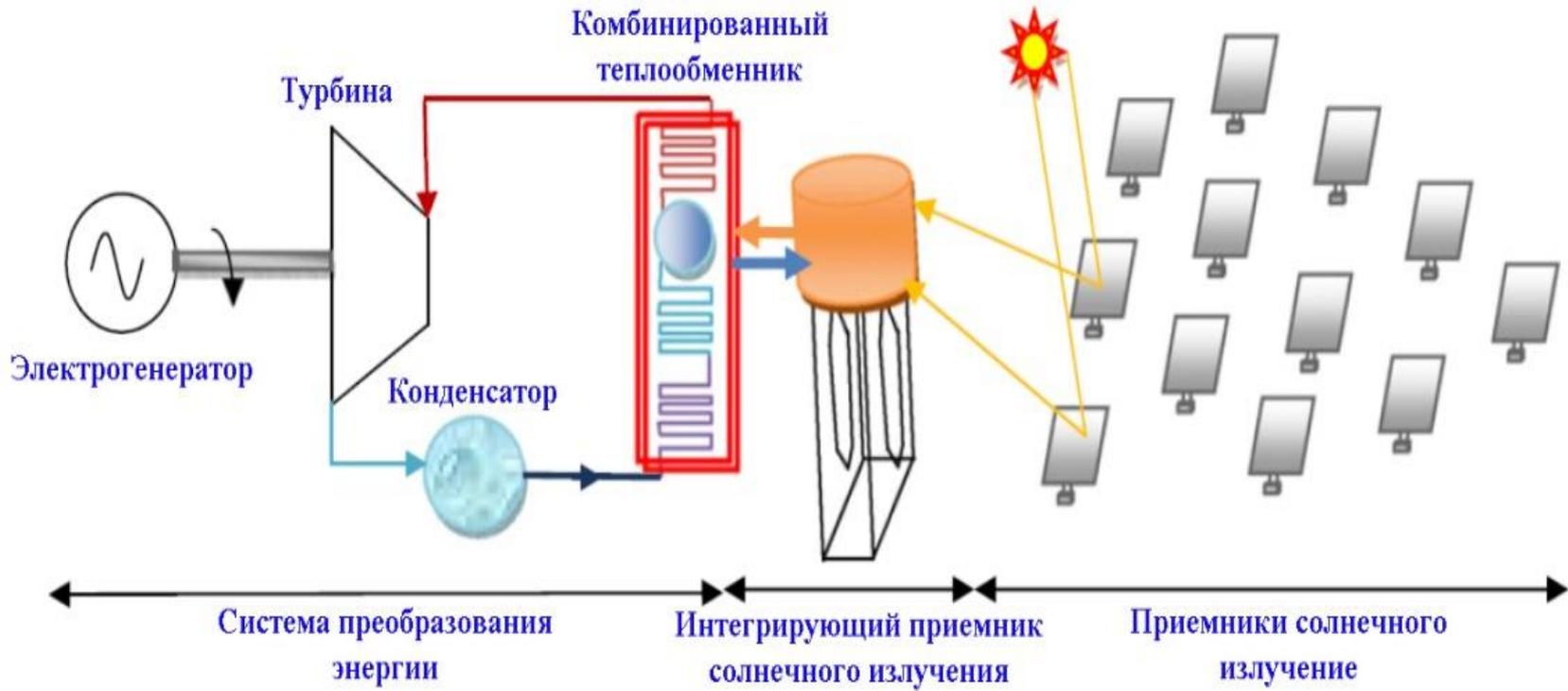


СОЛНЕЧНАЯ ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИКА



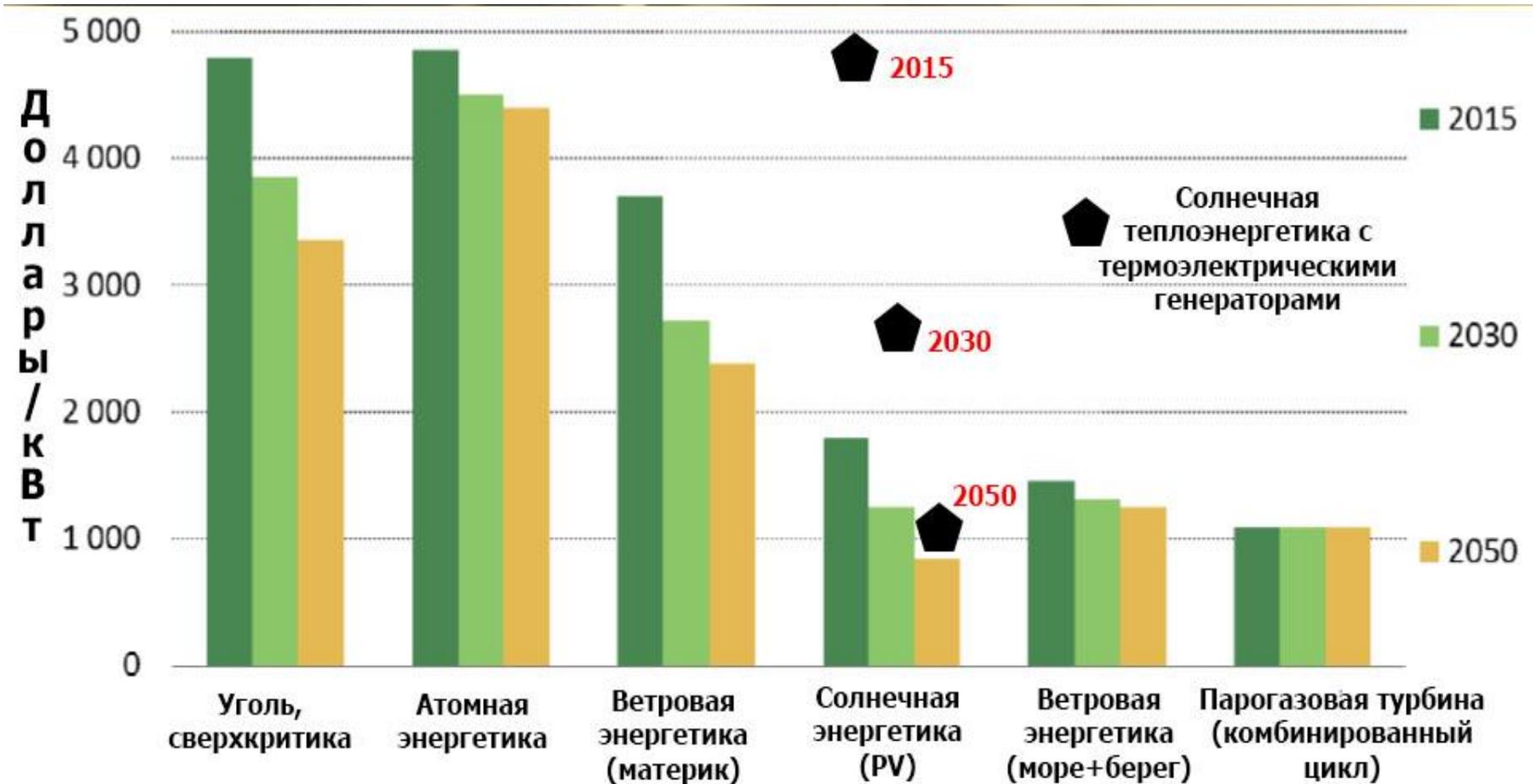
ВИДЫ СИСТЕМ СОЛНЕЧНОЙ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКИ

СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА - ПАРОГЕНЕРАЦИЯ



НЕМНОГО ОБ ЭКОНОМИКИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Стоимость солнечных панелей, долл./кВт



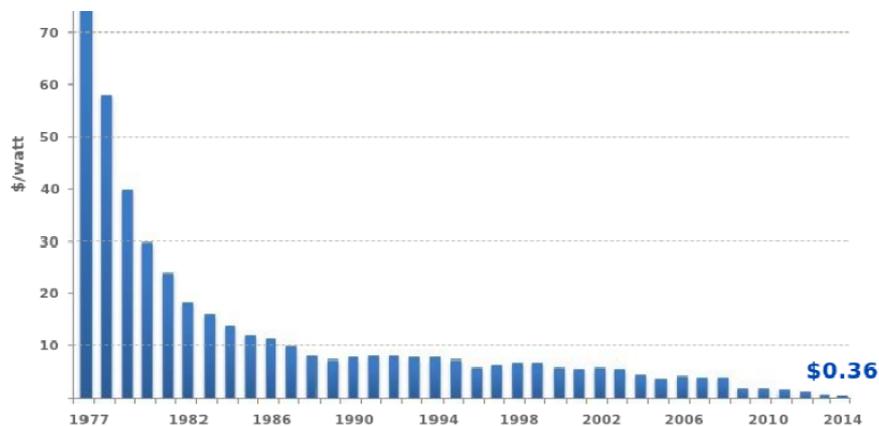
НЕМНОГО ОБ ЭКОНОМИКИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ

Рост энергетической мощности солнечных панелей, в ТВт



Source: US Energy Information Administration, July 2013

Стоимость упала за 35 лет в 213 раз!!!



Source: Bloomberg, New Energy Finance & pv.energytrend.com

НАНОФОТОНИКА И НАНОПЛАЗМОНИКА В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СОЛНЕЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ

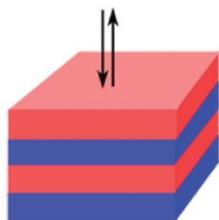
Нанопластика и пленение фотонов

Наноплазманика, резонансы и эффективное поглощение

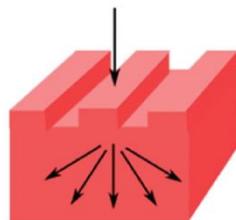
Новые нанотехнологии и наноматериалы для солнечных панелей

Солнечные концентраторы и ближнее поле

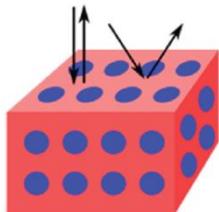
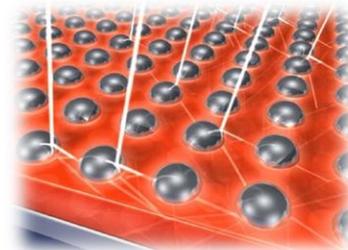
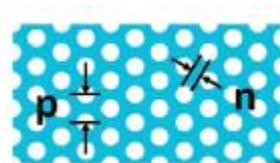
Нанопластика и пленение фотонов



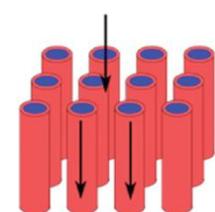
a)



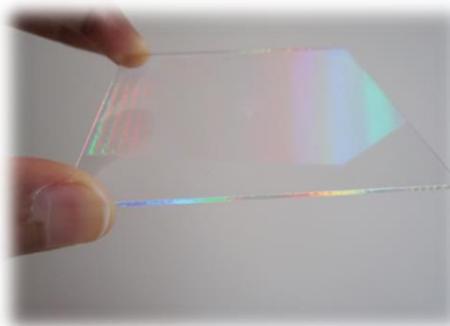
b)



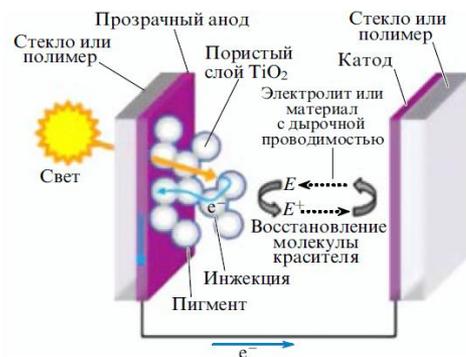
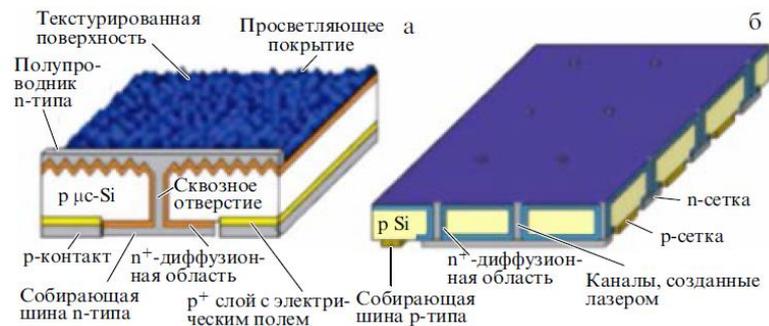
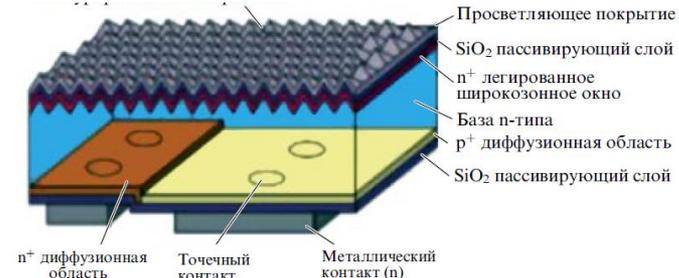
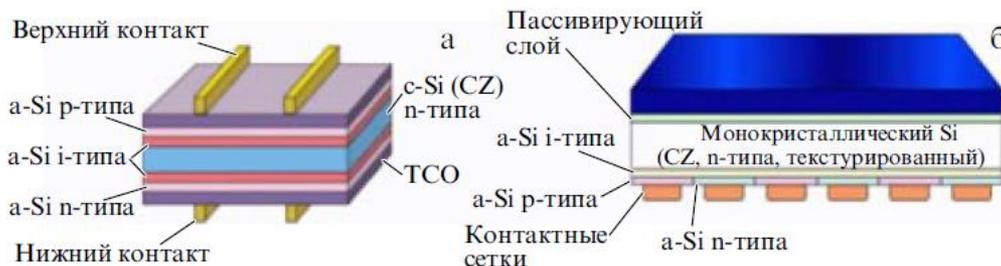
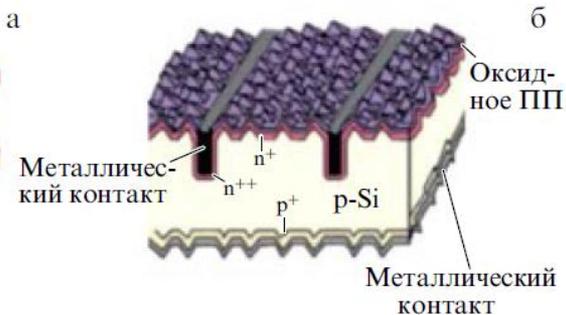
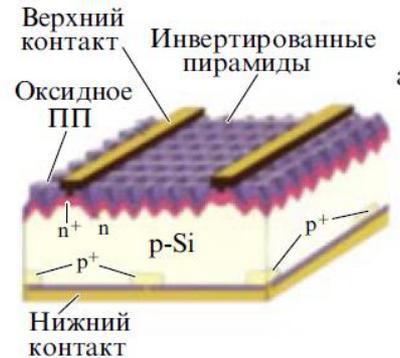
c)



d)

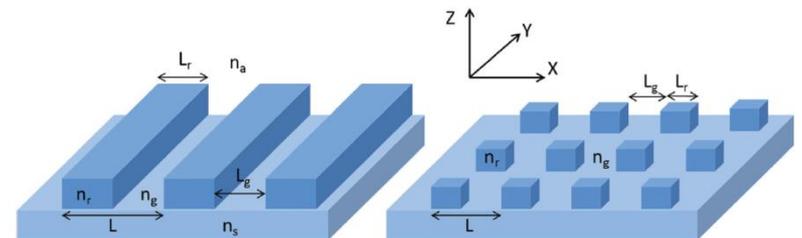
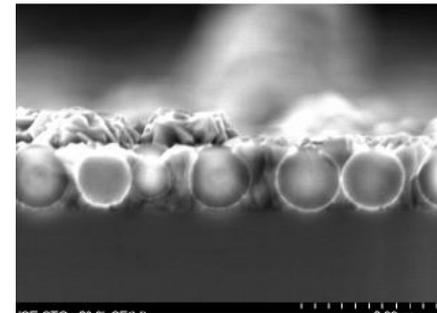
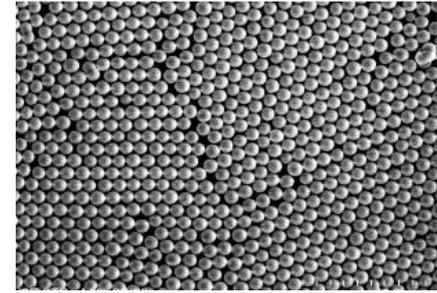
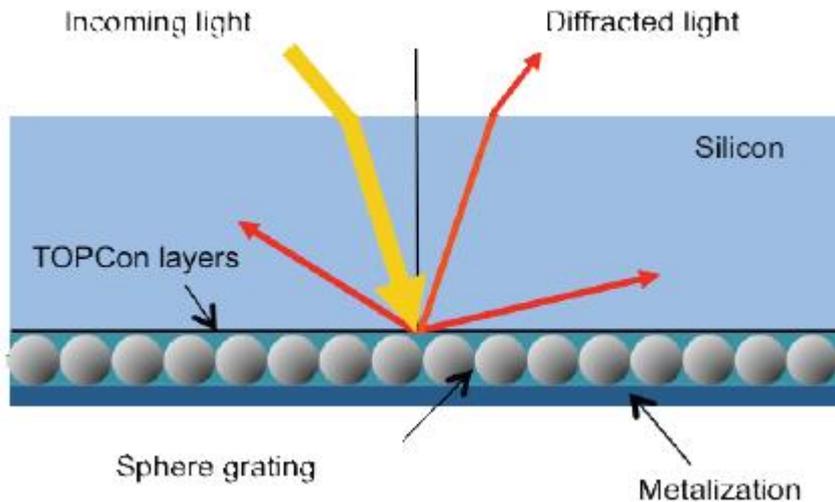


ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ СОЛНЕЧНЫХ ФОТОВОЛЬТАИЧЕСКИХ ПАНЕЛЕЙ



НО: КПД солнечных панелей типа кремниевых – менее 22%, типа GaAs – 29%; стоимость последних в 5-7 раз выше, чем кремниевых

