



ЭЛЕКТРОЭНЕРГИЯ ИЗ СОЛНЕЧНОГО СВЕТА

П.А. Форш

МГУ имени М.В. Ломоносова,
физический факультет

Источники энергии

Традиционные

- Тепловые электростанции (уголь, мазут, газ, сланцы, торф);
- Гидроэлектростанции (энергия падающей волны);
- Атомные электростанции (ядерные реакции).

Альтернативные

- Ветроэнергетика (энергия ветра);
- Геотермальная энергетика (энергия недр земли);
- Биотопливо (использование биомассы – растительных и природных жиров);
- Альтернативная гидроэнергетика (приливные, волновые и водопадные электростанции);
- Гелиоэнергетика (энергия солнца).

Гелиоэнергетика

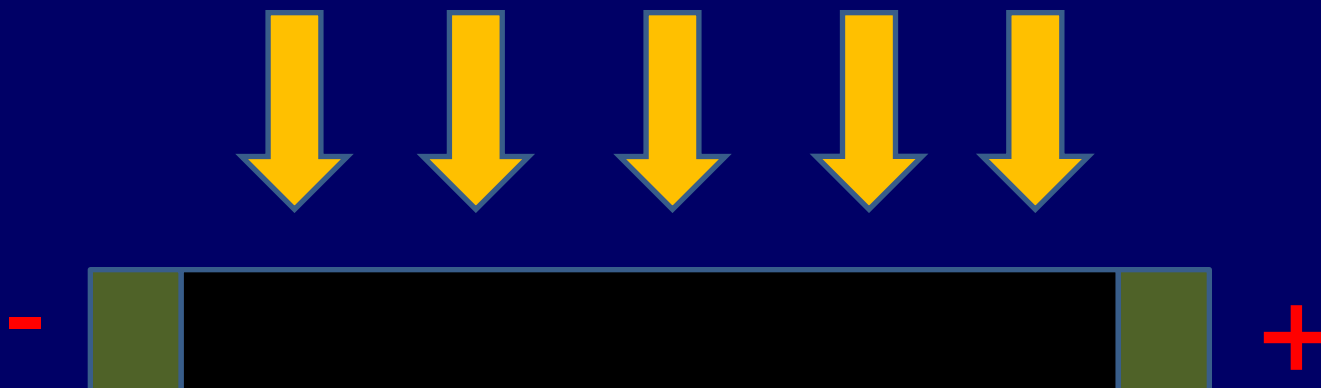
Получение электрической или тепловой энергии за счет солнечной энергии



Солнечная станция Gemasolar Power Plant (Севилья, Испания); 2600 зеркал, 185 гектаров.

Что такое солнечный элемент?

Солнечный элемент - устройство (как правило, на основе полупроводниковых фотоэлементов), предназначенное для преобразования энергии солнечной радиации в электрическую.



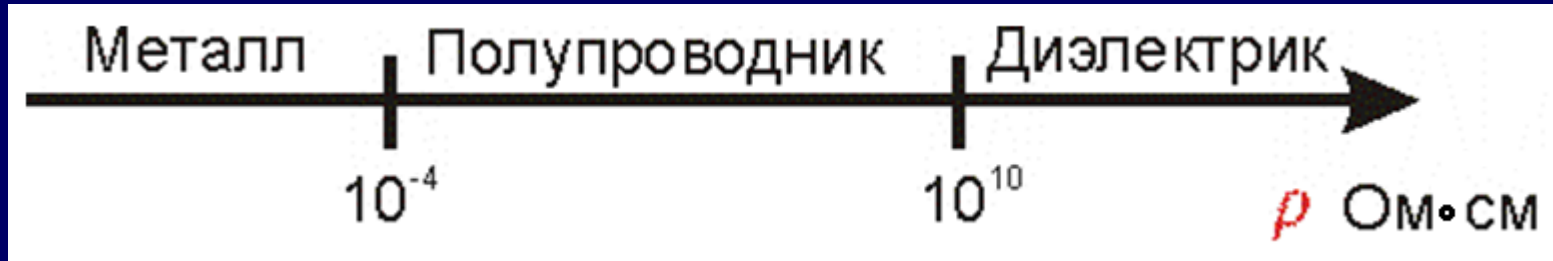
Какие бывают солнечные элементы?

- *Фотоэлектрохимические элементы;*
- *Термофотовольтаические преобразователи;*
 - *Фотоэлементы диодного типа.*

Фотоэлементы диодного типа – это полупроводниковые приборы, в которых генерируемые светом носители заряда разделяются электрическим полем потенциального барьера (существующего, например, в p-n переходе).

