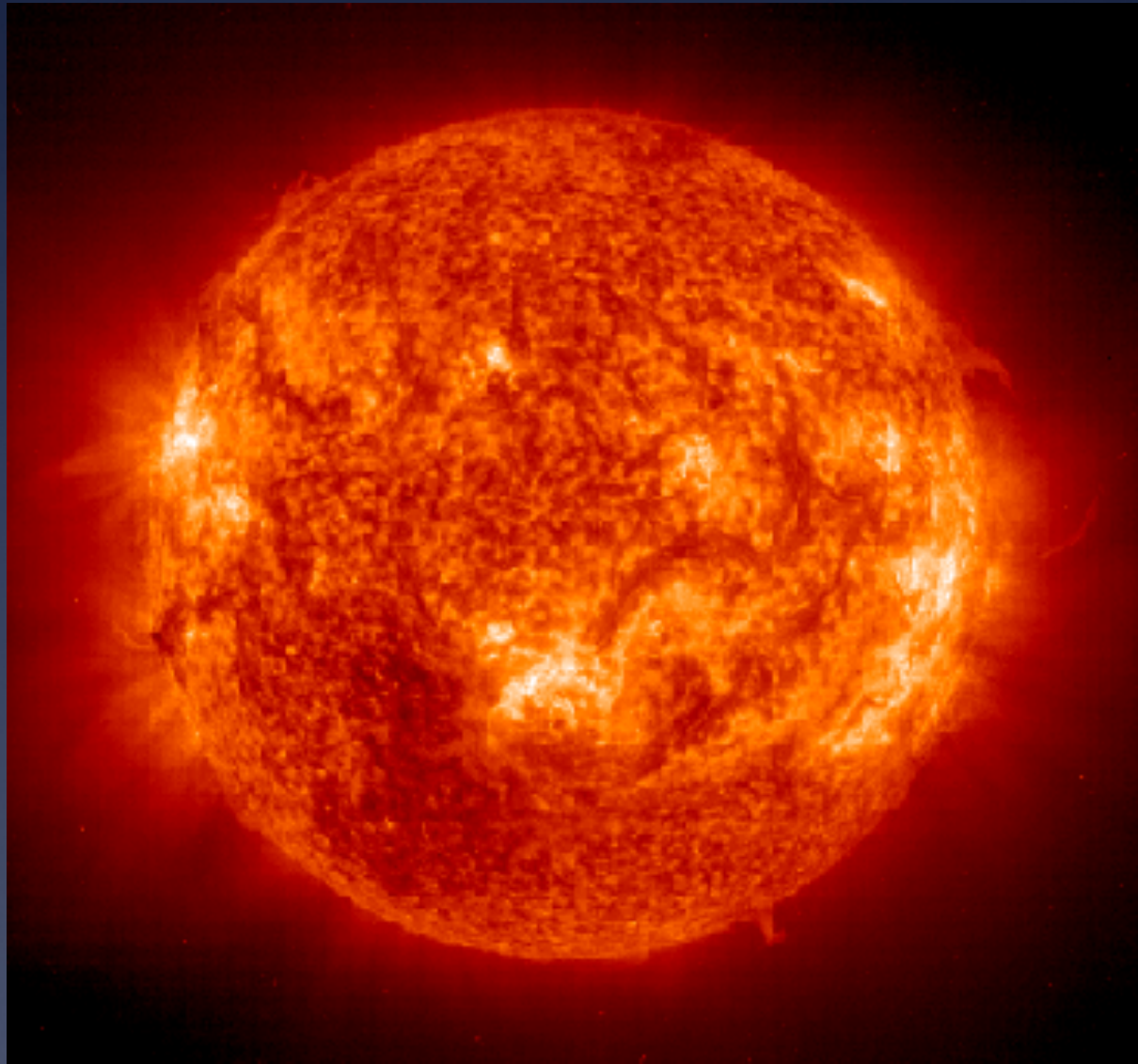


# 太陽



# 太陽はどこ？

別の銀河、  
そして遠くには  
もっとたくさんの銀河

アンドロメダ銀河

230万光年

たくさんの星の集まり  
銀河系

約10万光年

たくさんの星雲の連なり  
オリオン大星雲もそのひとつ

太陽系のあるところ

# 太陽は

ニュートリノ\*を発生する

太陽ニュートリノは「振動」する？

その一生

生まれたのは...

数十億年後には...