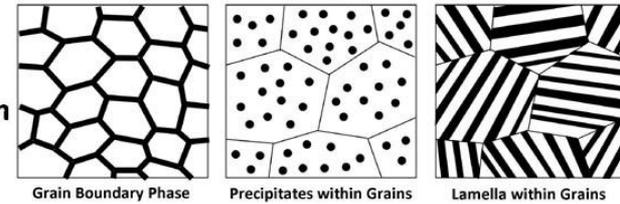
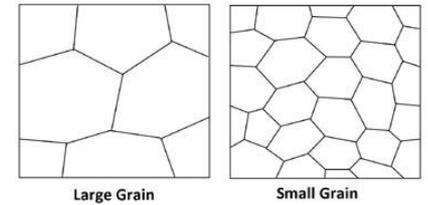
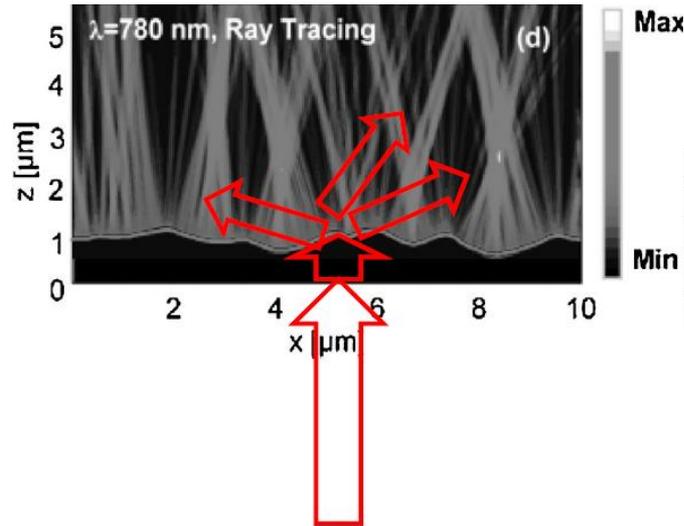
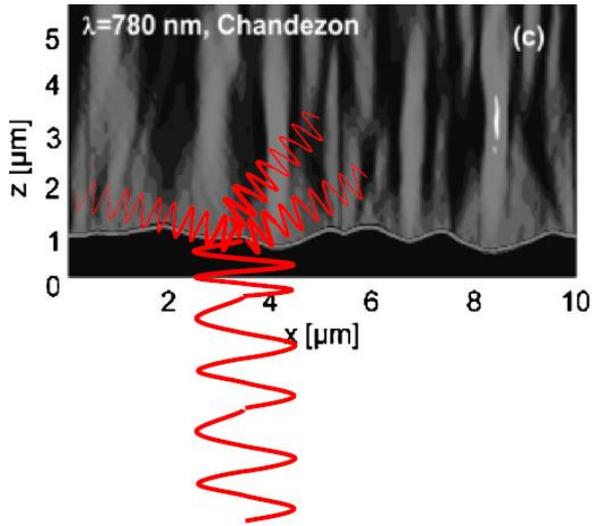
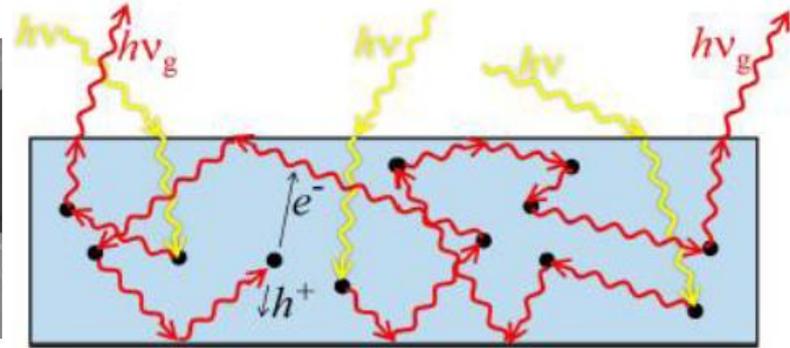
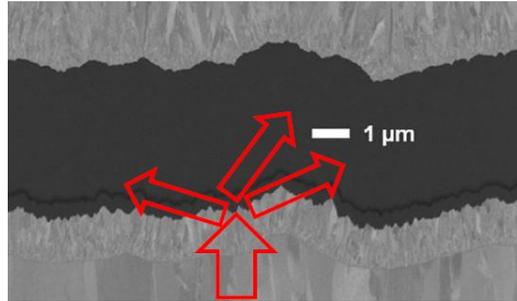
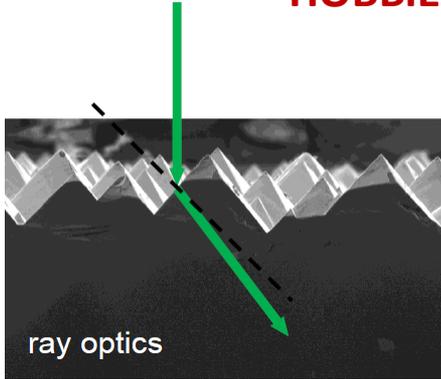
Гратинг («решетки») в фотоячейках



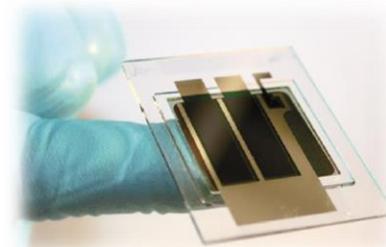
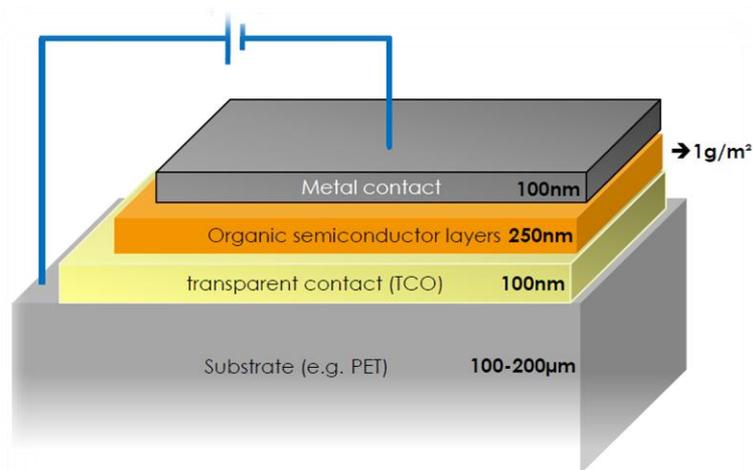
От одиночных нанопроволок и нанотрубок
к миллиардам для построения решетки

Основная идея: управление светом

НОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ В ФОТО- И ТЕРМОФОТОЯЧЕЙКАХ

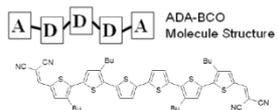


ОРГАНИЧЕСКИЕ НАНОСТРУКТУРИРОВАННЫЕ ФОТОЯЧЕЙКИ



Oligomers

Fullerene C₆₀



Organic absorber



Roll-to-roll Process



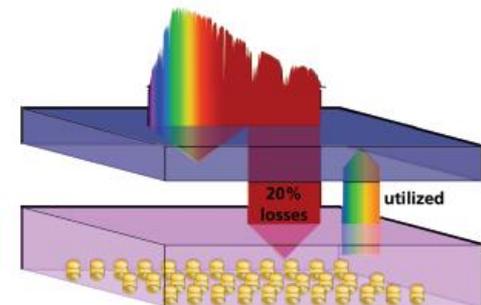
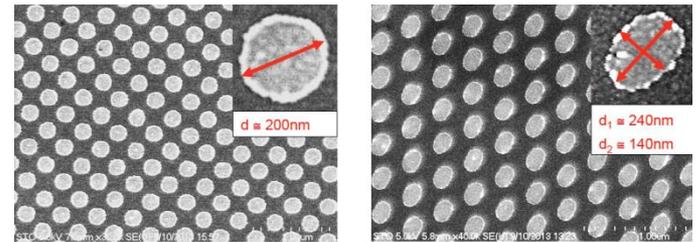
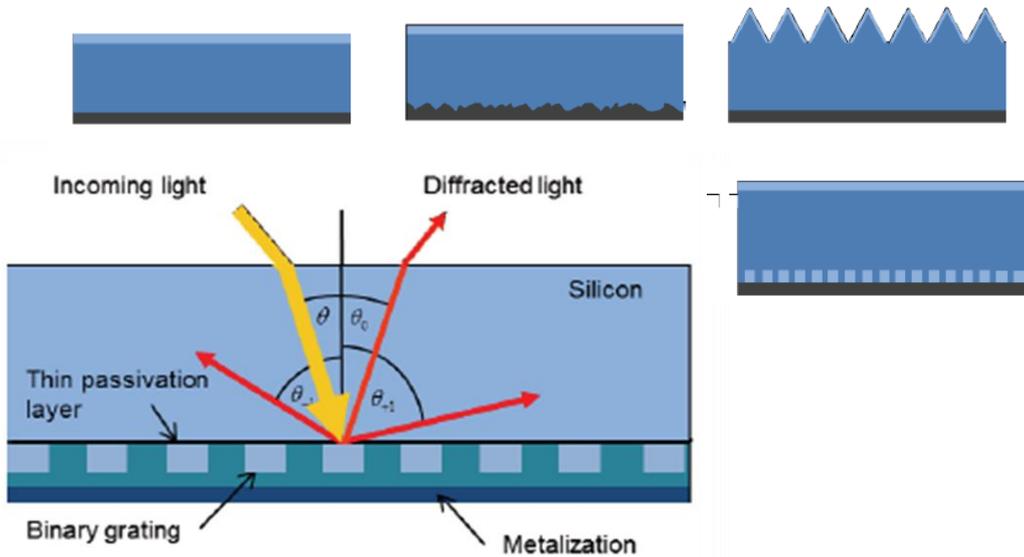
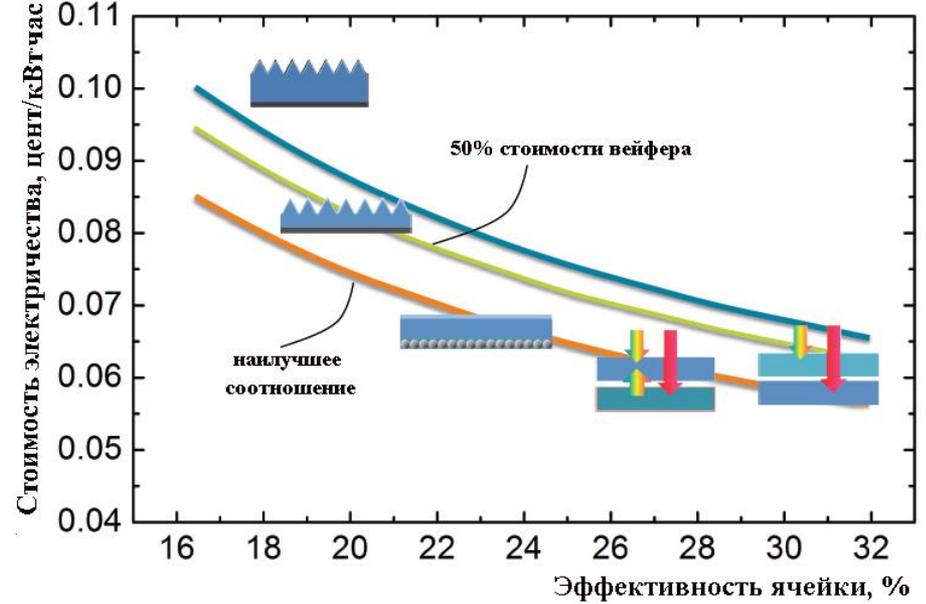
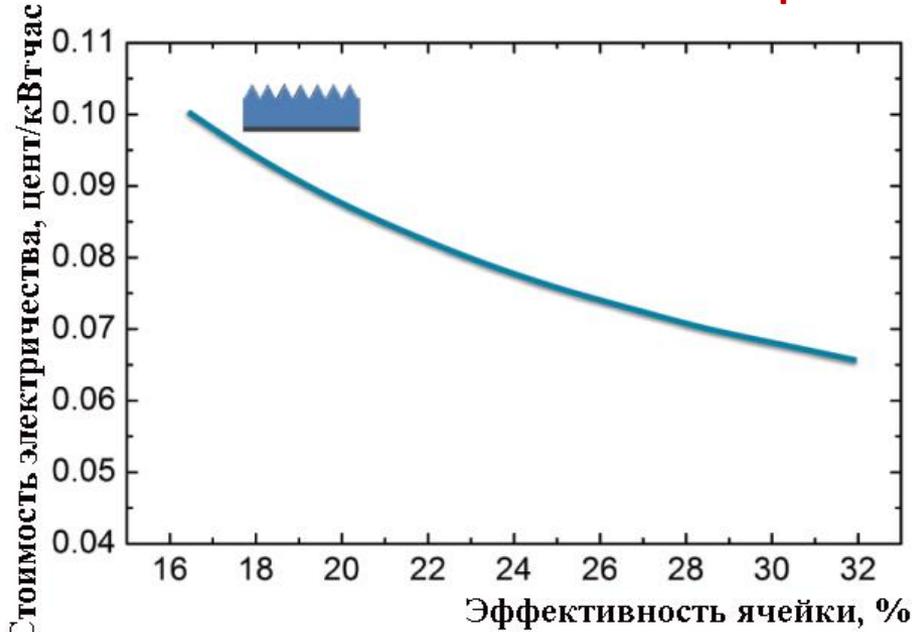
CVD Process



Laser structuring

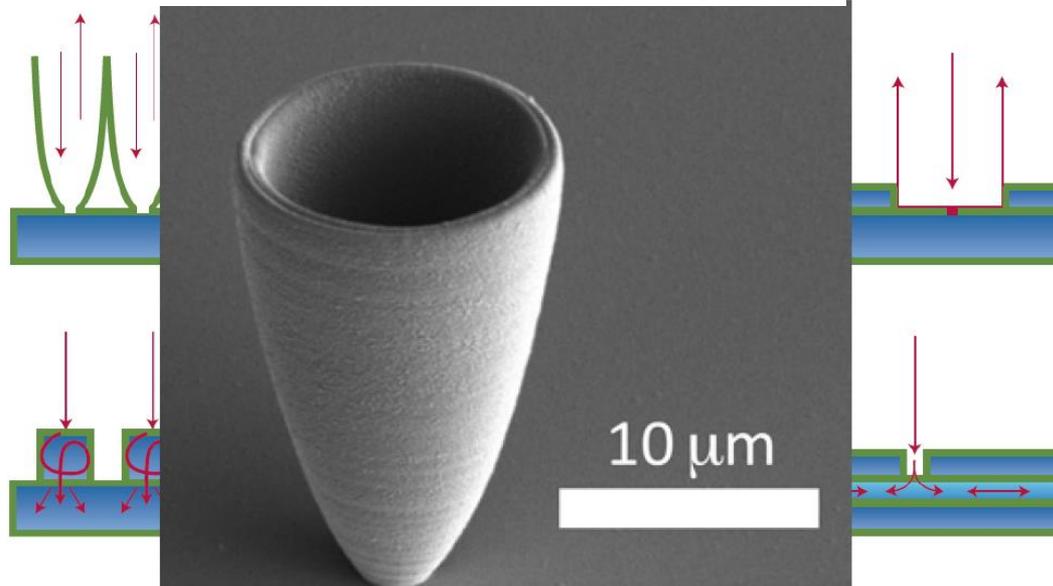
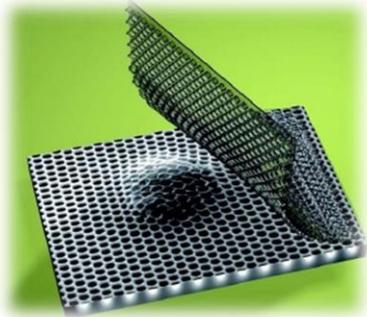
Повышение энергоэффективности с 6-8% до 13%!!!

МЕТОДЫ «НАНОЛОВУШЕК» СВЕТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ



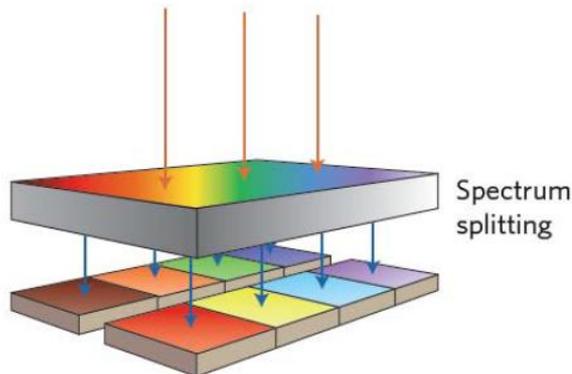
НОВЫЕ НАНОСТРУКТУРЫ В ФОТО- И ТЕРМОФОТОЯЧЕЙКАХ

