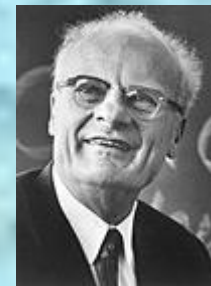


# Урок 20

**Тема: Источники энергии и внутреннее строение Солнца**

# Источник внутренней энергии



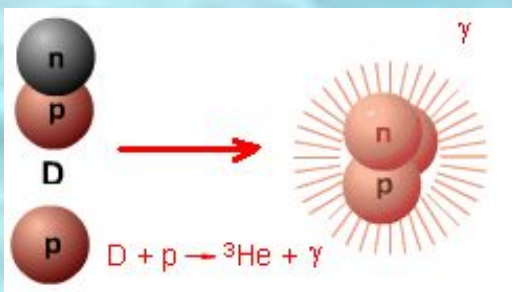
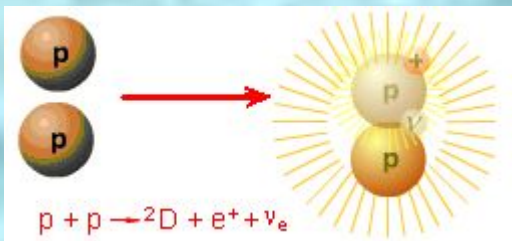
Излучая  $L_{\odot} = 3,876 \cdot 10^{26}$  Дж/с – Солнце теряет энергию.  
Закон сохранения → откуда восполняется энергия?

В 1931г **Ханс Альбрехт Бете** (1906-2005, Германия, в США с 1935г) указывает, что источником энергии в звездах является ядерный синтез.

В 1937г открывает термоядерную реакцию, а в работе “Генерация энергии в звездах” (1939г) строит количественную теорию ядерных процессов внутри звезд, найдя цепочку (цикл), проводящую к синтезу гелия.

**Условием возникновения термоядерной реакции является  $T > 10$  млн.К.**

Внутри Солнца (звезд) водород ионизирован - т.е. в виде ядер протона  $^1\text{H}$ . Двигаясь с очень большими скоростями протоны несколько сближаются, преодолевая электрические силы отталкивания, что вступают в действия ядерные силы и начинается реакция (термоядерная) с выделением энергии.

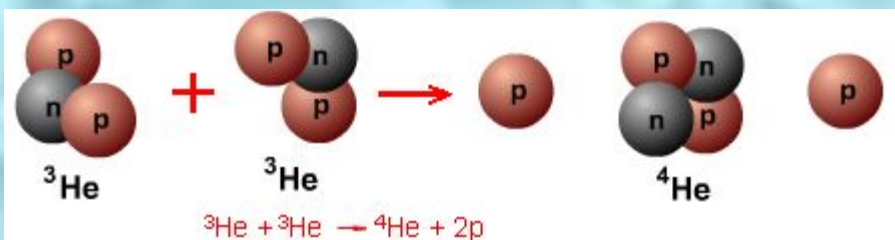


$^1\text{H} + ^1\text{H} \rightarrow ^2\text{D} + e^+ + \nu$  (дейтерий + позитрон + нейтрино + 2,2 Мэв).

$^2\text{D} + ^1\text{H} \rightarrow ^3\text{He} + \gamma$  (третий + гамма-квант + 5,5 Мэв).

$^3\text{He} + ^3\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + ^1\text{H} + ^1\text{H}$  (гелий + протон + протон + 12,8 Мэв).