\* ノーベル賞の常連？

太陽ニュートリノ    Davis    2002

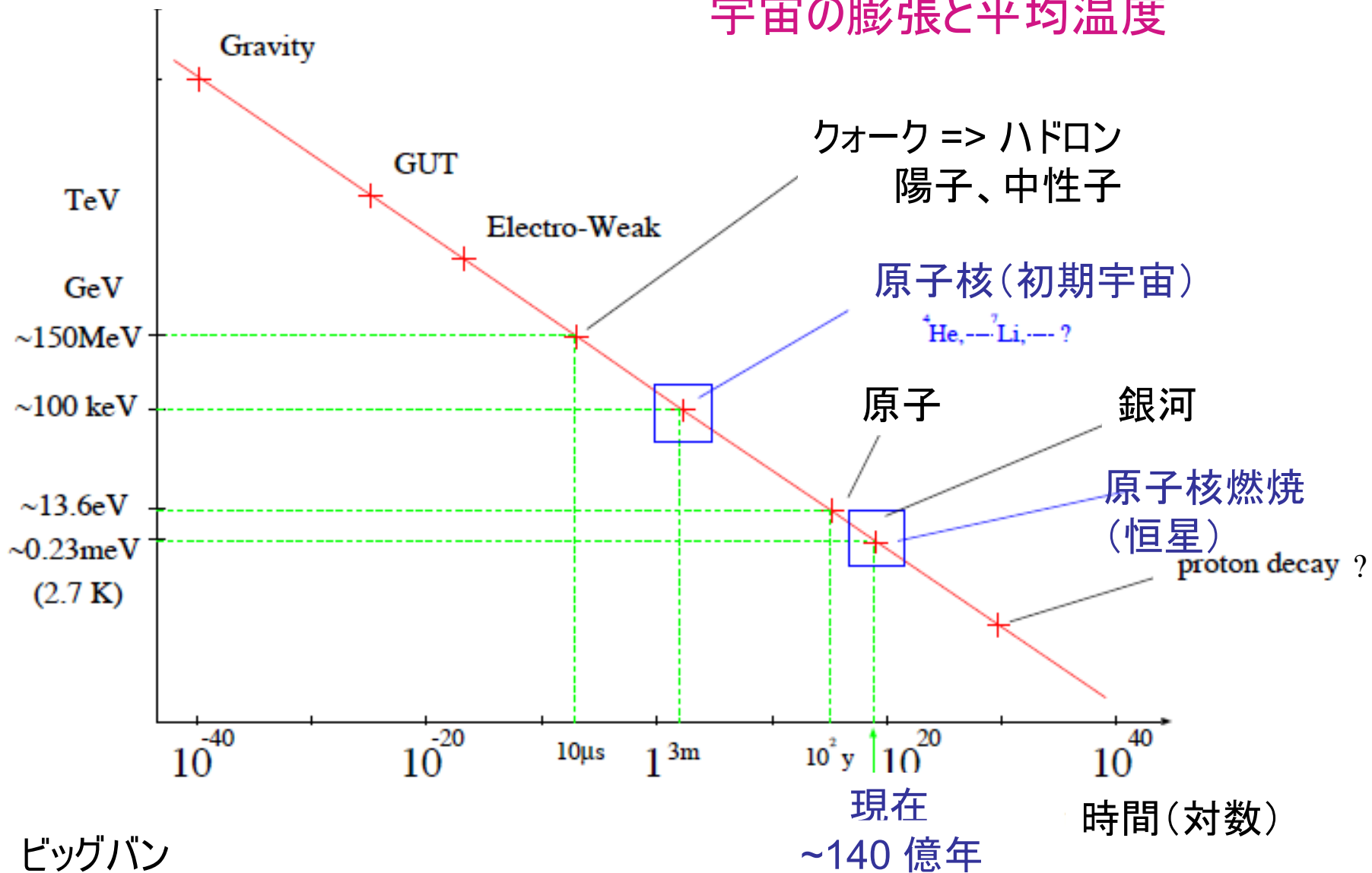
超新星ニュートリノ – 小柴    2002

大気ニュートリノ – 梶田    2015

