

# 清华大学百年校庆

## TSINGHUA UNIVERSITY CENTENARY CELEBRATION

清华百年校庆标志以学校的代表性建筑—清华大学大礼堂的造型结合阿拉伯数字“100”同构而成，并辅以阿拉伯数字“1911-2011”，象征着百年学府深厚的 历史积淀 与浓厚的人文精神；标志上方礼堂园顶的造型，宛如 初升的太阳，寓意清华大学虽至百年仍像朝阳般充满活力；标志中间三角形的拱沿呈金字塔形，象征清华大学雄踞 学术之巅，肩负培养 拔尖创新人才 的历史使命；标志的色彩源自大礼堂的砖红色，既具有欢快喜庆的特征，又具有清华 自身的个性。

整个标志造型简洁庄重、寓意明确、识别力强，准确地体现了清华文化和百年校庆的主题。



# Phases of $SU(N)$ gauge theory

and

near **Conformal/walking Technicolor**

Dynamical Symmetry Breaking and walking 30 years

王青

2011年4月1-5日, NCTS Cross Strait Meeting on Particle Physics and Cosmology



# 电弱对称性 动力学自发破缺 四步曲

1. 引入 **Technicolor** 1979:  $\bar{T}(x)T(x)$  代替标量场 普通夸克; top 破缺电弱对称性!

无法给普通夸克、轻子质量

2. 引入 **Extended TC** 1980 给普通夸克、轻子质量:  $\frac{g_{\text{ETC}}^2}{M_{\text{ETC}}^2} \bar{\psi}\psi \langle \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \rangle$

压低味改变中性流 与 足够大的赝Goldstone质量 及 适当夸克、轻子质量冲突

$$\frac{g_{\text{ETC}}^2}{M_{\text{ETC}}^2} \bar{\psi}\psi \bar{\psi}\psi \quad \frac{g_{\text{ETC}}^2}{M_{\text{ETC}}^2} \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \langle \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \rangle \Rightarrow M^2 \sim m \frac{\langle \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \rangle}{F^2}$$

3. 引入 **walking** 1981-2010 **五步曲** 提高  $T_{\text{quark}}$  凝聚:  $\langle \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \rangle_{\text{ETC}} \stackrel{?}{\neq} \langle \bar{\mathbf{T}}\mathbf{T} \rangle_{\text{TC}}$

仍然无法给top夸克足够质量

4. 引入 **topcolor** 1995 或 **top seesaw** 1998 提高top质量 **seesaw** for neutrino masses ?

S参数过大?



$$\frac{\langle \overline{TT} \rangle_{\text{ETC}}}{\langle \overline{TT} \rangle_{\text{TC}}} = \exp \left[ \int_{\Lambda_{\text{TC}}}^{\Lambda_{\text{ETC}}} d \ln \mu \gamma(\alpha) \right] = \begin{cases} \left[ \ln \left( \frac{\Lambda_{\text{ETC}}}{\Lambda_{\text{TC}}} \right) \right]^C & \alpha \propto \frac{1}{\ln \mu} \\ \left[ \frac{\Lambda_{\text{ETC}}}{\Lambda_{\text{TC}}} \right]^{\gamma(\alpha^*)} & \alpha \cong \alpha^* \end{cases}$$

