

# 全息暗能量

一. 暗能量问题

二. 超弦如何应对

三. 全息暗能量

四. 模型

五. 人择原理



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

一. 暗能量问题.

暗能量的一字最“自然”最简单的形式是真空能.

$$T_{\mu\nu} = -\rho_{\Lambda} g_{\mu\nu}.$$

用理想流体的形式可说

$$T_{\mu\nu} = \rho g_{\mu\nu} + (p + \rho) u_{\mu} u_{\nu}.$$

$$\Rightarrow p = -\rho.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

当然, 真空能用有效量子场论  
而这次来看必须是 Lorentz 不变的.

但是, 这是忽略引力的结果.

人们之所以忽略可解之  
非 Lorentz 不变, 是因为一直以来的  
总是认为一种理论之机制  
利便得.

$$p_{\mu} = 0.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

1998年. 两个独立的小组通过对 Ia 型超新星的 Hubble 图的分析得出结论.

$$\rho_{\Lambda} = \frac{2}{3} \rho_c.$$

$$\rho_c = 3M_p^2 H_0^2.$$

$$M_p^{-2} = 8\pi G.$$

Breaking news!



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

6 年 半. Ia 型 超 新 星. CMB 红 移  
以 及 LSS 红 移.  $\Rightarrow$ .

$$p_h \approx 0.70 p_c.$$

$$w = -1 \pm \begin{matrix} 0.2 \\ 0.2 \end{matrix}.$$

大 多 数  $\angle$  感 觉 到.  $p_h$  可 能 就  
是 “常 数”.

一 部  $\angle$  感 觉  $w < -1$ .

一 部  $\angle$  感 觉  $w > -1$ .



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

回到理论问题. 重复一下粒子  
物理学家的观点.

1. 宇宙学常数是一个引力问题.

因为在没有引力的场合, 我们已知  
流论是完备的.

2. 宇宙学常数是 -1/2 的引力问  
题.  $\Lambda_0$  总是被 quantum effects

所修正.  $\Lambda_0 + \Lambda_{qu} \sim 0$ . ???



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

16

S. Weinberg & 88 年 的 Review 里面。

对“理论”作了以下 5 个方面的

- ①. SUSY / String / Supergravity
- ②. Anthropic principle
- ③. Adjustment mechanism
- ④. Modifying Einstein theory
- ⑤. Quantum cosmology

与 20 世纪 70 年代之外，还有无数

“理论”。Quintessence, Phantom.

neutrino - mass - related, - - - - -



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路 99 号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

公也地说. 我们是在那里  
玩弄以之的七卷.

(念息晴触<sup>n</sup>也评是茅<sup>6</sup>卷?)

对晴触<sup>n</sup>之起院<sup>11</sup>院是<sup>1</sup>

无<sup>2</sup>之<sup>3</sup>.

2. 2. Observational cosmology will  
still lead the way. 10 2.

20 2 ?



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>



二. 超弦如何反对

自然性与对称性

$\rho_{\Lambda} / m^4 \ll 1$ .  $m$  规范粒子

物理学中的能量尺度

所以  $\rho_{\Lambda}$  的观测值是不

自然的

解释 - 一个自然的无量纲数

同时保持



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

超对称需要是一个选择.

因为, 如果,  $Q|\Omega\rangle = 0$ , 则.

$$H \sim 2Q^\dagger Q|\Omega\rangle = 0.$$

但是, SUSY 是破缺的.

一般地, 我们得到.

$$P_n \sim (\Delta M)^4. \quad \Delta M \geq 100 \text{ GeV}!$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

引入超引力.

$$V = e^{8\pi G K} (G^{i\bar{j}} D_i W \overline{D_{\bar{j}} W} - 24\pi G |W|^2)$$

$$(D_i W = \partial_i W + \partial_i K 8\pi G W)$$

如果

$$D_i W \neq 0.$$

Susy 破缺. 此时需要

$W \neq 0$ . 两项抵消.

+ 几项, 所以, 快一点这样的模型

组抵消只是在 tree level 上

最近. String landscape in 研究

用到了  $V$ , 微扰需要

一些处理.



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

总的流程

不是是 String, 不是 SUSY 机制

概念与连接与双峰与决定与

一个大的宇宙学常数

String landscape :

$H_2$ ,  $F_3$ ,  $H_3$ , Flux, branes - antibranes

massless moduli: 数量可以无限

之下.  $V$  通过 Brown-Teitelboim

机制 (Polchinski-Busso)

机制  $\sim \rho_n$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

理论. 可能存在. 许多现象  
是  $12$  维限制, 也很接近.