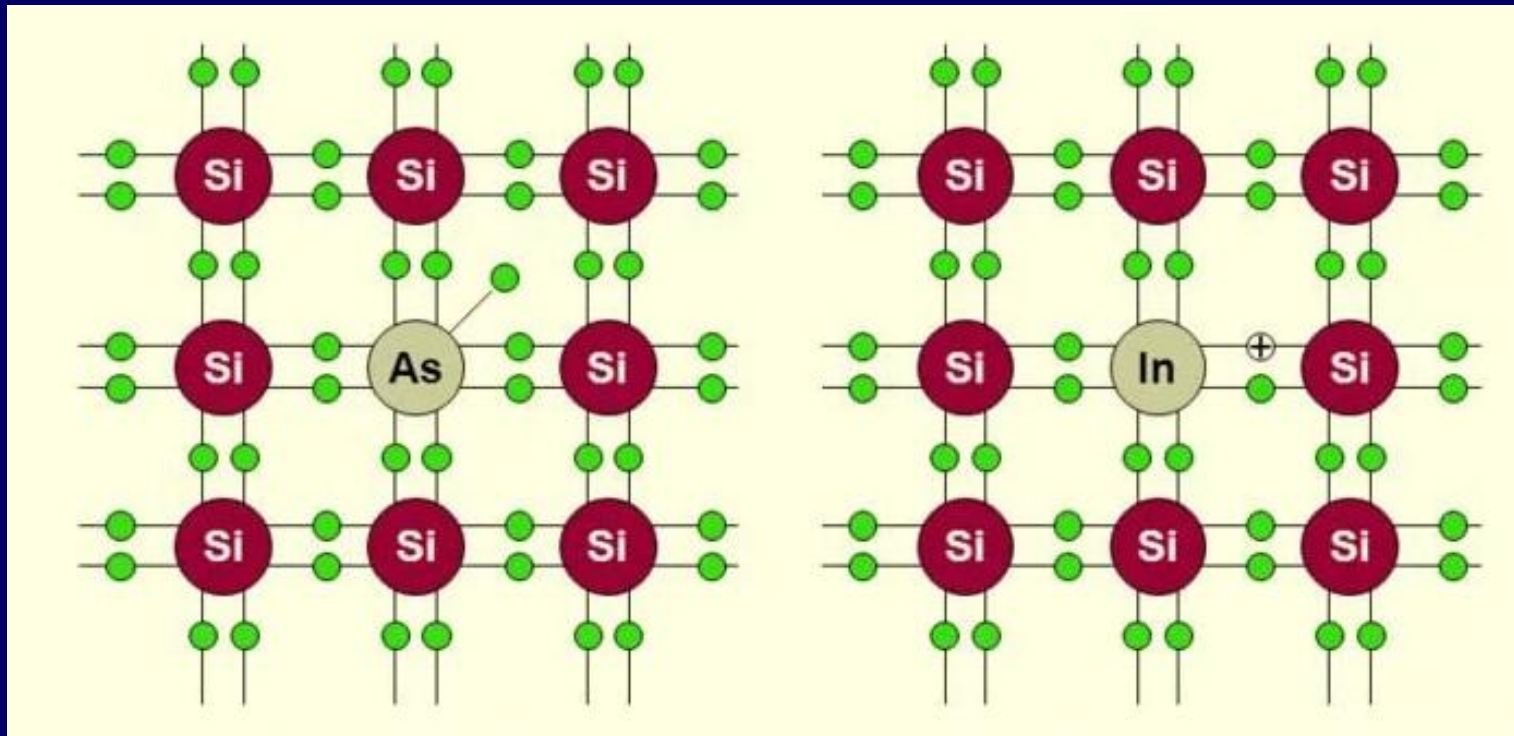
Полупроводники

$$R = \rho \frac{l}{S}$$



Полупроводники n-типа и p-типа

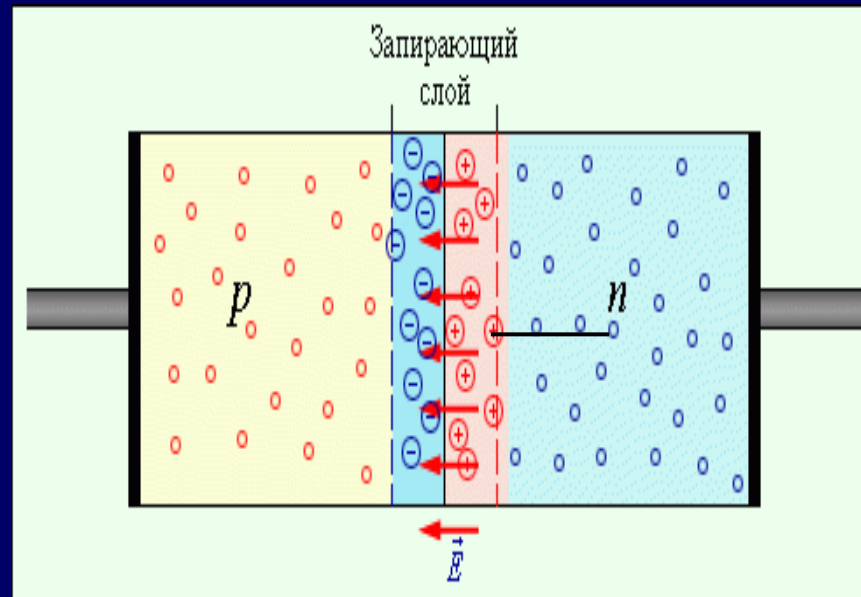
n-ТИП



p-ТИП

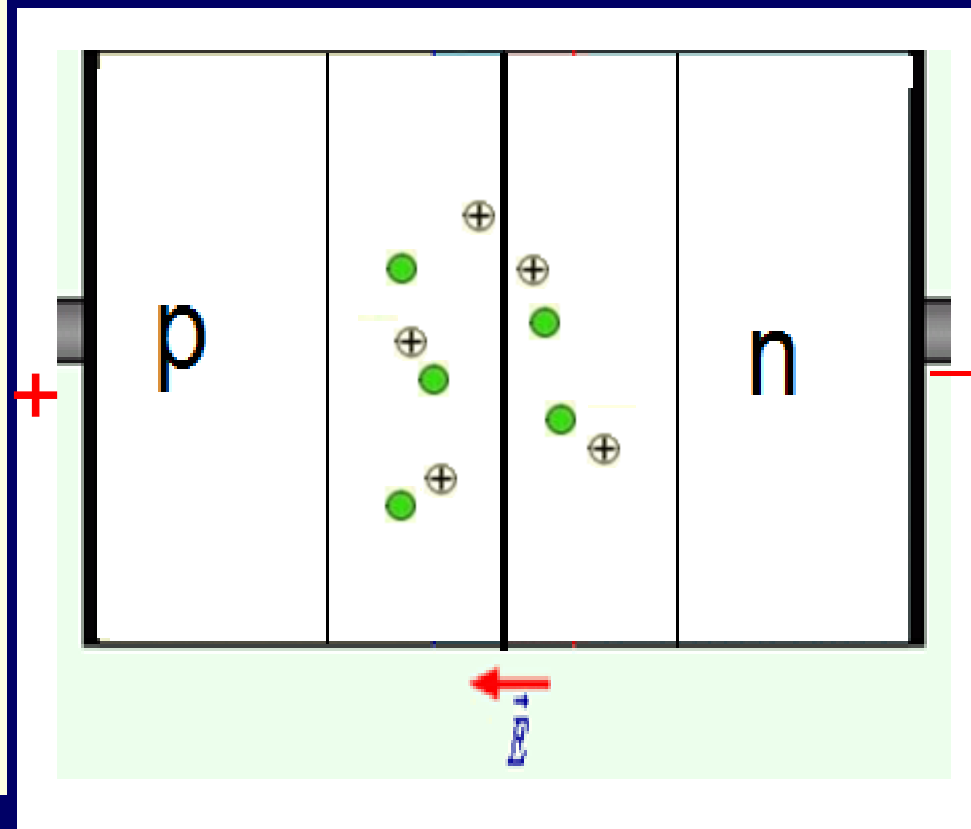
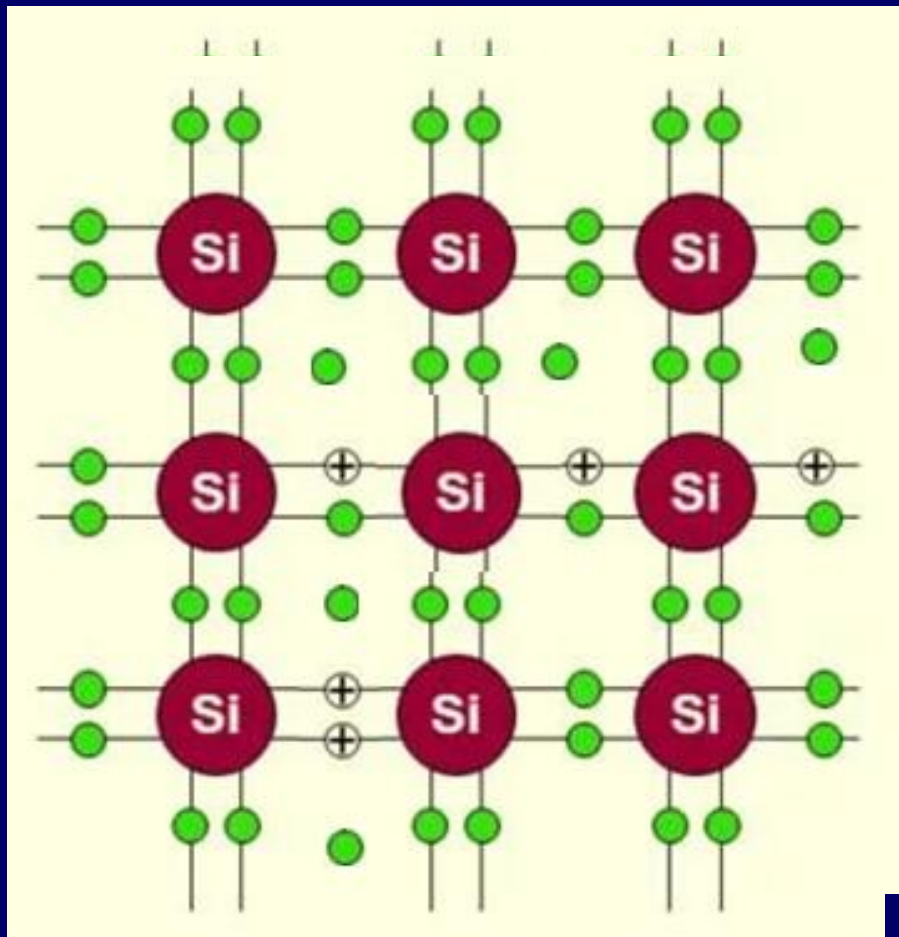
Электронно-дырочный переход (р-n переход)

р-n переход - область пространства на стыке двух полупроводников р и n типа, в которой происходит переход от одного типа проводимости к другому.