1. 1981 假设理论“非”渐进自由，存在 紫外固定点

2. 1986 考虑渐进自由，但在  $\Lambda_{\text{TC}} - \Lambda_{\text{ETC}}$  区间， $\beta$  很小

慢跑动

3. 1996 考虑基本表示，存在大于并接近临界值的 红外固定点

4. 2005 考虑“高维”表示，存在大于并接近临界值的 红外固定点

Wang Qing 5. 2010 考虑基本表示，“较”接近临界值  $0 < N_f^c - N_f < N_f^c$



# 跑动耦合常数 与 Schwinger-Dyson 方程

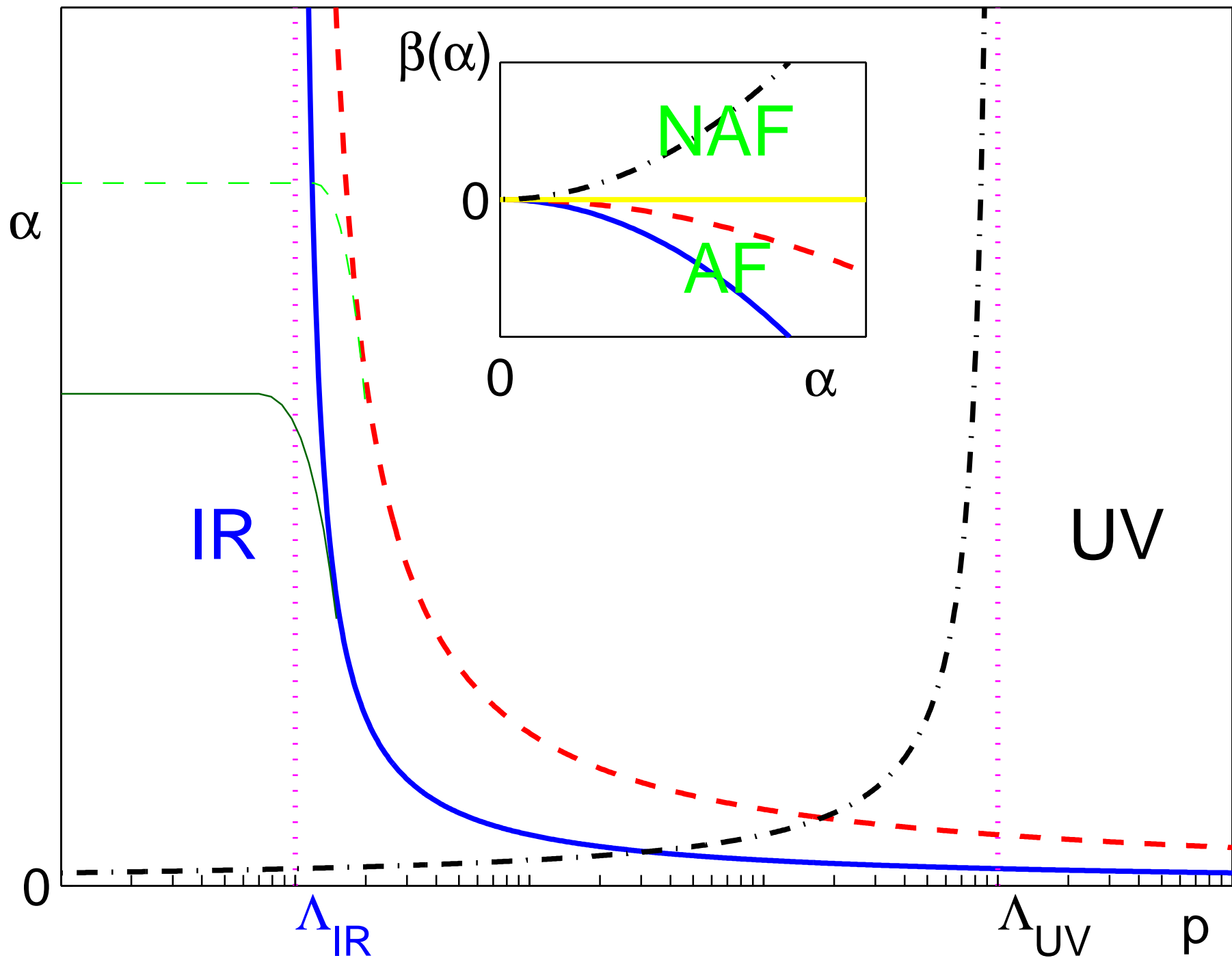
$$\mu \frac{\partial \alpha}{\partial \mu} = \beta(\alpha) \quad \beta(\alpha) = -\beta_0 \frac{g^3}{(4\pi)^2} - \beta_1 \frac{g^5}{(4\pi)^4} \quad \alpha \equiv \frac{g^2}{4\pi}$$

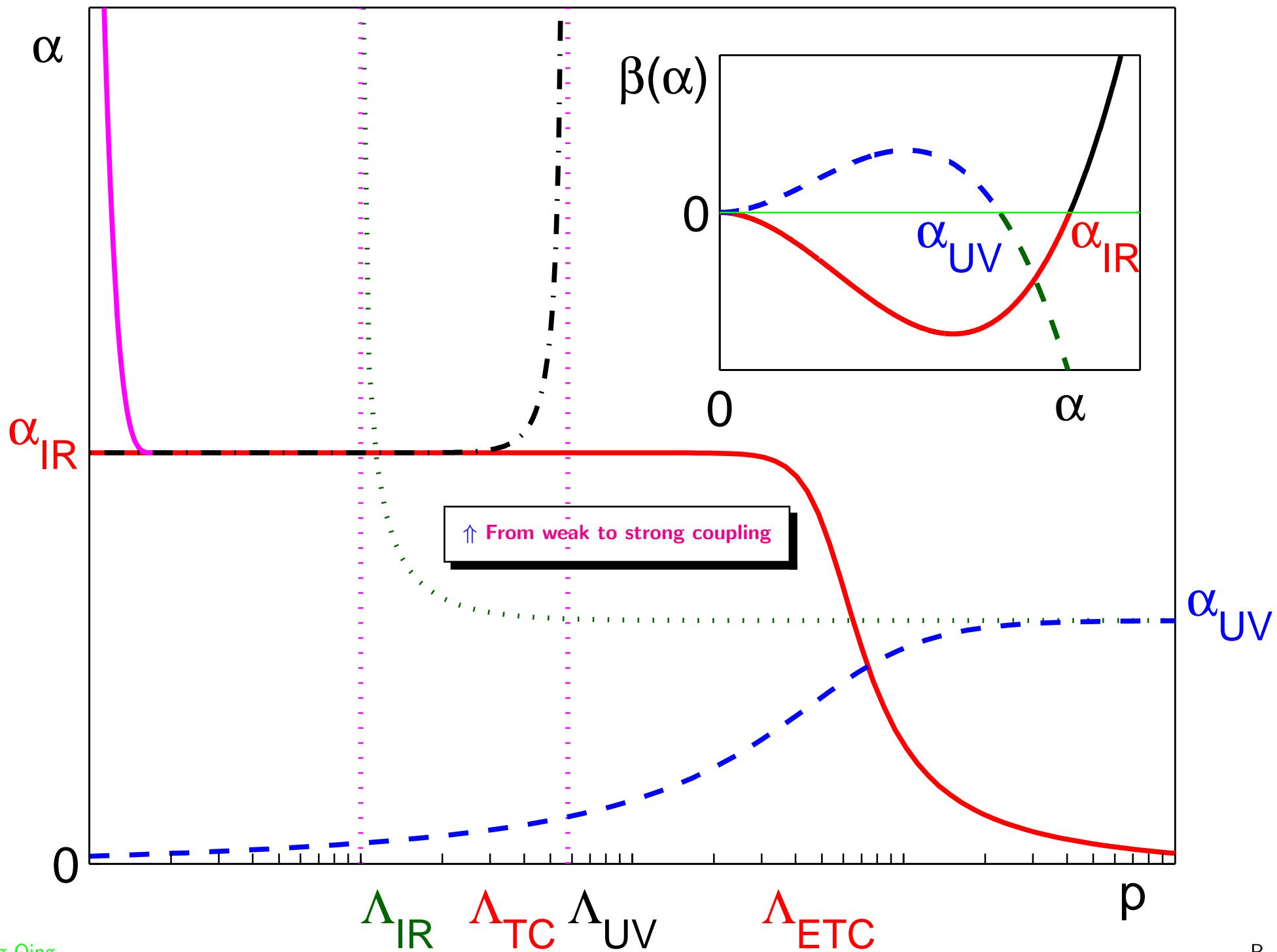
$$\text{SU(N): } 2N\beta_0 = \frac{11}{3}C_2(\mathbf{G}) - \frac{4}{3}\sum_i \mathbf{T}(\mathbf{R}_i) \quad N_f C_2(\mathbf{R})d(\mathbf{R}) = \mathbf{T}(\mathbf{R})d(\mathbf{G})$$