# 宇宙の(熱的)歴史

## 宇宙の膨張と平均温度

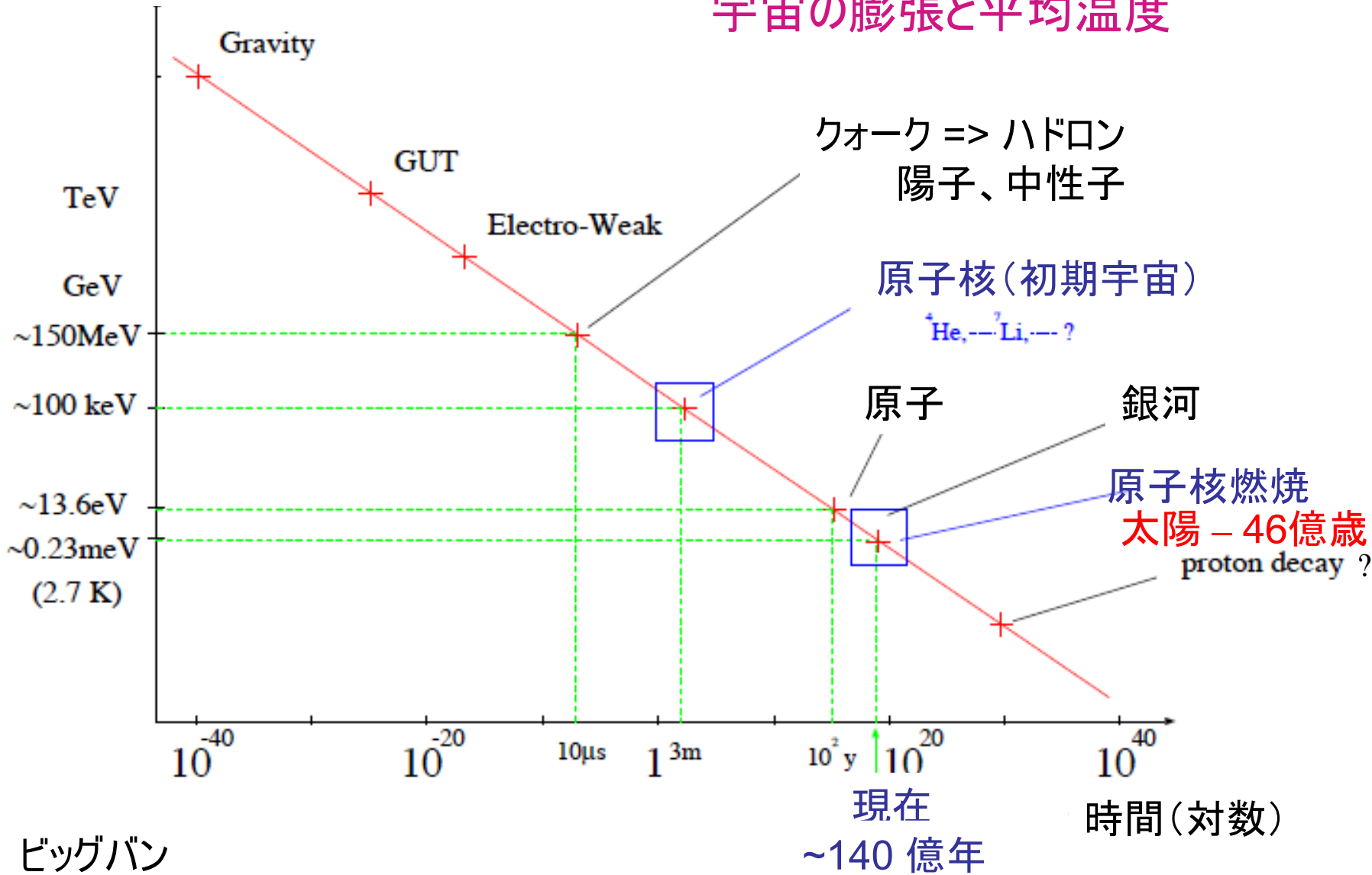
温度(対数)



# 宇宙の(熱的)歴史

## 宇宙の膨張と平均温度

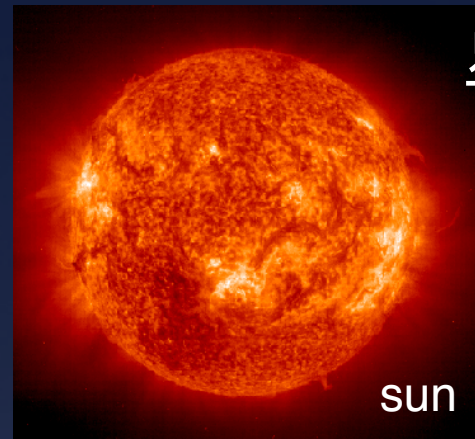
温度(対数)



