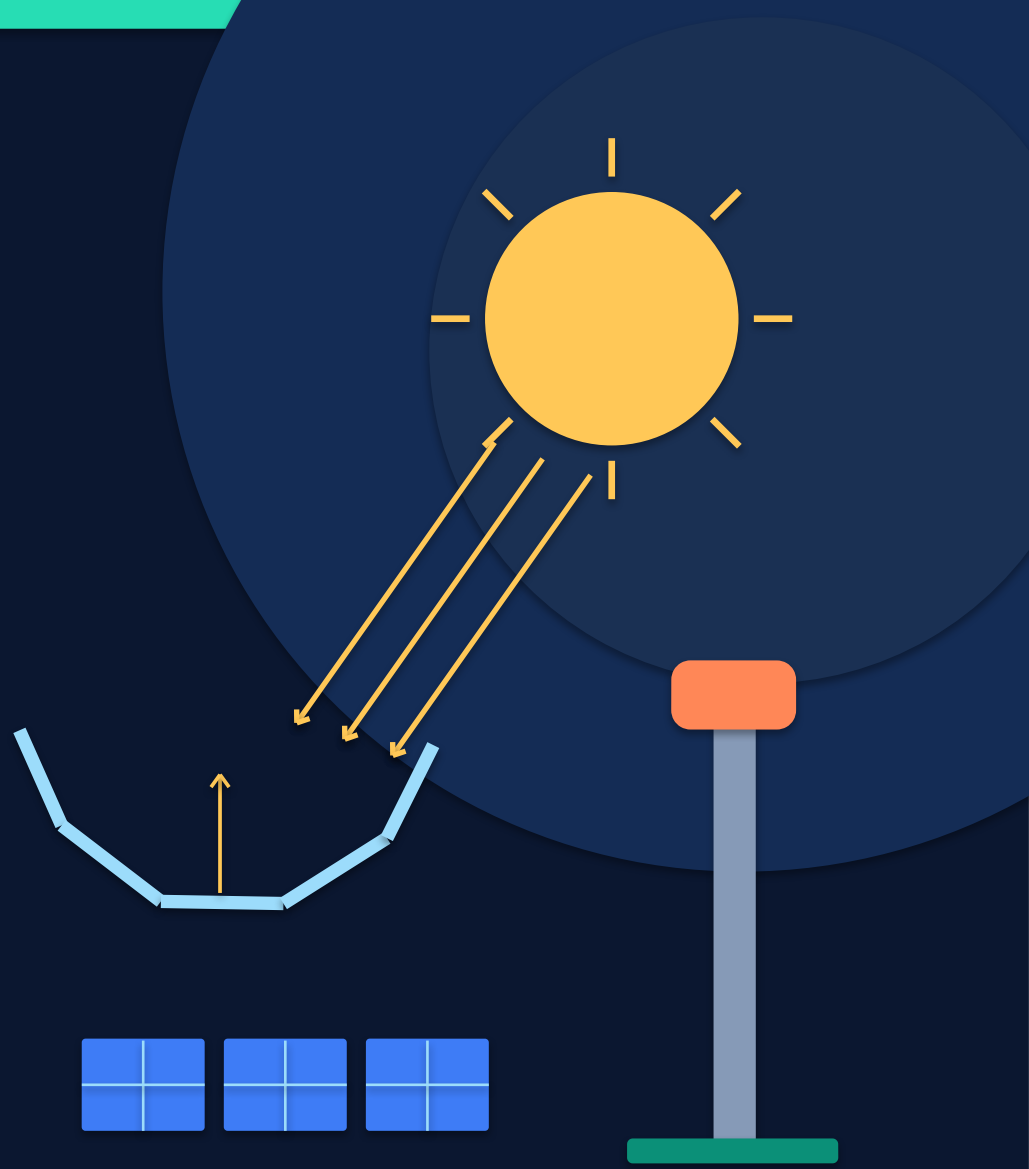
КУРС • 10 ЛЕКЦИЙ

АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

ЛЕКЦИЯ 04

Солнечные электростанции



Концентрация солнечного тепла • цикл Стирлинга • фотоэлектричество

НАВИГАЦИЯ

Два принципа солнечной электрогенерации

Цель: понять устройство, физические процессы и ограничения тепловых и фотоэлектрических станций.

4.1 Тепловые СЭС (CSP)

Оптическая концентрация лучей → высокотемпературное тепло → тепловая машина → генератор.

4.2 Фотоэлектрические СЭС (PV)

Фотоны → электронно-дырочные пары в полупроводнике → электрический ток.