$$(2N)^2\beta_1 = \frac{34}{3}C_2^2(\mathbf{G}) - \sum_i \left[ \frac{20}{3}C_2(\mathbf{G})\mathbf{T}(\mathbf{R}_i) + 4C_2(\mathbf{R}_i)\mathbf{T}(\mathbf{R}_i) \right]$$

$$\langle \mathbf{T}\psi(\mathbf{x})\bar{\psi}(\mathbf{y}) \rangle = \int \frac{d^4\mathbf{p}}{(2\pi)^4} e^{-i\mathbf{p}(\mathbf{x}-\mathbf{y})} \frac{i}{\not{p} - \Sigma(-\mathbf{p}^2)} \quad \text{Minkovski Space}$$

$$\Sigma(\mathbf{p}^2) = \frac{1}{\alpha_c} \int \frac{d^4\mathbf{q}}{4\pi} \frac{\alpha(\mathbf{p}-\mathbf{q})}{(\mathbf{p}-\mathbf{q})^2} \frac{\Sigma(\mathbf{q}^2)}{\mathbf{q}^2 + \Sigma^2(\mathbf{q}^2)} \quad \text{欧氏空间} \quad \alpha_c = \frac{2\pi N}{3C_2(\mathbf{R})}$$





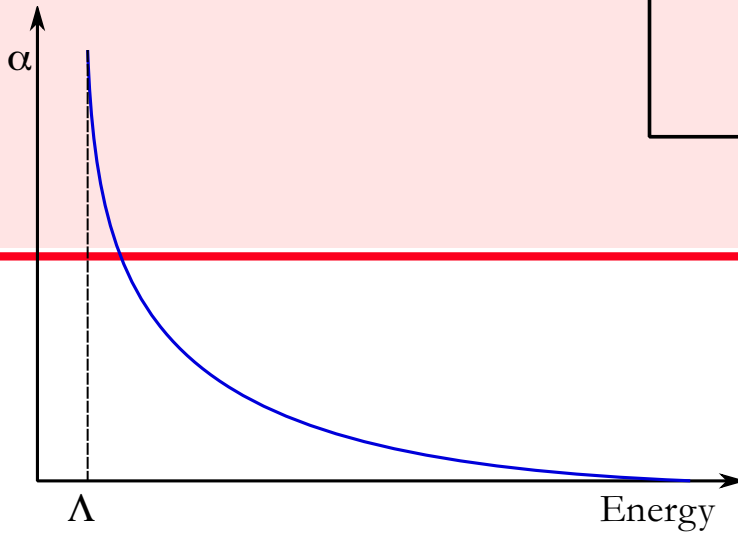
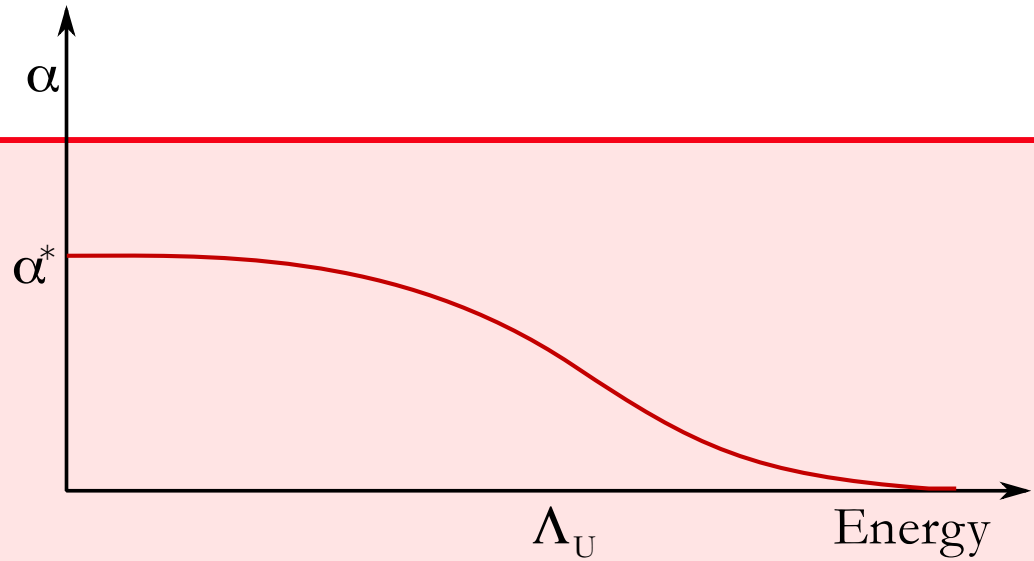
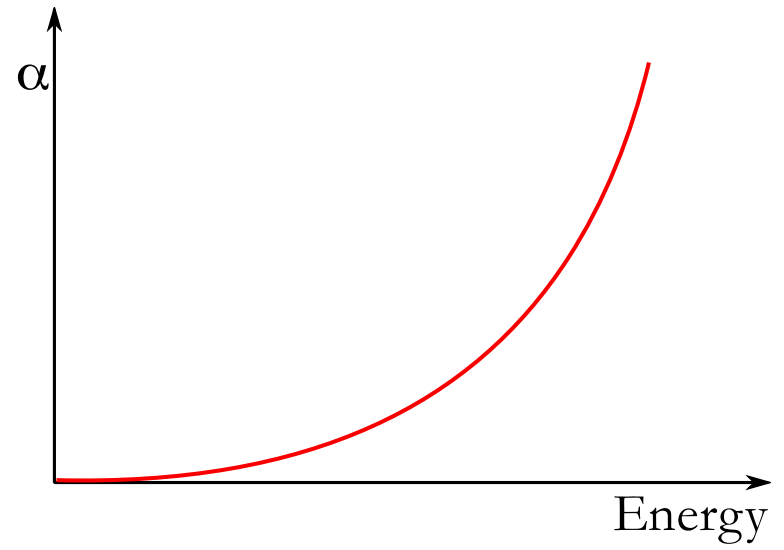