За счет диффузии электронов из n-области в р-область и дырок из р-области в n-область на границе возникает объемный заряд, создающий электрическое поле.

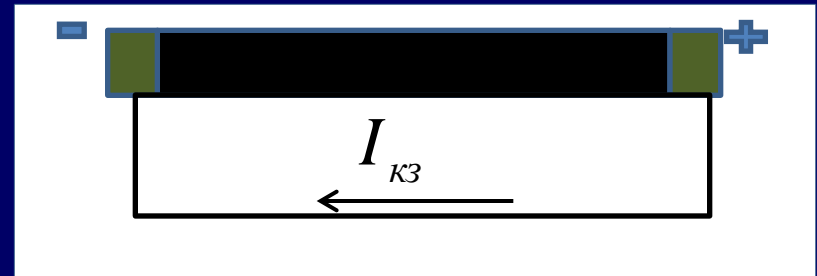
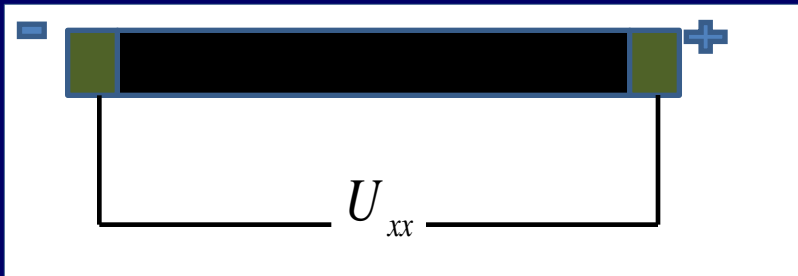
Принцип разделения зарядов



Основные характеристики солнечных элементов

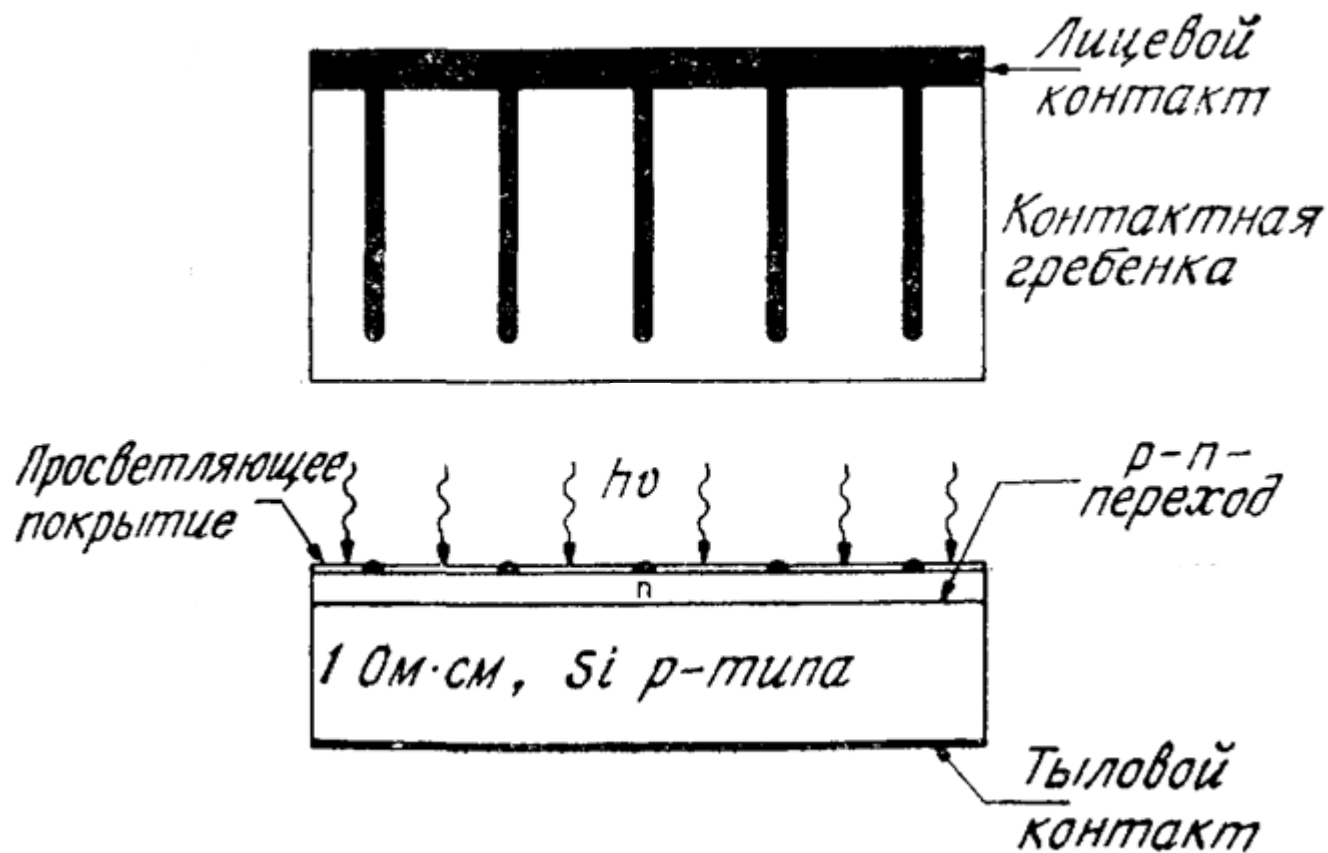
Эффективность преобразования (КПД):

$$\eta = \frac{\text{выходная мощность}}{\text{мощность падающего излучения}} = \frac{FFU_{xx}I_{кз}}{\text{мощность падающего излучения}}$$



Коэффициент FF – фактор заполнения (зависит от нагрузочного сопротивления и может достигать 0,8).