ПОСЛЕ ЛЕКЦИИ ВЫ СМОЖЕТЕ

Объяснять

Работу концентраторов и двигателя Стирлинга.

Рассчитывать

Идеальный термический КПД цикла.

Различать

Зоны полупроводника и механизм p–n-перехода.

РАЗДЕЛ 4.1

Тепловая СЭС: от света к генератору

Концентратор повышает плотность потока и нагревает рабочее тело тепловой машины.



ПРЕИМУЩЕСТВО

до 700 °C

Температура, рассматриваемая в исходной лекции для концентрированного излучения.

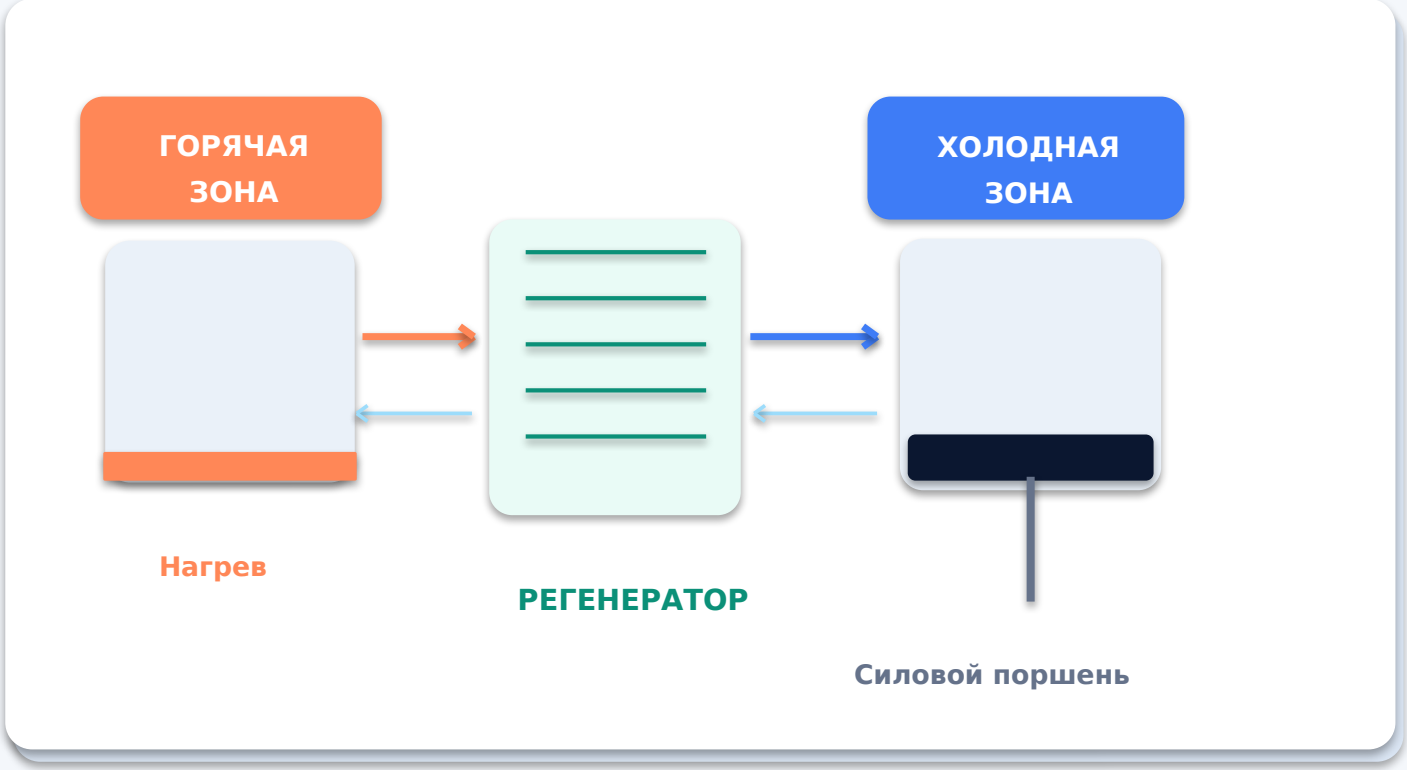
ОГРАНИЧЕНИЕ

Нужен прямой солнечный поток.

Варианты тепловых машин из лекции: паровая турбина и двигатель внешнего нагрева Стирлинга.

Двигатель Стирлинга: внешнее тепло

Рабочий газ перемещается между горячей и холодной зонами; регенератор возвращает часть тепла.



КАК РАБОТАЕТ ЦИКЛ

01 Газ нагревается и расширяется.

