

Источники  
энергии и  
внутреннее  
строение Солнца





Уильям Томсон  
(барон Кельвин)

Роберт Майер в середине XIX века предположил, что *Солнце светит за счет постоянной бомбардировки поверхности метеоритами и метеорными частицами*. Если сделать расчет по данной гипотезе, то за пять миллиардов лет на Солнце должно было бы выпасть вещества в 150 раз больше массы Солнца.

Гельмгольц и Кельвин также в середине XIX века предположили, что *Солнце излучает за счет сжатия на 60–70 метров ежегодно*. Если сделать расчет по данной гипотезе, то возраст Солнца будет не больше 20 миллионов лет, что противоречит современным данным, полученным по анализу радиоактивного распада элементов в геологических образцах земного грунта и грунта Луны.



Джеймс Джинс

Джеймс Джинс в начале XX века предположил, что *в недрах Солнца содержатся тяжелые радиоактивные элементы, которые самопроизвольно распадаются, при этом излучается энергия*. Последующий анализ этой гипотезы также показал ее несостоятельность; звезда, состоящая из одного урана, не выделяла бы достаточно энергии для обеспечения наблюдаемой светимости Солнца.

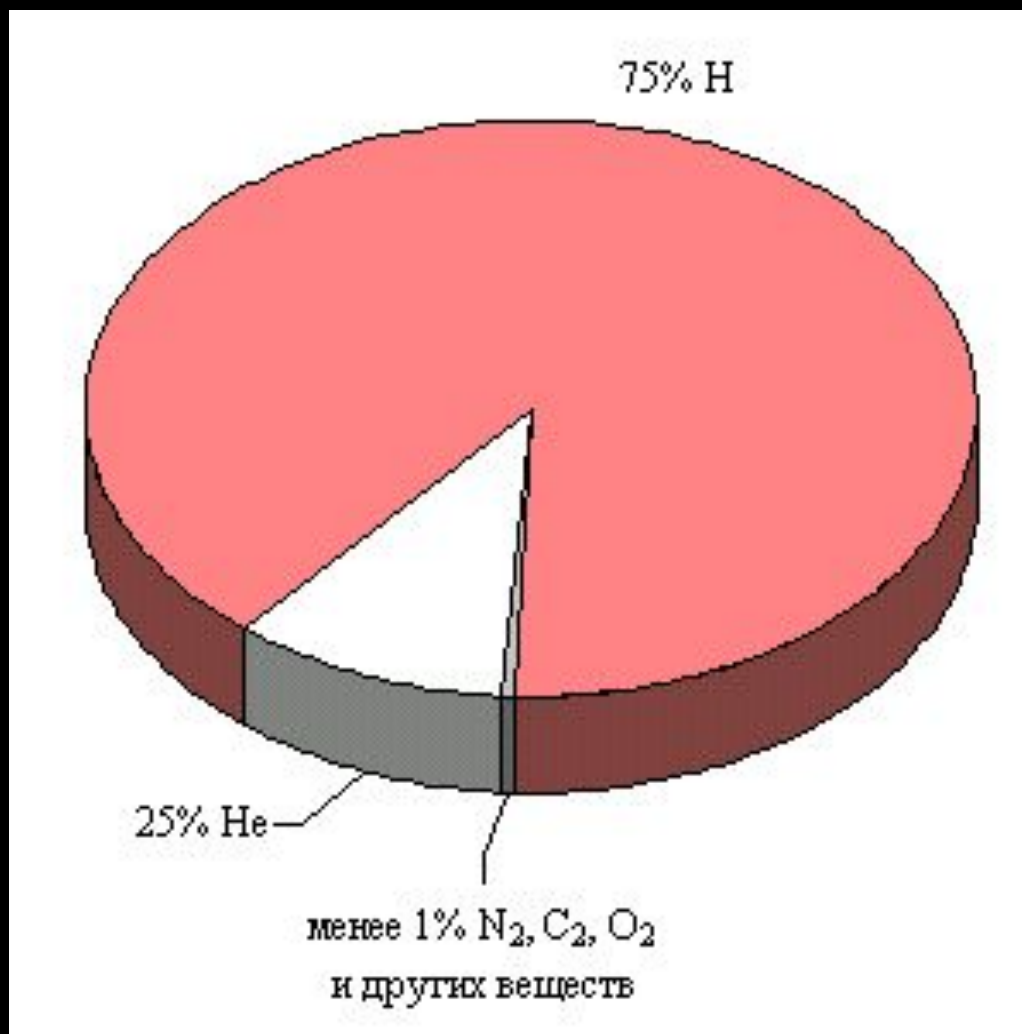


Ханс Бете

Ханс Бете в 1935 году выдвинул гипотезу, что *источником солнечной энергии может быть термоядерная реакция превращения водорода в гелий*. Именно за это Бете получил Нобелевскую премию в 1967 году.