## 红外固定点存在的 **可靠性** ?

- 红外固定点至少到两圈图才能存在 !
- 大N极限下,  $\alpha^*$ 可以 任意小
- 大N极限下, 一些YM理论等价于对应的SYM理论
- 即使有限的N和 $N_f$ , 很多 $\alpha^* < 1$
- 三圈结果的修正 < 20%
- 可选重整化方案使所有两圈以上的 $\beta$ 函数系数为零
- 存在很多格点计算的 佐证



Adjoint Rep: **SUSY** ?



$N_f$

$N$



● **Black: Fundamental**

● **Blue: Two-index antisymmetric**

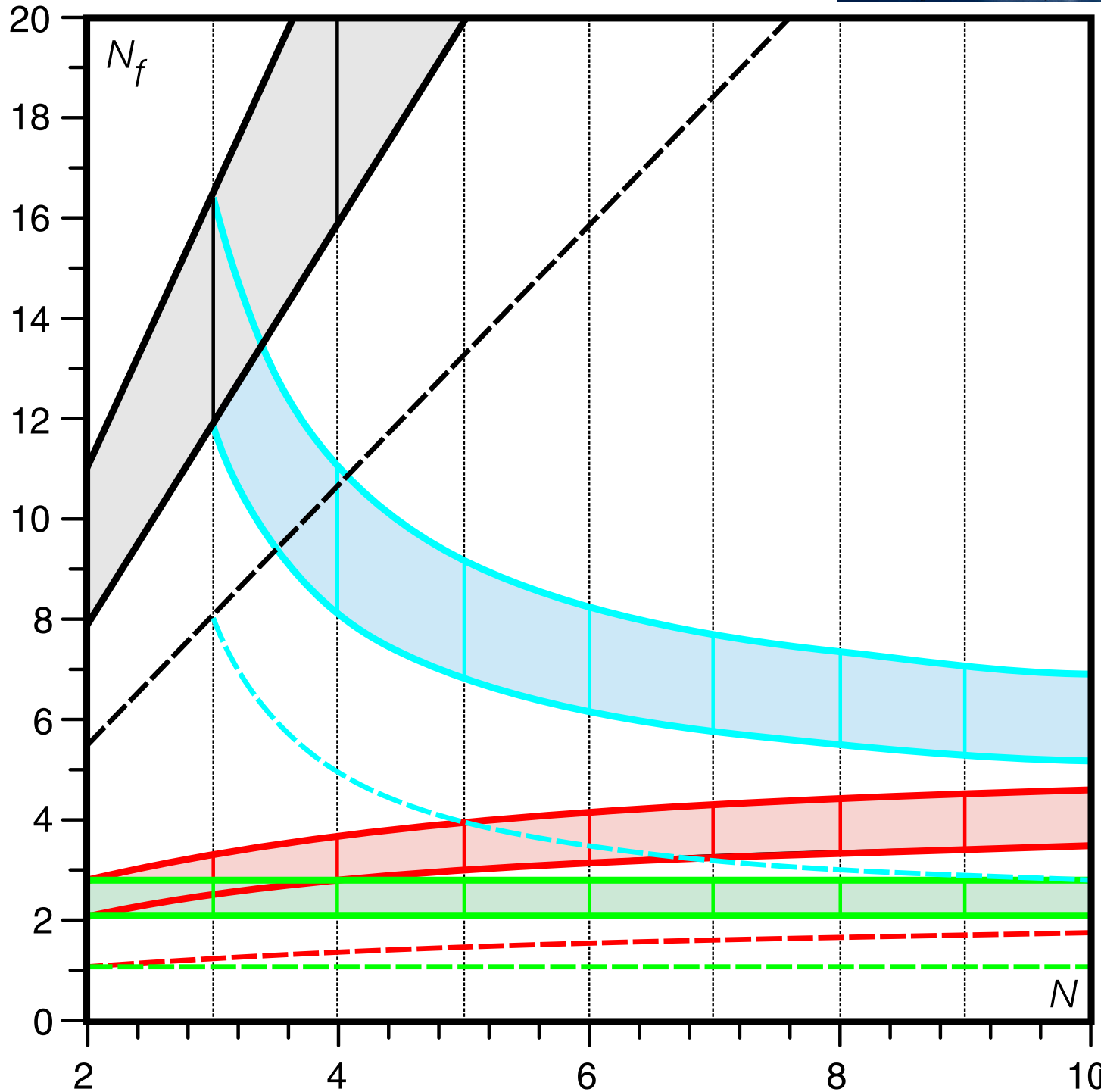
$N=2$ : **AF** & **no**  $\alpha_{IR}$

● **Red: Two-index symmetric**

$N=2$ :  $N_f^c = \frac{83}{40}$

**MWT**

● **Green: Adjoint**



# SU(N)规范群: $N_f$ 个基本表示费米子

$$\alpha_* = \alpha_c \xrightarrow{2\text{-loop}} N_f^c = 4N \left[ 1 - \frac{\frac{3}{50N^2}}{1 - \frac{3}{5N^2}} \right] < 4N \xrightarrow{4\text{-loop}} N_f^c \xrightarrow{N=3} 10.0^{+1.6}_{-0.7}$$