02 Передаёт тепло регенератору.

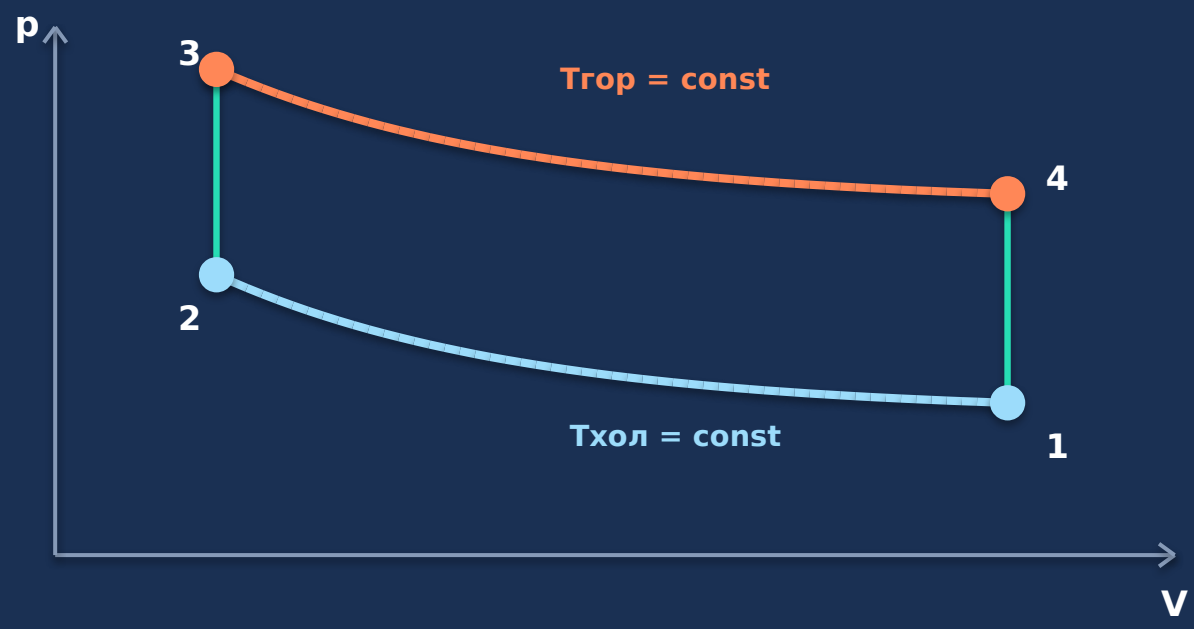
03 Охлаждается и сжимается.

04 Получает запасённое тепло обратно.

Схема принципиальная: в реальном механизме процессы частично накладываются друг на друга.

Идеальный цикл Стирлинга: четыре процесса

При совершенной регенерации идеальный КПД цикла совпадает с формулой Карно.



ЧЕТЫРЕ СТАДИИ

1 → 2	Изотермическое сжатие
2 → 3	Изохорный нагрев
3 → 4	Изотермическое расширение
4 → 1	Изохорное охлаждение

$$\eta_{идеал} = 1 - T_{хол} / T_{гор}$$

Температуры в формуле — в Кельвинах. КПД реального двигателя ниже идеального.

Как сохранить тепло на ночь?

Лекция рассматривает термохимическое накопление энергии на основе обратимых реакций аммиака.