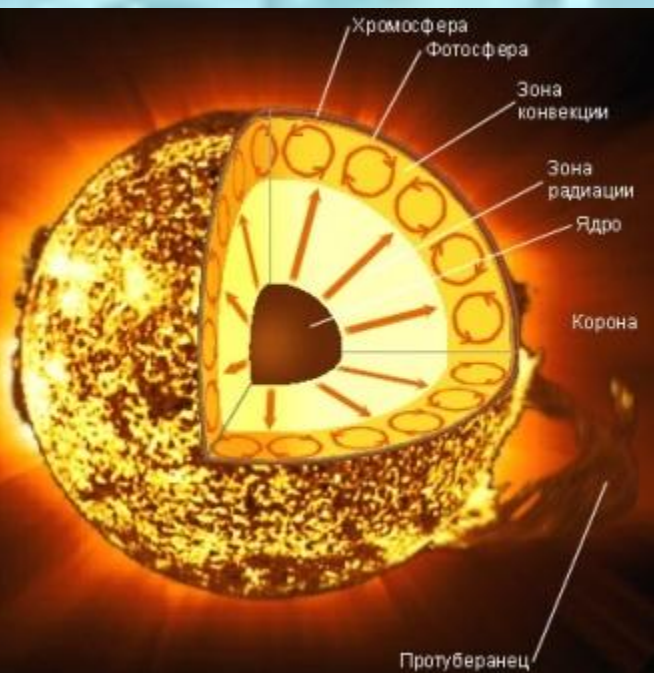
Цепочка (цикл) протон-протонный – превращение 4 ядер  $^1\text{H}$  в ядро  $^4\text{He}$ . Это медленная реакция ( $7,9 \cdot 10^9$  лет) так как обусловлена слабыми взаимодействиями.



Внутри в центре Солнца (звезд) водород выгорает, превращаясь в гелий.



# Строение Солнца



**Ядро** – гелиевое ( $0,3R$  )

**Зона излучения** – (от  $0,3R$  до  $0,7R$ )

происходит процесс переноса энергии излучаемой ядром в вышележащие слои путем поглощения и последующего ее переизлучения с постепенным увеличением длины волны и понижения температуры

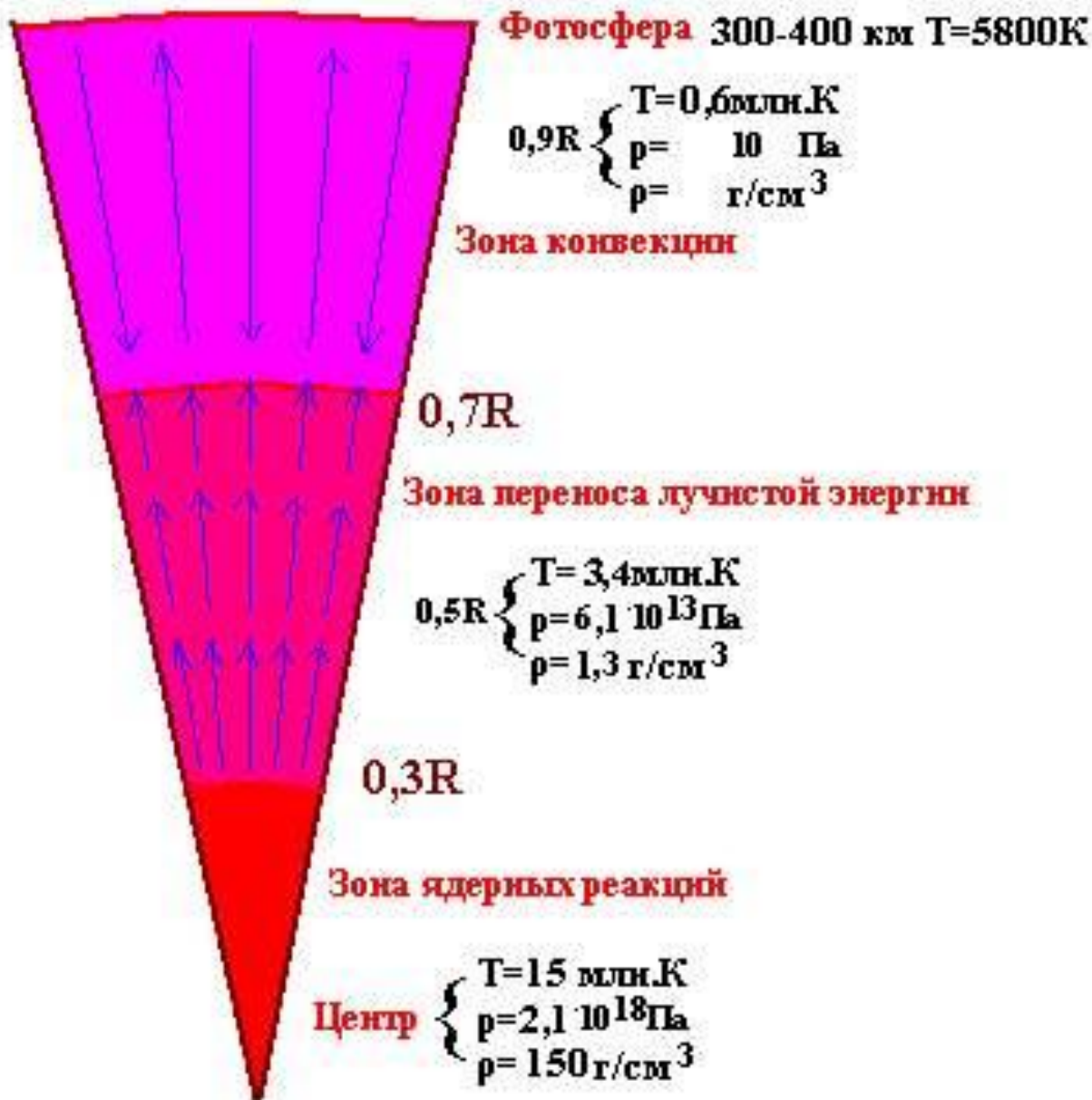
**Зона конвенции** - (от  $0,7R$  до  $1,0R$ )