对纯规范理论, 最接近临界点的整数为:  $N_f = 4N > N_f^c$

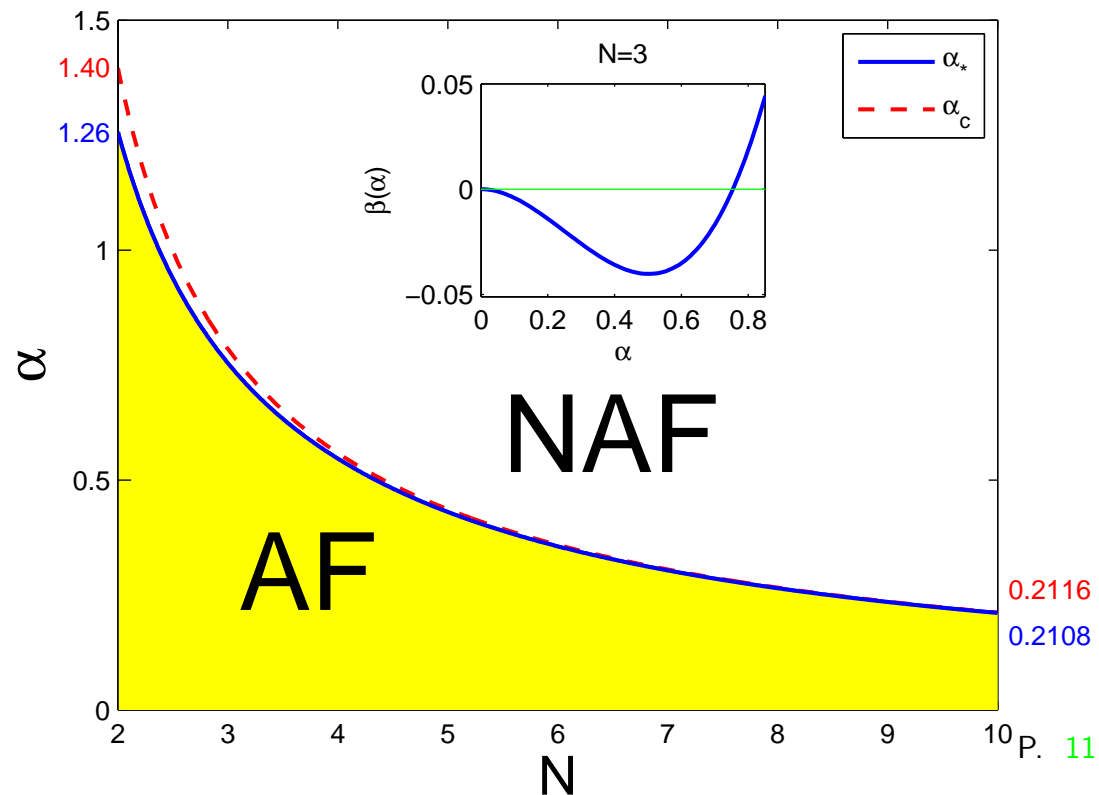
一整代Technifermion的  $N_f = 8$ ; 3夸克二重态; 1轻子二重态

