

自然界の微妙な安定性

宇宙の安定を保持する5つの障壁

「素」粒子の質量

相互作用定数の大きさ

相互作用定数の間の関係

幸運な偶然の連鎖の実例

宇宙の安定性を保持する5つの障壁 (hangup)

宇宙のもつ種々の形態のエネルギー

重力エネルギー、熱、光、核エネルギー

化学エネルギーは、現代の人間活動に主要な役割を果たしているが、宇宙全体としては取るに足らない程度の量しかない。

- (1) 大きさという障壁
- (2) 天体の自転、公転という障壁
- (3) 熱核反応という障壁
- (4) 弱い相互作用の低効率という障壁
- (5) 表面張力という障壁

宇宙の安定性を保持する5つの障壁 (hangup)

宇宙のもつ種々の形態のエネルギーは

重力エネルギー、熱、光、核エネルギー

化学エネルギーは、現代の人間活動に主要な役割を果たしているが、宇宙全体としては取るに足らない程度の量しかない。

(1) 大きさという障壁

宇宙の重力崩壊時間は

平均密度の平方根に反比例する

→宇宙は大きいほど重力崩壊にいたる時間が長くなる

宇宙が大きい (平均密度が高い) と、

天体間の破局的な衝突を逃れる確率が低くなる

(2) 天体の自転、公転という障壁

**高速で自転している天体は
自らの重力による崩壊に耐えることができる**

**太陽系の中の惑星は
公転することにより太陽への墜落を逃れている！**

(3) 熱核反応という障壁

**太陽内において；陽子＋陽子→ヘリウムという
核融合反応により、莫大なエネルギーが放出
される**

⇒このエネルギーにより重力崩壊に耐えるこ

水素(核) が燃え尽きるまでは！

(4) 弱い相互作用の低効率という障壁

- 陽子 + 陽子 $\Rightarrow$ (弱い相互作用経由) 陽子 + 中性子 $\Rightarrow$ 重陽子
- 反応率は重陽子・重陽子反応に比べて、 10^{18} 分の1という低効率
 $\longleftrightarrow$ 水爆中の反応: $d+d \rightarrow 3\text{He}+n$

- (2陽子の束縛系 (=He 2核) は存在しない！)

もし、核力が数%強かったら、



このとき弱い相互作用の低い効率という障壁は存在しない

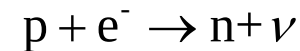
$\rightarrow$ 水素原子は短い時間に燃え尽きてしまう！

$\rightarrow$ 太陽は太く、短く生きて、地球は灼熱地獄、生命も誕生できる時間や、人類など知性体の進化までの時間はなかった！

(5) 表面張力という障壁

ウラン²³⁸やトリウム²³⁴などの重元素核において、表面張力が働いて、核分裂の可能性を低下させる。

もし、核表面張力が存在しなかったら、人類が利用できるまでに自発核分裂ですでに消滅していたであろう。



$$\Delta M \cdot c^2 \equiv M_n \cdot c^2 - M_p \cdot c^2 = 1.3 \text{ MeV}$$

電子の質量とその周辺の微妙さ

- **[1]原子の安定性の根拠**

- 生物の営みは化学反応に依存している。
- 化学反応は電子の交換や「共有」過程であるので、
- 電子は生命の根源を担う物質粒子である。
- 電子の特徴：
 - 1)質量は極端に小さいこと：陽子、中性子の1840分の1
 - 原子核のまわりの（基底状態における）平均半径は
 - 電子の質量に反比例している。
 - →電子がミュー粒子程度（約200倍）重いとすると、原子の大きさは200分の1になる
 - ⇒原子核による電子捕獲過程が速くなり、原子の寿命が短くなる
- 2) 中性子、陽子の質量差（エネルギー差）
- 3) 反応は禁止されている。（電子質量への制約）

$p + e^- \rightarrow n + \nu$ 反応は禁止されている。(電子質量への制約)

2) 中性子、陽子の質量差 (エネルギー差)

$$\Delta M \cdot c^2 \equiv M_n \cdot c^2 - M_p \cdot c^2 = 1.3 \text{ MeV}$$

生命の源としての元素

- 原子分子の化学的性質を決めるのは原子番号、
- 原子番号＝中性原子の電子数＝原子核の陽子数
- 原子分子の安定性の根拠としての原子核の安定性
- 素材としての炭素原子C
炭素原子C＝炭素12原子核＋電子6個
- 呼吸に必要な酸素分子
- 酸素原子O＝酸素16原子核＋電子8個

