

ゲージ/重力対応による ヘビークォーク対称性

小川 軌明

【 理研仁科センター（初田研） 】

共同研究者： 橋本幸士 氏 (阪大) 山口康宏 氏 (基研)

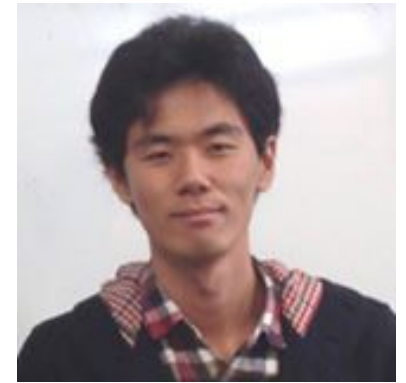
[arXiv:1412.5590 \[hep-th\]](https://arxiv.org/abs/1412.5590)

“Holographic Heavy Quark Symmetry”

2015 年 9 月 2 日

基研研究会 「熱場の量子論」

Heavy Quark Symmetry !



Y. Yamaguchi
Heavy Hadrons



K. Hashimoto
String

AdS/CFT やれるで〜!

みんなであそぼ?



N. Ogawa

もくじ

1. ヘビークォーク対称性

- 実験と理論

2. ホログラフィックモデルの構成

- 超対称性との戦い
- 変形 D3-D7 模型
- パラメータの物理的制限

3. メソン・スペクトラム

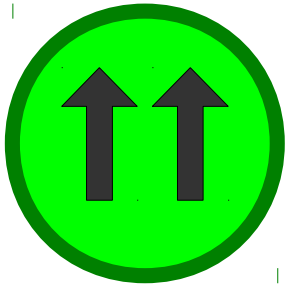
- 基底状態と励起エネルギー

4. まとめ・議論

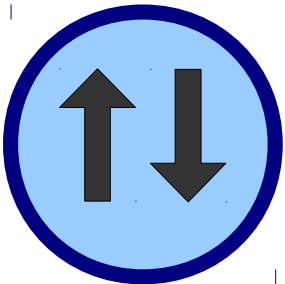
Heavy Quark 対称性：実験

$q\bar{q}$

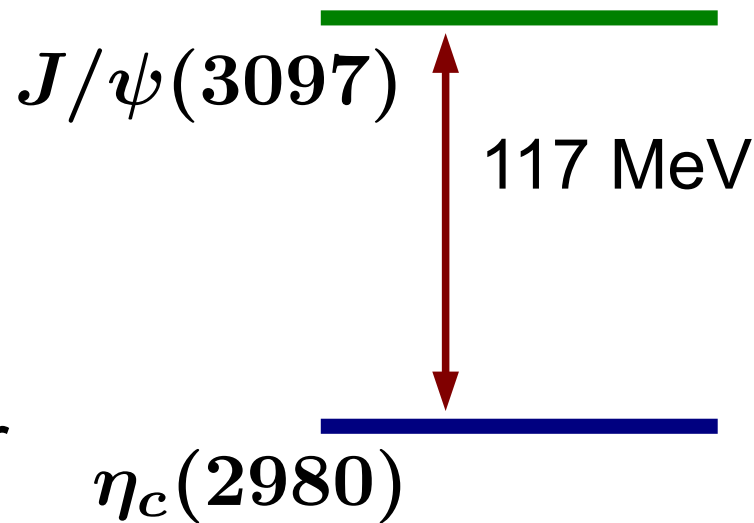
vector



pseudo-scalar

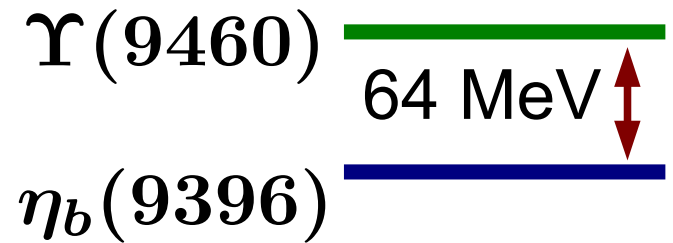


$c\bar{c}$



4%

$b\bar{b}$



0.7%

スピン 1 違うもの同士、
質量がほぼ縮退。

Heavy Quark 対称性：理論

「重クォーク極限で、縮退は exact！」

- HQET (ヘビークォーク有効理論)
: $1/m_Q$ の **摂動展開** による有効理論
- Quark Model
: **現象論** 的有効ポテンシャル模型
- **Lattice 計算** はまだできない