При  $M_{\odot} = 2 \cdot 10^{30}$  кг и горении H в центре ему еще гореть 5-7 млрд. лет.

Излучения Солнца приводят к уменьшению массы Солнца на  $\sim 4$  млн.т в секунду. Высвобождаемая энергия превышает недельную выработку электроэнергии на всём земном шаре и сравнима с энергией землетрясений и ураганов.

# Внутреннее строение Солнца



Приближенные расчеты можно выполнить с помощью обычных формул, выделив условно внутри Солнца столбик площадью  $S$  и  $h=R$

$$F=mg=\rho Vg=\rho SRg$$

но  $g=GM/R^2$

Тогда

вес столба  $P=\rho SGM/R$   
 давление  $p=F/S=\rho GM/R$

Применяя уравнение Менделеева-Клапейрона  $pV=(m/\mu)RT$  можно вычислить один из параметров: давление, среднюю плотность, температуру если известны другие.



# Наблюдения Солнца

Проводятся в специализированных обсерваториях



**Сибирский солнечный радиотелескоп** (ССРТ, Россия) — один из крупнейших астрономических инструментов. Расположен в долине, разделяющей два горных хребта — Восточные Саяны и Хамар-Дабан, на расстоянии 220 км от Иркутска. Это крестообразный интерферометр, состоящий из двух линий 128 x 128 параболических антенн диаметром 2,5 метра, установленных эквидистантно с шагом 4,9 метра и ориентированных в направлениях восток—запад и север—юг. Длина каждой из линейных баз интерферометра — 622,3 метра. Введен в 1984г, работает на волне  $\lambda = 5,2$  см. Выполняется всепогодный мониторинг солнечной активности в одномерном режиме с угловым разрешением до 15".



Телескоп солнечной обсерватории на озере Big Bear США.



Национальной солнечной обсерваторий США (1962г, 1,6-м зеркало). С помощью этой системы МакМат-Пирса можно получить изображение Солнца с диаметром в 75 см.



# Исследования Солнца. Нейтрино

**Нейтрино** - элементарная частица, рождаемая при термоядерных реакциях внутри Солнца (звезд), свободно проникающая через звезды, планеты и т.д. Регистрируя их с помощью нейтринных телескопов можно “заглянуть” внутрь Солнца.