もしも太陽がPP連鎖反応ではなくCNOサイクルによりエネルギーを放出していたら

太陽より重い星ではCNOサイクル反応が優勢で、
以下の星ではpp連鎖反応が優勢

CNOサイクルが優勢であると、星の寿命はぐんと短くなる。
太陽質量の2倍で10億年、5倍の星では1億年

太陽系成立後46億年、地球では生命誕生後、36億年経過

⇒**太陽の2倍以上の星のまわりの惑星では、地球型の生命が進化する時間も、人類のような知性体が誕生する時間はない！**

太陽が10億－100億年の寿命を持つ秘密：

pp連鎖反応の最初の過程：陽子2個から重水素核を合成する反応において、 β 崩壊(陽子1個が中性子に転換する β 崩壊(=質量が重くなる反応！)が起きているため。

←(量子力学の) 不確定性関係と弱い相互作用があるために可能になっている！

核力の微妙なさじ加減

- **核力が5%弱かったら、重水素核は安定に存在できない**
⇒pp連鎖反応は存在しないことになる
- **核力が数%強かったら、陽子2個が結合した“ダイプロトン”が安定になる**
⇒ビッグバンでは陽子は残存しない。
- ⇒水素がなければ、その後の多様な元素合成は進まないし、水もできない。
- ⇒核力がほんの少し強くても弱くても、地球に存在する形態の生命は誕生できなかった。

**質量数5の原子核が存在しない
偶然**

はかなくもろい $\text{Be}8$ 核

恒星の内部で炭素¹²核の合成された偶然

恒星の内部で酸素¹⁶核が合成されすぎなかった偶然

Rプロセスでウランが生成されなかったら

- Fe以上の重い原子核は通常の状態の恒星内部では生成されない。
(←Fe 56核がもっとも安定な原子核)

Fe以上の重い原子核は星の末期としての超新星爆発の際に生成され
(=Rapid process)、宇宙空間に飛散する

1986年、ベクレルがウラン鉱からの放射能を発見したことが契機として、
ラザフォードによる原子核の発見、原子の構造、量子力学への発展
をもたらし、今日の科学・技術の礎となった。

ウラン²³⁵の核分裂連鎖反応により電力の30%以上はつくられている。

⇒もし、自然がウラン²³⁵、²³⁸を生成しなかったら、人類はまだ原子核
の存在に気づいていなかったかもしれない。

原子と原子核の魔法数が一致していない幸運

原子の魔法数：電子数＝2, 10, 18, 36, 54, 86

⇒ヘリウム、ネオンなど化学的に安定な単体の不活性ガス元素

原子核の魔法数：陽子または中性子数＝2, 8, 20, 28, 50など

魔法数に相当する原子核は安定なために、他の原子核に比べて宇宙に多く存在する。

陽子数8の酸素、20のカルシウムなど

原子と原子核の魔法数の微妙なずれが生命誕生に大きな意味をもっている。

←もし、原子と原子核の魔法数が一致していれば、太陽系に大量に存在する元素は不活性になり、化学反応によって種々の複雑な物質をつくり、生命にいたるという経過をとらなかったはず

→電磁気力と核力の、この宇宙で定まっている様(比)であるための偶然である。

宇宙におけるエネルギーと重力、核反応と放射

参考文献

- 1) 池内 了「宇宙と自然界の成り立ちを探る」(サイエンス社)
- 2) マーカス・チャウン「僕らは星のかけら一原子をつくった魔法の炉を探して」
(無名社)
- 3) P.C.W.ディビス「魔法の数 10^{40} 」(地人書館)
- 4) 谷畑勇夫「宇宙核物理学入門」(講談社ブルーバックス)
- 5) ビデオテープ「元素の起源を探る」(理研編)における望月洋子氏の解説
- 6) F.J.Dyson, Energy in the universe, in Scientific American, Vol.225,(1971),50
- 7) M. Livio, D. Hollowel, A.Weiss, and J.W.Truran, Nature, vol.340,(1989),281
The anthropic significance of the existence of an excited state of ^{12}C