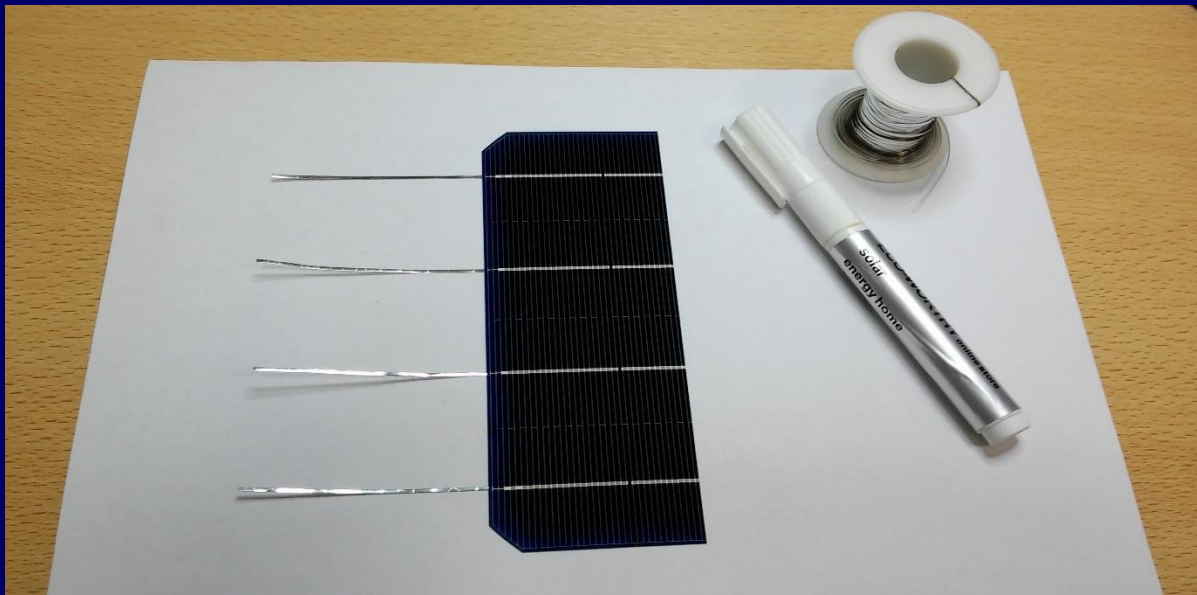
Кремниевый солнечный элемент с р-п переходом



Кремниевые солнечные элементы

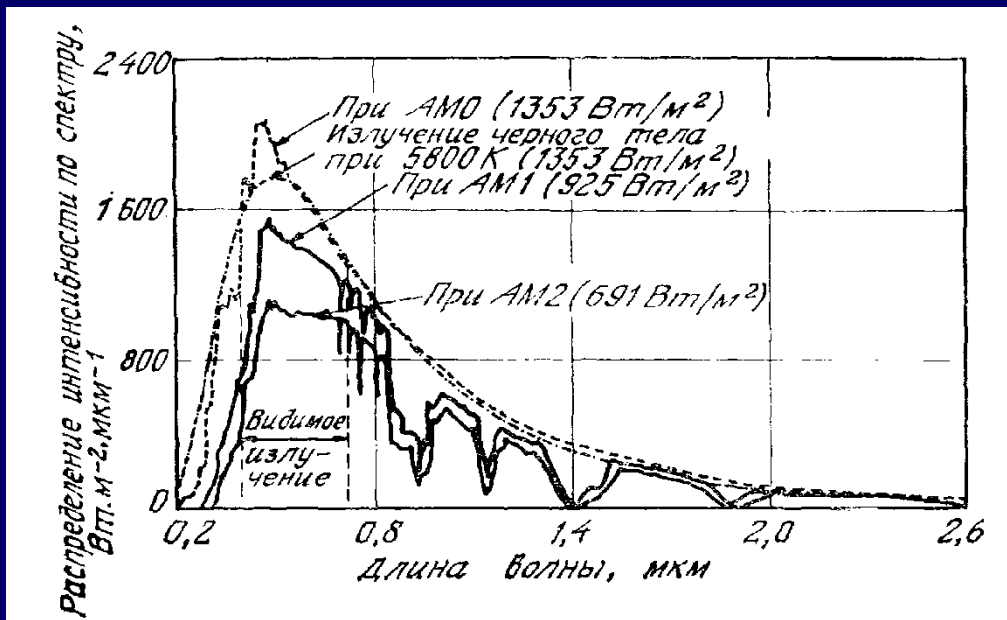


Соединение элементов



Имитаторы солнечного света

Солнечный спектр



AM0 – солнечный спектр за пределами земной атмосферы

AM1 – интенсивность на земле, когда солнце находится в зените

AM1,5 – интенсивность на земле, когда солнце находится под углом 45° к горизонту (соответствует средней интенсивности излучения на земле)

AM2 - интенсивность на земле, при угле между солнцем и зенитом 60°



Немного истории

1839 г. Эдмонд Беккерель впервые наблюдал фотоэлектрический эффект в электролитической ячейке.

1876 г. Адамс и Дей провели первые эксперименты с твердотельными электрическими фотоэлементами.

1930 г. В ФТИ под руководством А.Ф. Иоффе создан первый солнечный элемент с КПД едва превышающим 1 %.

1954 г. Чапеном, Фуллером и Пирсоном создан кремниевый фотоэлемент с p-n переходом с КПД 6%.

1958 г. Запущены искусственные спутники Земли «Спутник-3» (советский) и «Авангард-1» (американский) оснащенные кремниевыми солнечными элементами.

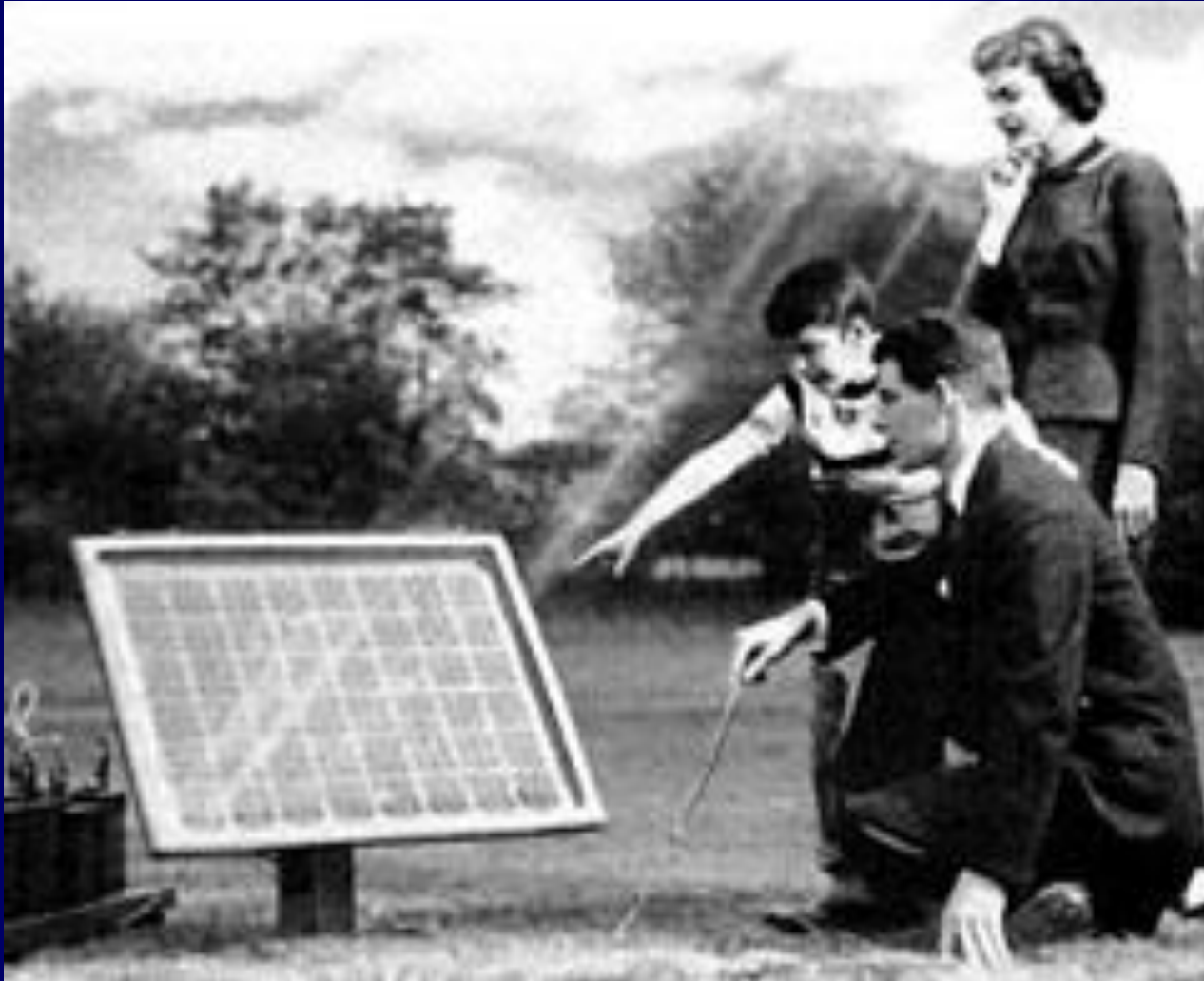
1960 г. Примерно одновременно различными научными группами созданы солнечные фотоэлементы с p-n переходом на основе арсенида галлия.