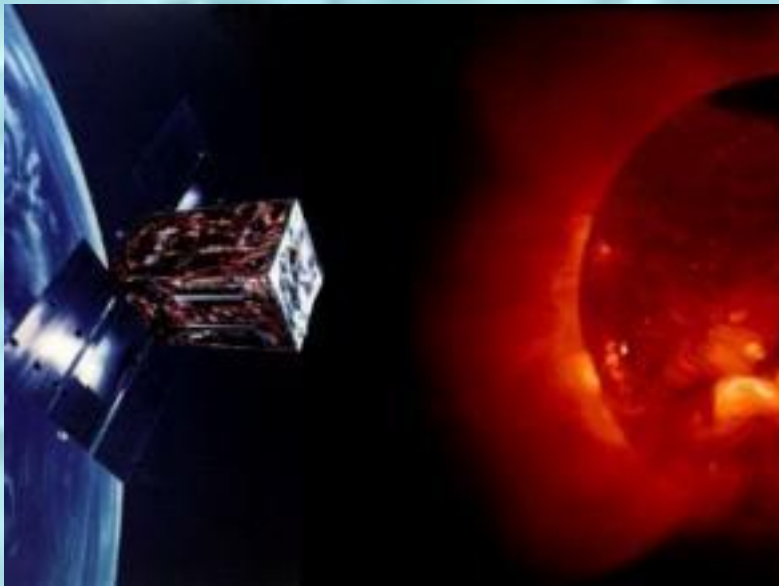
Нейтринный телескоп SuperKamiokande (модернизированный Kamiokande-II), размещен в горах Японии на глубине 1 км под землей. Детектор - огромный резервуар (40х40 м) из нержавеющей стали, заполненный 50 000 т необычайно чистой воды, которая служит мишенью для нейтрино. На поверхности резервуара размещены 11146 фотоумножителей (ФЭУ), регистрирующие появляющиеся импульсы голубого цвета, известные как Черенковское излучение, которые сообщают о столкновении нейтрино с молекулой воды.



NT-200: Элементы конструкции установки из высокочувствительных фотоприемников, которые помещены в стеклянные шары выдерживающие давление до 150 атмосфер на глубине 1 100-1 200 метров.

Байкал - одно из наиболее подходящих мест на Земле для размещения глубоководных детекторов Черенковского излучения. На Байкальской нейтринной станции с 1998г работает нейтринный телескоп NT-200, смонтированный со льда. Еще зимой 1992 года на глубине 1 370 метров на расстоянии 3,6 км от берега был установлен несущий каркас телескопа, а в 1998 году Байкальский нейтринный телескоп стал одной из крупнейших в мире установок для исследования нейтрино высоких энергий.

# Исследования Солнца КА



Исследование Солнца проводилось многими КА в том числе и специализированными:

Японская рентгеновская обсерватория «Ёко» (**Yohkoh**), запуск 30.08.1991г для изучения рентгеновского и гамма-излучения Солнца. Сведен с орбиты 12.09.2005г.

Спутник для изучения короны Солнца "**TRACE** (Transition Region & Coronal Explorer)" запущен 2.04.1998г. Задача - исследование области перехода между короной и фотосферой с помощью 30-см ультрафиолетового телескопа.



**Солнечная и гелиосферная обсерватория ("SOHO")** - Научно-исследовательский спутник (Solar and Heliospheric Observatory - SOHO), запущенный ЕКА 2 декабря 1995г с предполагаемым сроком работы около двух лет. Выведен на орбиту вокруг Солнца в одной из точек Лагранжа (L1), где уравниваются гравитационные силы Земли и Солнца. Одиннадцать инструментов на борту спутника предназначены для исследования солнечной атмосферы (в частности ее нагревания), солнечных колебаний, процессов выноса солнечного вещества в пространство, структуры Солнца, а также процессов в его недрах. Ведет постоянное фотографирование Солнца, по которым открыто свыше 1000 комет. Работает и сейчас.



# Исследование Солнца КА



КА "Коронас-Ф" (Комплексные Орбитальные Наблюдения Активности Солнца) весом 2260 кг запущен 31 июля 2001 года. Проведение фундаментальных исследований геофизического околоземного пространства, исследования галактических и солнечных лучей (всеволновых наблюдений Солнца), свойств ионосферы Земли и ее взаимодействия с магнитосферой. Срок предполагал работу КА 6 месяцев, а был сведен с орбиты 06.12.2005г. Это второй спутник из серии "Коронас" (предыдущий, "Коронас-И", в период с марта 1994 года по декабрь 2000 года исследовал излучения Солнца во всём диапазоне частот, космических лучей, а также выбросов и вспышечных процессов на Солнце, его колебаний (гелиосейсмологии), исследования динамики солнечных возмущений земной магнитосферы.