Light management structures for reaching ultra-high efficiency

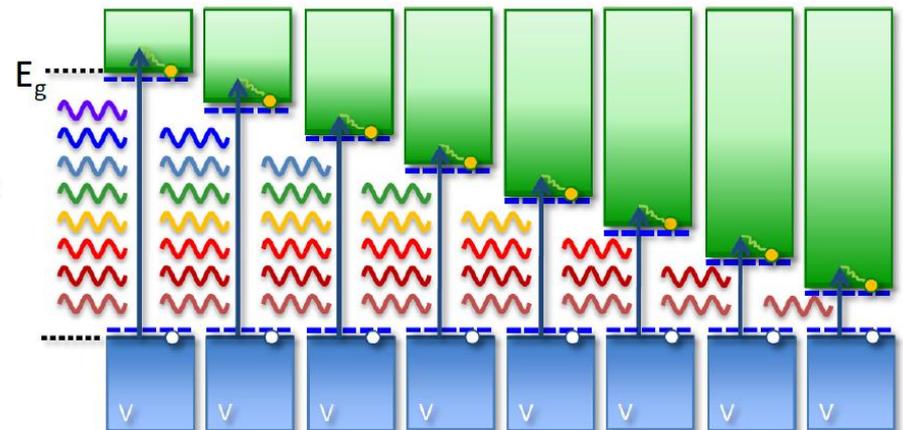


b

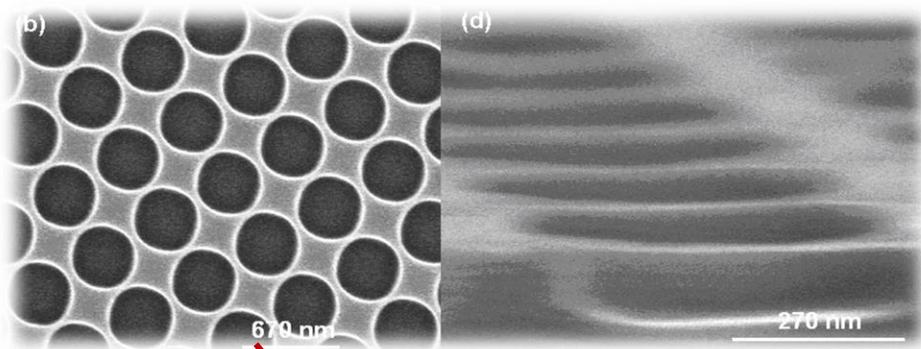
Light management



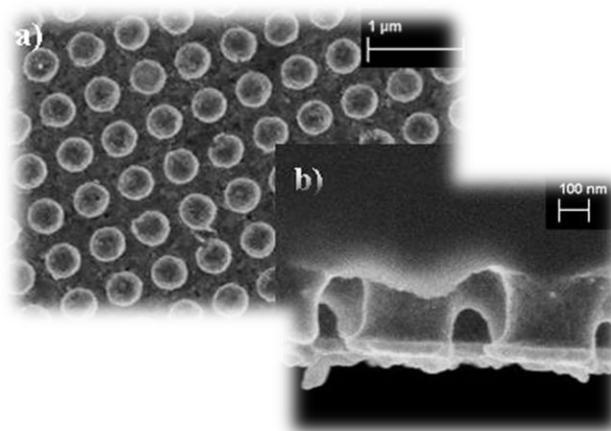
Multi-junction solar cell



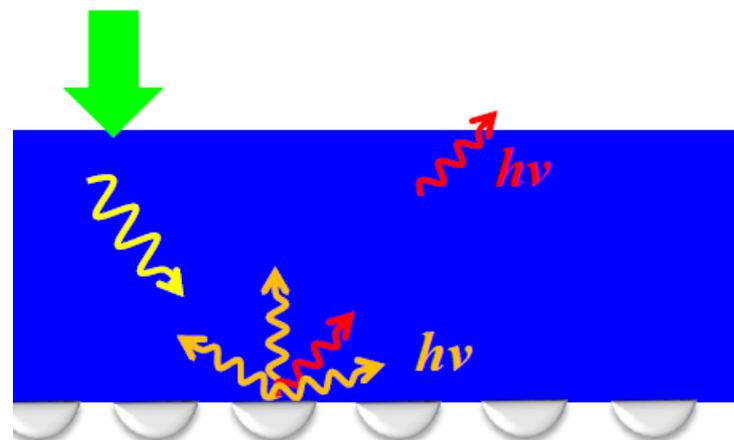
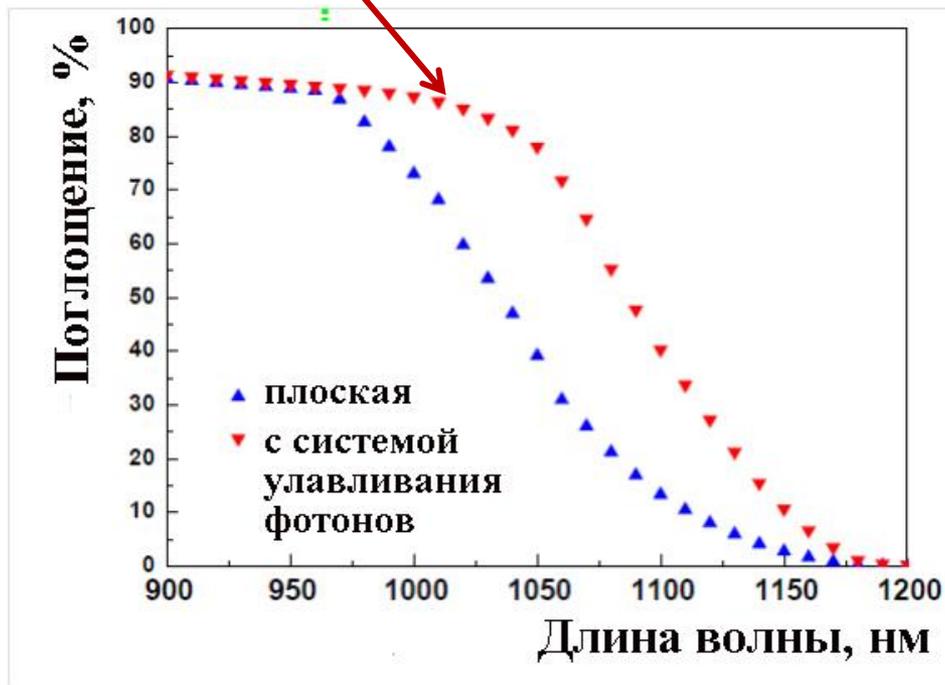
МЕТОДЫ «ЛОВУШЕК» СВЕТА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ ПОГЛОЩАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ

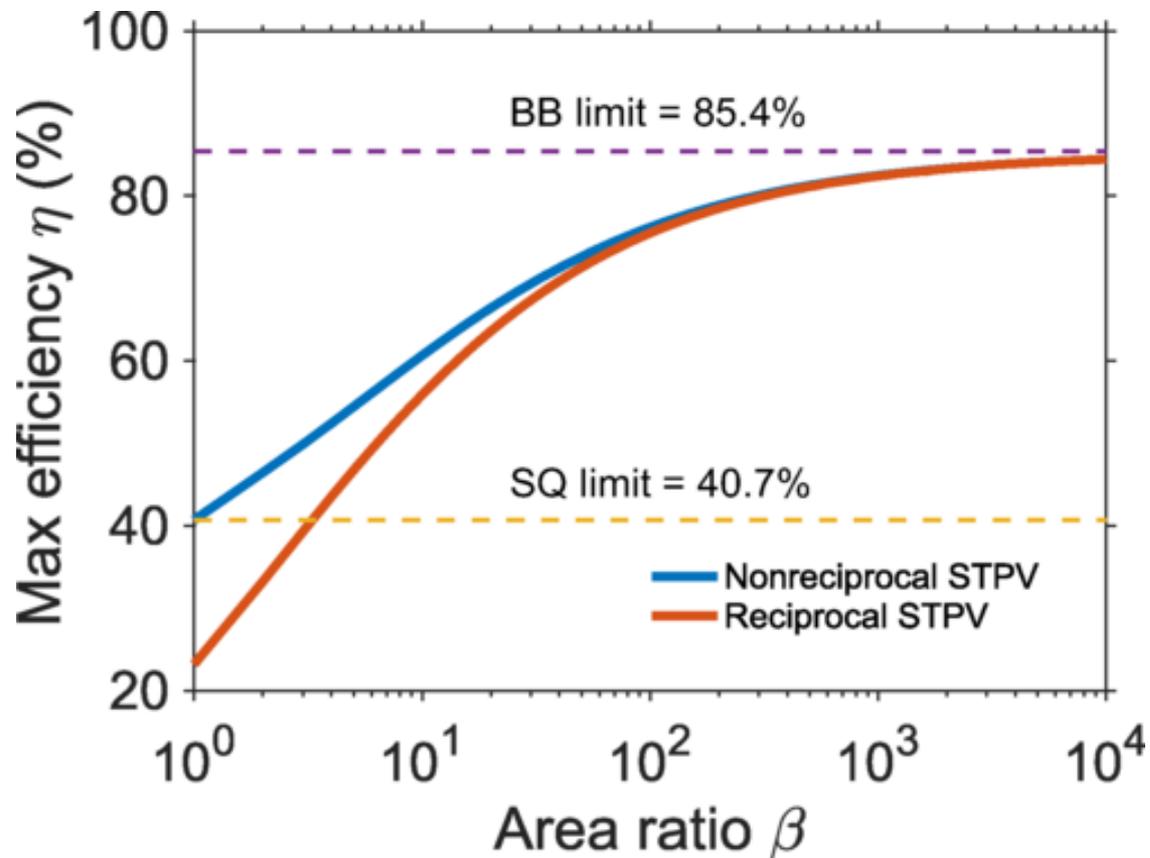
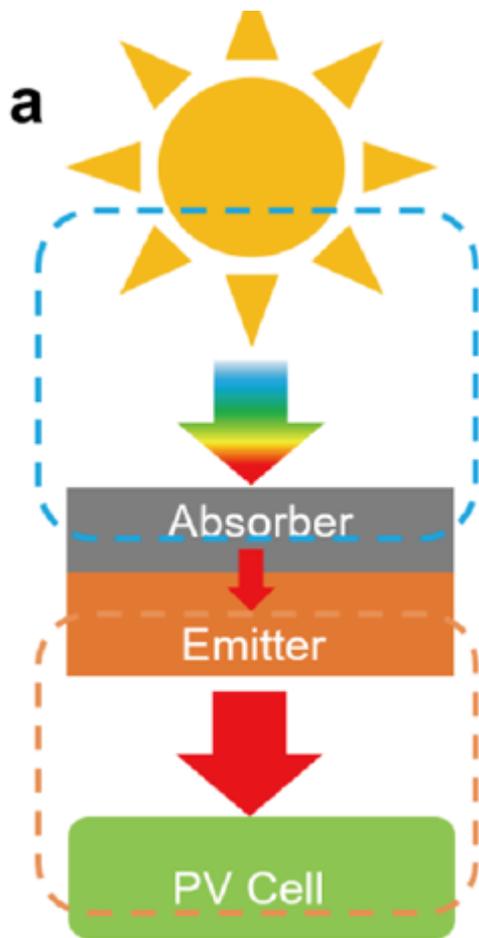


Пассивация



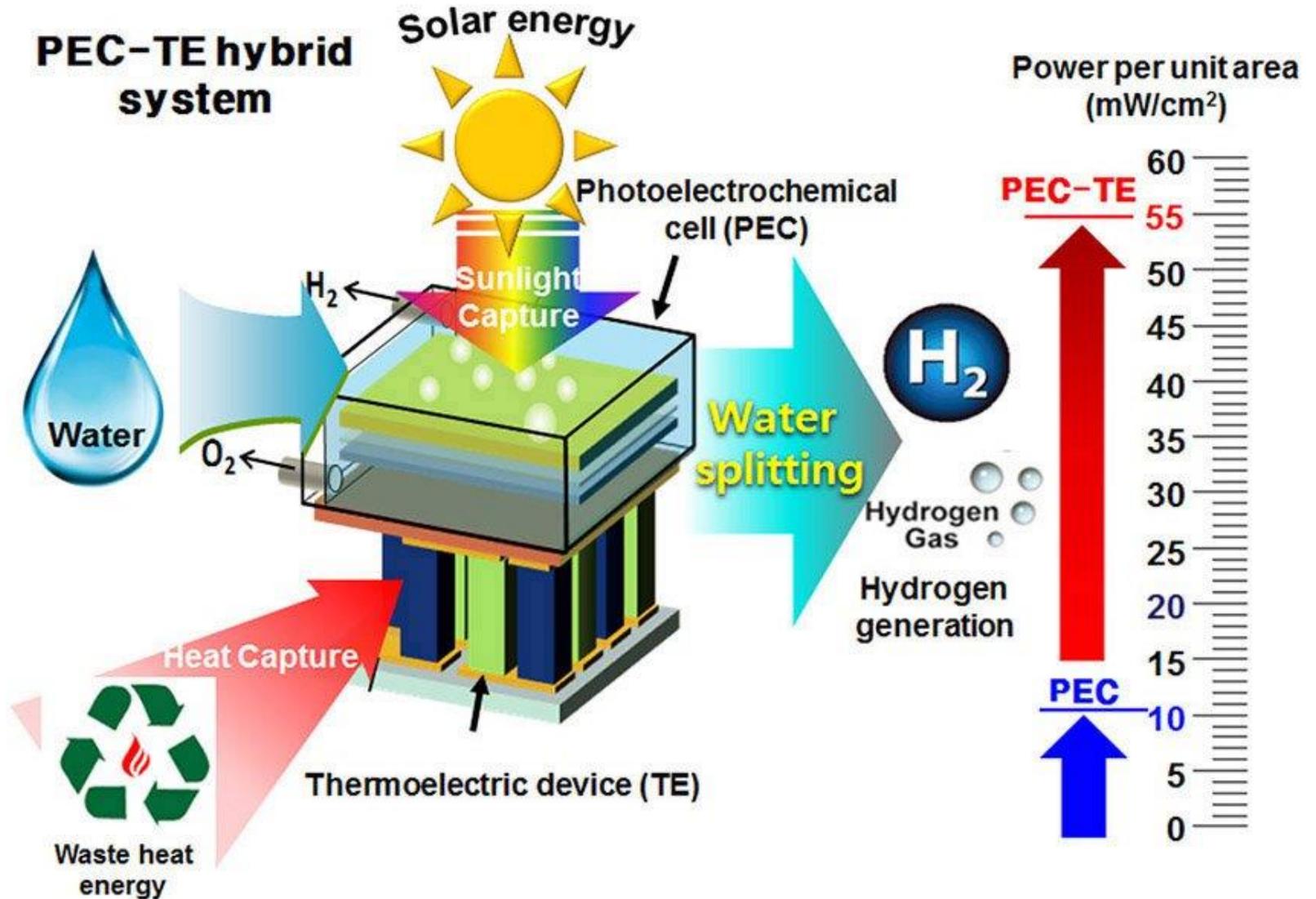
Улавливание света





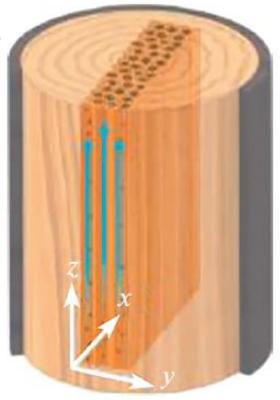
ВАЖНО!!! ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЙ ПРЕДЕЛ КОЭФФИЦИЕНТА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ (КПД) - ПРЕДЕЛ ШОТКИ-КВЕЙЗЕРА (SQ) ДЛЯ PV (40,7%) МОЖЕТ БЫТЬ УВЕЛИЧЕН ДО 85,4%!!! С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАНОТЕХНОЛОГИЙ И НАНОМАТЕРИАЛОВ

КОМБИНИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ СОЛНЕЧНОЙ ГЕНЕРАЦИИ

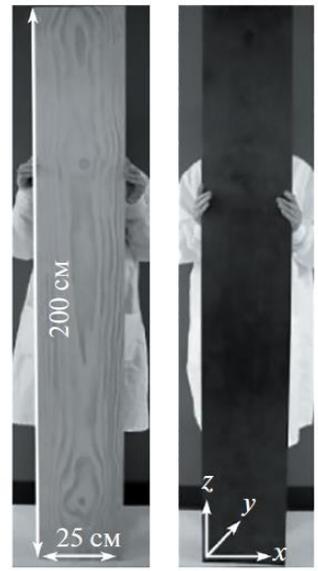




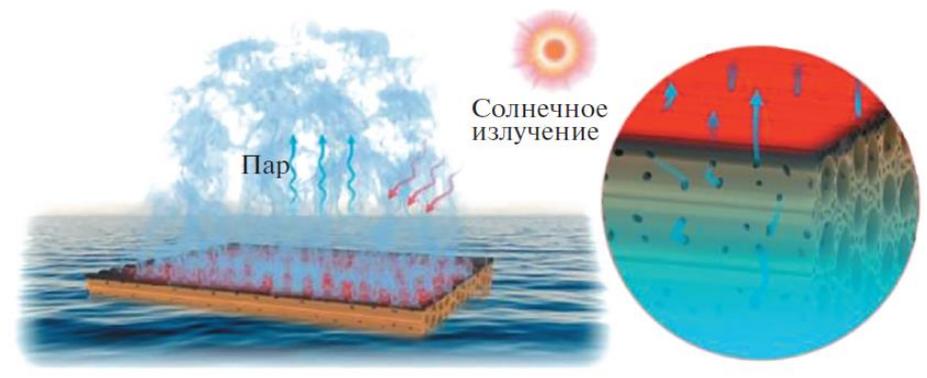
ПРОЦЕССЫ СОЛНЕЧНОГО ИСПАРЕНИЯ ИЗ МЕЗО- И НАНОСТРУКТУР



Натуральное дерево Поверхностная карбонизация

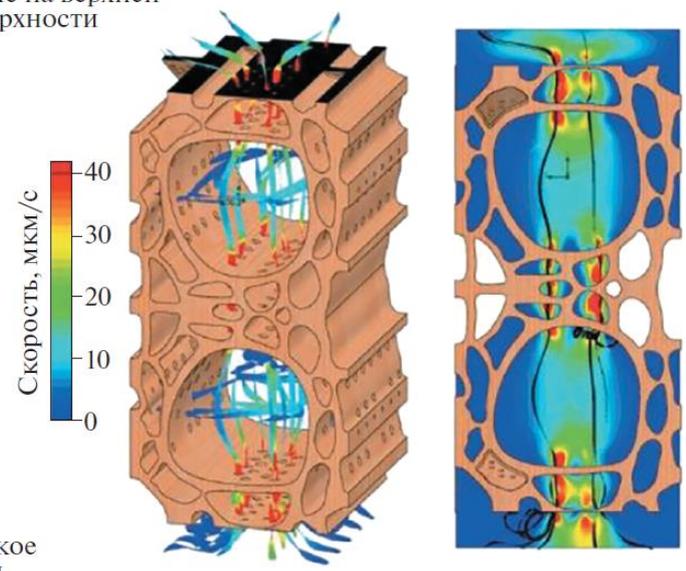
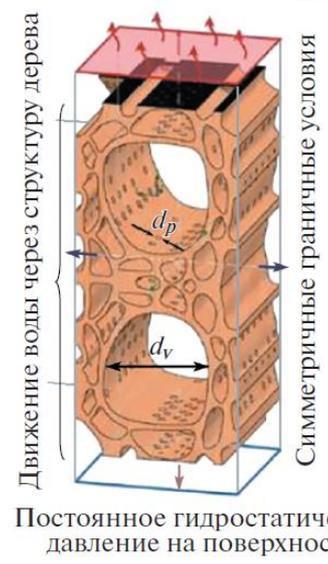


a)



б)

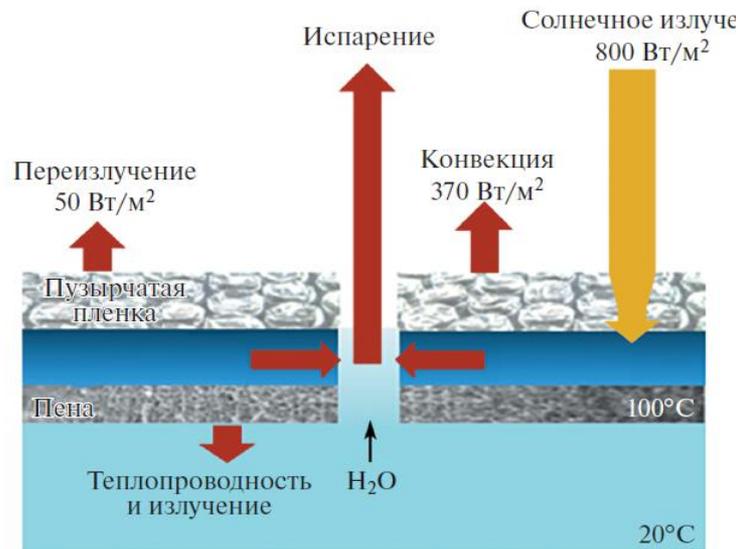
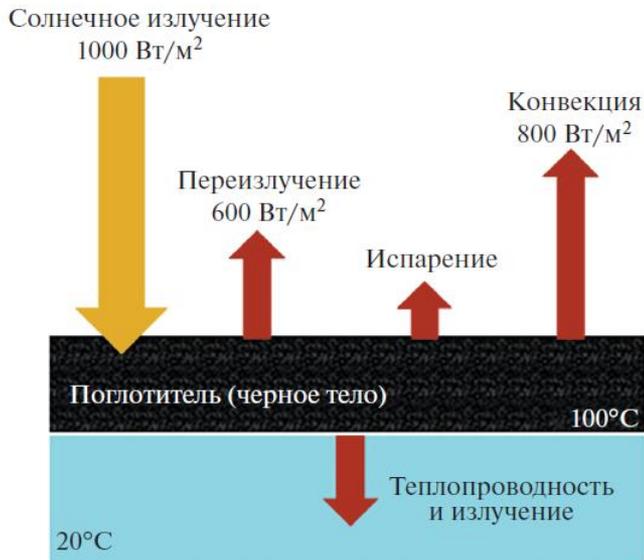
Испарение на верхней поверхности



в)

Характер испарения из древоподобных карбонизированных структур. а – обычный процесс подъема воды; б – эффект “обратного” дерева]; в – конструкция “обратного” дерева