1965 г. Использование арсенид галлиевых солнечных элементов на советских космических аппаратах, работающих в окрестностях планеты Венера.

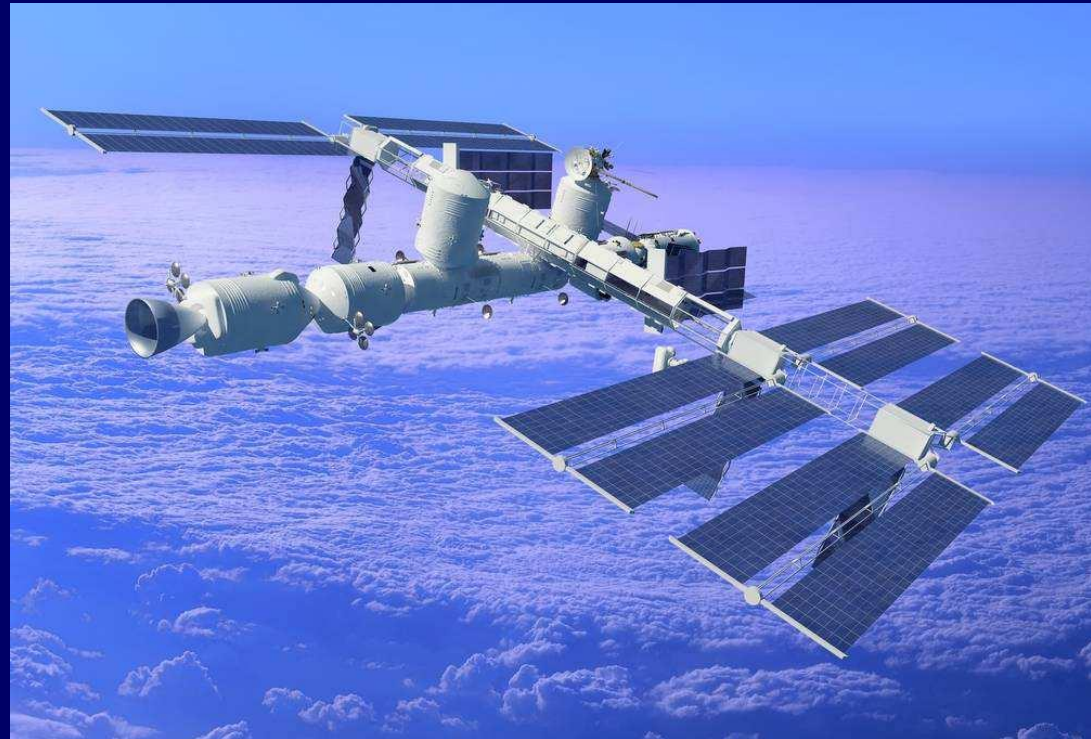
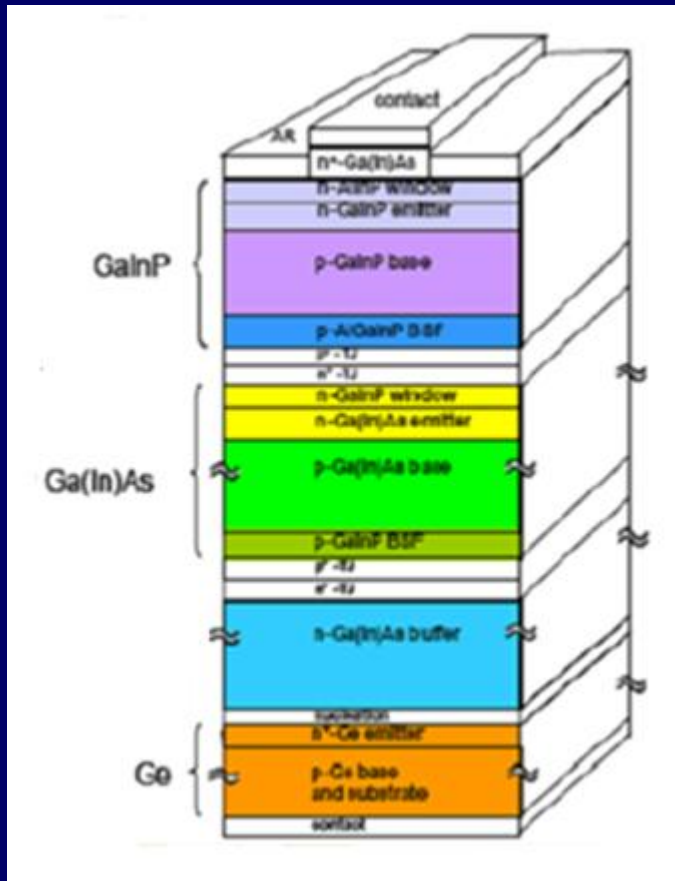
1970 г. Использование арсенид галлиевых солнечных элементов на самоходном аппарате «Луноход-1».

1954 Г.

Bell Telephone Laboratories демонстрирует новый прибор для получения энергии от солнца.



