

The slide features five light purple circles arranged in two rows. The top row has three circles, and the bottom row has two circles. The text is centered over these circles.

暴漲理論 引論

報告者：溫中承

大綱



- 幾個難題—有待決定的宇宙初始條件
- 解決辦法—暴漲如何回應這些問題
- 暴漲的模型與演進—這是怎麼發生的
- 暴漲理論與人擇原理—混沌(**chaotic**)暴漲

難題

- 均勻的早期宇宙([Horizon problem](#)) ! ?
- 平坦的宇宙([Flatness problem](#)) ! ?
- 重粒子在哪裡([Relic problem](#)) ! ?

暴漲理論

- 宇宙早期曾歷經一段迅速膨脹
- 估計：約在 10^{-35} 秒膨脹原來的 10^{30} 倍。(非暴漲理論僅有10倍)
- 解決之道

均勻的早期宇宙
([Horizon problem](#))

平坦的宇宙
([Flatness problem](#))

重粒子在哪裡
([Relic problem](#))

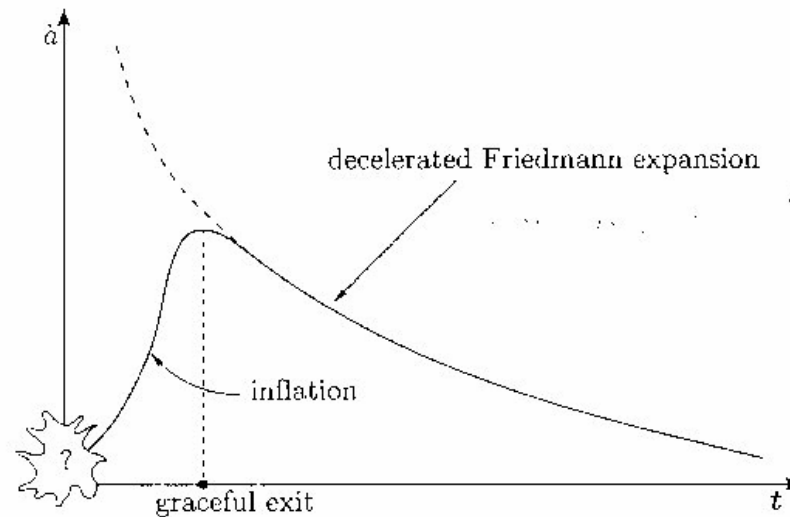


Fig. 5.1.

暴漲的模型與演進

- 爲什麼宇宙會暴漲？
- 觀點一：重力曾經是斥力，加速宇宙膨脹
- 觀點二：由Friedmann Eq $\ddot{a} = -\frac{4\pi G}{3}(\epsilon + 3p)a; p < 0$ (sometimes)
- 觀點一&觀點二的關係？
- 造成上述兩者的原因爲何？

暴漲的模型與演進

—宇宙常數與負壓力

- 愛因斯坦方程與宇宙常數

- $R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R - g_{\mu\nu} \Lambda = -8\pi G T_{\mu\nu}$ 爲了得到一靜態宇宙的解

$\Rightarrow R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = -8\pi G (T_{\mu\nu} - \frac{\Lambda}{8\pi G} g_{\mu\nu})$ 存在某些部正常的東西影響宇宙演化

- **Ex:** 考慮沒有物質存在的宇宙演化(de Sitter space)