ПРОЦЕССЫ ИСПАРЕНИЯ ИЗ МЕЗО- И НАНОСТРУКТУР



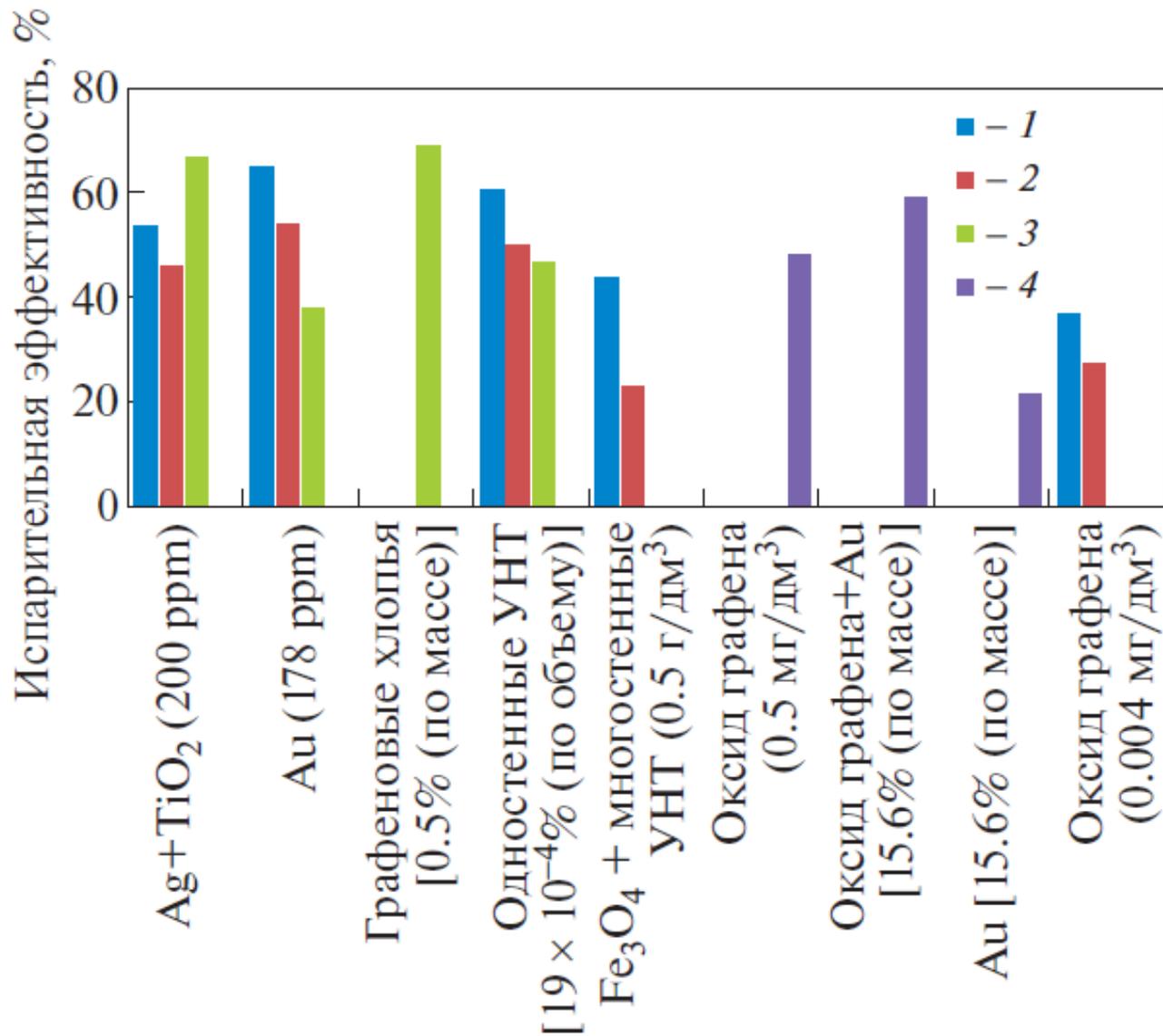
Изолирующая прозрачная
пузырчатая пленка



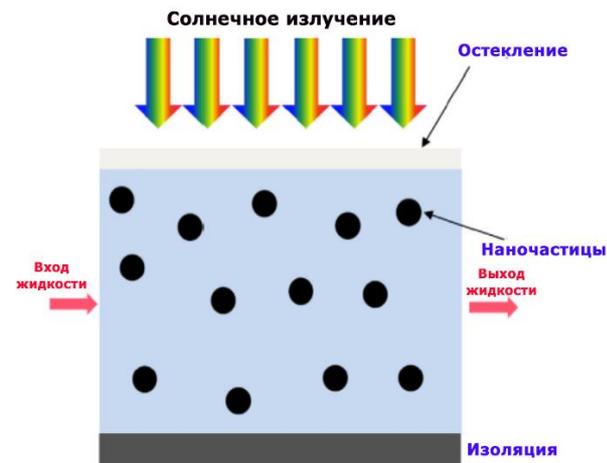
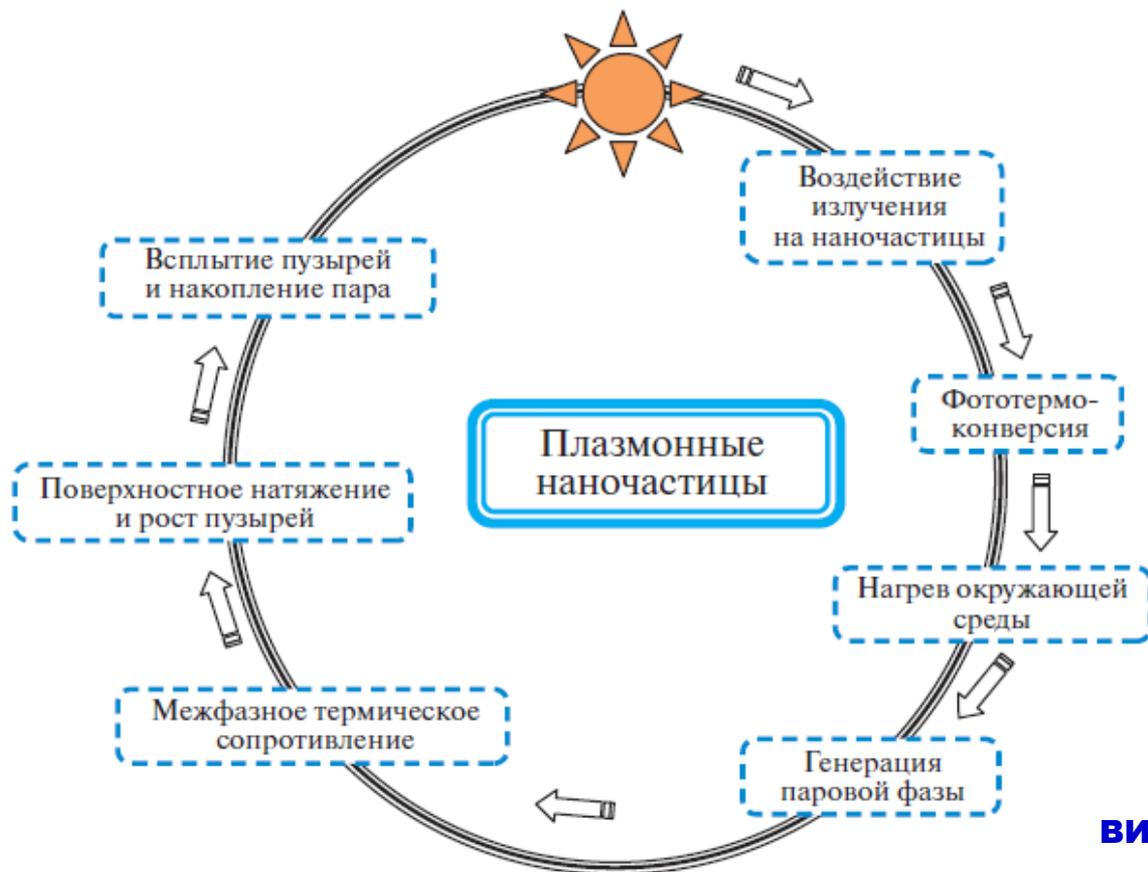
Термоизолирующая
плавающая пленка

Схема энергетического баланса (сверху) и общий вид поглощающих покрытий для эффективной парогенерации при одном солнце (снизу)

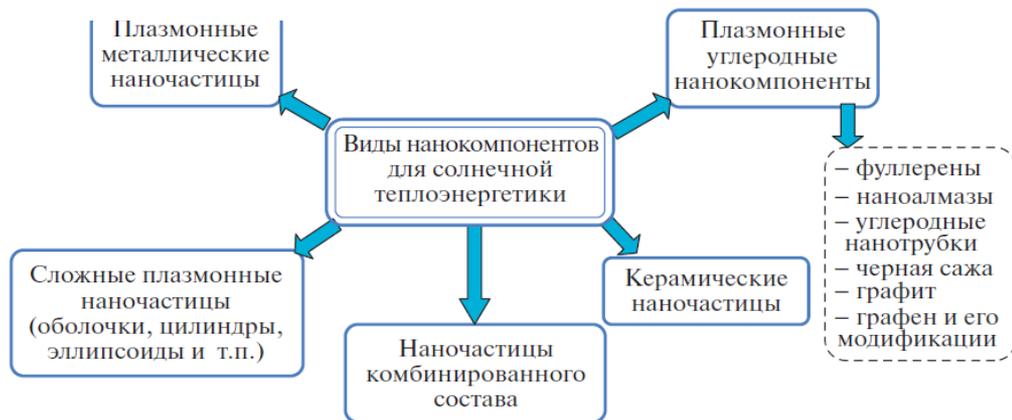
Сравнение испарительных эффективностей различных поглощающих подложек при интенсивности солнечного излучения 1 солнца (1), 3 солнца (2), 5 солнц (3), 10 солнц (4)



Процессы генерации пара с использованием наноплазмоники и нанофотоники

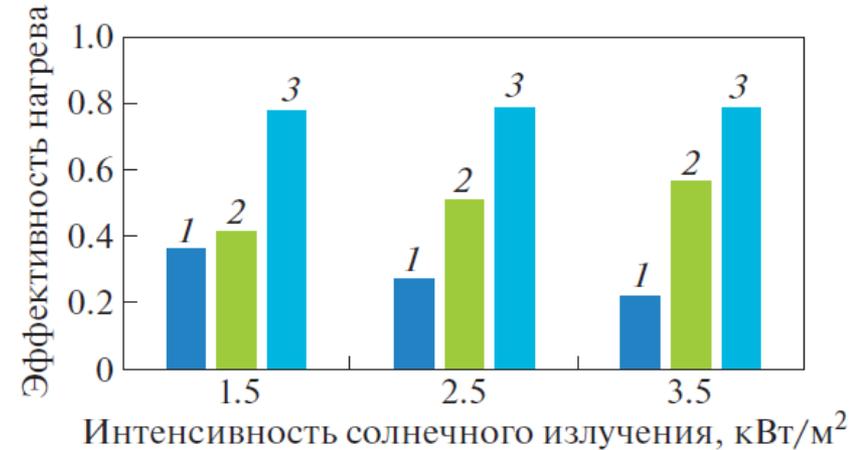
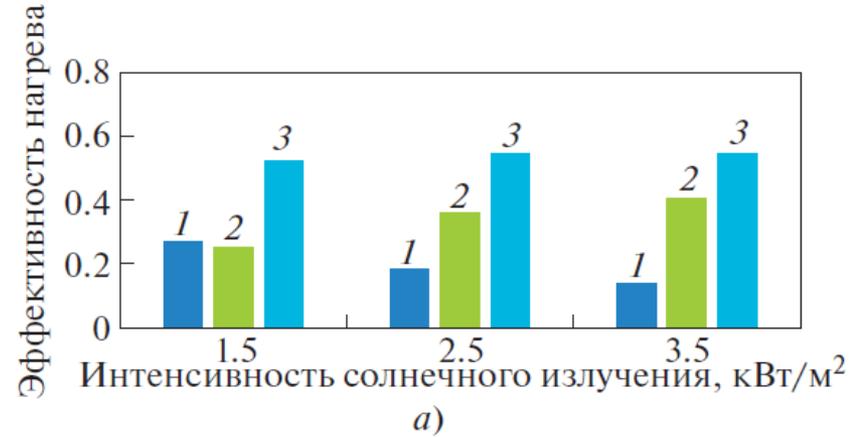
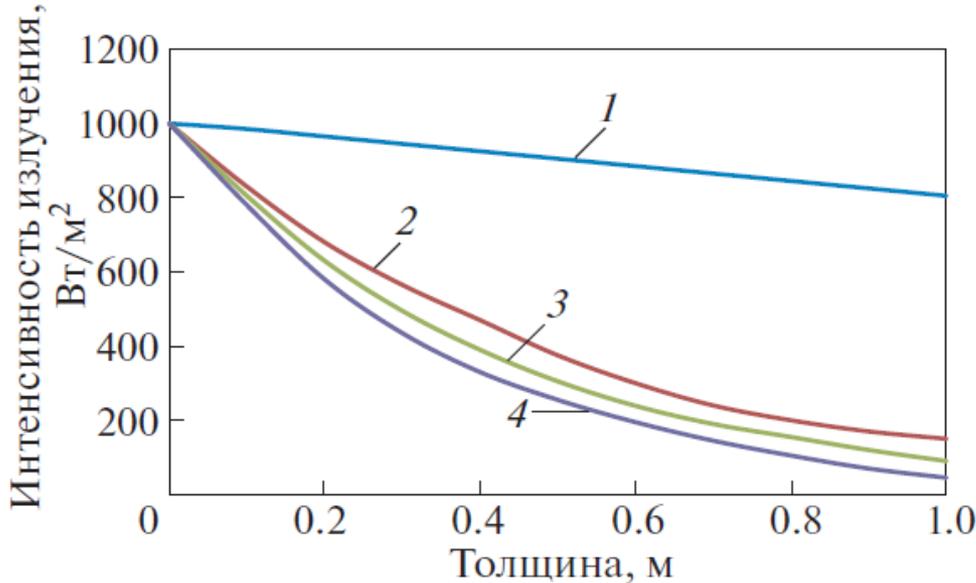
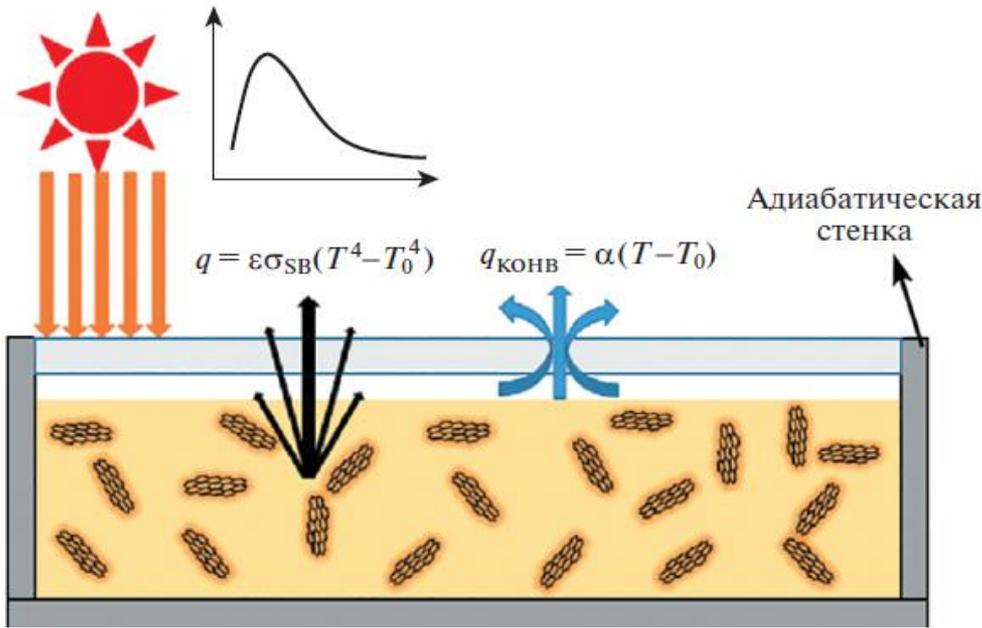


ВИДЫ НАНОКОМПОНЕНТОВ



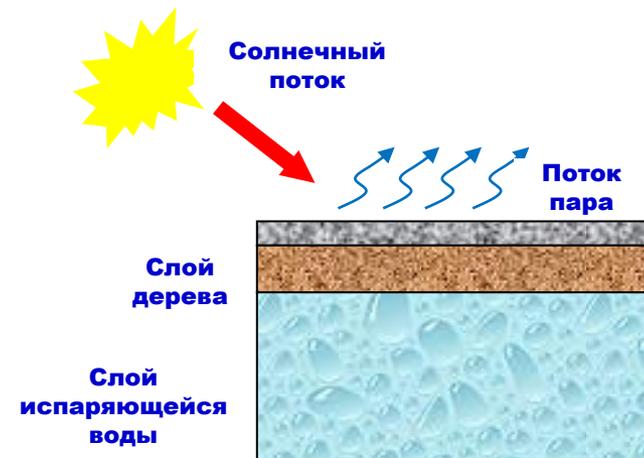
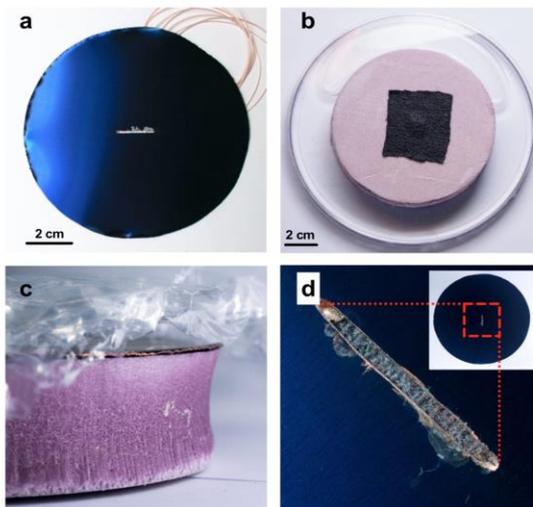
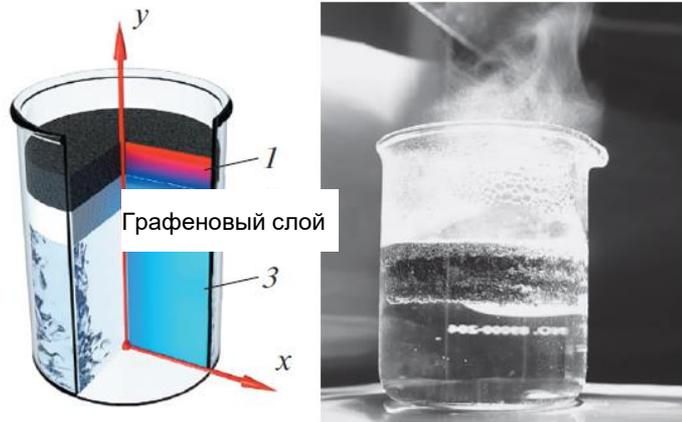
Характер поглощения солнечного излучения для различных рабочих жидкостей.