Химический состав Солнца примерно такой же, как и у большинства других звезд.

Примерно 75% – это водород, 25% – гелий и менее 1% – все другие химические элементы (в основном, углерод, кислород, азот и т.д.).

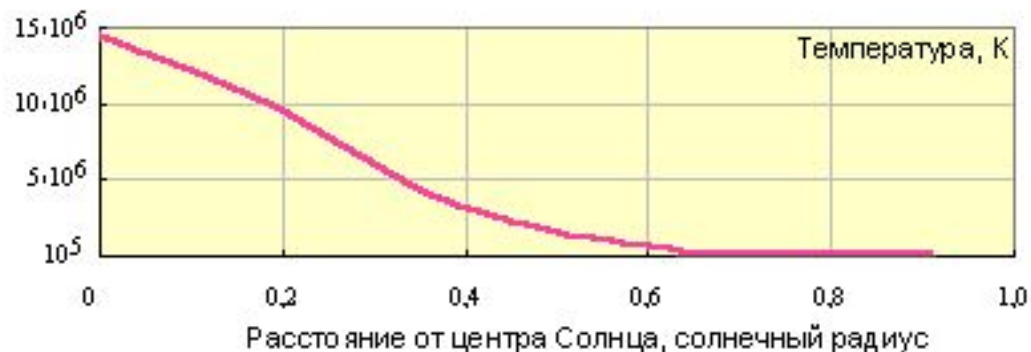


В центре Солнца:

температура достигает  
15 миллионов градусов

газ сжат до плотности  
около  $150\,000\text{ кг/м}^3$

давление в 200 миллиардов раз  
выше, чем у поверхности Земли

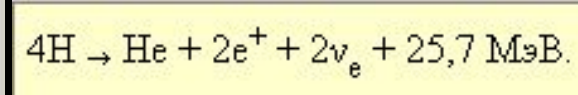



Солнце – раскаленный газовый шар, температура в центре высока настолько, что там могут происходить ядерные реакции.

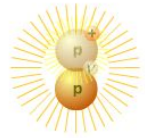
Основной источник энергии – протон-протонный цикл.

Это очень медленная реакция (характерное время  $7,9 \cdot 10^9$  лет).


Ее суть состоит в том, что из четырех протонов получается ядро гелия.

$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$




$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$



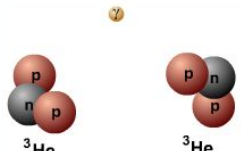
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$




$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$



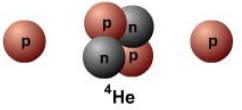
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$