→ 宇宙呈指數膨脹 $a \propto \exp(Ht)$

- **Ex:** 考慮 $\Lambda > 0$ ，真空中的能動張量的對角元(壓力項) < 0

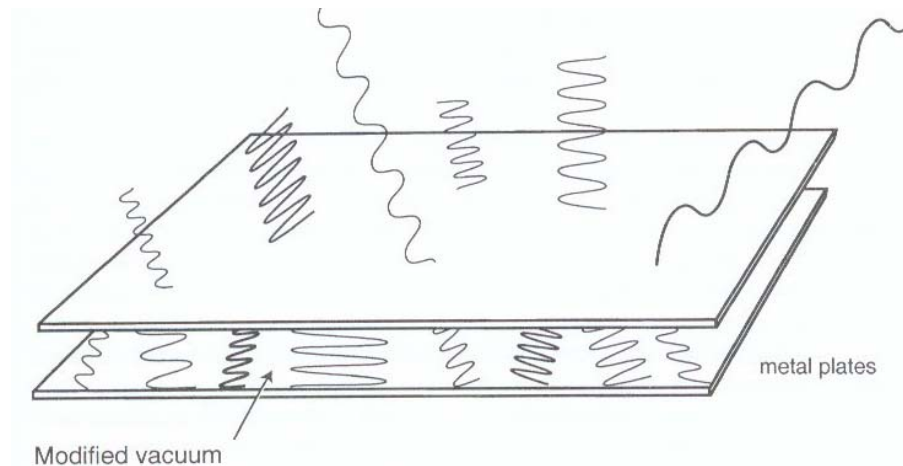
→ 負壓力

Λ 哪裡來？

暴漲的模型與演進—真空能量密度

- 測不準原理允許真空在短時間內產生正反粒子對(pair production)
- 量子場論觀點的真空與粒子
- 觀測證據：
- 量子場的能量：
 $E = \varepsilon \times V$
- 非零的真空能量密度相當於大於零的宇宙常數！

→暗能量

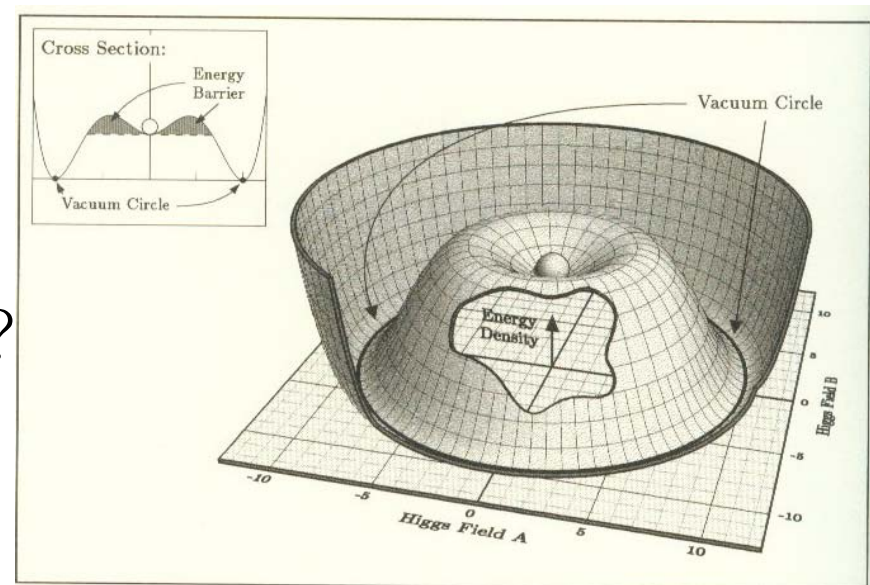


John F. Hawley (1998) p.425

暴漲的模型與演進—Guth暴漲理論

- 現有非零真空能量密度的最大值： 10 atoms/m^3
- 引發暴漲所需的真空能量密度：至少是此值的 10^{120} 倍。
- 第一位候選者：Higgs 粒子(場)
- Guth 的暴漲理論：
- 暴漲發生於false vacuum(非穩態平衡)，停止與true vacuum(穩態平衡)