Standard model. in compactification

String 是否有了预言能力吗?

三种可能.

①. 没有预言能力.

②. 选择后可能存在.

③. 需要一定的人为干预

始集中.



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

三. 宇宙暗能量

从 Einstein 方程

$$3M_p^2 H^2 = \rho_\Lambda + \rho_m.$$

来看, 如果  $\rho_\Lambda \sim \rho_c = 3M_p^2 H^2$ , 一个最为方便的假设就是, 宇宙中只存在暗能量.

$$\rho_\Lambda = 3d^2 M_p^2 H^2. \quad d = \text{const.}$$

如果我们假设  $H^{-1} = L$  作为一个

宇宙学截断, 则

$$\rho_\Lambda = 3d^2 M_p^2 L^{-2}.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

11k

在什么情况下， $P_n$  与  $L^{-2}$   
成正比呢？

按说是与  $L^{-2}$  成正比

$P_n$  与  $UV$ -cut-off 有关

如果  $P_n \sim L^{-2}$ ，则  $UV$  cut-off

与  $IR$  cut-off 有关

$UV-IR$  关系是 ...



中国上海浦东秀浦路99号  
Add: No. 99, South xiupu, shanghai  
TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320  
P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

1/5

现在.

$$\rho \sim L^{-2} \quad (\text{为什么})$$

$$E = \rho L^3 \sim L.$$

这比是量纲分析的结果. (为什么)

A. Cohen, D. Kaplan, A. Nelson

建议. - 1/2 有  $\frac{12}{8} \approx 1.5$  是

比次满足.

$$E \leq E_{\text{BH}}(L).$$

$$\Rightarrow \rho \sim M_{\text{P}}^2 L^{-2} = M_{\text{P}}^2 H^2.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn



Hsu & Zee 指出, 这个 argument  
是错的.

Zee 说: "This reminds us of  
a physicist near nerve-breaking  
down".

所以, 这个 argument 是错的.  
因为 (the argument) is wrong. out-of-L.  
的.

$$L \sim -f_{\Lambda} L^4.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

假设  $m$ . 因为  $\frac{h}{m \lambda}$  是动量,  $(\frac{h}{m \lambda})^2$  是动能. 所以  $\frac{h}{m \lambda} \sim \sqrt{M_p^4 / l_h}$

可知.

$$A = (l_h L^4 + M_p^4 / l_h)$$

$\frac{h}{2a}$

$$l_h = M_p^4 / L^2.$$

L. 取 Stationary value (对 L)



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC BRANCH INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

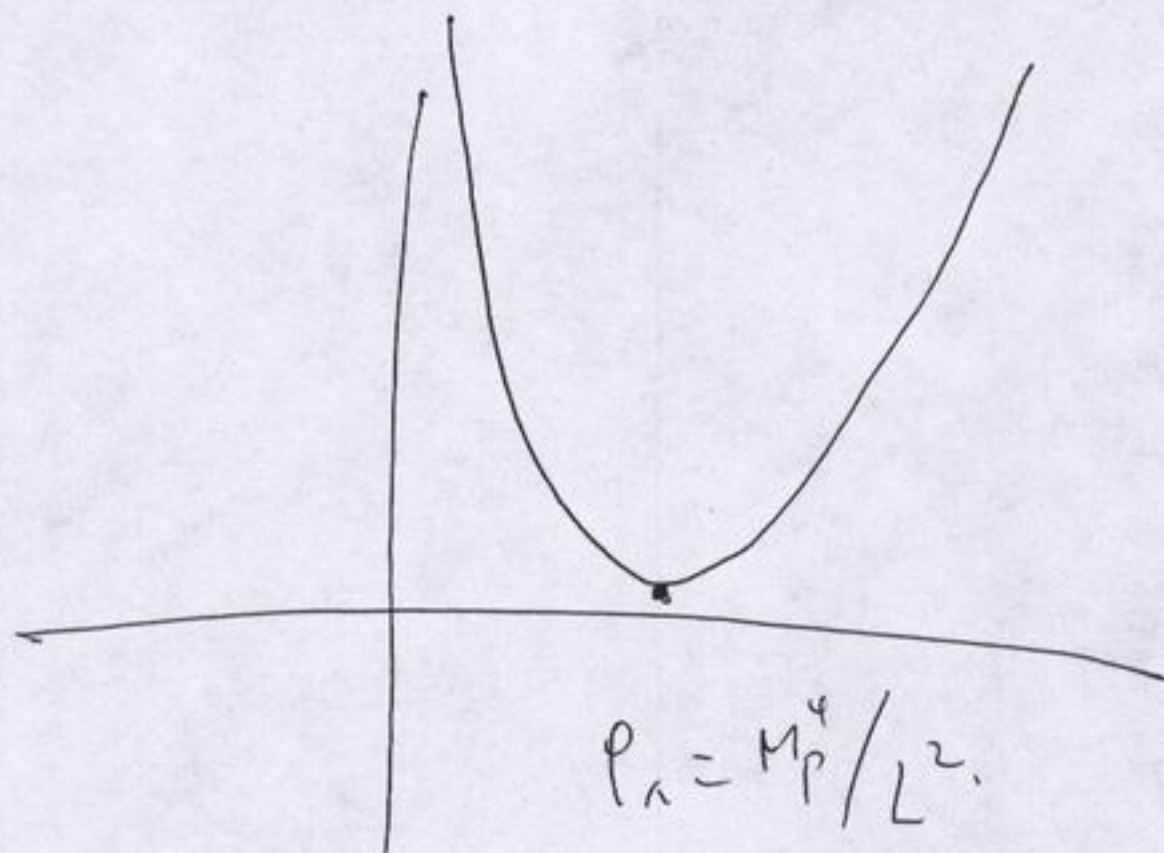
Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