1 – дистиллированная вода; 2 – наножидкость с частицами алмаза; 3 – наножидкость с частицами сажи; 4 – наножидкость с графеном



Эффективность нагрева и испарения теплоносителей при различной интенсивности солнечного излучения: воды (а) и наножидкости вода + оксид графена (0.004%) (б). Эффективность: 1 – испарения; 2 – нагрева до испарения; 3 – общая

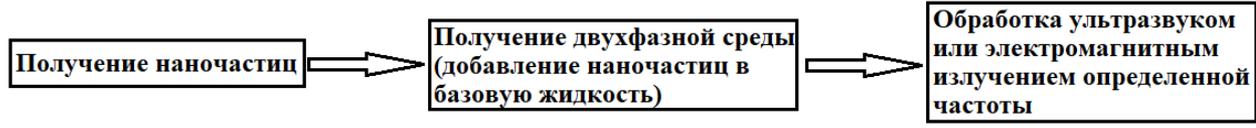
Процессы генерации обессоленной и чистой воды солнечным поверхностным испарением



Модель слоя графеновые хлопья + дерево

Структура для локализации тепла на основе двойного слоя углеродных материалов;
1 – поглощающий и гидрофильный слой; **2** – теплоизолирующий и гидрофильный слой; **3** – вода; **4** – расслоенный графит (поглощение, гидрофильность, пористость); **5** – углеродная пена (изоляция, гидрофильность, пористость)

Поглощательные и пропускные способности дистиллированной воды и наножидкостей



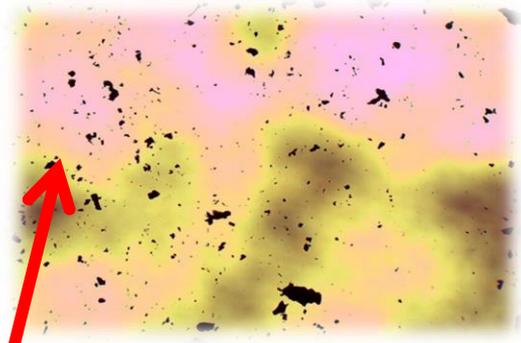
Наножидкость на основе воды и графена



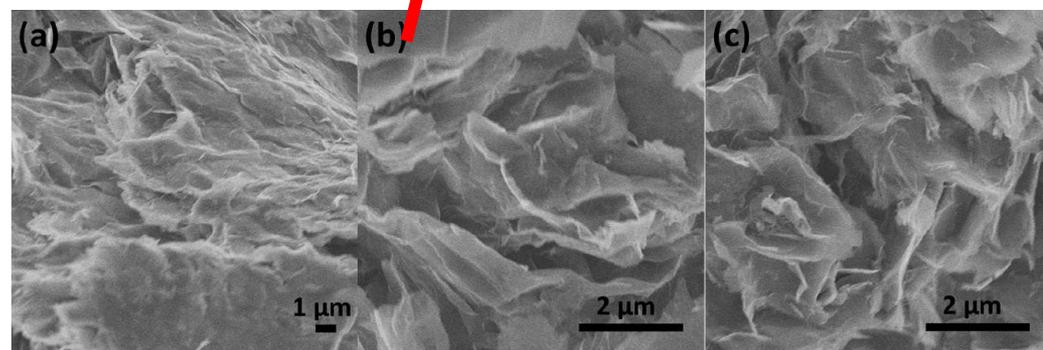
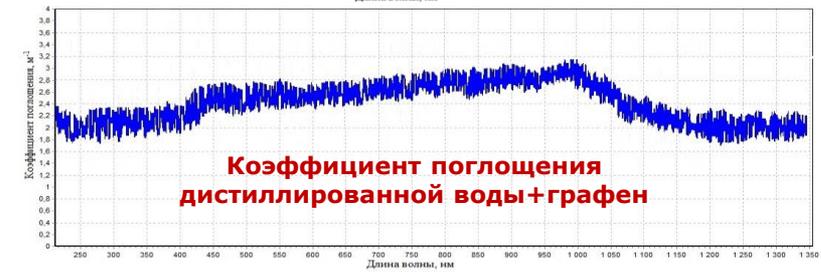
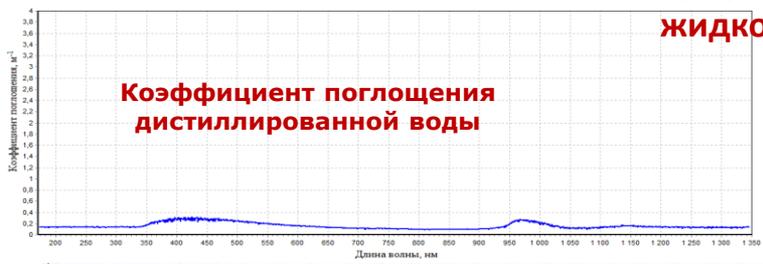
Нанопорошок графена: хлопья расщепленного в сильном ультразвуковом поле графита; размер 3-10 мкм, толщина менее 3 нм



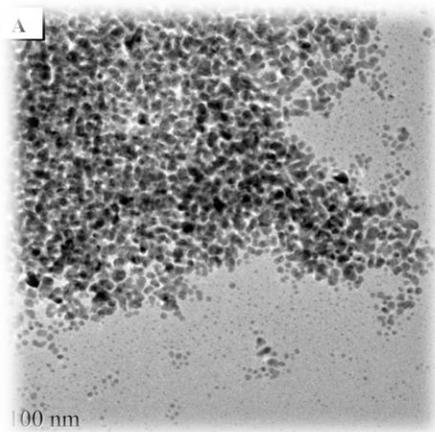
Графеновый нанокolloид; базовая жидкость – дистиллированная вода



Графеновый нанокolloид в электронном микроскопе



Поглощательные и пропускные способности дистиллированной воды и наножидкостей



Наноалмазный порошок



Алмазный нанокolloид;
базовая жидкость –
дистиллированная вода



Микроскопия
наноалмазного коллоида



Наножидкость с
частицами алмаза

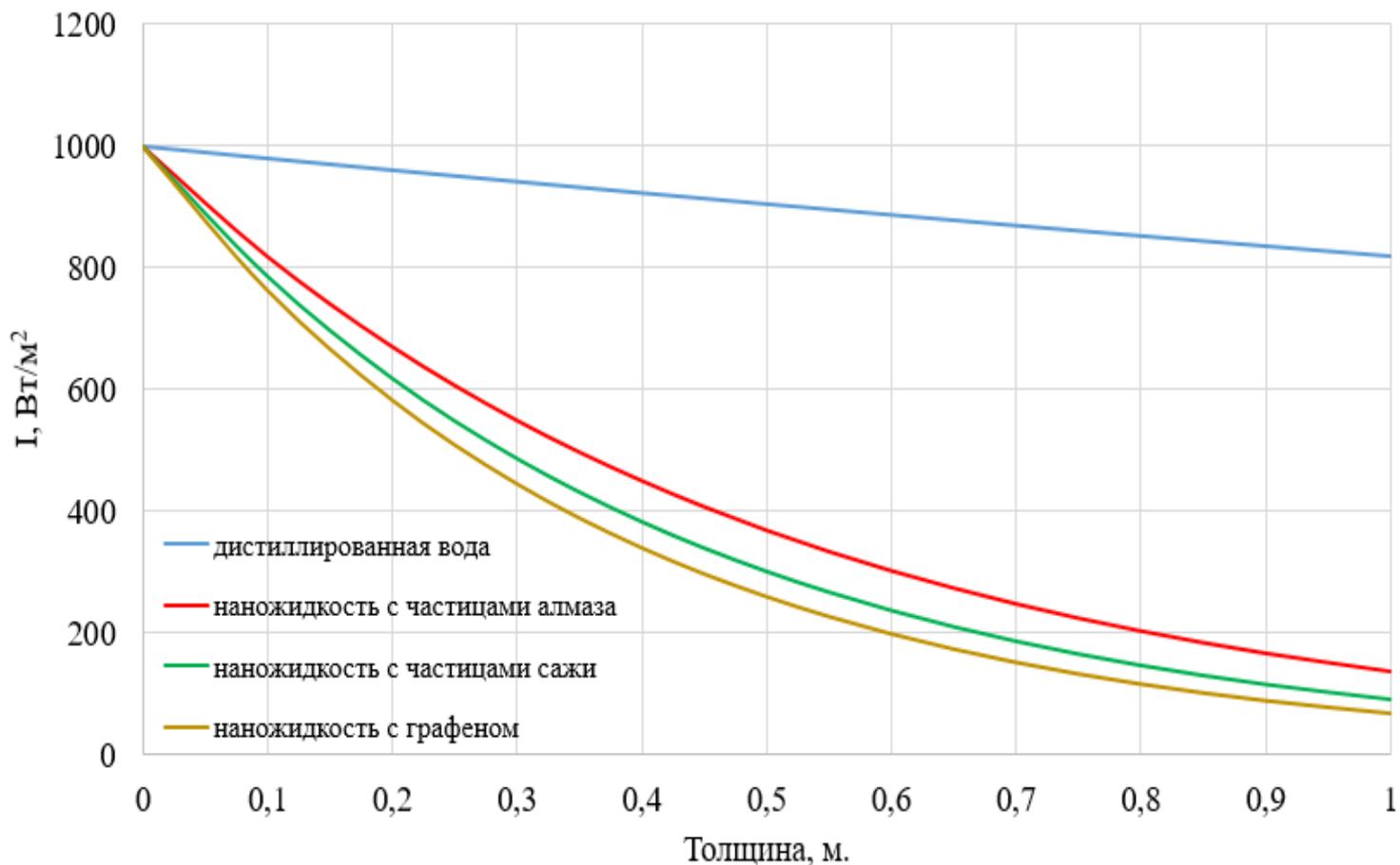
Наножидкость с
частицами сажи

Наножидкость с
графеном

Наножидкость с
частицами оксида железа

Нанокolloиды, использованные
для исследований

Зависимость интенсивности от толщины слоя вещества



Поглощение в графеновой наножидкости происходит максимально быстро; кроме того, теплоотдача от графеновых хлопьев к базовой жидкости – самая эффективная

Схема системы генерации пара в коллекторе с поглощающей поверхностью

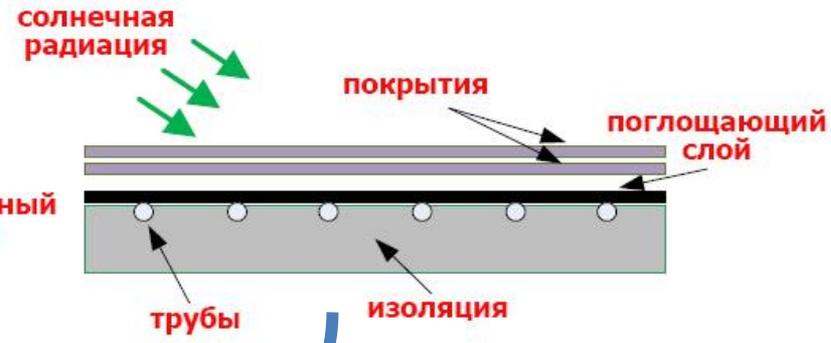
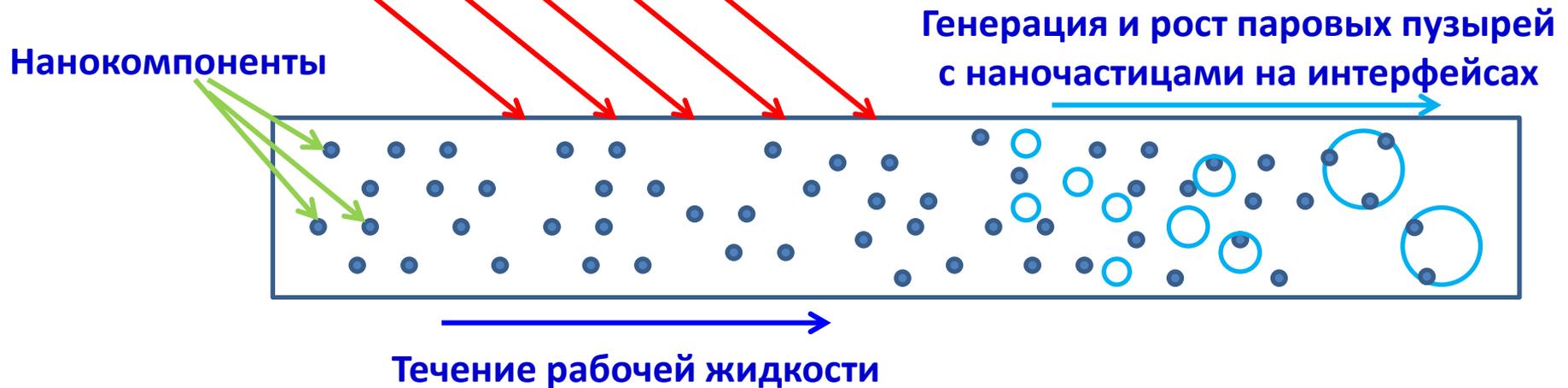
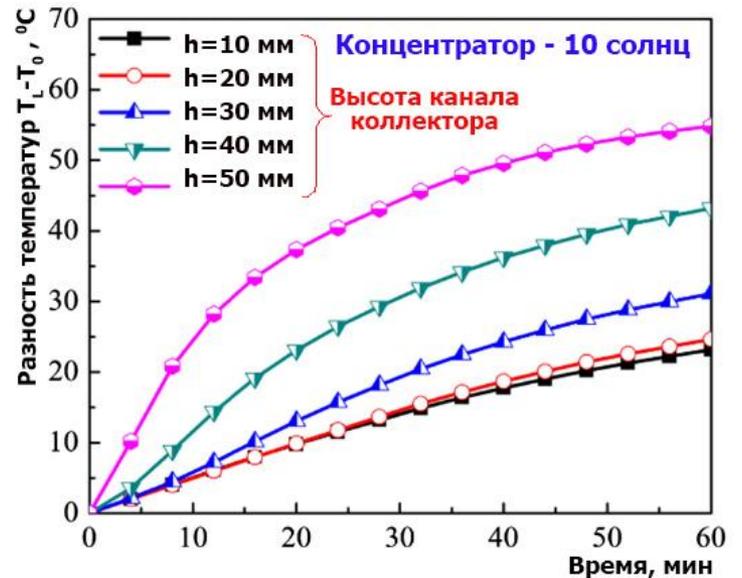
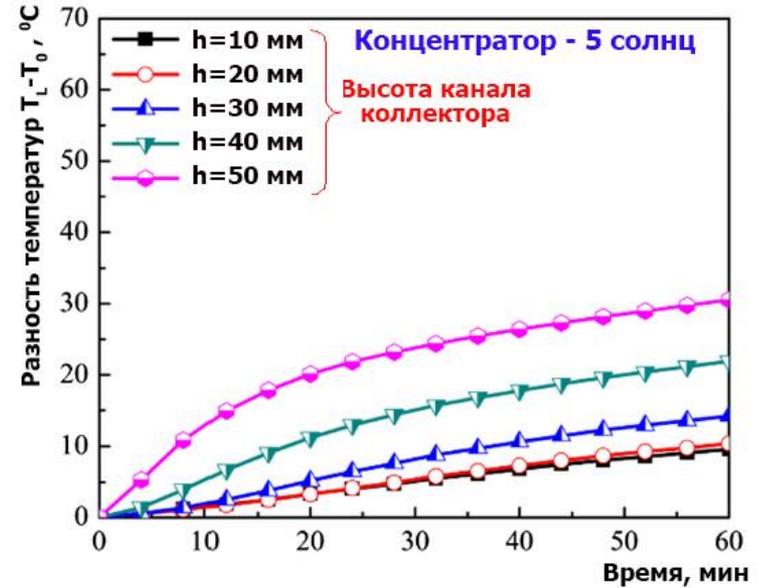
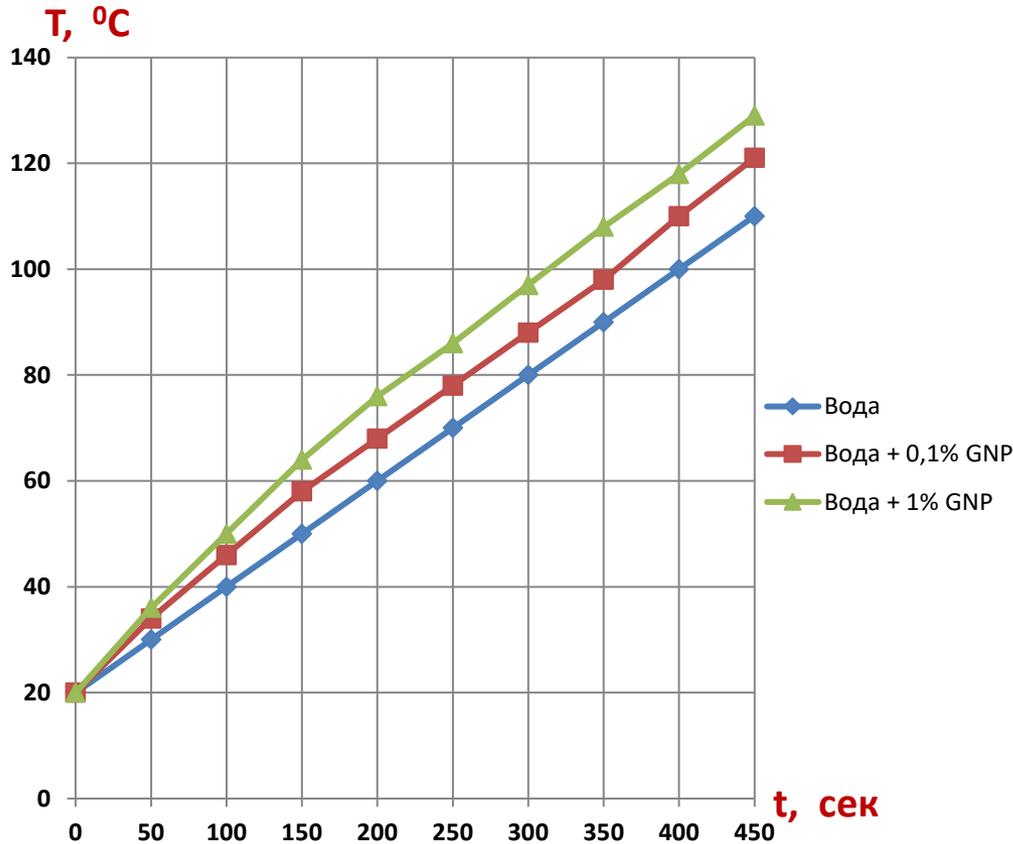


Схема системы генерации пара на базе наножидкостей с эффектом наноплазмоники



Вычисление температуры рабочей жидкости при нагреве солнечной радиацией



Эффективность конверсии солнечного излучения (без концентраторов, только – зеркала!!!) в пар достигает 87% (МЭИ) 94% (MIT, USA) !!!