$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

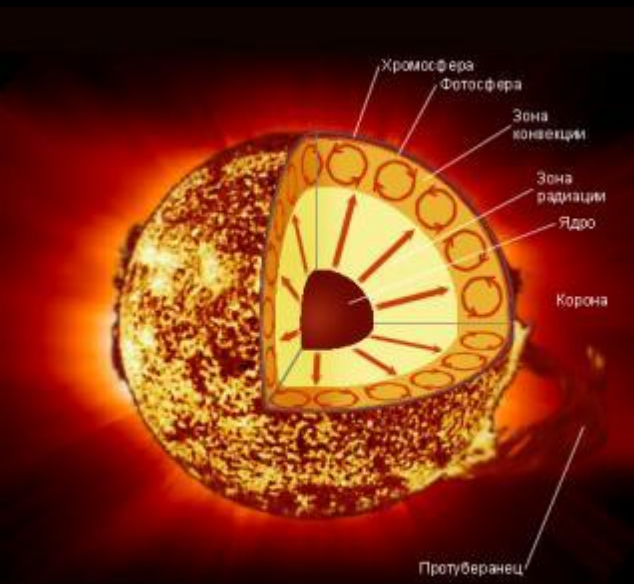


$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$



$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$

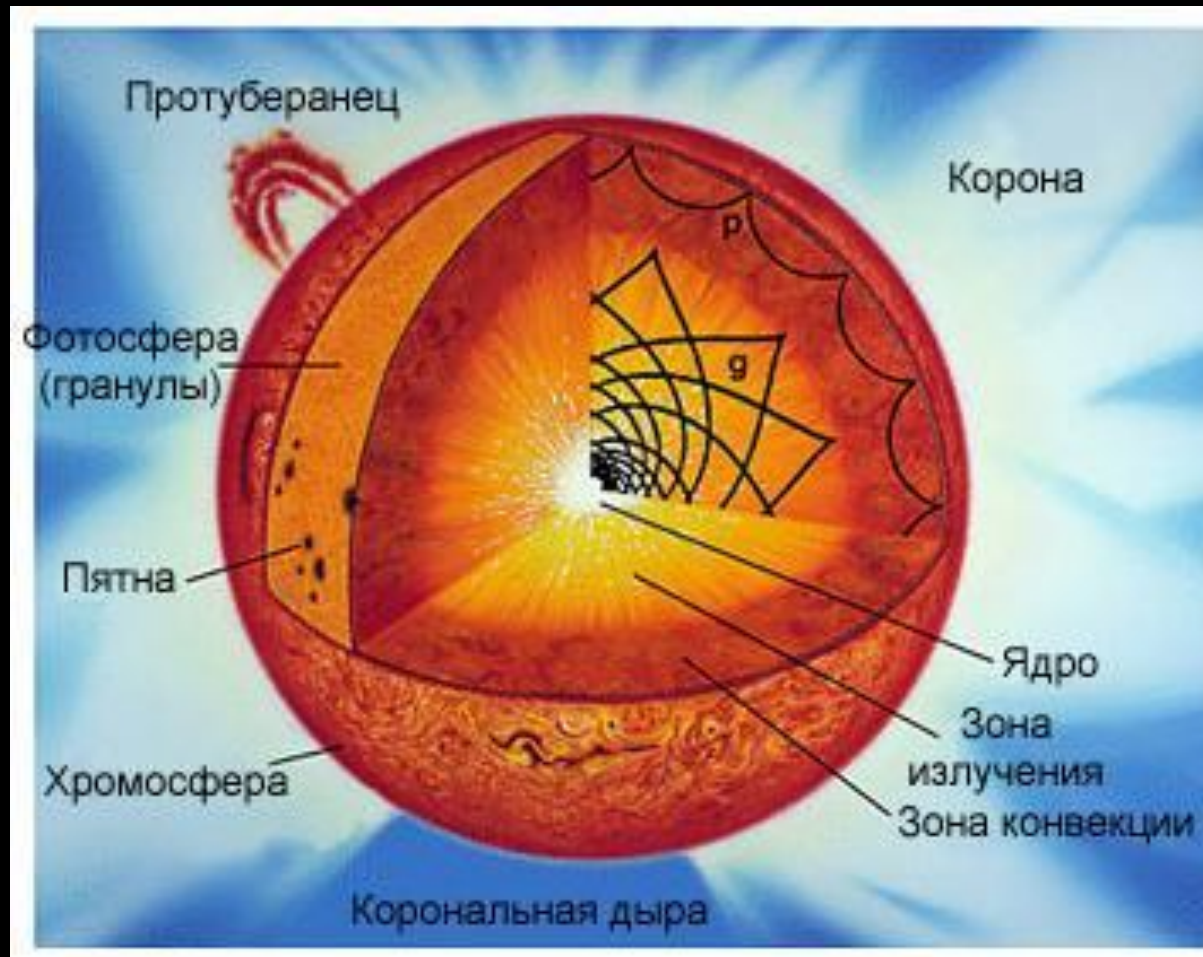
$p + p \rightarrow {}^2\text{D} + e^+ + \nu_e$   
 $\text{D} + p \rightarrow {}^3\text{He} + \gamma$   
 ${}^3\text{He} + {}^3\text{He} \rightarrow {}^4\text{He} + 2p$



В центральной области с радиусом примерно в треть солнечного – **ядре** – происходят ядерные реакции.

Через **зону излучения** энергия переносится из внутренних областей Солнца к поверхности лучистой теплопроводностью, то есть фотонами (диффузия фотонов длится около миллиона лет при температуре больше 2 миллионов градусов ).

Примерно с расстоянии  $2/3R$  находится **зона конвекции**, в которой начинается перемешивание горячих и холодных слоев вещества. Время подъема конвективной ячейки сравнительно невелико – несколько десятков лет.