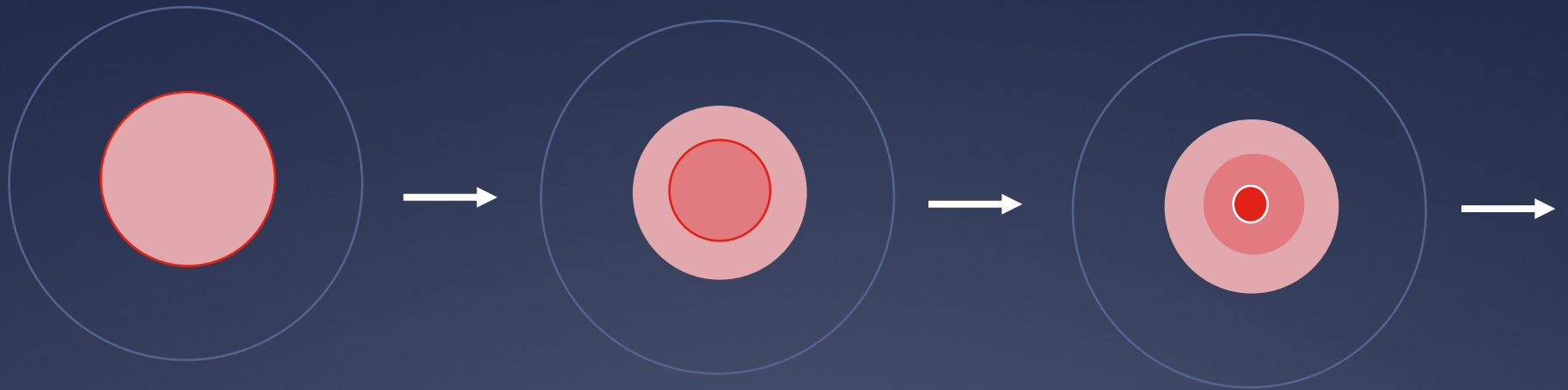
← ビッグバン

星は荷電粒子(原子核)の発熱反応によって光る.

重力による断熱圧縮により高温ガス中の核反応が点火



### 主系列星の進化



水素が「燃え」る

**太陽**

$kT \sim 1 \text{ keV}$

ヘリウムが「燃え」る

(ここまで)

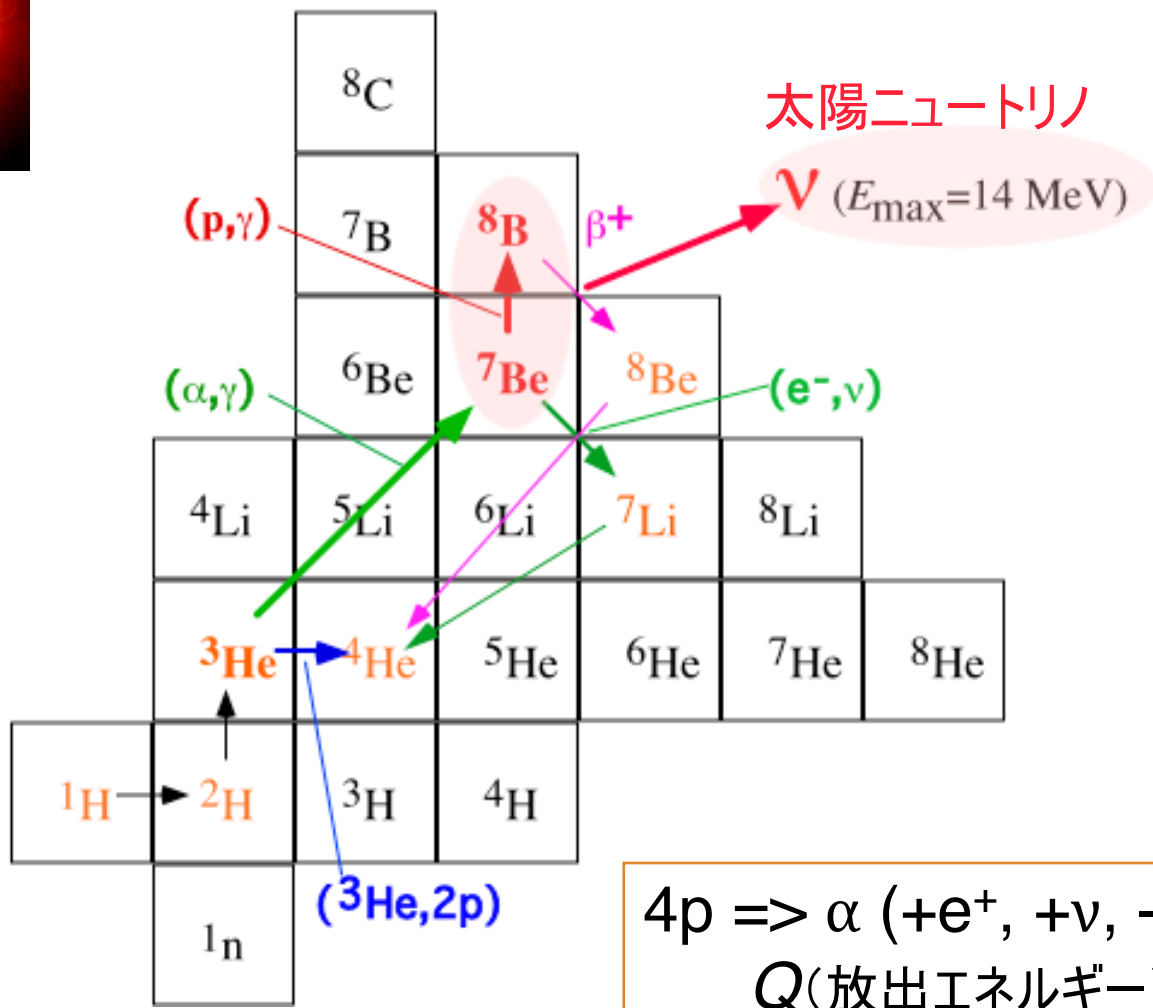
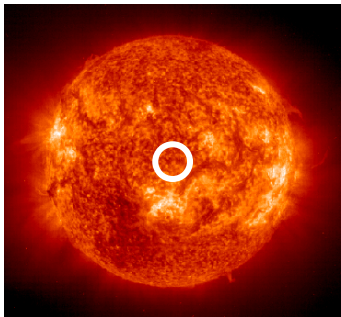
光の放射と重力がつりあう