Каскадные солнечные батареи на основе монокристаллических полупроводников



Дорогостоящие солнечные элементы в основном используются для применений в космической отрасли

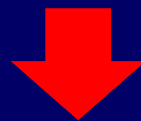
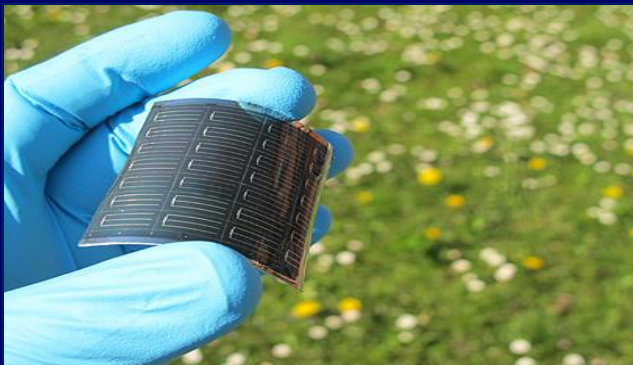
Тонкопленочные солнечные элементы

a-Si:H

CdS/CdTE

Cu-In(Ga)-Se(S)

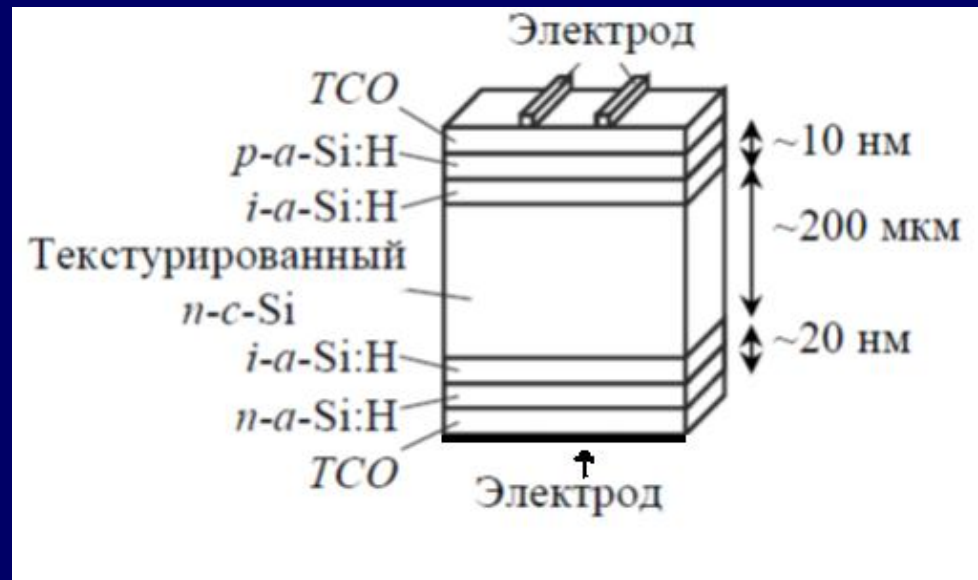
- Имеют большой потенциал уменьшения стоимости преобразования солнечной энергии:
 - 1) Создание элемента требует **малых энергетических затрат**
 - 2) Создание элемента требует **малого количества полупроводникового материала**
 - 3) Тонкие пленки могут осаждаться на **больших площадях**
 - 4) Малые затраты на формирование последовательных цепей из тонкопленочных солнечных элементов
- Возможно создание **тонкопленочных источников энергии, интегрированных в здание** (окна, крыши)
- Простые и дешевые подложки (стекло, нержавеющая сталь)



Перспективны для
наземного применения



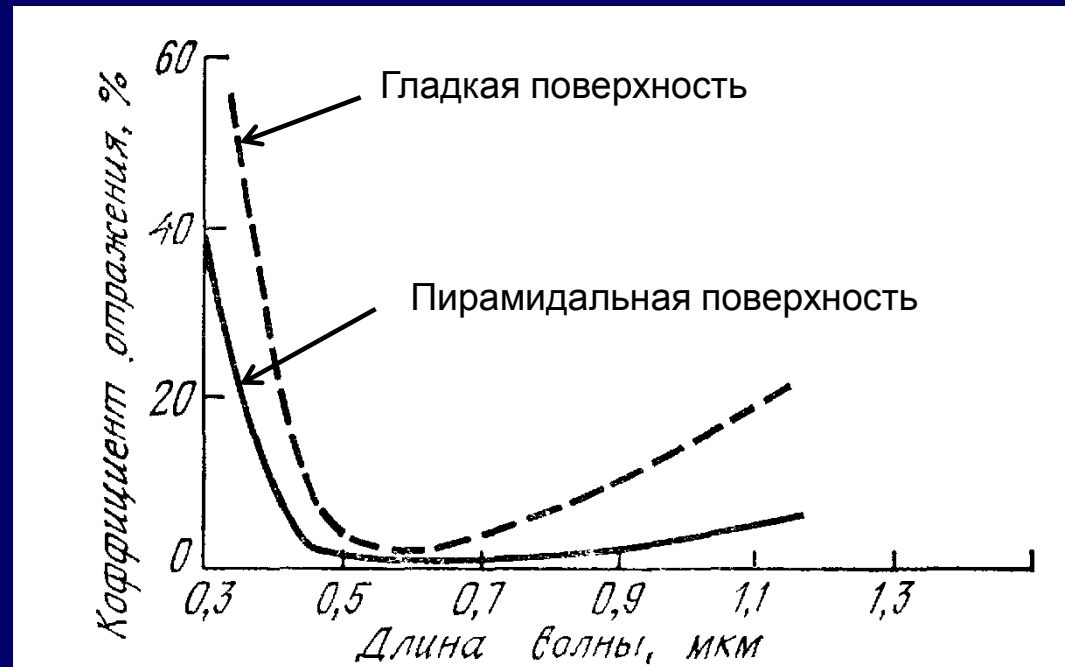
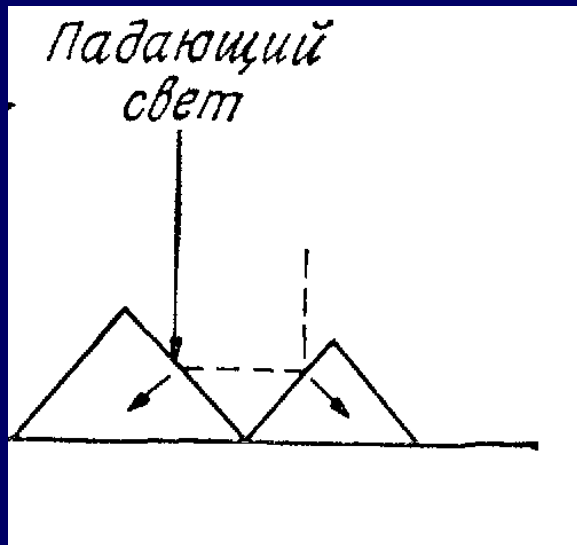
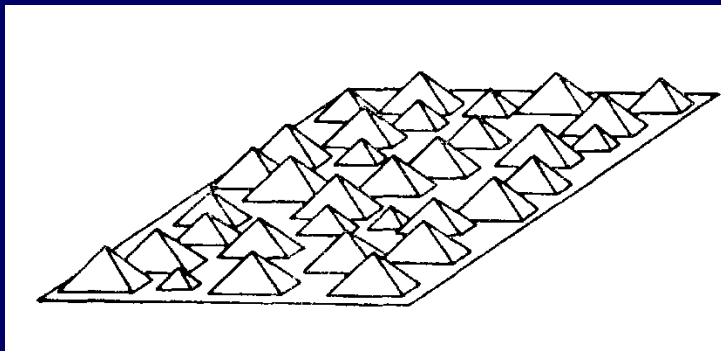
Солнечные элементы на основе гетероперехода c-Si/a-Si:H



Первый завод полного цикла по производству солнечных модулей на основе аморфного кремния в г. Новочебоксарске (17.02.2015)