新たなアプローチ：ゲージ/重力対応

もくじ

1. ヘビークォーク対称性

- 実験と理論

2. ホログラフィックモデルの構成

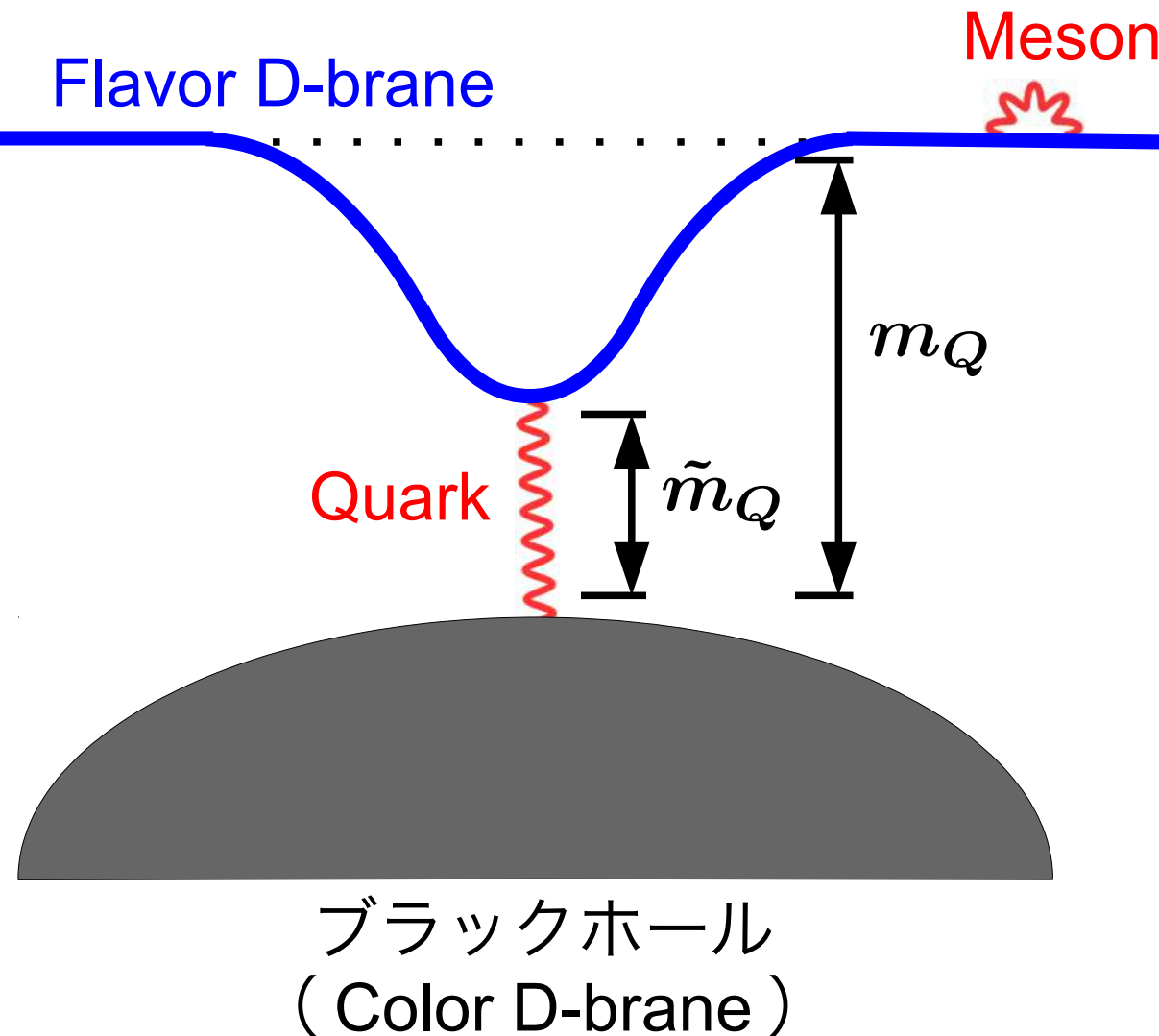
- 超対称性との戦い
- 変形 D3-D7 模型
- パラメータの物理的制限

3. メソン・スペクトラム

- 基底状態と励起エネルギー

4. まとめ・議論

ヘビークォークとゲージ / 重力対応



メソン質量
↑
ブレーン上の場の
固有振動モード

ヘビークォーク
⇕
遠くのブレーン

D4-D8 模型, D4-D6 模型, D3-D7 模型, ...