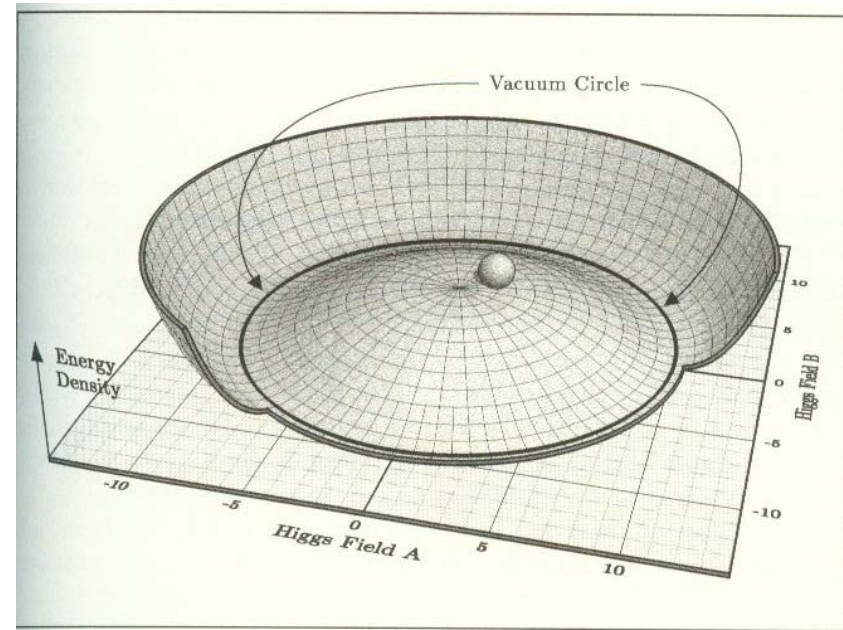
- 問題：暴漲的good ending?
Guth(1997) p.168



暴漲的模型與演進—新暴漲理論

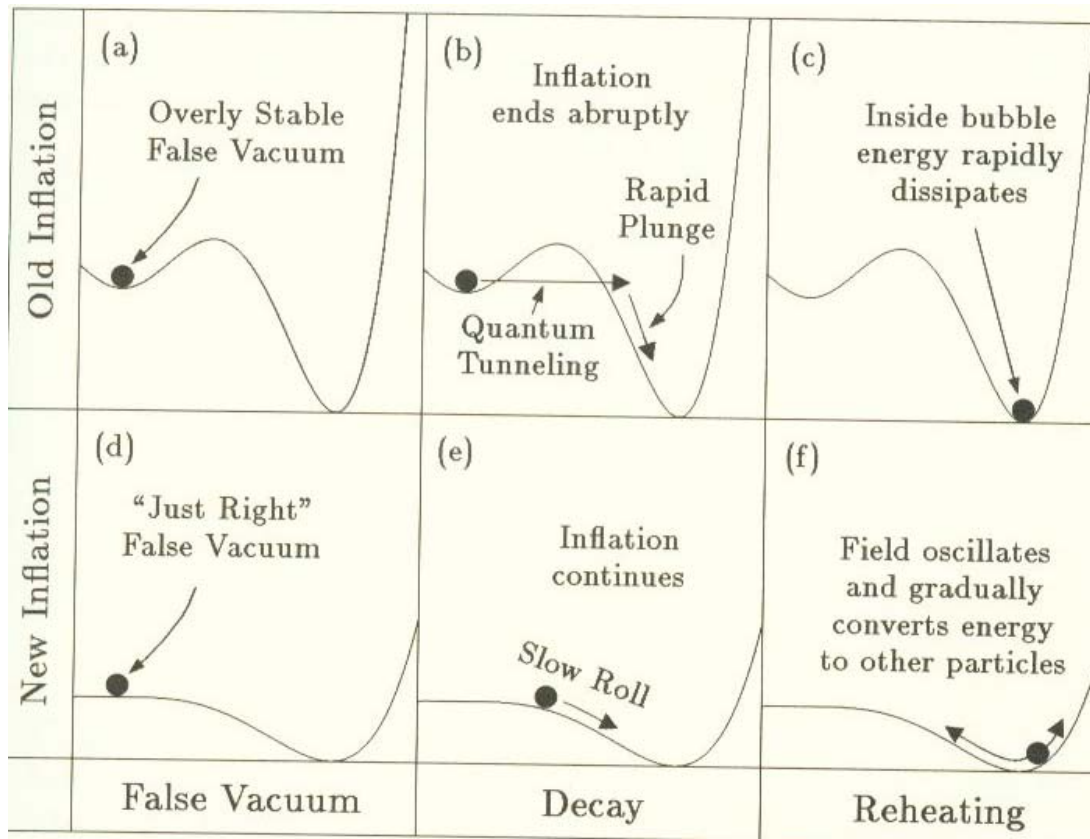
- Guth's 的暴漲理論導致一些與粒子理論和觀測不符的結果。Ex: 宇宙的均勻性質。
- 新暴漲理論(A. Linde, P. Steinhardt)
暴漲並非發生於Higgs 場的
False vacuum狀態。Linde 假設宇宙初期存在一種不為零的量子場(對應粒子稱作inflaton)，
暴漲發生於此量子場的相變過程。
且為了容許宇宙有足夠的時間暴漲同時保持均勻，量子場的梯度必須很小。