Исследования Солнца проводят как с земных обсерваторий, так и с космических.



Телескоп солнечной обсерватории  
на озере Big Bear в США

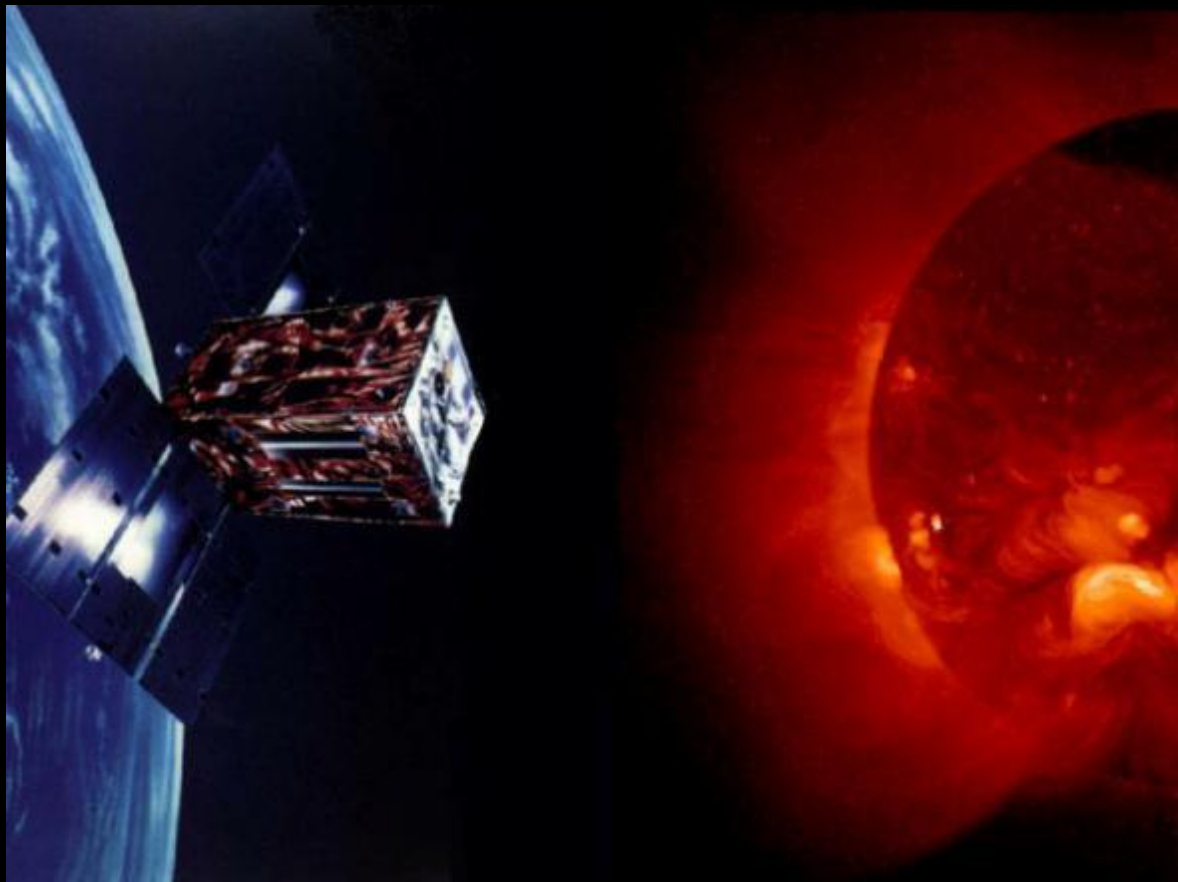


Международный спутник SOHO

Японская рентгеновская обсерватория «Йоко» (Yohkoh – «солнечный луч») была создана в содружестве с учеными Великобритании и запущена 30 августа 1991 г.

Спутник оказался очень удачным. Его аппаратура работала более 10 лет, ежедневно передавая четкие рентгеновские изображения вспышек и горячих пятен в короне Солнца.

Во время солнечного затмения 14 декабря 2001 г. спутник потерял ориентацию на Солнце и его батареи разрядились.



Рентгеновское изображение Солнца с короной



Каждую секунду Солнце перерабатывает около 600 миллионов тонн водорода.

**Запасов ядерного топлива хватит еще на пять миллиардов лет,**  
после чего оно постепенно превратится в *белый карлик*.

Характерное время жизни звезды типа Солнца – десять миллиардов лет.