超対称性との戦い

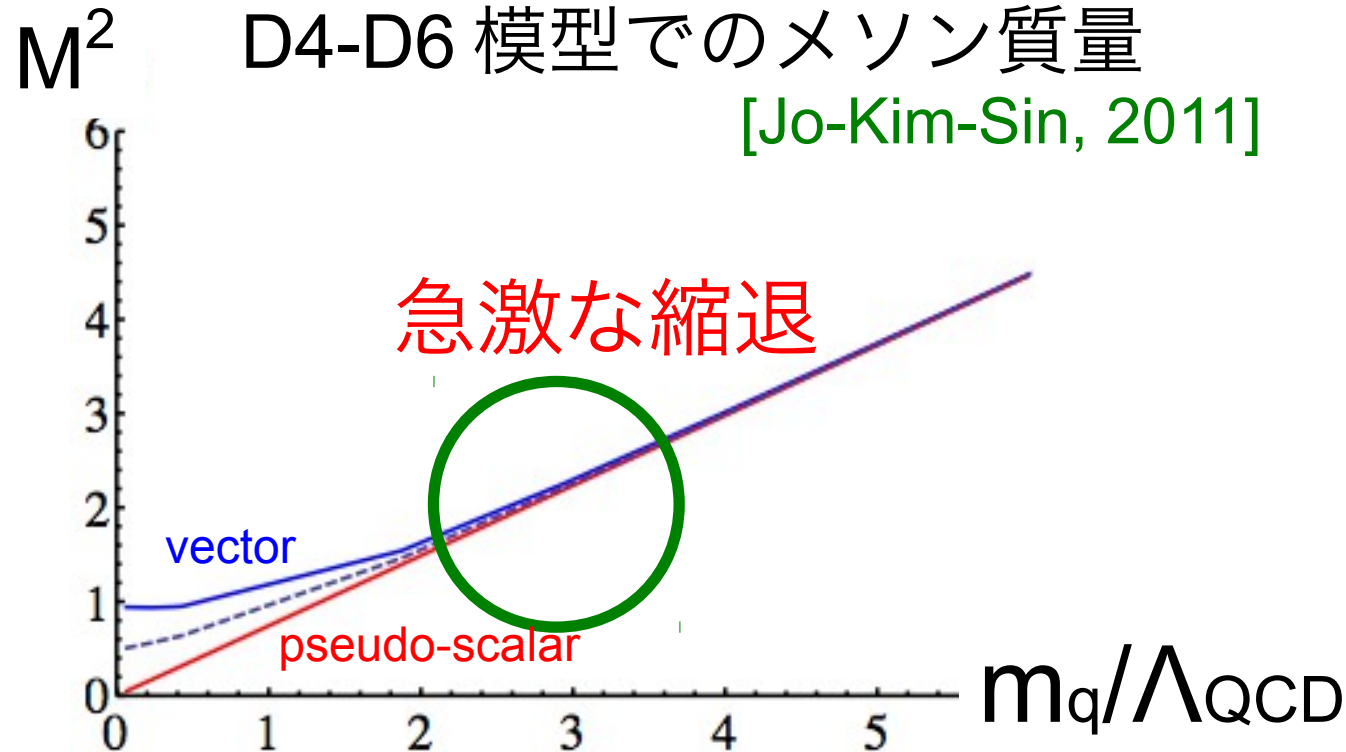


Figure 1: Meson masses for scalar (blue), pseudo-scalar (red), vector mode (dashed). The pseudo-scalar meson mass vanishes when current quark mass goes zero, see red line. For the high enough quark mass, all the meson masses are degenerated because of supersymmetry restoration [7].

「SUSY 回復のせい」

$$\Lambda_{QCD} \simeq \Lambda_{SUSY}$$

~~D4-D6~~

~~D4-D8~~
(酒井杉本模型)

~~D3-D7~~

全滅 

変形 D3-D7 模型

[our proposal]

ブラックホール時空 : (r : large)

$$ds_{str}^2 = r^{2\alpha} \eta_{\mu\nu} dx^\mu dx^\nu + R^2 r^{-2\beta} (dr^2 + r^{2\delta} d\Omega_5^2) ,$$

$$e^\phi = g_0 r^{-4\gamma} , \quad (+ \text{some matters, fluxes})$$

(SUSY AdS5 x S5 は $(\alpha, \beta, \gamma, \delta) = (1, 0, 0, 0)$)