Guth(1997) p.209



暴漲的模型與演進—新暴漲理論

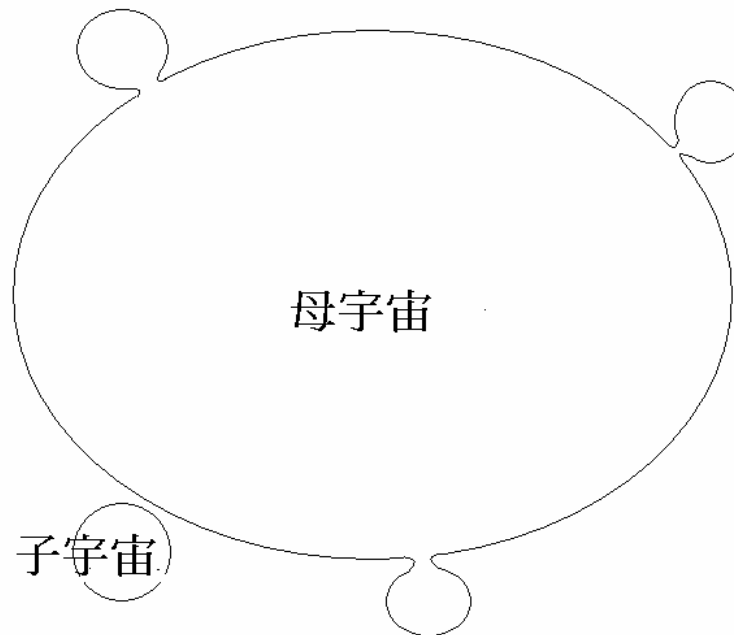
- 新舊暴漲理論的比較：




Guth(1997)p.221

暴漲理論與人擇原理

- 混沌暴漲模型(A. Linde)
- 量子場的漲落(fluctuation)促使宇宙某部分發生暴漲。
- 結果：



- 人擇原理



參考資料

- Guth <<The Inflationary Universe>>
- John F. Hawley etc. <<Foundation of Modern Cosmology>>
- Viaycheslav Mukhanov <<Phydical Foundations of Cosmology>>
- Guth; PRL D, vol.23, num. 2, 1981
- A.D. Linde; PRL, vol. 108B, num.6, 1982
- A.D. Linde; PRL, vol. 129B, num.3,4, 1983

均勻的早期宇宙(Horizon problem) ! ?

- 宇宙初始大小的估計： $l_i \sim ct_0 \frac{a_i}{a_0}$ ct_0 : 現在可見宇宙的大小

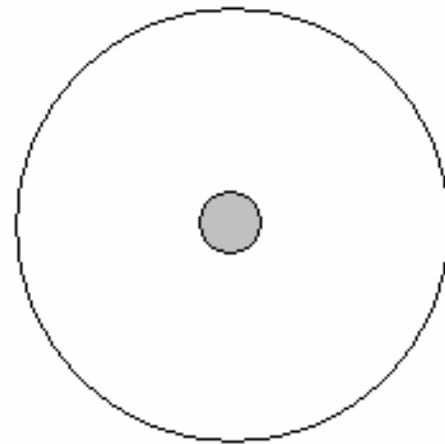
- 初始宇宙的光能達到的範圍(causal region)： $l_c \sim ct_i$

- 則 $\frac{l_i}{l_0} \sim \frac{t_0}{t_i} \frac{a_i}{a_0} \sim 10^{28}$ t_i 普朗克時間; 而 $a \propto$ 溫度

- 只有灰色部分能具備因果關係
(彼此影響)

換句話說，設 $\mathcal{R} \sim \frac{a}{t}$

$$\Rightarrow \frac{l_i}{l_c} \sim \frac{\mathcal{R}_i}{\mathcal{R}_0} \quad \text{若 } \mathcal{R} \ll 0(\text{always}) \Rightarrow \frac{\mathcal{R}_i}{\mathcal{R}_0} \gg 1 \Rightarrow \frac{l_i}{l_c} \ll 1$$



平坦的宇宙(Flatness problem)

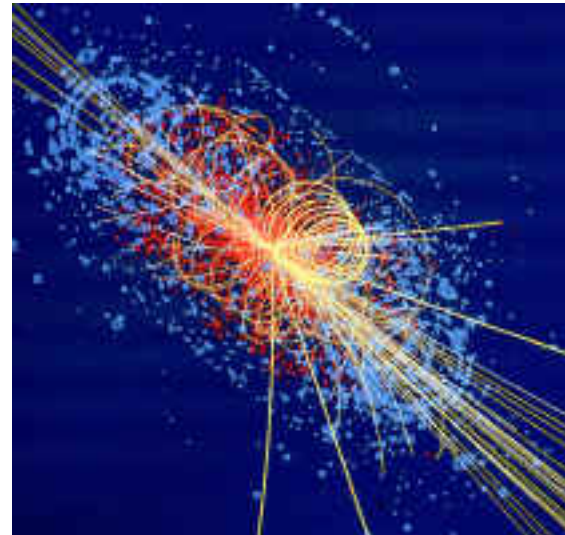
- 現今宇宙參數的觀測：0.1~2 (接近 1)

$$\Omega \equiv \frac{\rho}{\rho_c} = 1 + \frac{kc^2}{(Ha)^2} \sim \frac{kc^2}{(Ha)^2}$$