Уменьшение оптических потерь

Текстурированный элемент с пирамидальной поверхностью



Концентрация солнечного излучения

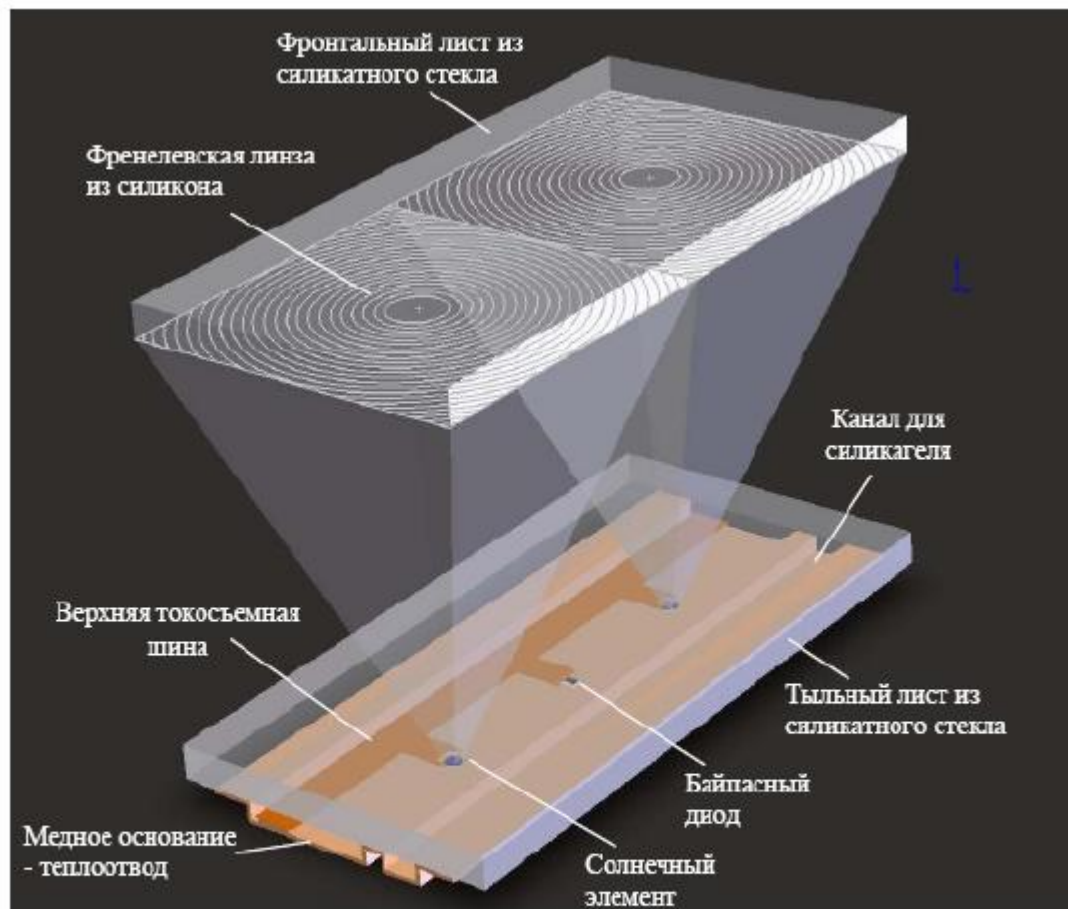


Схема части концентраторного модуля, включающей две линзы Френеля и два каскадных солнечных элемента

Системы слежения за солнцем



Система слежения за Солнцем на установленную мощность модулей 6 кВт, разработанная в ФТИ.