炭素が「燃え」る

鉄まで.....

Stellar burning itself is nuclear process.

太陽の中心では陽子が燃えてヘリウムに、そしてニュートリノ発生 「p-pチェーン」



$4p \Rightarrow \alpha (+e^+, +\nu, -e^-)$   
 $Q(\text{放出エネルギー}) \sim 26 \text{ MeV}$

# 太陽ニュートリノの不思議 -- $^8\text{B}$ 問題

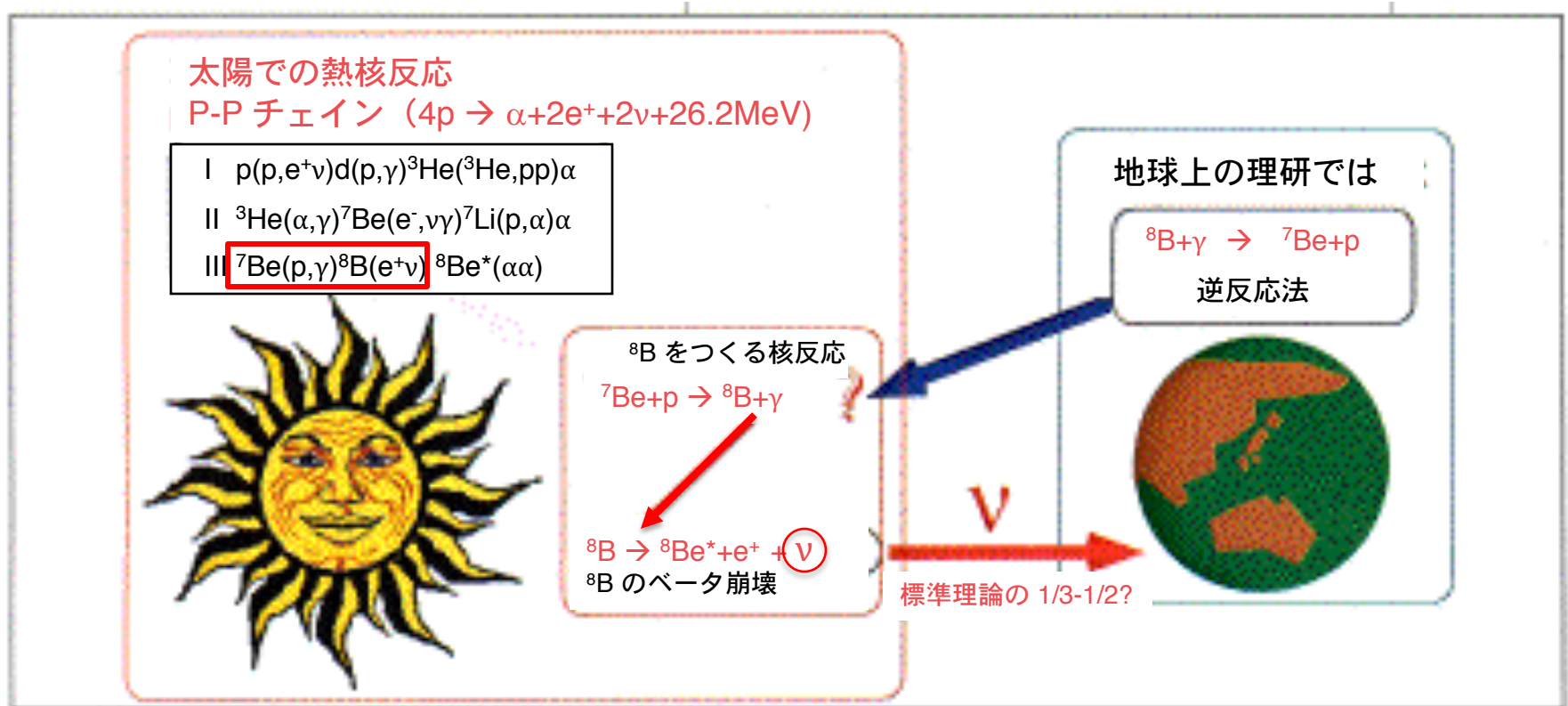


図 4 太陽ニュートリノ問題





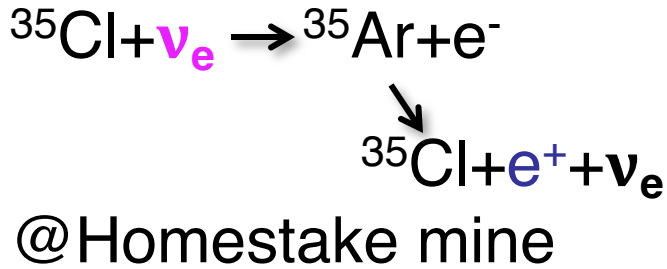
### The Nobel Prize in Physics 2002

"for pioneering contributions to astrophysics, in particular for the detection of cosmic neutrinos"

"for pioneering contributions to astrophysics, which have led to the discovery of cosmic X-ray sources"

小柴さんと一緒にもらった Davis (長生きも<sup>v</sup>秘訣)

X



最初は  
太陽の温度を測ろうと思った  
後に  
温度は別の方法で測れた  
ところが.....

2019



Raymond Davis Jr.