- 若 k 不接近 0，則 Ω 會隨時間變化與 1 相差甚遠
- 估計早期宇宙的 $\Omega = 1 \pm 10^{-14}$

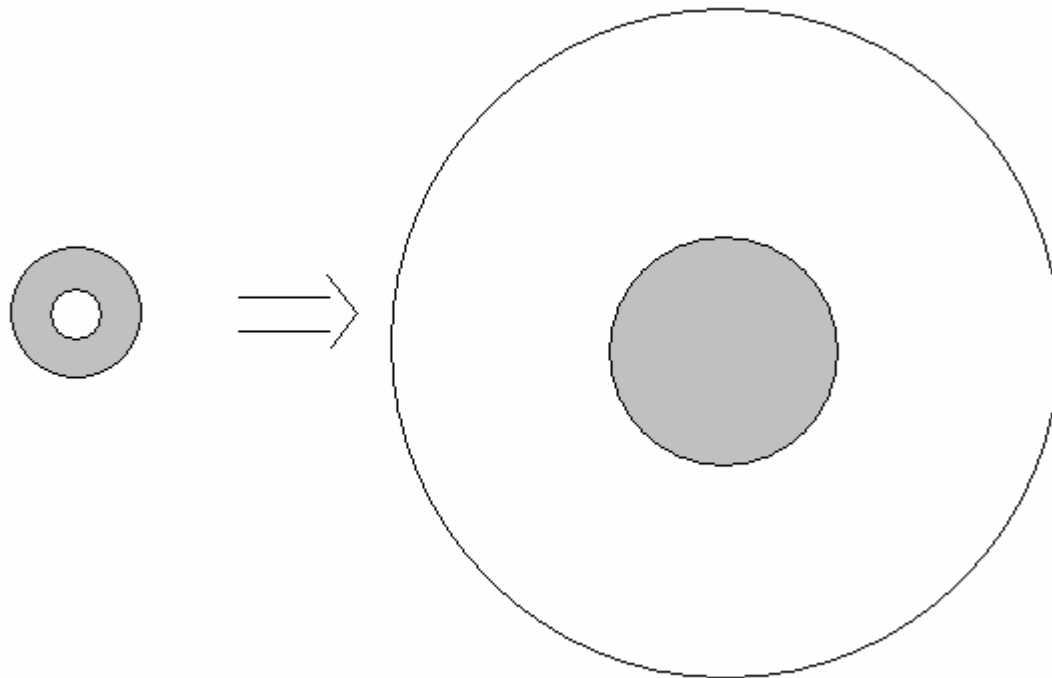
重粒子在哪裡(Relic problem)