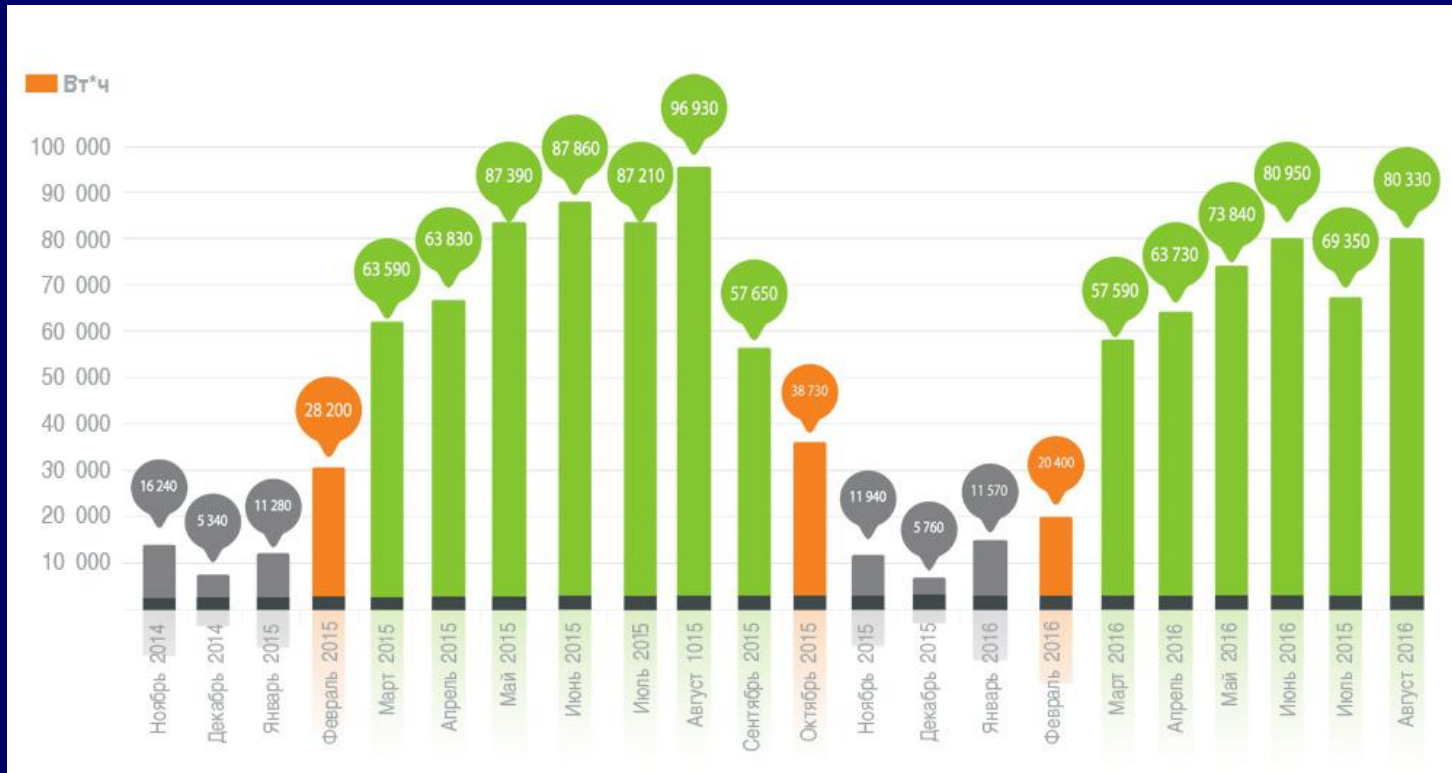
Автономная фотоэлектрическая система



Выработка электроэнергии в Москве

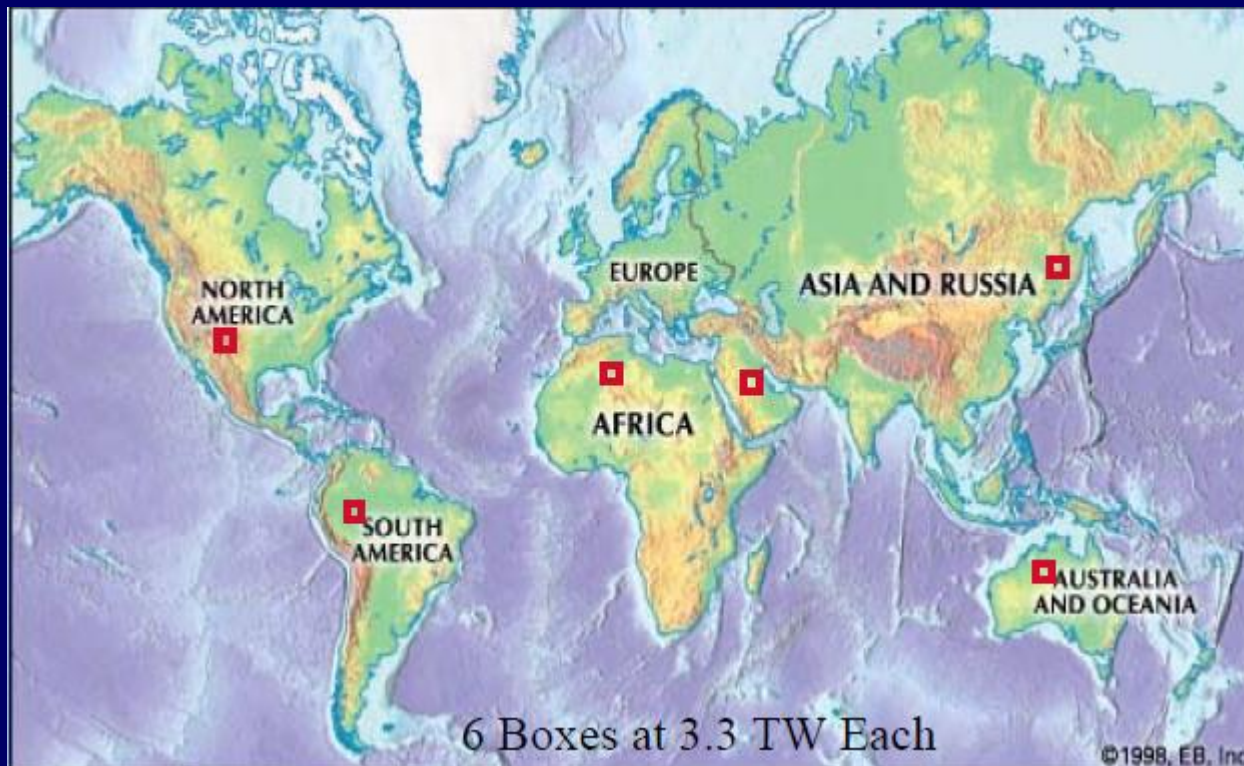


Крыша здания офиса ЭкоВолт (ул. Рабочая); солнечная батарея мощностью 705 Вт.



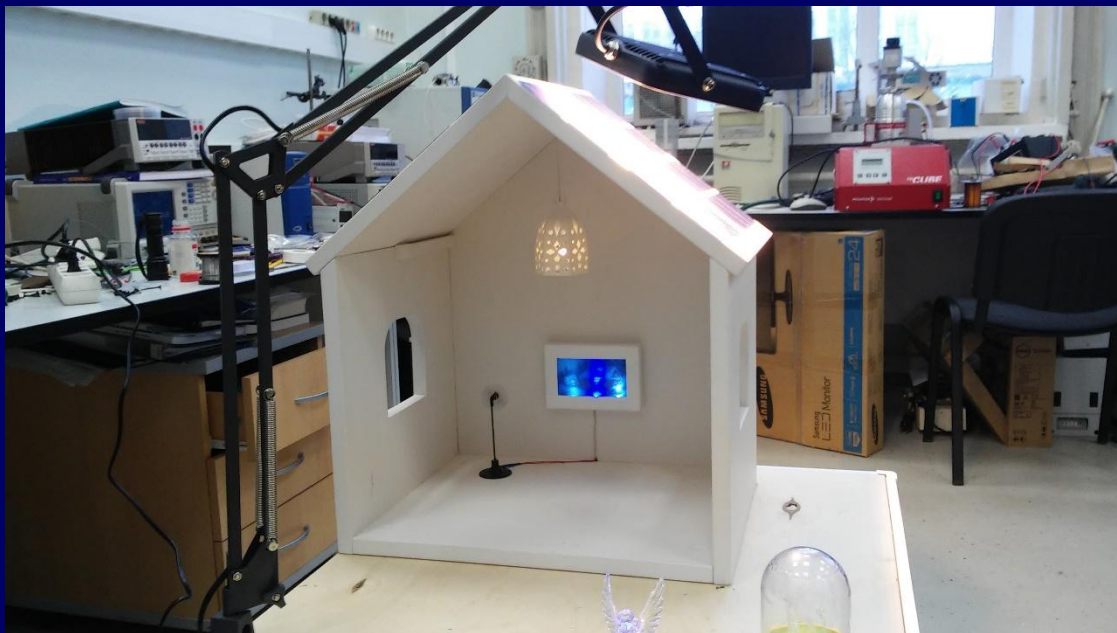
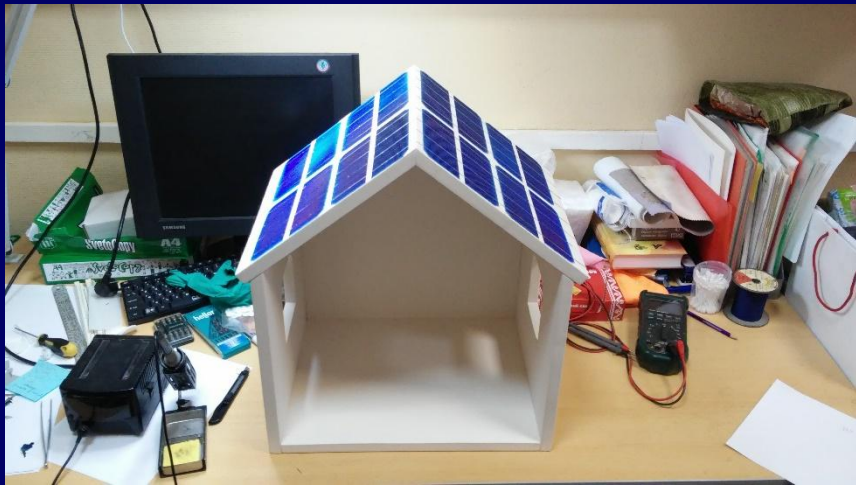
Потенциал солнечной энергетики

- ❑ На поверхность Земли падает 1.76×10^5 ТВт солнечной энергии (теоретически). Можно использовать 600 ТВт (удобные площади)
- ❑ В 2050 г. потребуется 20 ТВт (оценки)
- ❑ При КПД преобразования 10% необходимо преобразовать 200 ТВт
- ❑ Потребуется 0.1% поверхности Земли → 6 областей, дающих по 3.3 ТВт



За 1.5 часа падает столько, сколько потребляется в год

Работа со школьниками





Спасибо за внимание