一个更为合适的流法是

$$V(l_n) = \rho_n L^3 + \frac{M_P^4}{\rho_n L}$$



当  $\rho_n = M_P^4 / L^2$  时取极小



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

Cardy-Verlinde formula.

熵与面积成正比。H<sup>2</sup> 到 Verlinde

建立时，在  $n$  维时空中 CFT 中，应该有  $n-1$  个自由度。Cardy 公式。

$$S = \frac{4\pi L}{n-1} (\bar{E}_c \bar{E}_e)^{1/2}$$

$\bar{E}_c$  — Casimir energy

$\bar{E}_e$  — Extensive energy

2R 时,  $n=3$ ,  $\bar{E}_e \sim \Lambda L^3$ ,  $\bar{E}_c \sim \frac{M_p^4}{\Lambda L}$

$$\Rightarrow (\bar{E}_c \bar{E}_e)^{1/2} L \sim M_p^2 L^2$$

Horizon entropy!



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

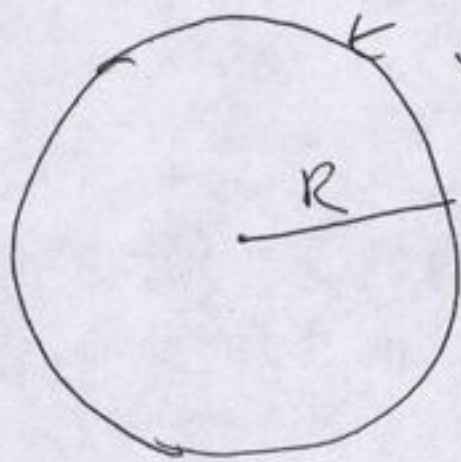
中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

更为普遍地.



$$V = \frac{\Omega_{n-1}}{n} R^n.$$

$$E_e = \rho_\Lambda \frac{\Omega_{n-1}}{n} R^n.$$

$\frac{1}{2} \frac{1}{n}$  universe in bulk energy, (the  
 of the time is also the  $\frac{1}{2} \frac{1}{n}$  CFT in ~~exten~~  
 extensive energy.

$$S_{GH} = \frac{\Omega_{n-1} R^{n-1}}{4G} = 2\pi \Omega_{n-1} M_p^{n-1} R^{n-1}.$$

$$\text{④ } S_{GH} = \frac{4\pi R}{n-1} (\bar{E}_c \bar{E}_e)^{1/2}.$$



中国科技大学  
 上海研究院  
**USTC-SIAS**  
USTC INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

取  $\bar{E}$  的推论.

$$\bar{E}_c = \frac{n(n-1)^2}{4n} \Omega_{n-1} M_p^{2n-2} R^{n-4}.$$

取  $n=3$ .