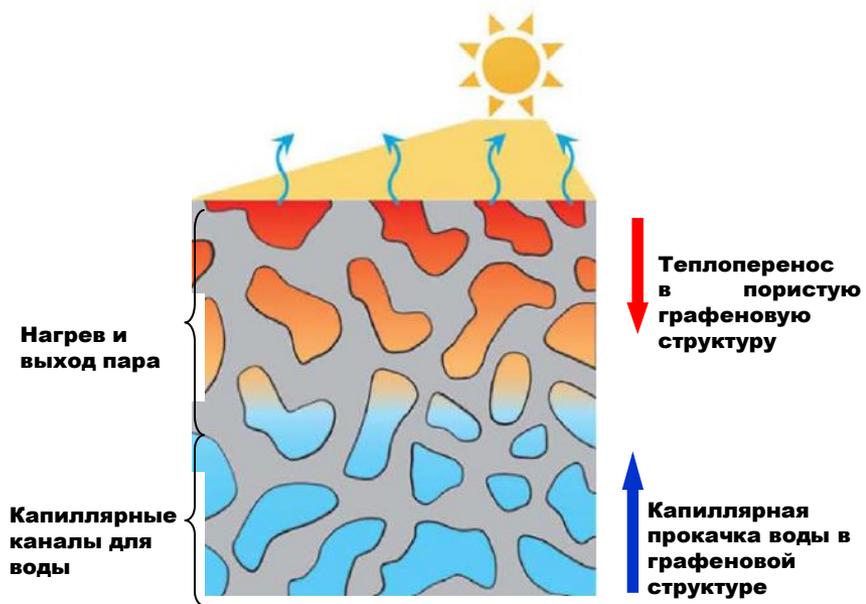


Схема испарения из пористой графеновой подложки

ИСТОЧНИКИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА

ЖИЛЫЕ ДОМА
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ
ПОМЕЩЕНИЯ
ОФИСЫ



СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОТА

низкопотенциальное тепло на
земле – 1000-5000 ТВт в год!!!



МУСОР И
ТВЕРДЫЕ
БЫТОВЫЕ
ОТХОДЫ

ДАТА-ЦЕНТРЫ
КОМПЬЮТЕРЫ
МОНИТОРЫ
СИСТЕМЫ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ



ЧТО ДЕЛАТЬ С
НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНЫМ
ТЕПЛОМ?

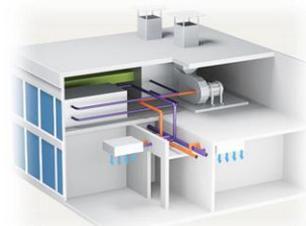
УТИЛИЗАЦИЯ ТЕПЛА
КОСМИЧЕСКИХ
АППАРАТОВ



ТЕПЛОВЫЕ ПУНКТЫ
СИСТЕМЫ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ



КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ И
ВЕНТИЛЯЦИЯ



СИСТЕМЫ
СУШКИ



И еще теплота земли,
суши и океанов!!!



АГРОКОМПЛЕКСЫ



ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ
СТАНЦИИ

НОВЫЕ ТРЕНДЫ В ТЕХНОЛОГИЯХ И МАТЕРИАЛАХ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОЙ КОНВЕРСИИ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА – СОЛНЕЧНАЯ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

Повысить эффективность конверсии солнечного излучения и низкопотенциального тепла, используя нанотехнологии и наноматериалы:

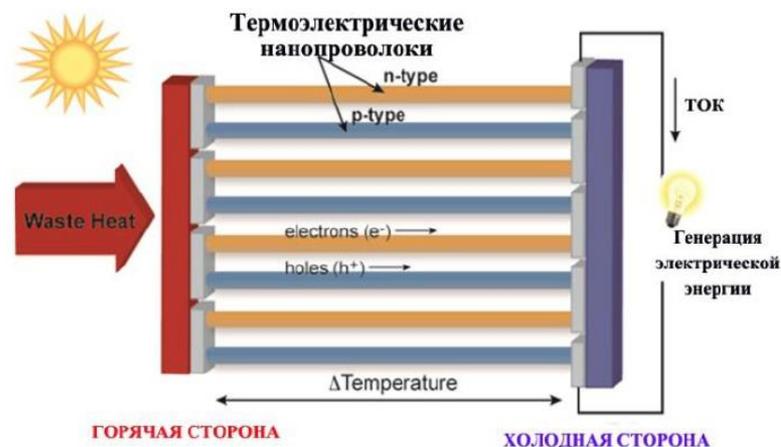
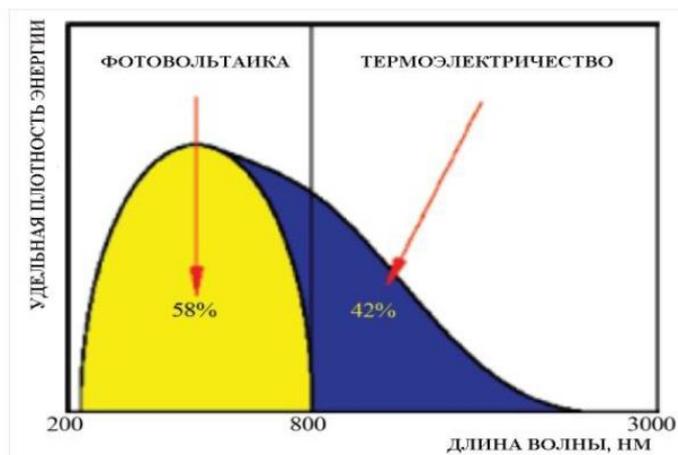
1. Новые нанотехнологии и наноматериалы для солнечных панелей, с использованием систем эффективного поглощения, пленения фотонов, концентраторов солнечной энергии, нанофотоники и наноплазмоники, использование тепловой планковской части спектра для конверсии – в целом поднять эффективность солнечной конверсии до 50-60% (выше предела Шокли-Квайзера почти вдвое!)
2. Новые нанотехнологии и наноматериалы для конверсии низкопотенциального тепла через термоэлектрическое преобразование; поиск материалов с коэффициентом добротности $ZT > 3$; возможность получения на графене и других 2D-материалах коэффициентов добротности $ZT > 4-5$. При коэффициенте добротности $ZT > 4$ термоэлектрическое преобразование становится эффективнее любого машинного преобразования энергии и дешевле на два-три порядка!
3. Новые гибридные технологии на основе нанотехнологий и наноматериалов, объединяющие солнечную и термоэлектрическую (термоионную) конверсии.
4. Возможность выхода систем преобразования (конверсии) и систем хранения энергии в космос; эффективность солнечного и термоэлектрического преобразований может возрасти вдвое.

СОЛНЕЧНЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ГЕНЕРАТОРЫ (СТЭГИ)

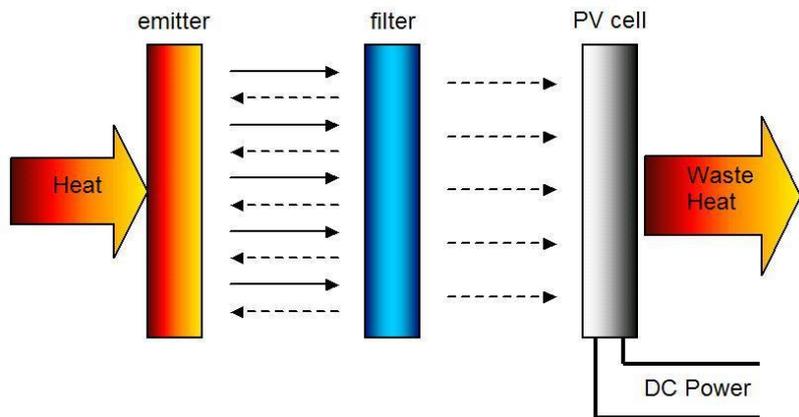
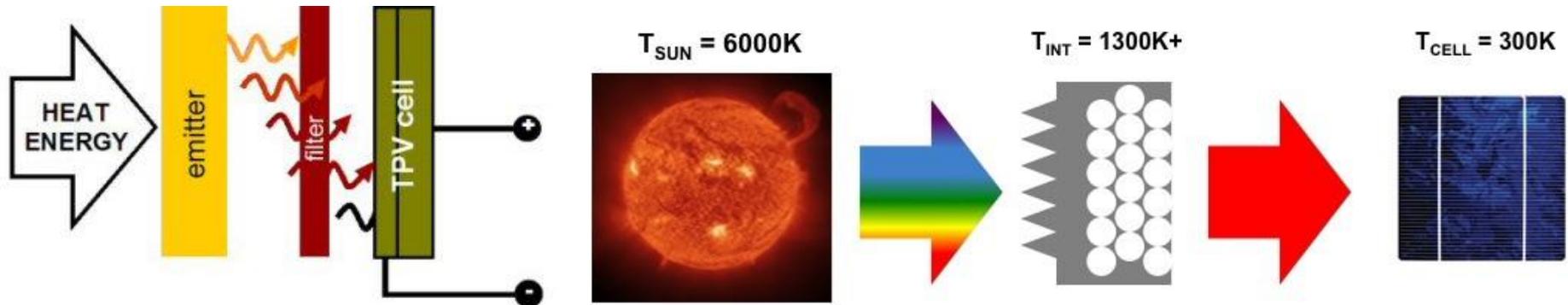
В настоящее время существует две базовых концепции использования солнечной энергии:

- солнечные фотоэлектрические (фотовольтаика);
- солнечные тепловые электростанции.

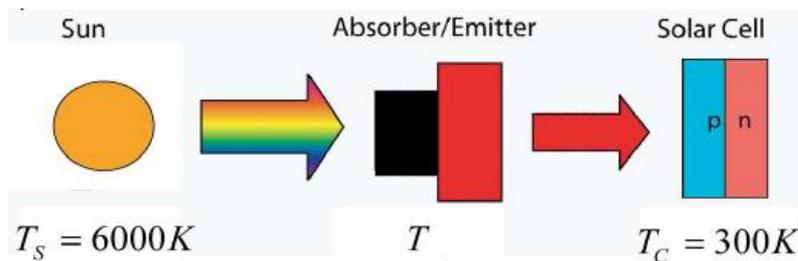
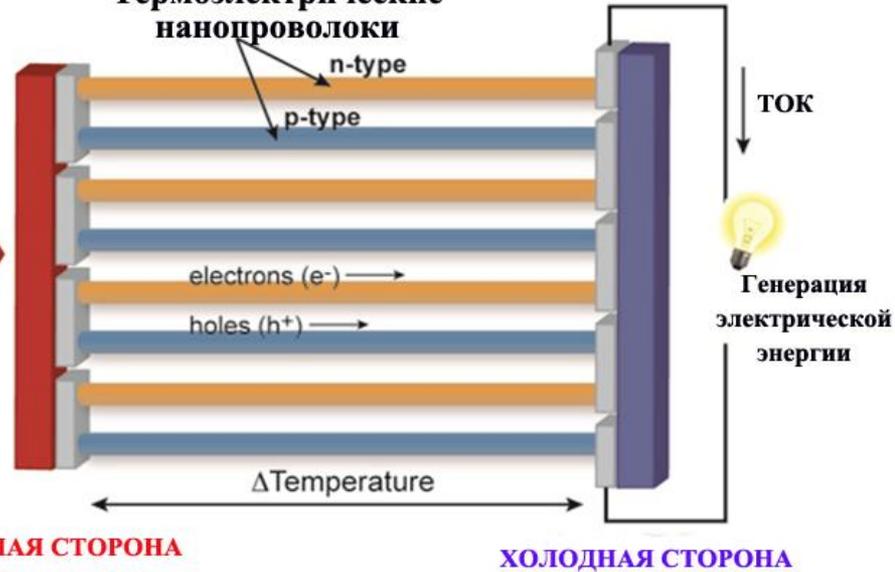
В последнее время появился большой интерес к третьему типу солнечного преобразования энергии – солнечному термоэлектричеству. В этой технологии используются термоэлектрики, которые способны под действием градиента температуры вырабатывать электрический ток. Если такой материал находится между поглотителем солнечной энергии и теплоотводящим блоком, то в нем реализуется градиент температуры, который и приводит к генерации электрической энергии. Такие системы получили название солнечных термоэлектрических генераторов СТЭГ (solar thermoelectric generators (STEGs)). Последний тип энергетических установок, аналогично солнечным тепловым электростанциям, могут использовать весь солнечный спектр излучения, а не только энергию фотонов, которая больше ширины запрещенной зоны в полупроводниковых фотоэлементах.



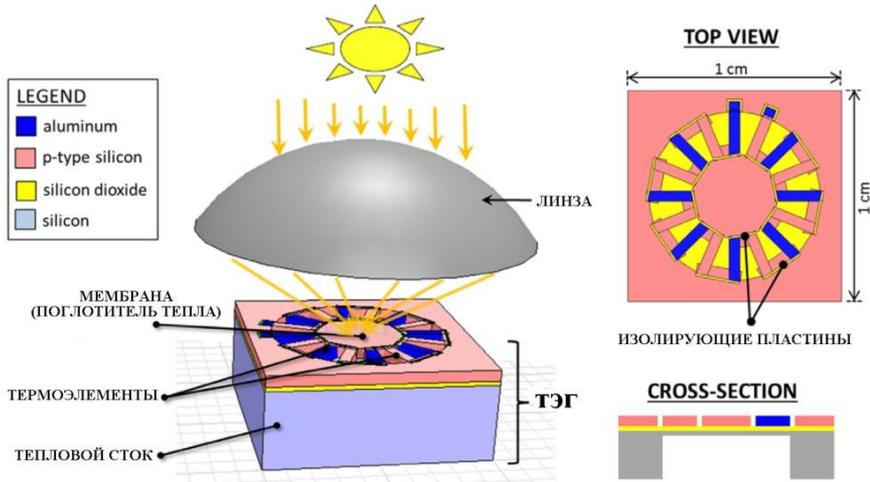
ТЕРМОФОТОВОЛЬТАИКА НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ



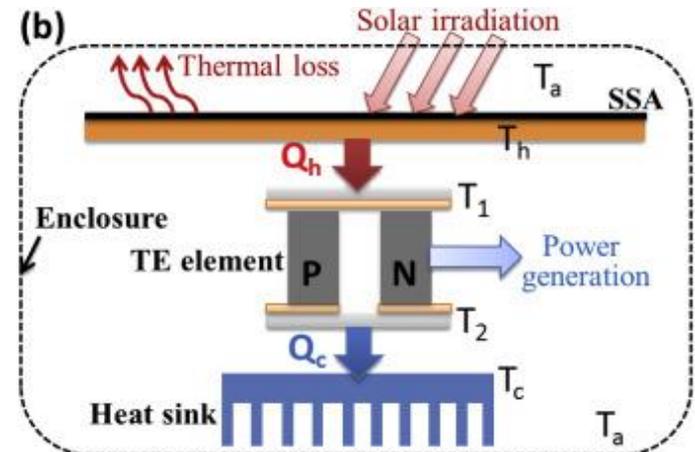
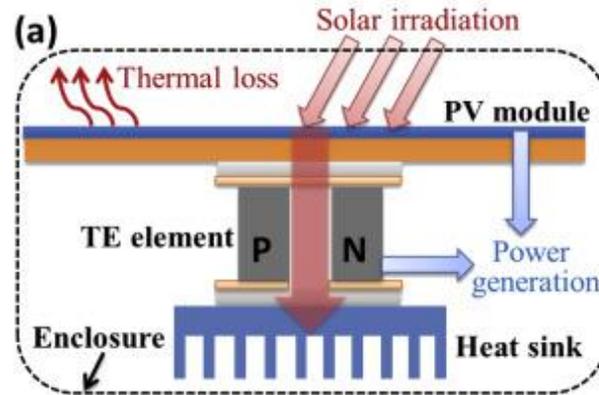
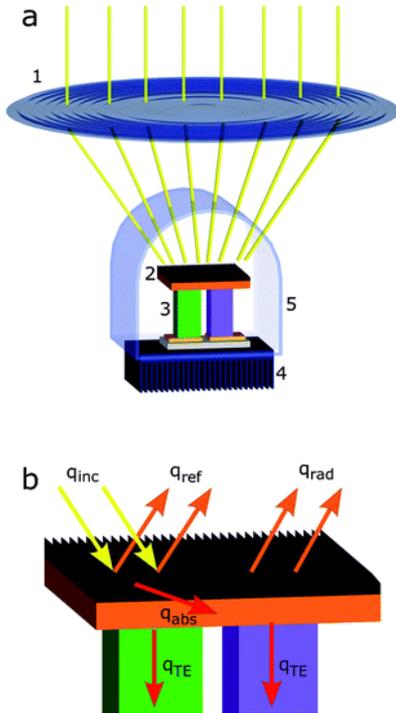
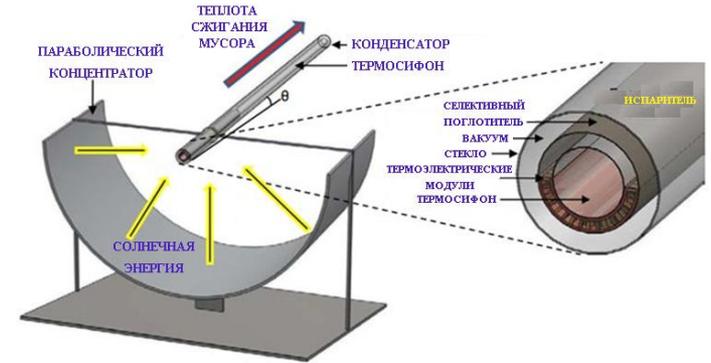
Термоэлектрические
нанопроволоки



Солнечные термоэлектрические генераторы (СТЭГи)



Солнечные концентраторы и использование ТЭГ



Варианты комбинированного использования ТЭГ

Солнечные термоэлектрические генераторы (СТЭГи)

Хотя идея использования термоэлектрических материалов весьма старая (впервые возникла в 1888 году), эффективность такого преобразования была чрезвычайно низкой. Только в 1954 года Телкс продемонстрировал кпд указанного преобразования порядка 0,6% для мощности одного солнца и 3,3% для концентрированного излучения (50 солнц). Долгое время указанный результат никому не удалось преодолеть. Только в 2010 году удалось достичь кпд более 4% для мощности одного солнца (без концентратора). Этого удалось достичь, применяя вакуумный слой (без теплопроводности), высокое поглощение солнечного излучения и новые высокоэффективные термоэлектрические материалы. Таким образом, основное влияние на кпд СТЭГов вносят: коэффициент селективного поглощения солнечного излучения, коэффициент селективного излучения поглощаемой поверхности и добротность термоэлектрических материалов ZT.