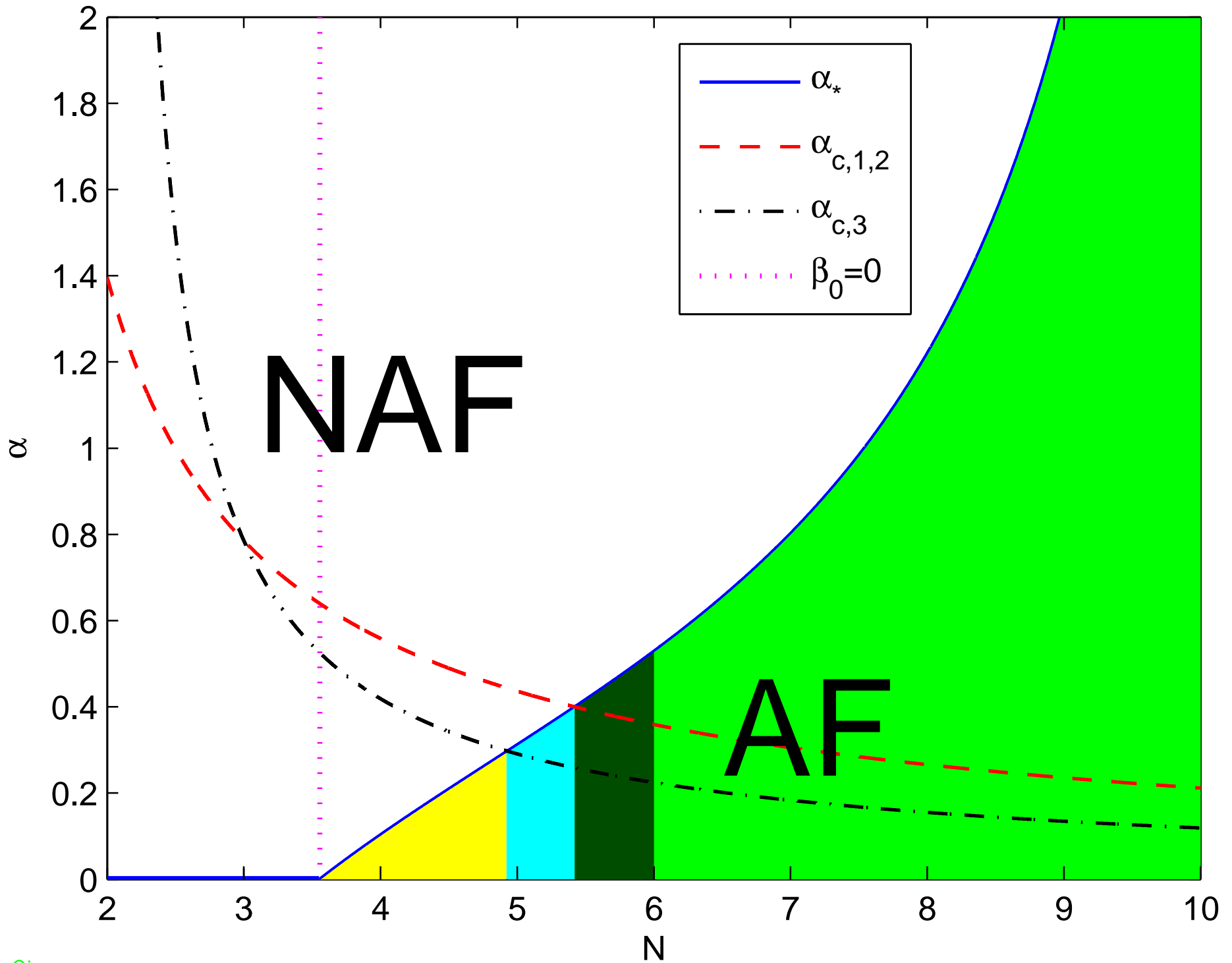
它使理论总是落在 conformal 区

需 机制 将理论移入 near conformal 区

高阶; 4费米; 其它作用; ....

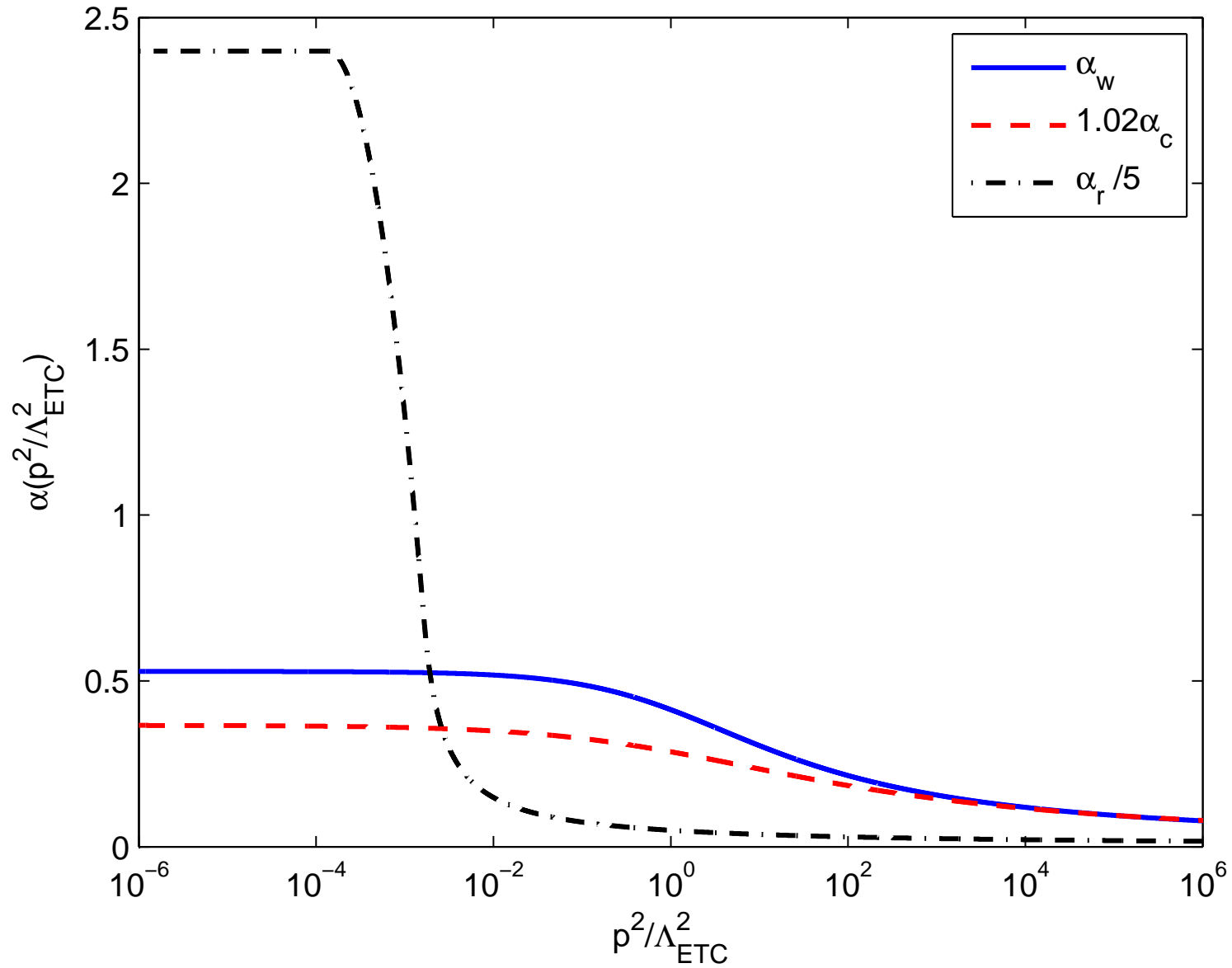
Lattice :  $N=3 \Rightarrow 8 < N_f^c \leq 12$