- 一些高等粒子理論(例如**GUT**)預測某些質量很大的粒子存在
- 例如：磁單極粒子
- 至今我們對於早期宇宙的觀測仍無任何證據顯示它們的存在



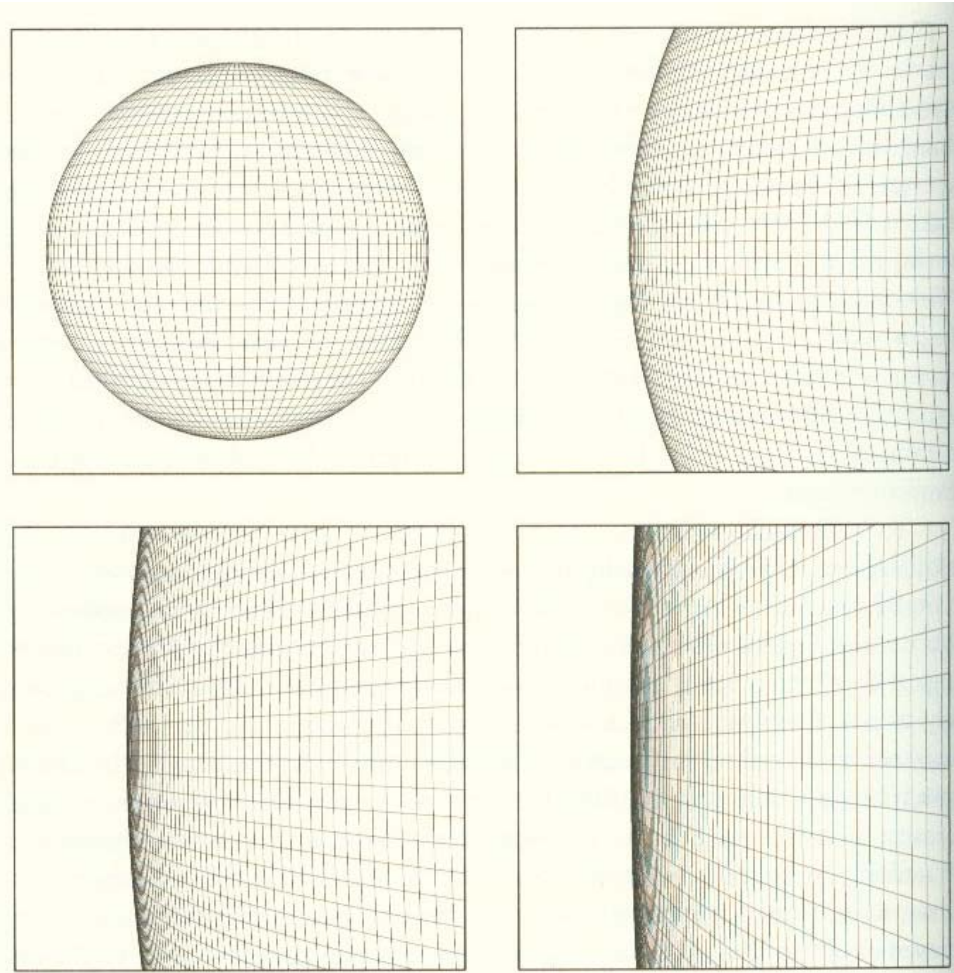
Horizon problem

- 曾有一段時間 $\dot{\rho} > 0$ (sometimes)
- 暴漲前 暴漲後



Flatness problem

- 重力效應的反向運作使得宇宙演化的行為反轉。
- 原本宇宙參數盡其所能遠離1，在暴漲時期則是儘可能趨近1
- 幾何解釋

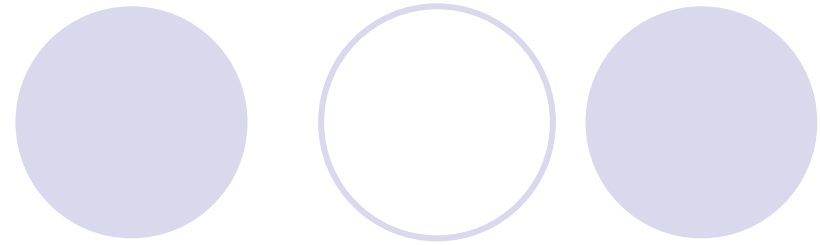
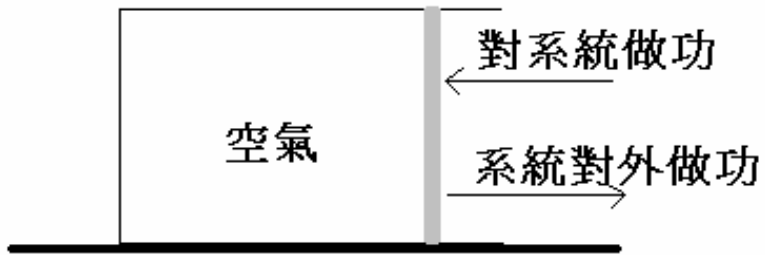


Guth(1997) p.178

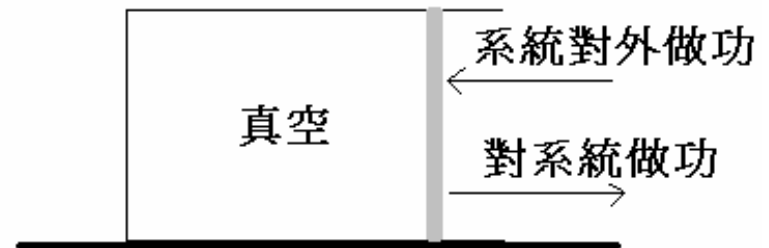
負壓力



正壓力



負壓力



$$T^{ii} = \text{壓力} = -\frac{\Lambda}{8\pi G} < 0$$

$$T^{00} = \text{能量密度} = \frac{\Lambda}{8\pi G} = \text{const} > 0$$