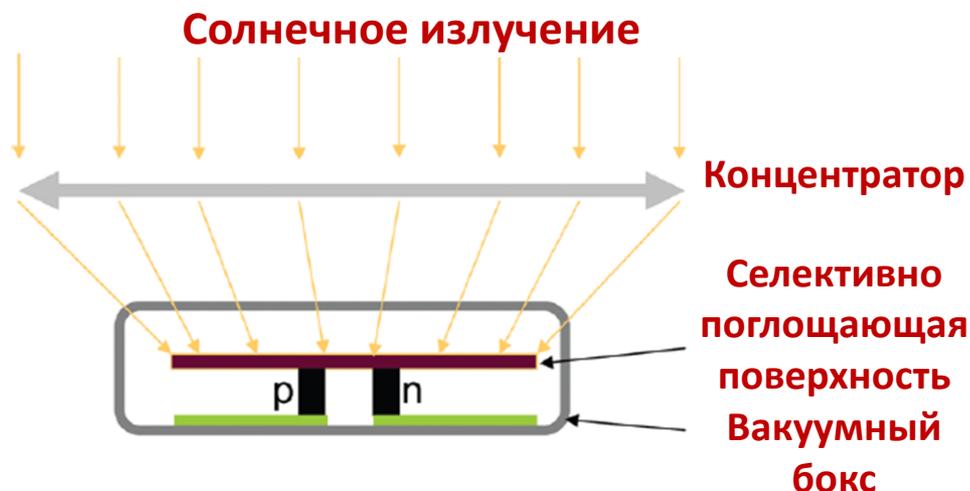
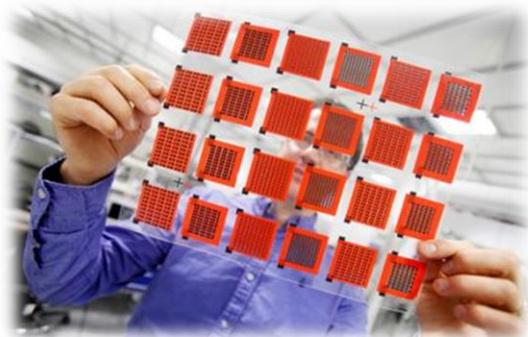
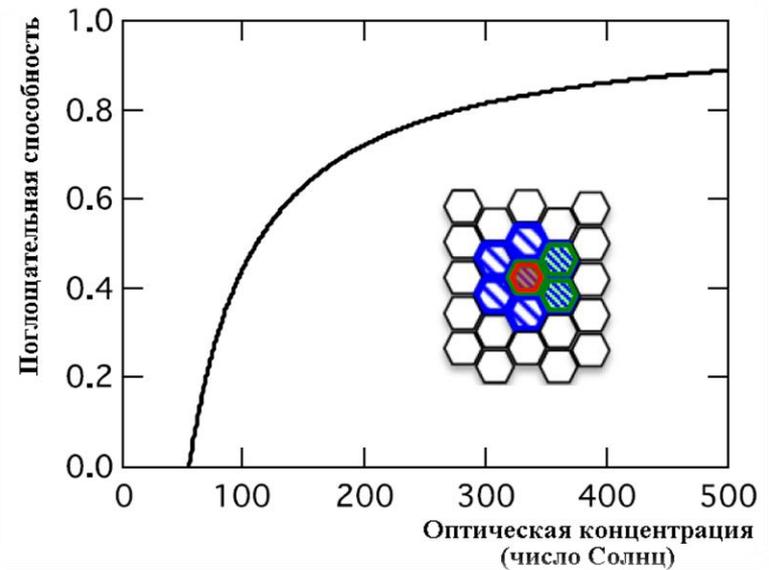
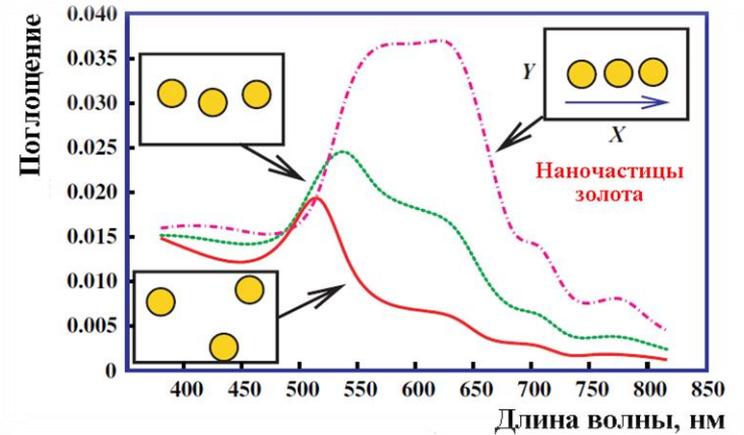
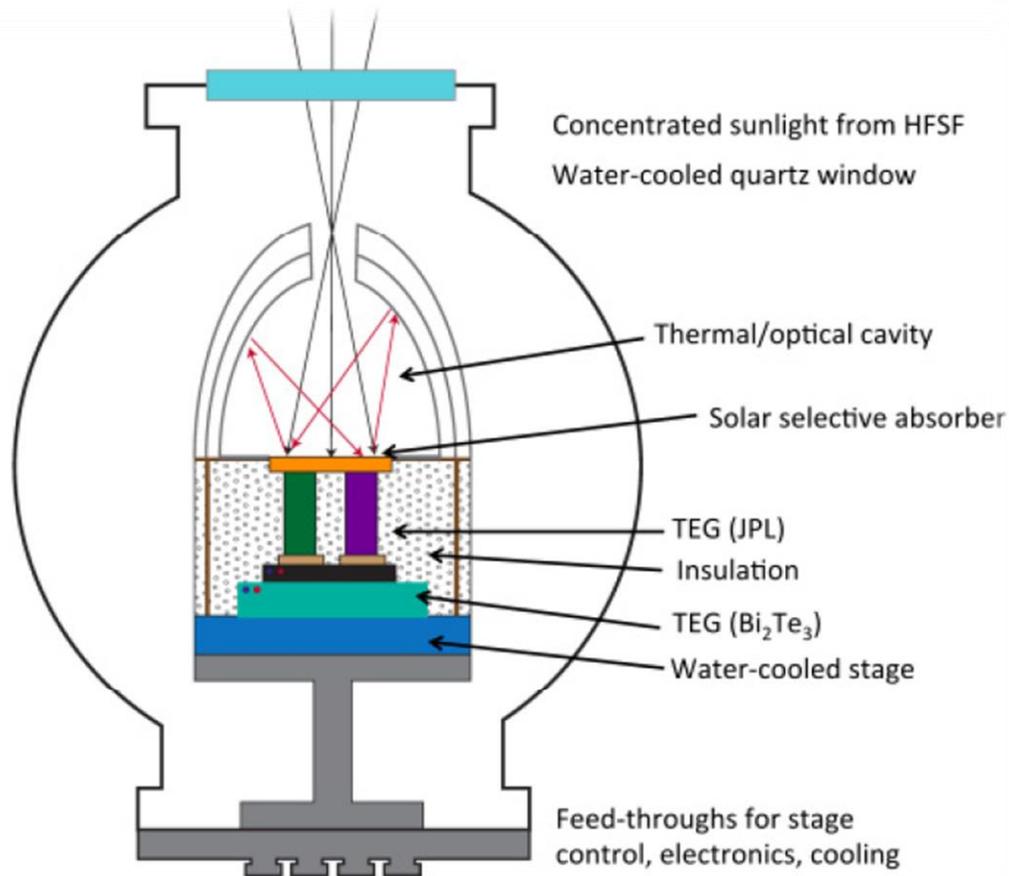
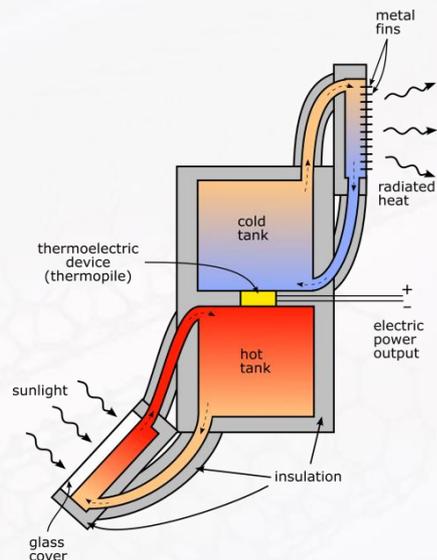


Схема единичной ячейки солнечного термоэлектрического генератора: солнечное излучение поступает через солнечный концентратор, проходит в прозрачный вакуумированный бокс и поглощается на селективно поглощающей поверхности, которая является горячей частью СТЭГа

ПРОТОТИП СТЭГ





Солнечное излучение

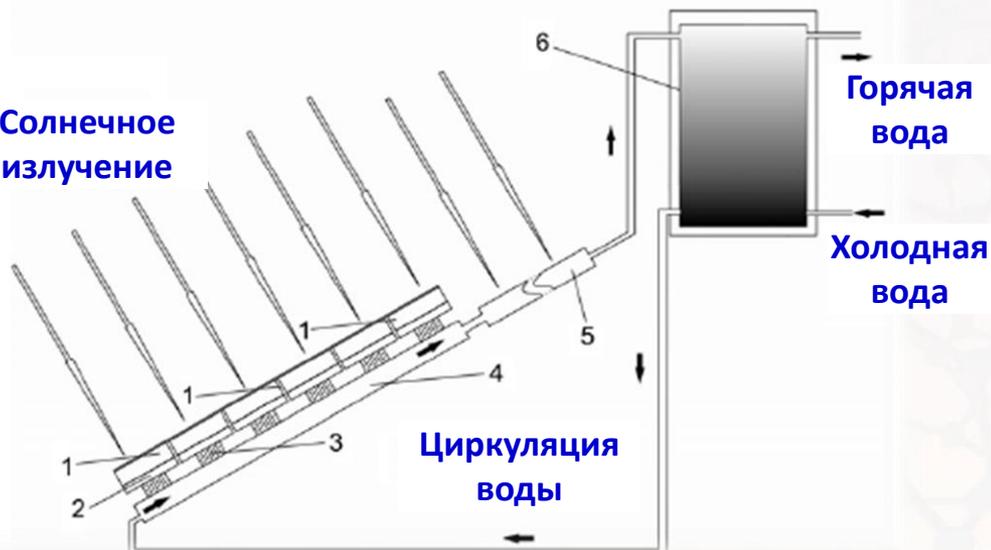


Схема гибридного термофотоэлектрического преобразования энергии с использованием термоэлектрических генераторов: 1 – солнечная панель, 2 – обратный электрод солнечной ячейки, 3 – ТЭГ, 4 – теплоотводящая панель, 5 – коллектор, 6 – тепловой бокс

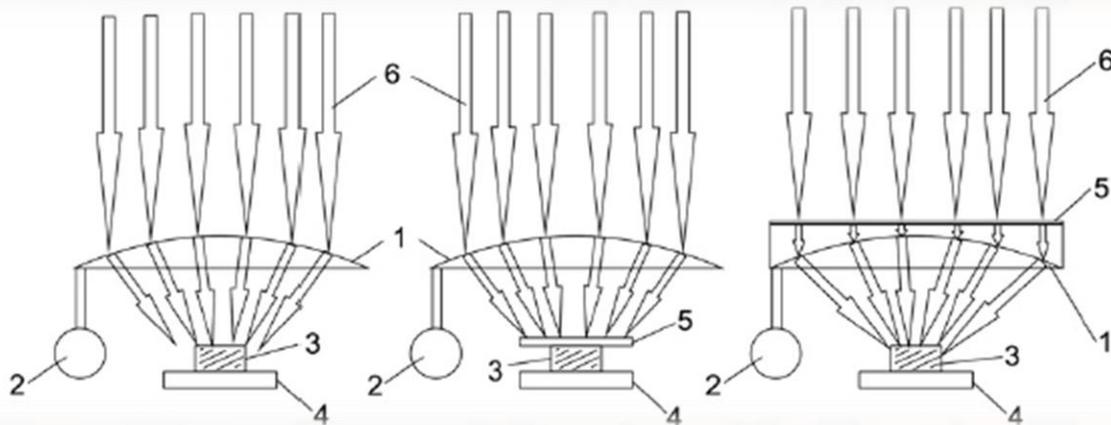
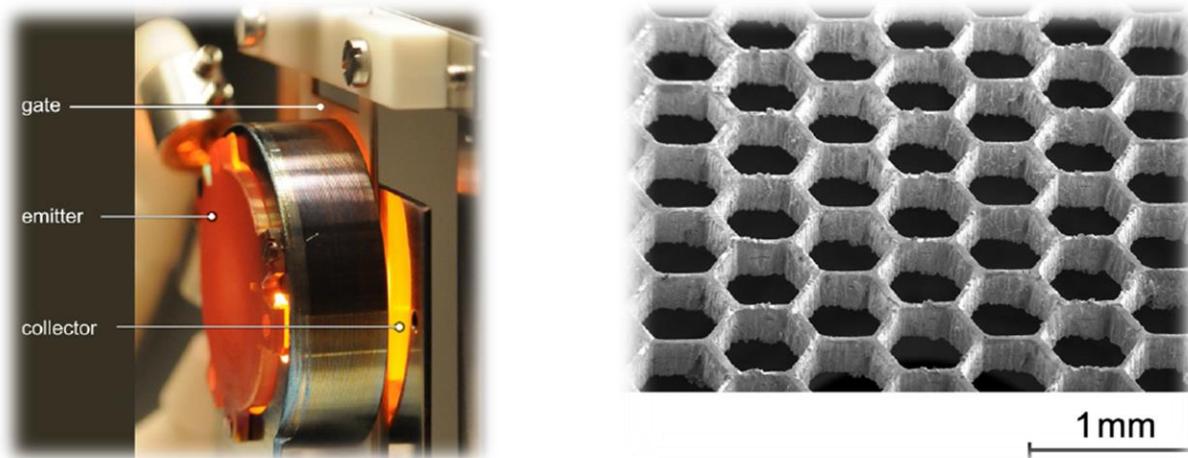


Схема гибридных систем с использованием термоэлектрических генераторов и концентраторов солнечной энергии



Реальный концентратор солнечной энергии

ТЕРМОИОННОЕ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ



Реализованная технология термоионного и термоэлектрического преобразования тепловой энергии в электрическую

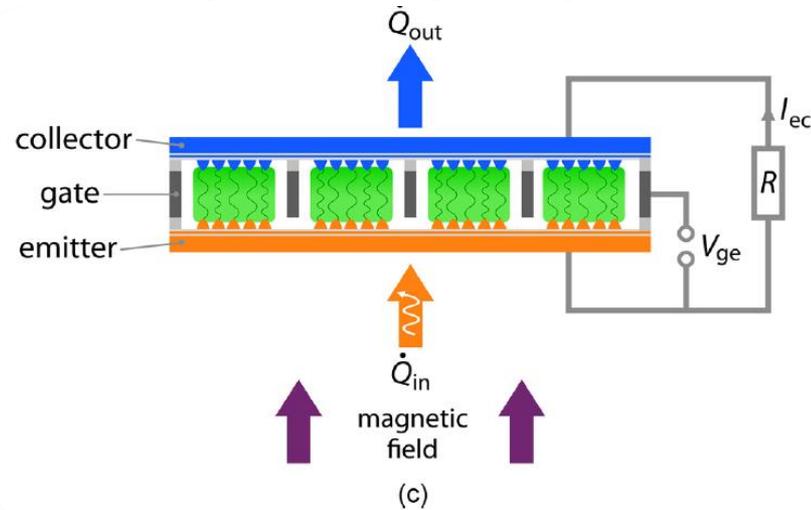
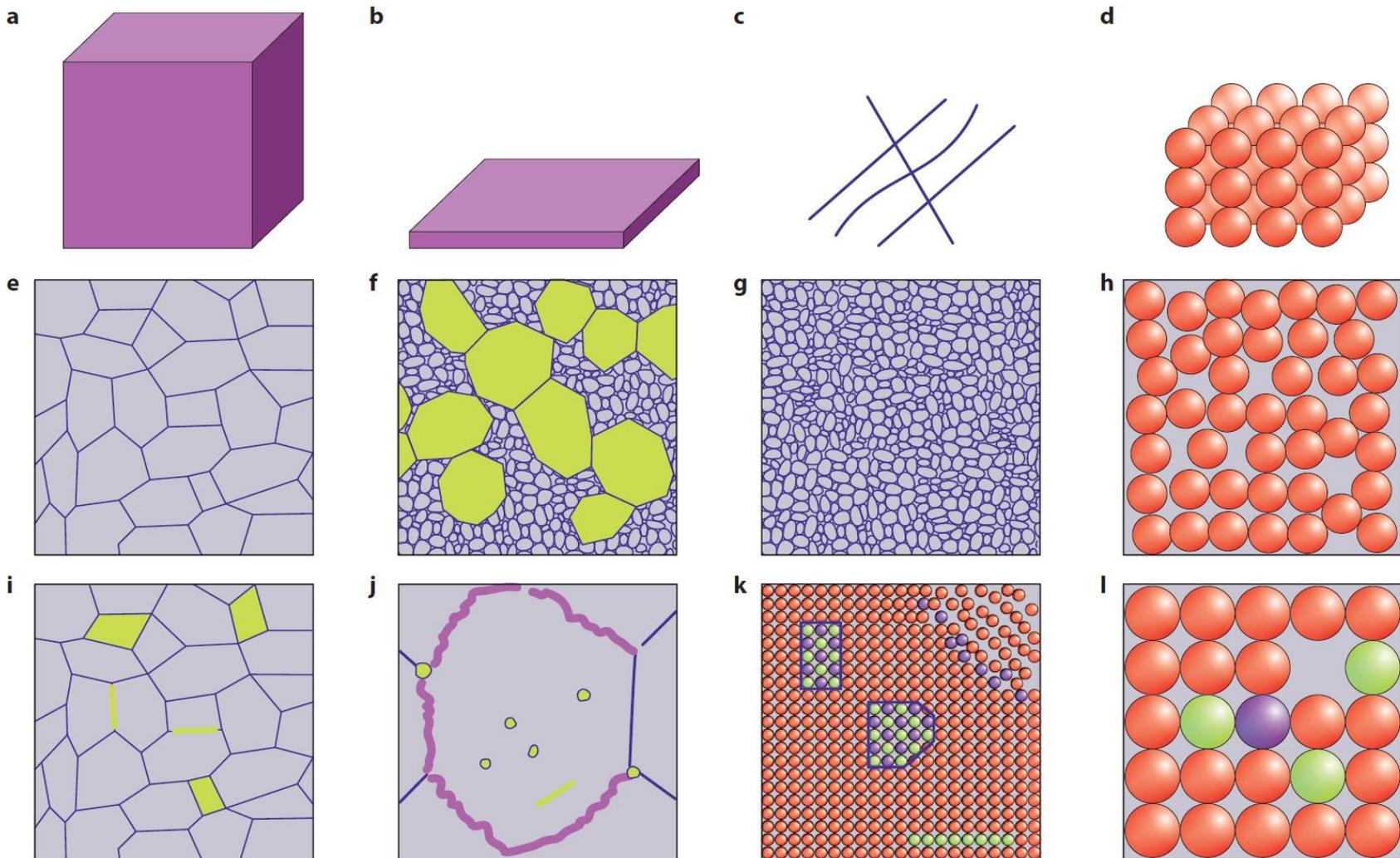


Схема гибридных систем с использованием термоэлектрических генераторов и термоионного преобразователя в магнитном поле для увеличения эффективности преобразования тепловой энергии в электрическую

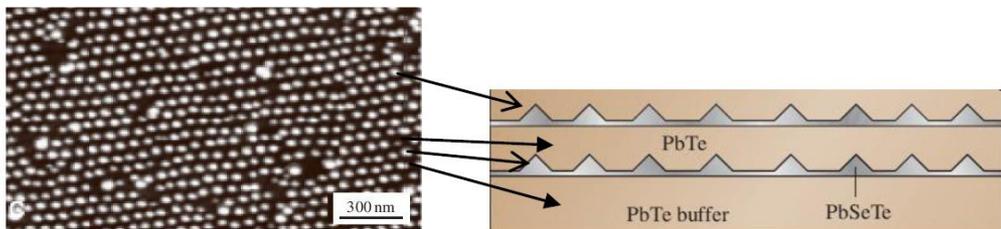
Термоэлектрические материалы (1821г.)