КОНЦЕНТРАТОР

Солнечный поток

→

ДИССОЦИАЦИЯ

Поглощение тепла

→

ХРАНЕНИЕ

N_2 и H_2

→

СИНТЕЗ

Выделение тепла

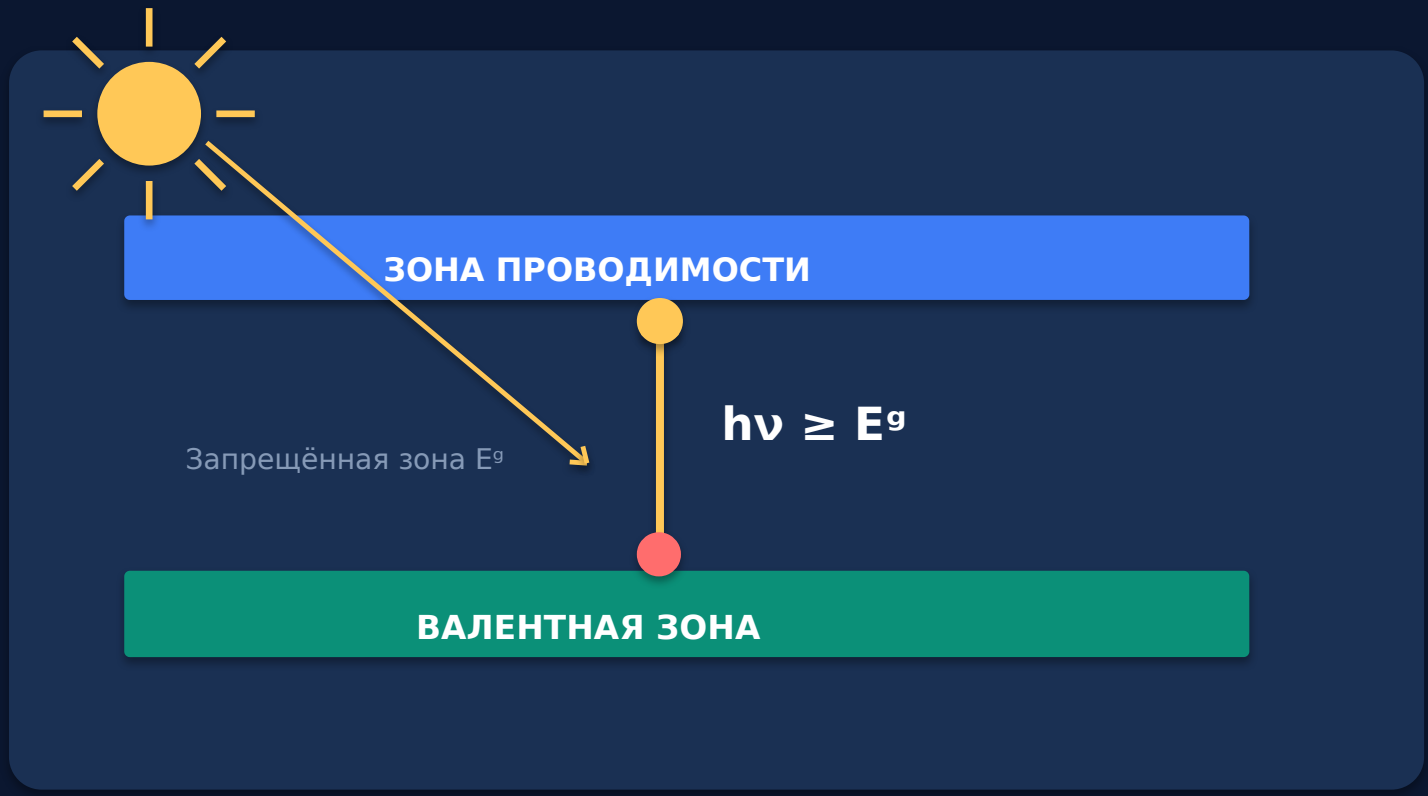
$$2\ NH_3 \rightleftarrows N_2 + 3\ H_2$$

Прямая реакция требует тепло; обратная высвобождает запасённую энергию.

Проектирование зависит от температуры, давления, безопасности реагентов, теплообмена и графика нагрузки.

Фотоны возбуждают электроны в кремнии

Фотоэлектрическое преобразование: излучение → электронно-дырочные пары → электрический ток.



ТИПЫ ПРОВОДИМОСТИ

n — **Донорные примеси**

Основные носители — электроны.