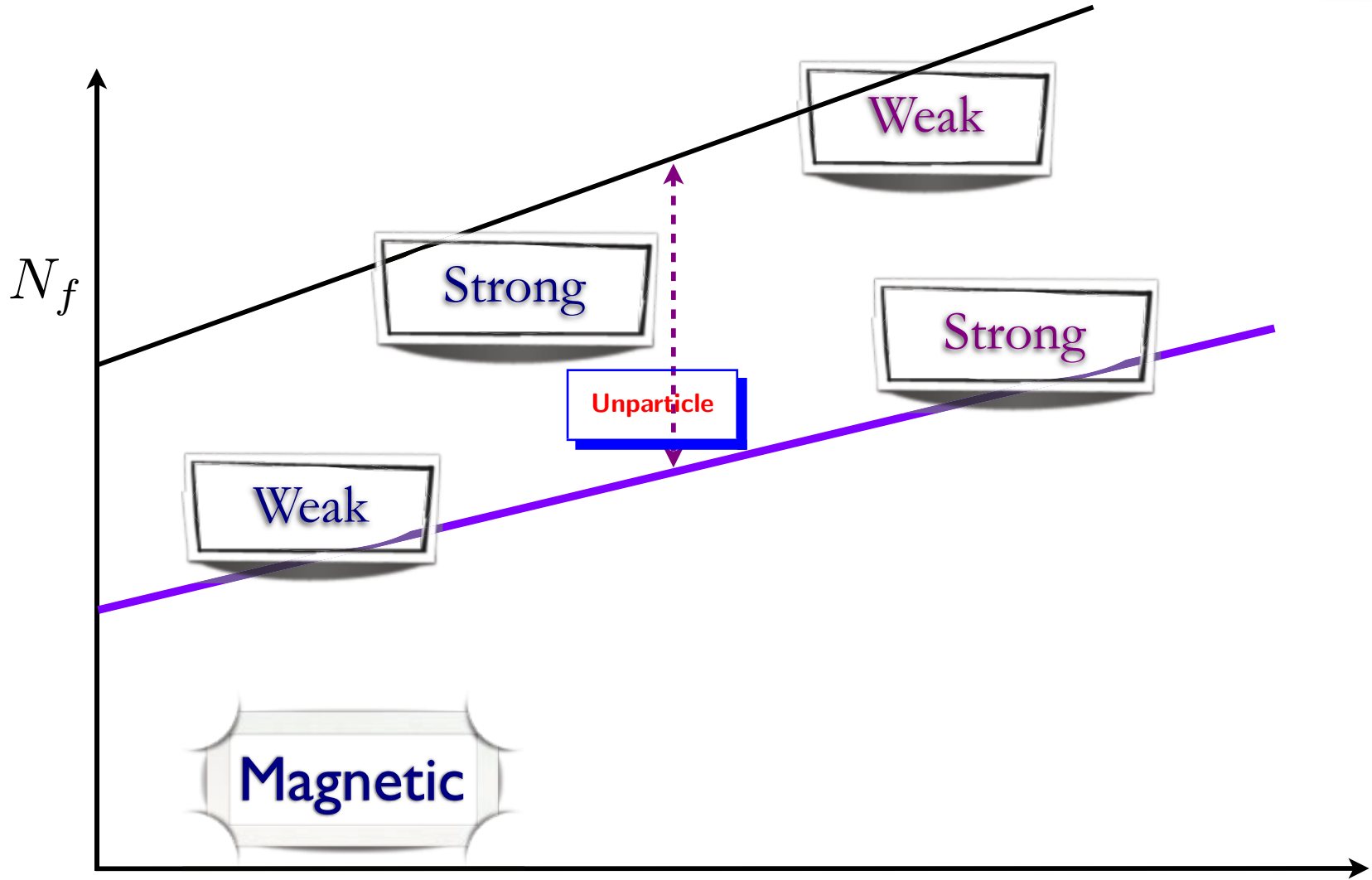
# 与QCD的关系





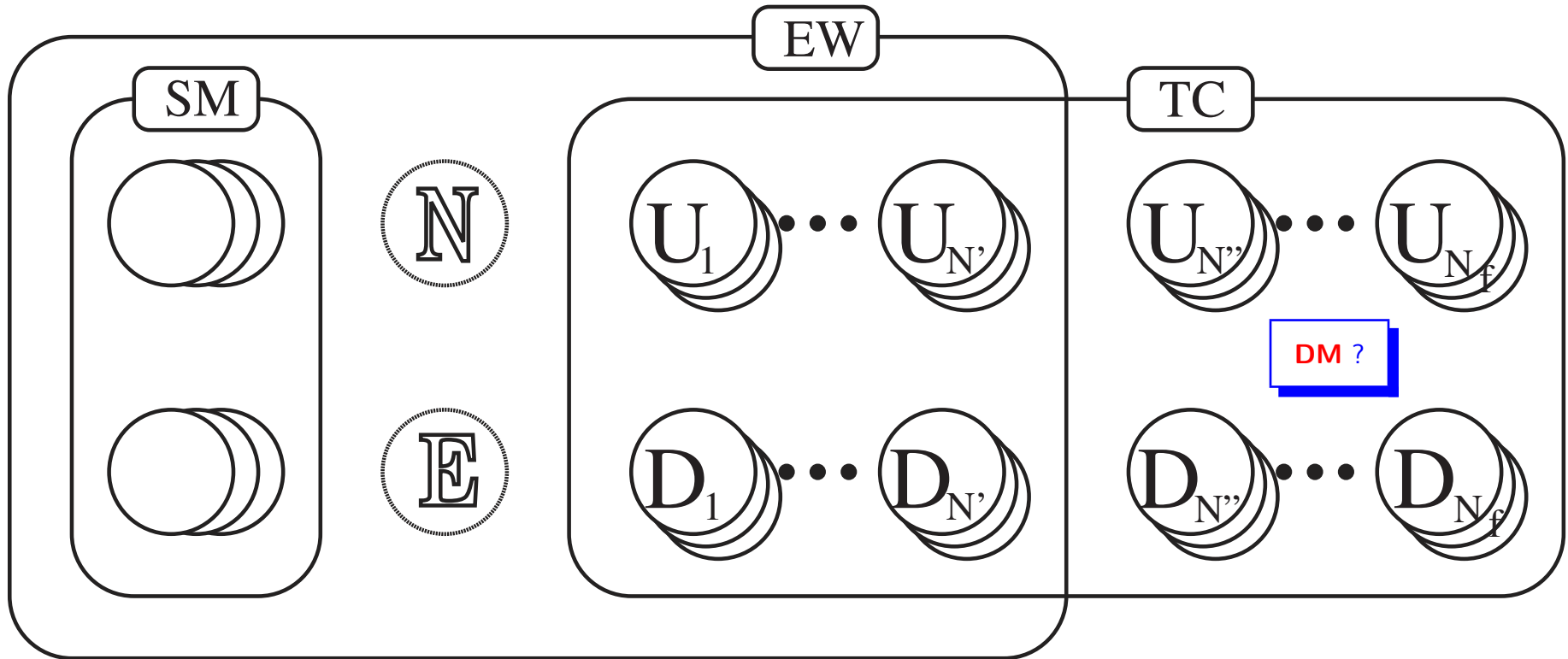
# Walking 的相关研究方向

Electric





# Walking 的相关研究方向



**TIMP :**

TC Interacting Massive Particle

lightest(quasi)-stable TCless bound states



## Walking 的相关研究方向

- 手征极限下QCD手征对称性的 近似自发破缺 导致 轻的 $\pi$ 介子

$$j^{5a} = i\bar{\psi}\gamma^5\tau^a\psi \quad \partial^\mu j_\mu^{5a} = 2mj^{5a}$$

- 规范理论dilatation对称性的 近似自发破缺<sub>近共形</sub> 导致 轻的dilaton

$$D^\mu = \theta^{\mu\nu}x_\nu \quad \partial^\mu D_\mu = \theta^\mu_\mu = \frac{\beta(\alpha)}{4\alpha} G_{\mu\nu}^a G^{a\mu\nu}$$