~~$$\bar{E}_c = 3 M_p^2 R^{-2}$$~~

$\bar{E}_e + \bar{E}_c$  代入 (1)  $\Rightarrow$

$$\Lambda = \frac{n(n-1)}{2} M_p^{n-2} R^{-2}.$$

取  $n=3$ .

$$\Lambda = 3 M_p^2 R^{-2} !$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

3. 四模型

S. Hsu 指出, 如果

$$\rho_{\Lambda} = 3d^2 M_p^2 H^2.$$

那么  $\rho_{\Lambda}$  又可以看作是暗能量  $\frac{\rho}{3}$  的  
反。如果

$$3M_p^2 H^2 = \rho_{\Lambda} + \rho_m.$$

$\rho_m$  = density of matter.

那么

$$\rho_m = 3(1-d^2) M_p^2 H^2.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

所以

$$p_m \sim p_n$$

$p_n$  在此态方程就与物质  
在此态方程一样。

接着, 我指出,  $L$  又可以采用非  
线性视界号中经过。

总之, 我尝试用粒子视界  
号中经过。

$$L = a(t) \int_0^t \frac{dt}{a}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDY

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>



L 可以写成:

$$L = a \int_0^a \frac{da}{Ha^2}$$

是这种... 情况  $\vec{H} \propto \frac{a}{s} \rightarrow$  在  $\frac{2}{3}$  等  $\vec{H}$  高时

$$3M_p^2 H^2 = 3d^2 M_p^2 L^{-2}$$

$$\Rightarrow HL = d$$

$$\Rightarrow \frac{1}{Ha^2} = d \frac{d}{da} \left( \frac{1}{Ha} \right)$$

$$\frac{1}{Ha} \propto a^{\frac{1}{d}} \quad L \propto a^{1+\frac{1}{d}}$$

$$P_h \propto a^{-2(1+\frac{1}{d})} = a^{-3(1+W)}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

这样.

$$w = -\frac{1}{3} + \frac{2}{3d} > -\frac{1}{3}$$

如果我们仍采用半经典近似

$$L = a \int_t^\infty \frac{dt}{a} = a \int_a^\infty \frac{da}{Ha^2}$$

$\frac{d}{a} \ln \frac{2}{a}$  时.

$$\rho_n \propto a^{-2(1-\frac{1}{d})}$$

$$w = -\frac{1}{3} - \frac{2}{3d} < -\frac{1}{3}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

由 (1) 可知  $\frac{d}{dt} L = H L - 1 = \frac{d}{\sqrt{\Omega_n}} - 1$ .

$$\frac{d}{dt} L = H L - 1 = \frac{d}{\sqrt{\Omega_n}} - 1.$$

$$(\Omega_n = \rho_n / \rho_c).$$

$$\frac{d}{dt} \rho_n = -6 d^2 M_p^2 L^{-3} \frac{d}{dt} L$$

$$= -2H \left(1 - \frac{1}{2} \sqrt{\Omega_n}\right) \rho_n.$$

(2) 为  $\frac{d}{dt} (\rho_n a^3) = -3 a^3 \rho_n H$

$$\rho_n = -\frac{1}{3} H^{-1} a^{-3} \frac{d}{dt} (\rho_n a^3)$$

$\Rightarrow$

$$W = -\frac{1}{3} \left( H \frac{d}{dt} \sqrt{\Omega_n} \right).$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

Friedman  $\dot{y} \dot{y}^2$ .

$\frac{1}{5} \dot{L}^2$

$$l_x = l_x^0 a^{-m}$$

$$3M_p^2 H^2 = l_r + l_x$$

因为  $L^2 = \frac{dx^2}{\Omega_r H^2}$

$$\Rightarrow \int_a^x \frac{da}{H a^2} = \frac{d}{\int \Omega_r H a}$$

F.E.

$$\Omega_x = l_x \dot{L} = \frac{l_x^0 a^{2-m}}{3M_p^2 H^2 a^2}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

⇒

$$\int_x^{\infty} dx e^{x \frac{m-2}{2}} (1-\Omega_k)^{\frac{1}{2}}$$

$$= da e^{x \frac{m-2}{2}} \Omega_k^{-\frac{1}{2}} (1-\Omega_k)^{\frac{1}{2}}$$

$$x = \ln a.$$

⇒

$$\frac{\Omega_k'}{\Omega_k} = \Omega_k (1-\Omega_k) \left( \frac{2}{d\Omega_k} + (m-2) \frac{1}{\Omega_k} \right)$$

$$y \sim \frac{1}{y}. \quad m \geq 2. \quad m \geq 2. \quad \Omega_k' > 0.$$

$\Omega_k$  将随着时间增长。



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

$\frac{d}{dt} m < 2$ .  $\Omega_m$  是常数.