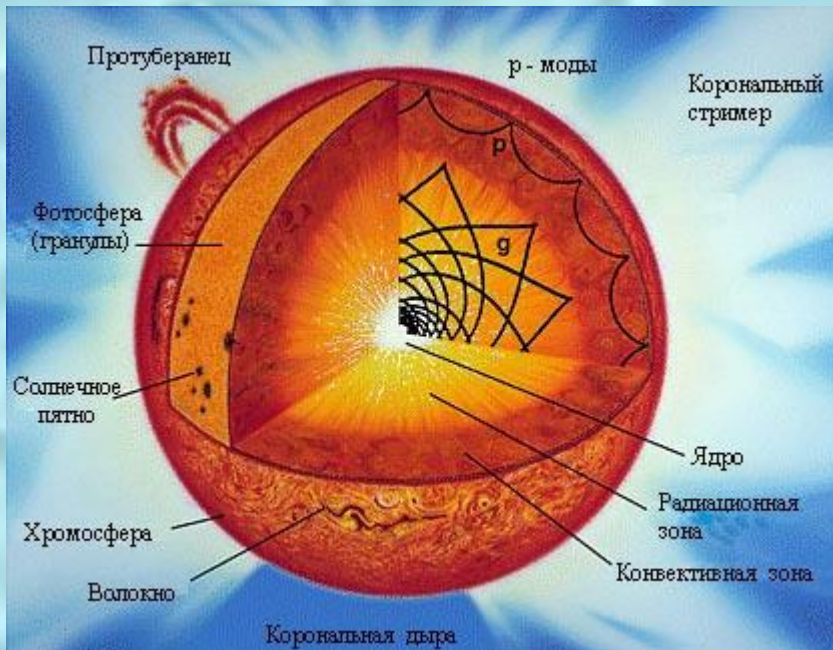
АС **Ulysses**, запущенная 6.10.1990г, 17.11.2006г начала третий виток вокруг Солнца.

**Ulysses** (ЕКА) предназначена для измерения параметров солнечного ветра, магнитного поля вне плоскости эклиптики, изучения полярных областей гелиосферы. Провел сканирование экваториальной плоскости Солнца вплоть до орбиты Земли. Это единственный КА, движущийся перпендикулярно Первые его проходы над полюсами были 1994г (южный) и 1995г (северный), когда активность Солнца была минимальной. Во время вторых проходов в 2000г (южный) и 2001г (северный) светило было на пике своей активности.





# Гелиосейсмология



Структура Солнца, иллюстрирующая p- и g-моды глобальных колебаний Солнца.

**Гелиосейсмология** – наука изучающая колебания Солнца. В солнечной атмосфере распространяются акустические волны подобие звуковых в воздухе: как вертикальные, так и горизонтальные волны с длинами волны  $10^3 - 10^4$  км. Колебания носят резонансный характер и происходят с периодом около 5 минут (лежат в диапазоне примерно от 3 до 10 мин). Амплитуда колебаний от 100 – 200 м/сек до 1 – 2 км/сек в хромосфере. Впервые колебания обнаружили Р. Лейтон, Р. Нойс и Дж. Саймон в 1960-х годах.

В солнечных пятнах период колебаний составляет 2 – 3 минуты. Это так же

резонансные колебания, а резонатором являются хромосферные колебания над пятнами.

Все резонансные колебания в солнечной атмосфере могут возбуждаться волновыми силами из конвективной зоны. Если единый волновой процесс охватывает все Солнце, то говорят о пульсации Солнца как звезды. Были открыты колебания с периодом 2440 мин и амплитудой в 20 км. Наблюдаются так же пульсации с периодом в 20 – 40 минут. Точные измерения продолжительности солнечных затмений, а также прохождения Меркурия и Венеры по диску Солнца показали, что в XVII веке диаметр Солнца превышал нынешний примерно на 2000 км, то есть на 0,1%.