🕒 1/4 of the prize

USA

University of Pennsylvania  
Philadelphia, PA, USA

b. 1914



Masatoshi Koshiwa

🕒 1/4 of the prize

Japan

University of Tokyo  
Tokyo, Japan

b. 1926



Riccardo Giacconi

🕒 1/2 of the prize

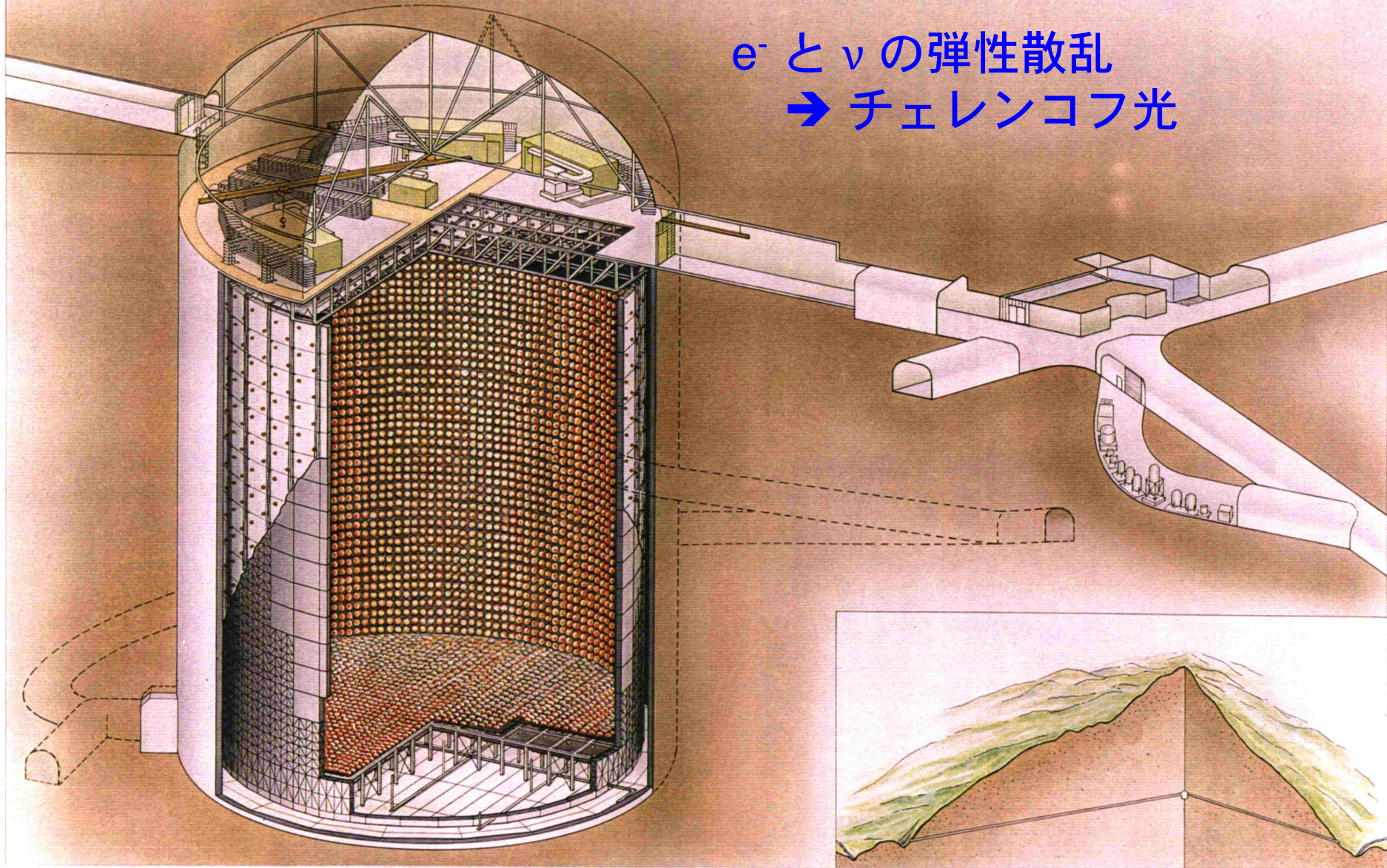
USA

Associated Universities  