$\Omega_m$ .  $\Omega_m$  随着时间之减小.

如果  $m=0$ . 对应于 inflation  
epoch.

$$\Omega_m \propto \frac{1}{a^2}.$$

“转换”角 $\theta$ :

$$d=1, \quad m=3.$$

$$\ln \Omega_m - \frac{1}{3} \ln(1 + \sqrt{\Omega_m}) + \ln(1 + \sqrt{\Omega_m}) \\ - \frac{8}{3} \ln(1 + 2\sqrt{\Omega_m}) = \ln a + \ln \kappa_0.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

$$a \rightarrow 0, \quad \Omega_n \rightarrow 1.$$

$$\sqrt{\Omega_n} = 1 - \frac{8}{3} \frac{2^3}{2^3} e^{-3x_0} a^{-3}.$$

$$p_n \approx p_c = \frac{8}{3} 2^{-4} e^{3x_0} l_m^0.$$

$$p_n^{\text{th}}(+\infty) = 0.9 p_n^0.$$

$$w_0 = -\frac{1}{3} - \frac{2}{3} \sqrt{\Omega_n^0} = -0.90.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

$\phi$  共定 解方 可得

$$p_n \sim \frac{1}{a^2}$$

在 暴胀 期

$$p_n = p_n^i \left( \frac{a_i}{a} \right)^2$$

如果 不是 慢滚

$$v_n = v_n^i \left( \frac{a_i}{a} \right)^2$$

$\phi$  inflation 可 得  $v_n^i \sim 1$

$$v_n = \left( \frac{a_i}{a} \right)^2 \quad v_n^e = \left( \frac{a_i}{a_e} \right)^2 = e^{-2N}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn



$g_{\nu}^e$  (in  $\bar{4}_c \sim \bar{3}_c$ )

$$\Omega_{\nu}^e \doteq \rho_{\nu}^0 a^{-2}$$

$$\Omega_{\nu}^e = \rho_{\nu}^0 a^{-2} \int g_{\nu} T_e^4$$

$$= \left( 10^{-3} \text{ eV} / T_e \right)^2$$

4.  $T_e \sim 10^{14} \text{ GeV} = 10^{23} \text{ eV}$ .

$$\Omega_{\nu}^e = 10^{-52} = e^{-2N}$$

$$N = -26 \ln 10 = 26 \times 2.3 = 60$$



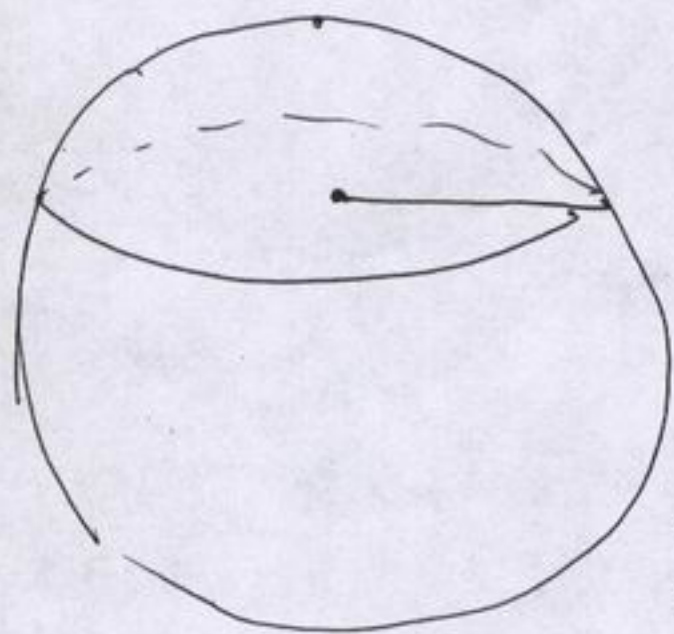
中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号  
Add: No. 99, South xiupu, shanghai  
TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320  
P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

当宇宙是封闭的时候 我们假设  
修改  $L$  为  $\int_0^{\infty} \frac{dt}{a(t)}$  不再

$$a \int_r^{\infty} \frac{dr}{a(r)}$$

$$[ ds^2 = -dt^2 + a^2 \left[ \frac{dr^2}{1-kr^2} + r^2 d\Omega^2 \right] ]$$



因为  $a \int_0^{\infty} \frac{dr}{a(r)}$  是  
径向半径, 所以是视  
界几何半径.