- As conformal Higgs; Mix with Higgs; messenger of DM; .....



# Walking 的相关研究方向

● AdS/CFT Duality 关系:

4D  $\mathcal{N}=4$  SU(N) SYM

SUSY & Conformal

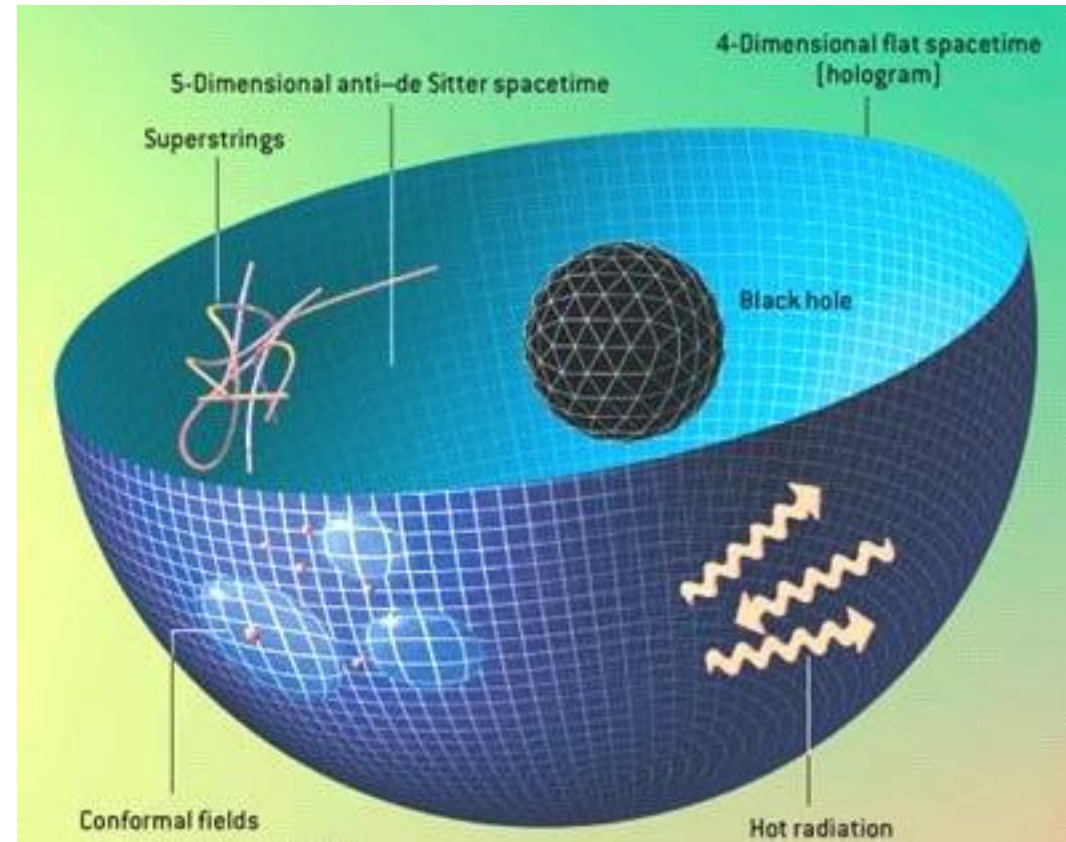
对偶  $\Updownarrow$  对偶

AdS<sub>5</sub> × S<sup>5</sup> 上 Type IIB 超引力

● Gauge/Gravity Duality 假设:

4D 规范场论连接格林函数生成泛函  $\xleftrightarrow{\text{对偶}}$  AdS<sub>5</sub> 上引力理论有效作用量

$$W_{4D}[\phi_0(\mathbf{x})] = S_{5D, \text{eff}}[\phi(\mathbf{x}, \epsilon \rightarrow 0)] \quad \phi_0(x) = \phi(x, \epsilon \rightarrow 0)$$



谢谢!

清華園