Inc.  
Washington, DC, USA

b. 1931  
(in Genoa, Italy)

# 小柴さんの (Super) Kamiokande

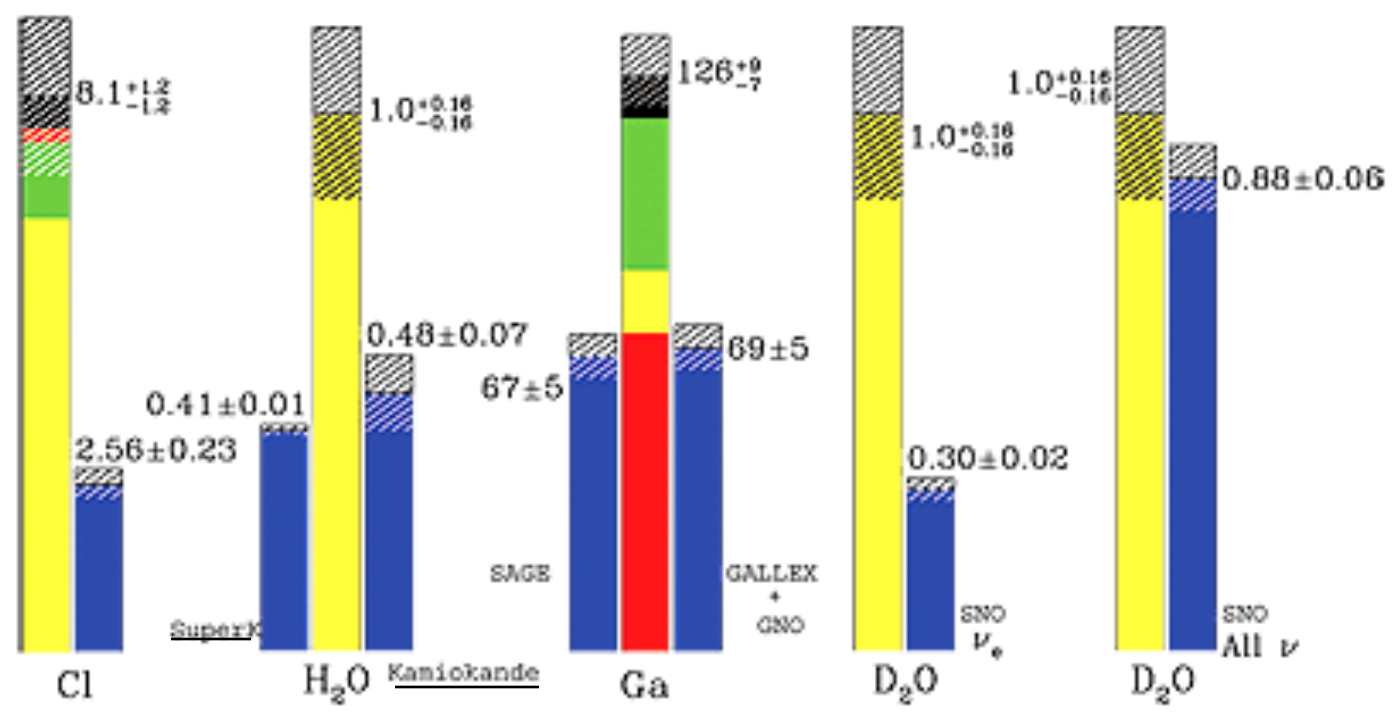
$e^-$  と  $\nu$  の弾性散乱  
→ チェレンコフ光



東京大学宇宙線研究所神岡宇宙素粒子研究施設

# 測って見るとニュートリノ(束)が足りない！

Total Rates: Standard Model vs. Experiment  
Bahcall-Serenelli 2005 [BS05(OP)]