$$L = a r(t)$$

$$\int_0^{r(t)} \frac{dr}{\sqrt{1-kr^2}} = \int_t^{\infty} \frac{dt}{a}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

还有一个相同点。如果取  $d=1$ 。

在 de-Sitter 时空中，物理方程  $\frac{d}{dt} \rho_\Lambda = \text{const}$

给出。于是取  $L = a \int_t^\infty \frac{dt}{a}$

$$\frac{d}{dt} \rho_\Lambda = -6 M_p^2 L^{-3} \frac{d}{dt} L,$$

$$\dot{L} < 0.$$

$$\text{令 } y = L \sqrt{k/a}.$$

新的  $L$  为：

$$y(t) = \frac{1}{\sqrt{k}} \sin y.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

for  $z \in \mathbb{R}$ .

$$\frac{d}{dt} L = HL + a \dot{t}$$

$$= \frac{d}{\sqrt{v_n}} - (1 - kv^2)^{\frac{1}{2}} = \frac{d}{\sqrt{v_n}} - \cos y.$$

$$w = -\frac{1}{3} \left( 1 + \frac{2}{d} \sqrt{v_n} \cos y \right).$$

因为  $v_n$  可以小于 1,  $w$  有实根  $c-1$ .



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

## 2. 人择原理

S. Weinberg 也许是第一个认真地讨论人择原理在应用到宇宙学常数上的。

基本想法很简单，假如人，就必须有银河系。

粗糙的估计如下。太阳系结构形成于大约  $z = 5$  的时候，那时

$$\rho_m \leq \rho_m(z).$$

因此，
$$\rho_m(z) = (1+z)^3 \rho_m^0.$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号  
Add: No. 99, South xiupu, shanghai  
TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320  
P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

(M) 01.

$$\rho_n \leq 5^3 \rho_m^0 = 125 \rho_m^0.$$

当然, 应该有一个把 ~~概率~~ 概率分布这  
样.

$$\rho_n \sim \rho_m^0.$$

这就是所谓的  $n$  格瓦现象了  
一个不为 0 的宇宙学常数.



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

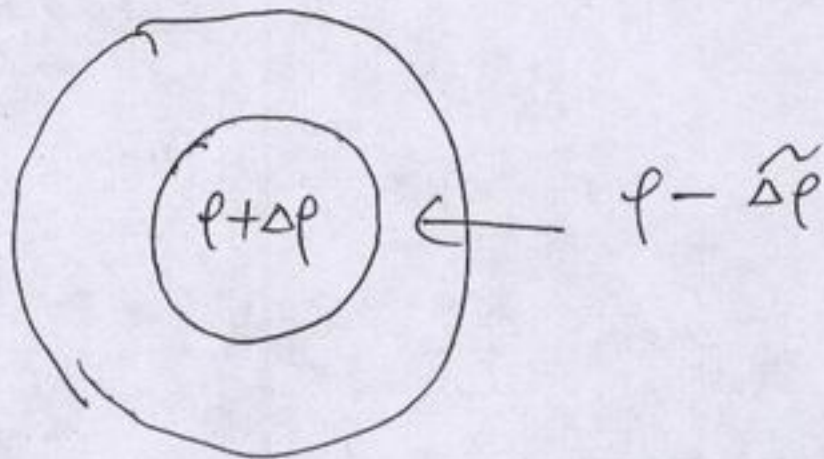
P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

此中的讨论表明 (见后)

$$\rho_{\text{in}} \leq \frac{500}{72\rho} \frac{\Delta\rho^3}{\bar{\rho}^2}$$

$\Delta\rho$  是  $\bar{\rho}$  的 over-density.

模型是



$$(\rho + \Delta\rho)v_1 + (\rho - \tilde{\Delta\rho})v_2 = \rho(v_1 + v_2)$$

一般取  $v_1 = v_2$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号  
Add: No. 99, South xiupu, shanghai  
TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320  
P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

$l_n$  在 1-体 瓦 观 测 提 之 下 的 几 率 分 布 是:

$$P_{\text{obs}}(l_n) = \frac{A(l_n)P(l_n)}{\int dl_n A(l_n)P(l_n)}$$

$P(l_n)$  是 a priori 的 几 率 分 布, 对  $l_n$  没 有 观 测.  $P(l_n) = \text{const.}$  (所 以)

$$P_{\text{obs}}(l_n) = \frac{A(l_n)}{\int dl_n A(l_n)}$$

$A(l_n)$  是 在 galaxy 的 在 baryon 的 几 率 分 布.