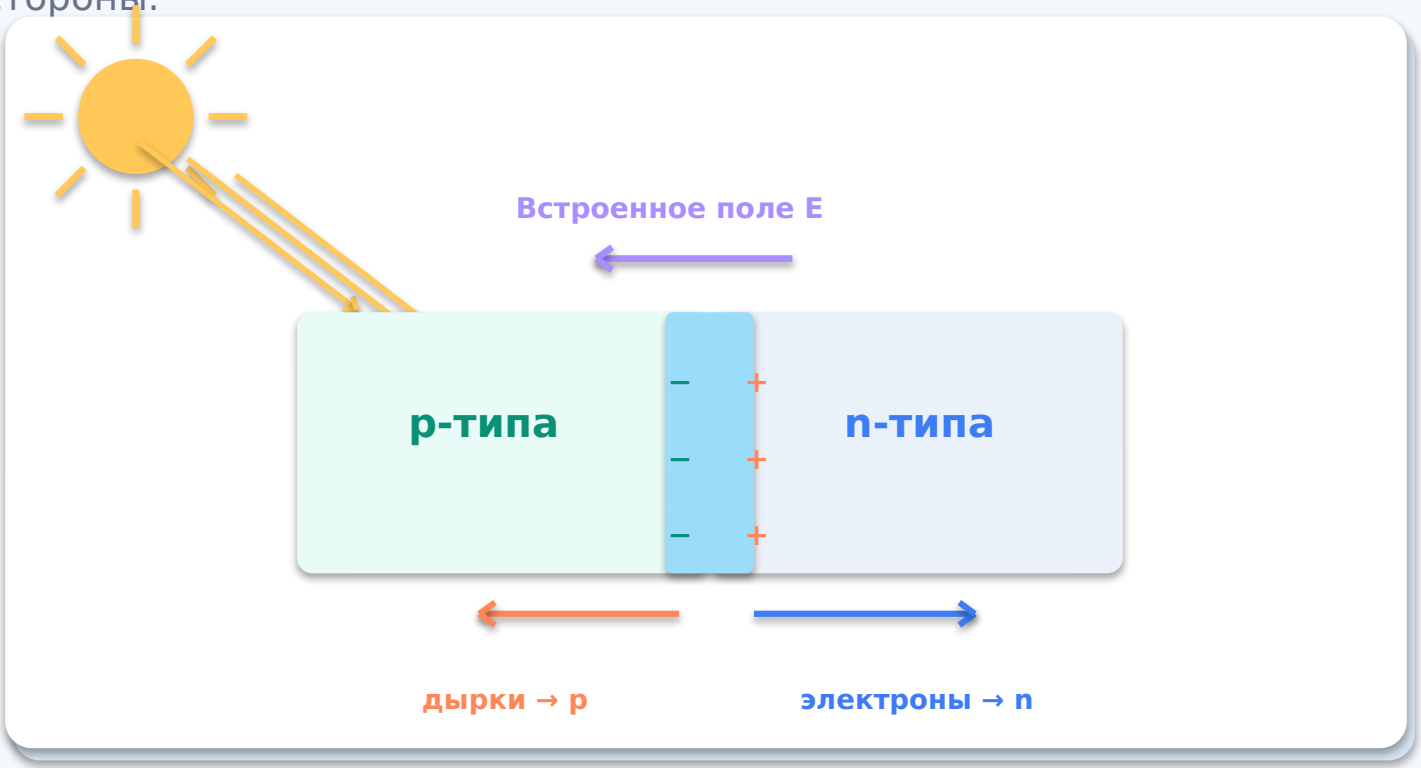
p — **Акцепторные примеси**

Основные носители — дырки.

Если энергии фотона недостаточно для межзонного перехода, генерация электронно-дырочной пары этим механизмом не происходит.

p–n-переход разделяет фотозаряды

Встроенное электрическое поле в обеднённой области направляет электроны и дырки в противоположные стороны.



ФИЗИКА ПЕРЕХОДА

Диффузия

Градиенты концентраций носителей.

Дрейф

Перемещение под действием поля.

Рекомбинация

Уменьшение числа свободных пар.

Диффузионная длина неосновного носителя: $L = \sqrt{(D \cdot \tau)}$, где D — коэффициент диффузии, τ — время жизни.

Одинаковый ресурс — разные системы

Выбор способа преобразования определяется задачей, условиями инсоляции и инженерными ограничениями.

КРИТЕРИЙ	ТЕПЛОВАЯ СЭС (CSP)	ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ (PV)
Первичное преобразование	Излучение → тепло	Излучение → электричество
Основной элемент	Приёмник + тепловая машина	Полупроводниковый фотоэлемент
Погодная зависимость	Особенно важно прямое излучение	Использует также рассеянный свет
Аккумулирование	Тепловые / термохимические системы	Электрохимические накопители
Ключевой физический процесс	Тепловой цикл	Возбуждение и разделение зарядов

Общий вывод: эффективность станции зависит не только от преобразователя, но и от условий работы и всей энергетической системы.

Главные выводы и контрольные вопросы

Ключевое различие: CSP сначала создаёт тепло, а PV формирует электричество непосредственно.

ПЯТЬ ВЫВОДОВ

- Концентрация света обеспечивает высокую температуру.
- Регенерация повышает идеальную эффективность цикла.
- Химические реакции могут запасать солнечное тепло.
- Фотоны возбуждают носителей заряда в полупроводнике.
- p–n-переход помогает разделить электроны и дырки.

ВОПРОСЫ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

01 Почему тепловой СЭС необходим концентратор?

02 Какие процессы образуют цикл Стирлинга?

03 Какова роль запрещённой зоны E_g?

04 Зачем в солнечном элементе нужен p–n-переход?

Основа: «Лекция 4. Солнечные электростанции», разделы 4.1–4.2. Схемы переработаны для учебной презентации.