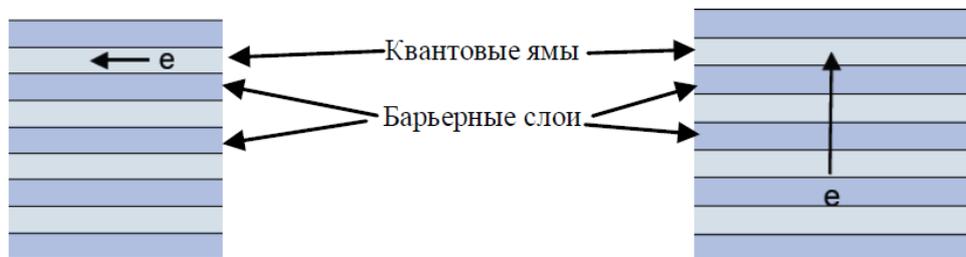
Термоэлектрические материалы макро-, мезо- и наномасштабов – новые тренды развития



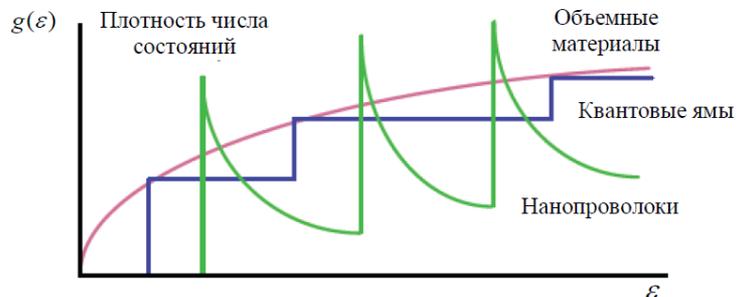
Перспективные наноматериалы с $ZT > 1$



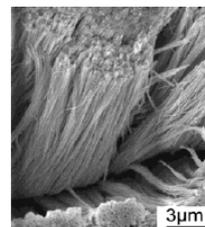
Сканирующая электронная микроскопия квантовых точек (слева) и схема структуры PbTe/PbTeSe (справа)



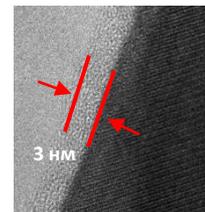
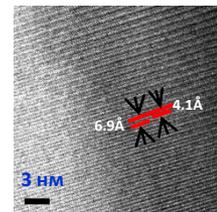
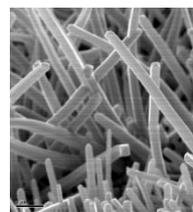
Квантовые ямочные сверхрешетки: слева - перенос вдоль слоев, справа - поперек слоев



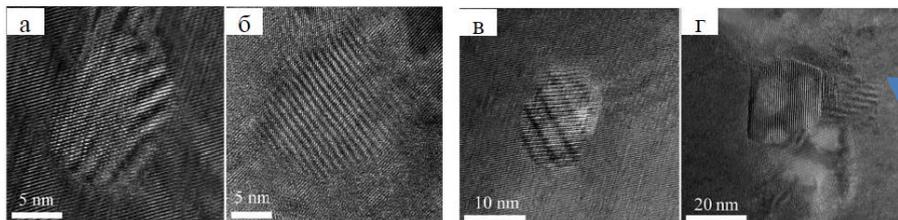
Плотность числа состояний заряженных носителей в зависимости от энергии для различных структур



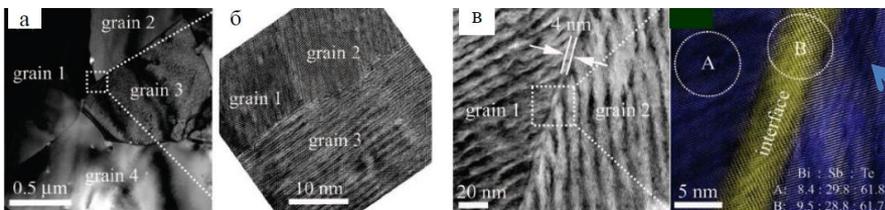
Общий вид нанопроволок $Bi_{1-x}Te_x$



Изображения InSb нанопроволоки



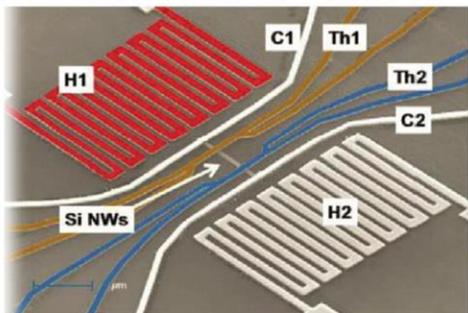
ПЭМВР нановключений в объемном материале Bi-Sb-Te: а – богатые Bi области без границ, б – наличие двойных границ, но с тем же окружением, в - богатые Bi области с двойными границами, г – области Te с большими углами границ



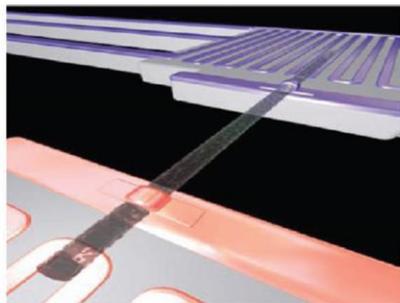
Изображения ПЭМ (а) и ПЭМВР (б) границ зерен, а также область между двумя богатыми Bi гранулами (в) в объемном наногранулированном Bi-Sb-Te

ОСНОВНЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАНОМАТЕРИАЛЫ

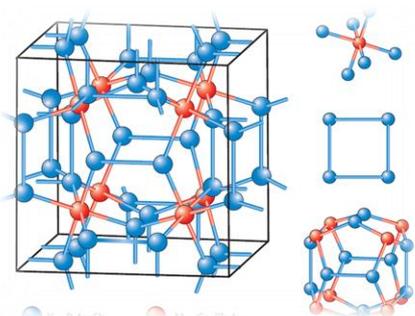
Nanowires



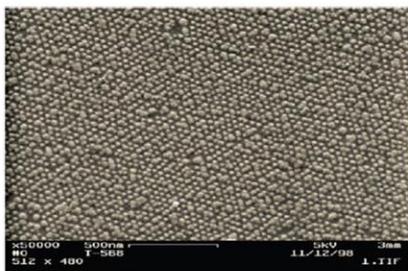
ZT~1.2 @ 350 K nanowire p-type, Si
[Heath, Caltech, 2008]



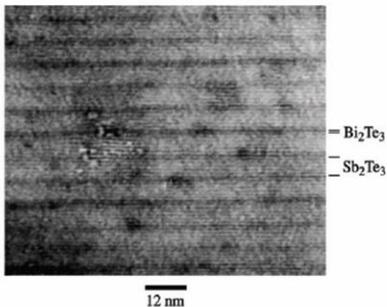
ZT~0.6 @ 300 K
nanowire
p-type, Si
[Yang/Majumdar,
Berkeley, 2008]



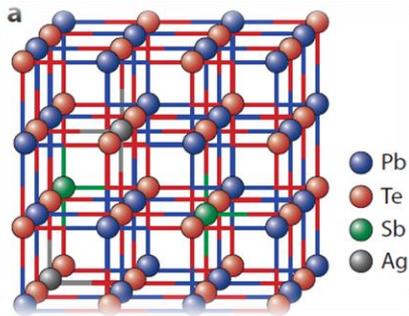
Epitaxial
Superlattices



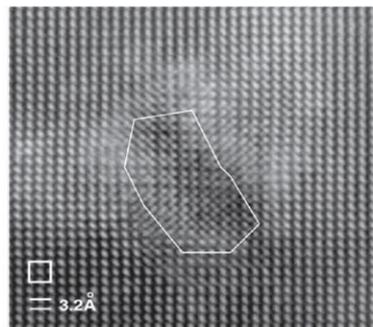
ZT~3.5 @ 575 K
quantum dot superlattice (MBE)
n-type, PbSeTe/PbTe
[Harman, MIT-LL, J. Elec.Mat. 2000]



ZT~2.4 @ 300 K
superlattice (CVD)
p-type, Bi₂Te₃/Sb₂Te₃,
[Venkatasubramanian,
RTI/Nextreme, 2001]



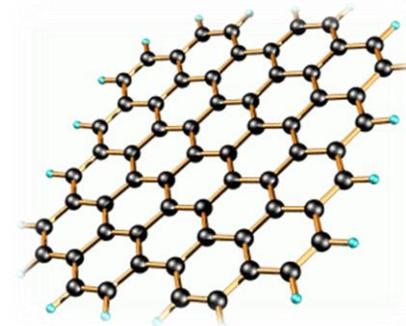
Nanograined
Composites



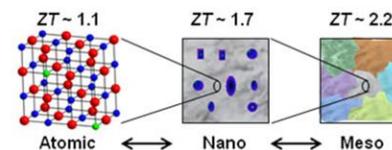
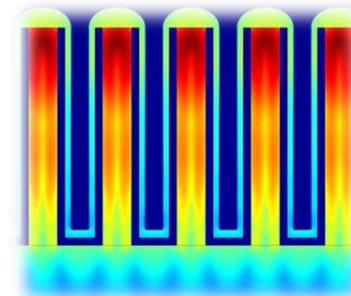
ZT~2.2 @ 800 K
bulk – 'natural' nanodots
n-type, AgSbTe₂-PbTe ('LAST')
[Kanatzidis, Northwestern, 2004]



ZT~1.4 @ 373 K
bulk – fine grain
p-type, (Bi,Sb)₂Te₃
[15 authors,
BC/MIT/GMZ, 2008]



ГРАФЕН
Возможно, у
графена ZT~4-4,5!!!



Перспективные нанотехнологии на базе наноматериалов с $ZT > 1$

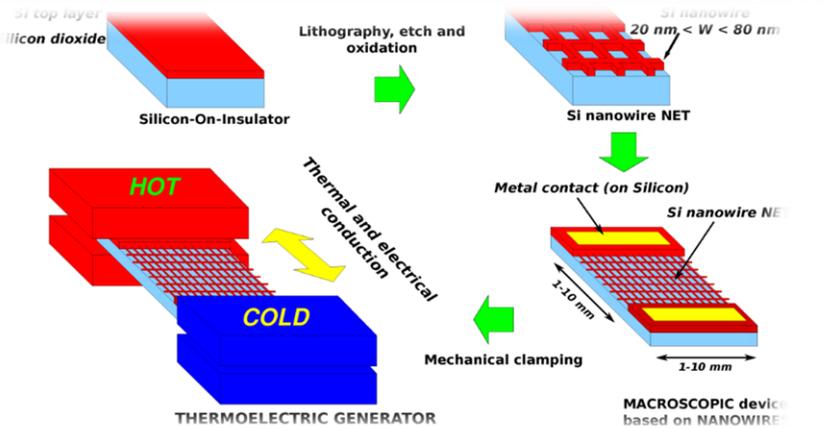
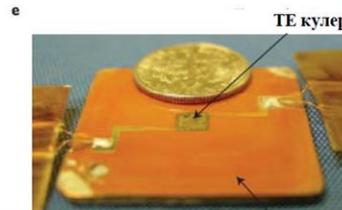
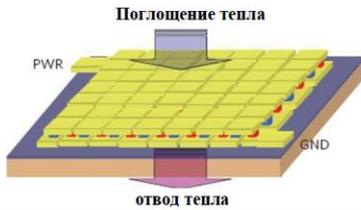
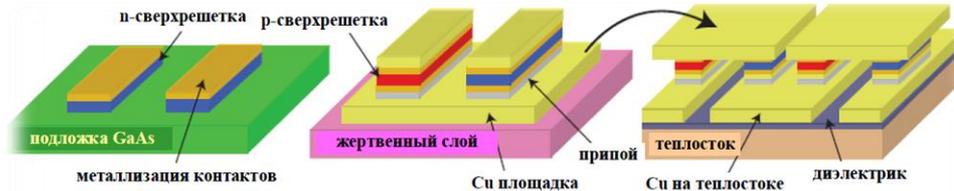
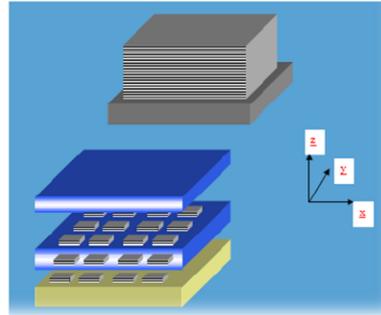
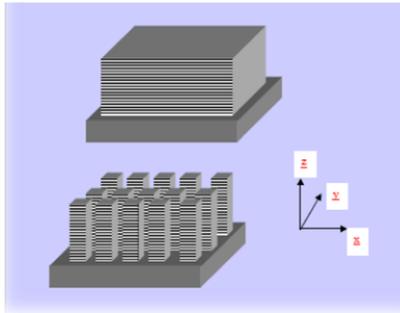
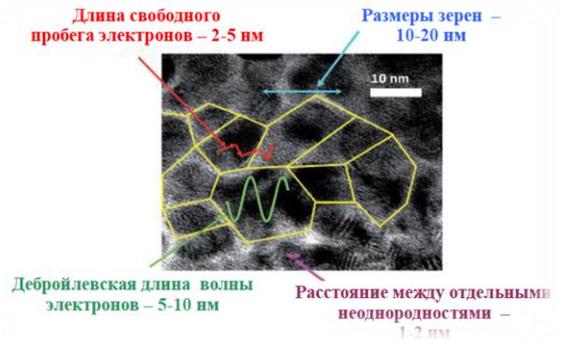


Схема перехода от технологии 2D сверхрешеток к 1D технологии нанопроволок и квантовых нанобоксов

Последовательные шаги изготовления пленочного ТЕ элемента на основе сверхрешеток



Характерные масштабы в нанокompозите и соответствующие параметры для электронов (просвечивающая электронная микроскопия)

Концепция ТЭ генератора на нанопроволоках

КАКОЙ БУДЕТ ЭНЕРГЕТИКА ЧЕРЕЗ 30-50 ЛЕТ?

ВАРИАНТ 1 – ГИБРИДНАЯ СОЛНЕЧНАЯ ГЕНЕРАЦИЯ И ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ЭНЕРГЕТИКА С ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ БОЛЕЕ 60% И СТОИМОСТЬЮ ВВОДИМОГО кВт – ОКОЛО 100\$ В СЕГОДНЯШНИХ ЦЕНАХ

ВАРИАНТ 2 - КАК И В П.1, ТОЛЬКО КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ, М.Б. ТЭЯ (КОСМИЧЕСКОГО БАЗИРОВАНИЯ)

ВАРИАНТ 3 – 30% ВСЕЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ БУДЕТ ДОБЫВАТЬСЯ ИЗ НИЗКОПОТЕНЦИАЛЬНОГО ТЕПЛА, 40% - ОТ СОЛНЦА, 20% - ДРУГИЕ АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ИСТОЧНИКИ, ВКЛЮЧАЯ «ВЫМЕТЕНИЕ» ДАРМОВОЙ ЭНЕРГИИ, РАССЕЯННОЙ ВОКРУГ НАС (HARVESTING)

ВАРИАНТ N – ПОМЕЧАЙТЕ САМИ!!!

ОДНАКО, ПРОГНОЗЫ, ПРОГНОЗЫ...

«Все, что можно изобрести, уже изобретено» (Charles Duell, Head of US Patent Office, 1899)

«Мода на радио скоро умрет» (Томас Эдиссон, изобретатель лампы накаливания, 1922)

«С точки зрения теории и техники, телевидение нереализуемо по коммерческим и финансовым причинам» (Ли де Форест, изобретатель триода, 1926)

«Рынок компьютеров не превысит пяти штук» (Томас Ватсон, глава IBM, 1943)

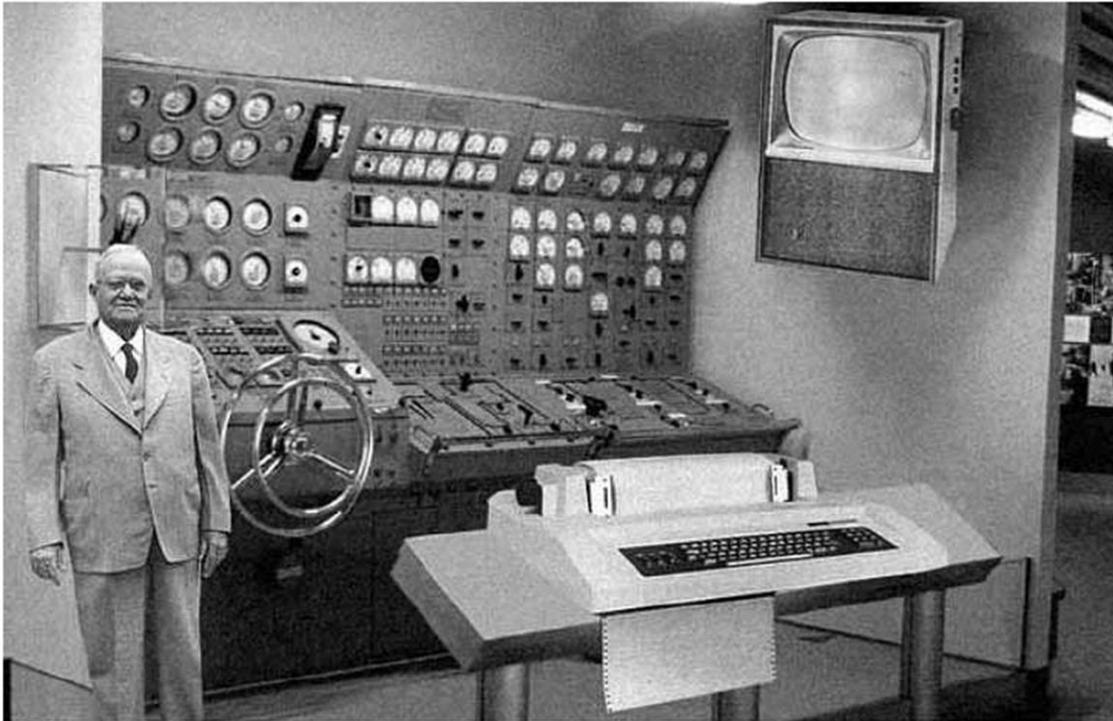
«Компьютер будущего не будет легче 1,5 тонн» (Popular Mechanics Magazine, 1949)

«Нет никакого смысла иметь кому-либо компьютер дома» (Кен Ольсен, глава DEC, 1977)

«Память размером 640К будет достаточной для кого-либо» (Билл Гейтс, Microsoft, 1981)

В заключении – о некоторых предсказаниях будущего и будущих технологиях: так представлялся в 1954 году персональный компьютер

About predicting the future...



Scientists from the RAND Corporation have created this model to illustrate how a "home computer" could look like in the year 2004. However the needed technology will not be economically feasible for the average home. Also the scientists readily admit that the computer will require not yet invented technology to actually work, but 50 years from now scientific progress is expected to solve these problems. With teletype interface and the Fortran language, the computer will be easy to use.

«Лишь полнота,
Что к ясности ведет,
Укажет в пропасть путь,
Где истина живет...»

In 1954, Popular Mechanics showed its readers what a home computer might look like in 2004.

RAND (Research And Development) Corporation, non-profit, founded in 1948



«Нам не дано предугадать,
Как слово наше отзовется
И нам сочувствие дается,
Как нам дается благодать»

**СПАСИБО БОЛЬШОЕ ЗА ВАШЕ
ВНИМАНИЕ!**

ВОПРОСЫ ???

Внимание!!!
Нумерация этажей
изменена на
нормальную.
Кнопка «-1» - это
7 этаж!!!



ПОРЖАТЬ.RU