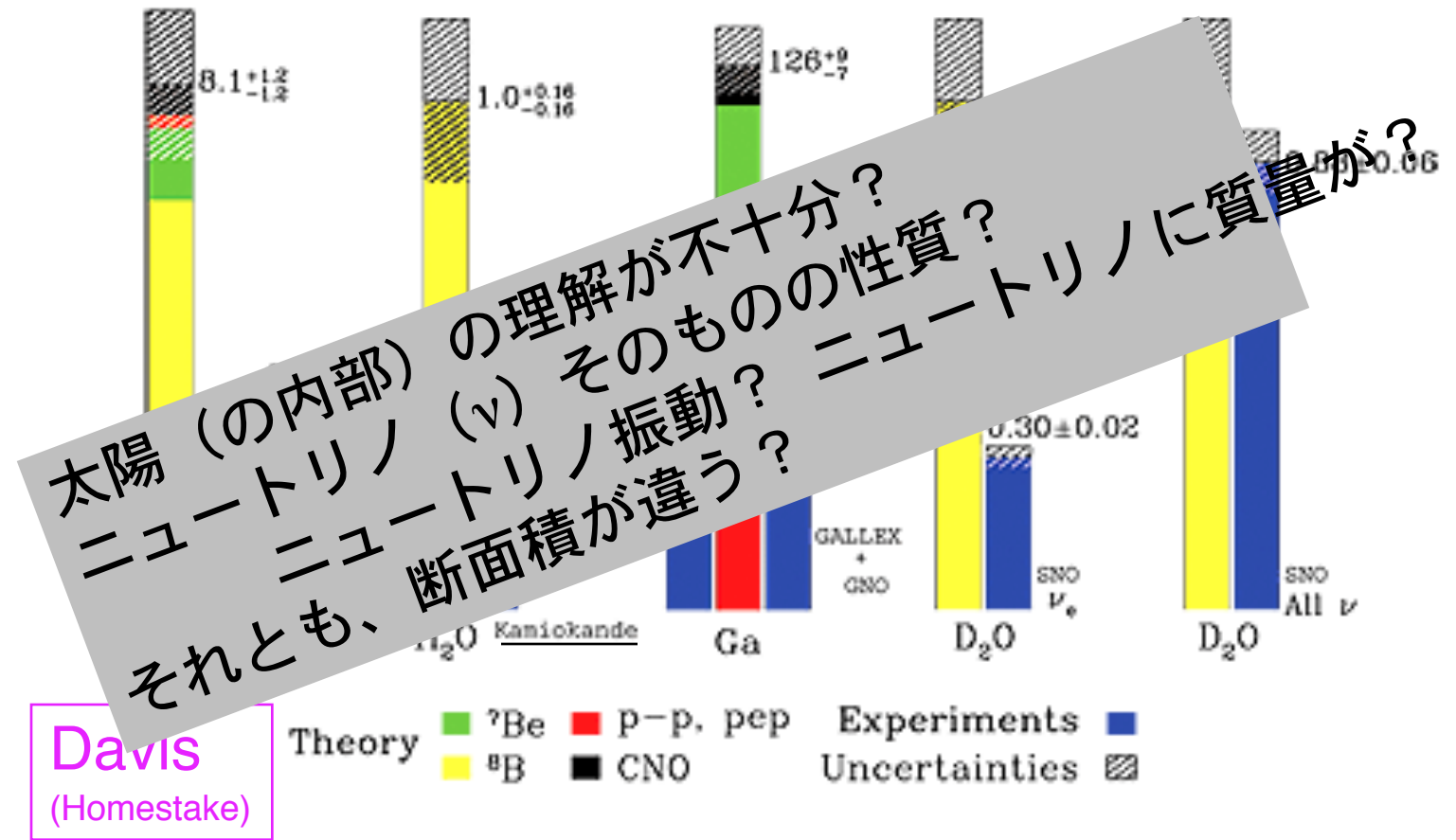
Davis  
(Homestake)

Theory ■  $^7\text{Be}$  ■ p-p, pep ■ Experiments  
■  $^{10}\text{B}$  ■ CNO  Uncertainties

by J.N. Bahcall

# 測って見るとニュートリノ(束)が足りない！

Total Rates: Standard Model vs. Experiment  
Bahcall-Serenelli 2005 [BS05(OP)]



自習課題 -- 再来週授業時提出 - 形式任意

太陽について

1. 知っていること
2. 知りたいこと(疑問)