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号  
Add: No. 99, South xiupu, shanghai  
TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320  
P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>



- 一般地,  $A(l_n)$  是  $l_n$  的函数, 一般  $l_n$  的

量级  $l_n$ .  ~~$A(l_n) \sim \text{over-density} \times$~~

$A(l_n) \sim$  portion of gravitational

collapse.

$$\delta = \frac{\Delta \rho}{\rho}$$

$$A(l_n) = \int_{\delta_{\min}}^{\infty} \frac{|\delta_{\min}|}{\delta + \delta_{\min}} \delta F(\delta) d\delta$$

$$\delta_{\min} = \left( \frac{729 l_n^2}{500 \rho} \right)^{1/3}$$

$$F(\delta) = e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

这样, 我们令  $p_n > p_n^0$  在值

这里

$$P(p_n > p_n^0) = \frac{\int_{p_n^0}^{\infty} \bar{F}(p_n) dp_n}{\int_0^{\infty} \bar{F}(p_n) dp_n}$$

令取成团  $P_n$  为  $R = 1MPC$

$$P(p_n > p_n^0) = ~~88\%~~ 95\%$$

(Hsu et al.)

$p_n$  已经  
偏大

例子:  $R = 2MPC$

$$P(p_n > p_n^0) = ~~95\%~~ 88\%$$

平流层现在没有臭氧<sup>12</sup>



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 http://www.ustc-sias.sh.cn

有了合适的材料，我们重新设计  
 的，效率分布，

最合理的，由于不同的性质不同。

不同的项也是不同的，重新设计  
 的结果。

$$\delta > \frac{1}{0.103} \frac{p_n^{rec}}{\bar{p}}$$

由之可知其变成线性关系  
 这样。

$$P(p_n > p_n^0) = 28.2\%$$

$$R = 1 \text{ Mpc}$$

$$P(p_n > p_n^0) = 16.4\%$$

$$R = 2 \text{ Mpc}$$

$\bar{p}_n$  (偏)



Graesser 关于  $\frac{1}{R}$  的, 似乎  $\frac{1}{R} \sim \sigma$ .

类似. 则  $\sim$  理论模型更加 over-medict

$P_n$ :

$$P_{\text{obs}}(t_n) = \frac{\int A(t_n, \sigma) p(\sigma) d\sigma}{\int \int A(t_n, \sigma) p(\sigma) d\sigma dt_n}$$

- 类似,  $\delta x$  类似.  $p(\sigma) \sim \sigma$ .

$\int p(\sigma) d\sigma = d\lambda$   $\lambda$  coupling in  $V(\varphi)$

but,  $\lambda \sim \langle \sigma^2 \rangle$ .



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

这样, 我们得到.

$$P(l_n > l_n^0) = 99.96\%$$

$$\sigma \in [0.1\sigma_*, 10\sigma_*]$$

$$R = 1 \text{ Mpc.}$$

$$P(l_n > l_n^0) = 99.90\%$$

$$\sigma \in [0.1\sigma_*, 10\sigma_*]$$

$$R = 2 \text{ Mpc.}$$



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>

又<sup>y</sup>，同在 合息暗解<sup>n</sup> 与，我(4)也。

$$P_{\text{obs}}(l_n > l_n^0) = \text{~~97.7\%~~ } 79.7\%$$

$$\sigma \in [0.1 \sigma_*, 10 \sigma_*]$$

$$R = 1 \text{ Mpc.}$$

$$P_{\text{obs}}(l_n > l_n^0) = 73.6\%$$

$$\sigma \in [0.1 \sigma_*, 10 \sigma_*]$$

$$R = 2 \text{ Mpc.}$$

合息暗解<sup>2</sup> 更能满足 与 满足

呢!



中国科技大学  
上海研究院  
USTC-SIAS  
USTC SHANGHAI INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES

中国上海浦东秀浦路99号

Add: No. 99, South xiupu, Shanghai

TEL: +86 21 68120000 FAX: +86 21 68121320

P.C.: 201315 <http://www.ustc-sias.sh.cn>