フレーバーブレーン :

$$S_{D7} = -T_7 \int d^8 \xi e^{-\phi} \sqrt{-\det (h_{ab} + 2\pi\alpha' F_{ab})} ,$$

- ブレーン配位の固有振動モード \rightarrow (擬) スカラーメソン
(動径 : スカラー、角度 : 擬スカラー)
- ゲージ場の固有振動モード \rightarrow ベクトルメソン

パラメータの物理的制限

①安定性：

✓ null energy 条件 $R_{\mu\nu}\xi^\mu\xi^\nu \geq 0$

②局所性：

✓ エンタングルメント・エントロピーの面積則

③Heavy Quark 条件：

✓ D3 と D7 の距離が大きく、かつ有限

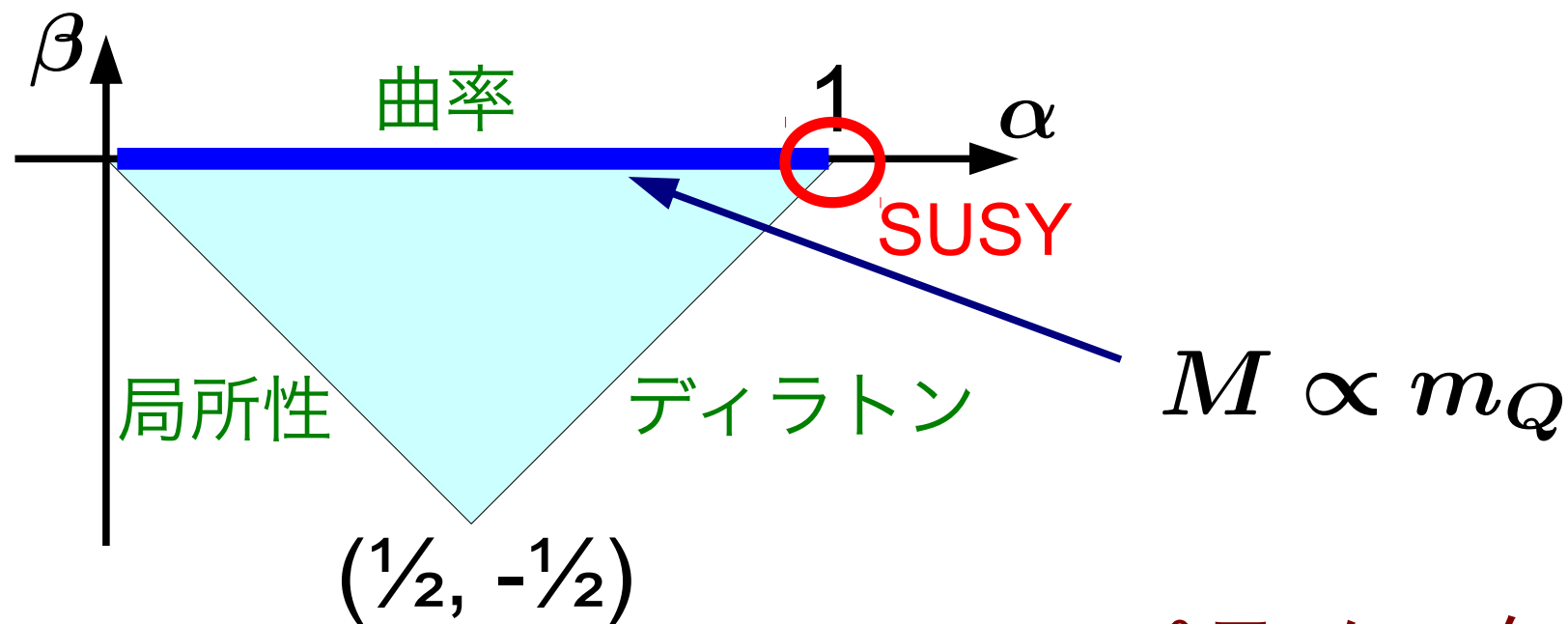
④古典重力条件：

✓ ディラトン・曲率が遠方で発散しない

パラメータの物理的制限：結果

$$\gamma = -\frac{3}{4} \left(\alpha - \beta - \frac{1}{\alpha - \beta} \right)$$

$\delta = 0$ Heavy Quark 条件



1 パラメータ！

もくじ

1. ヘビークォーク対称性

- 実験と理論

2. ホログラフィックモデルの構成

- 超対称性との戦い
- 変形 D3-D7 模型
- パラメータの物理的制限

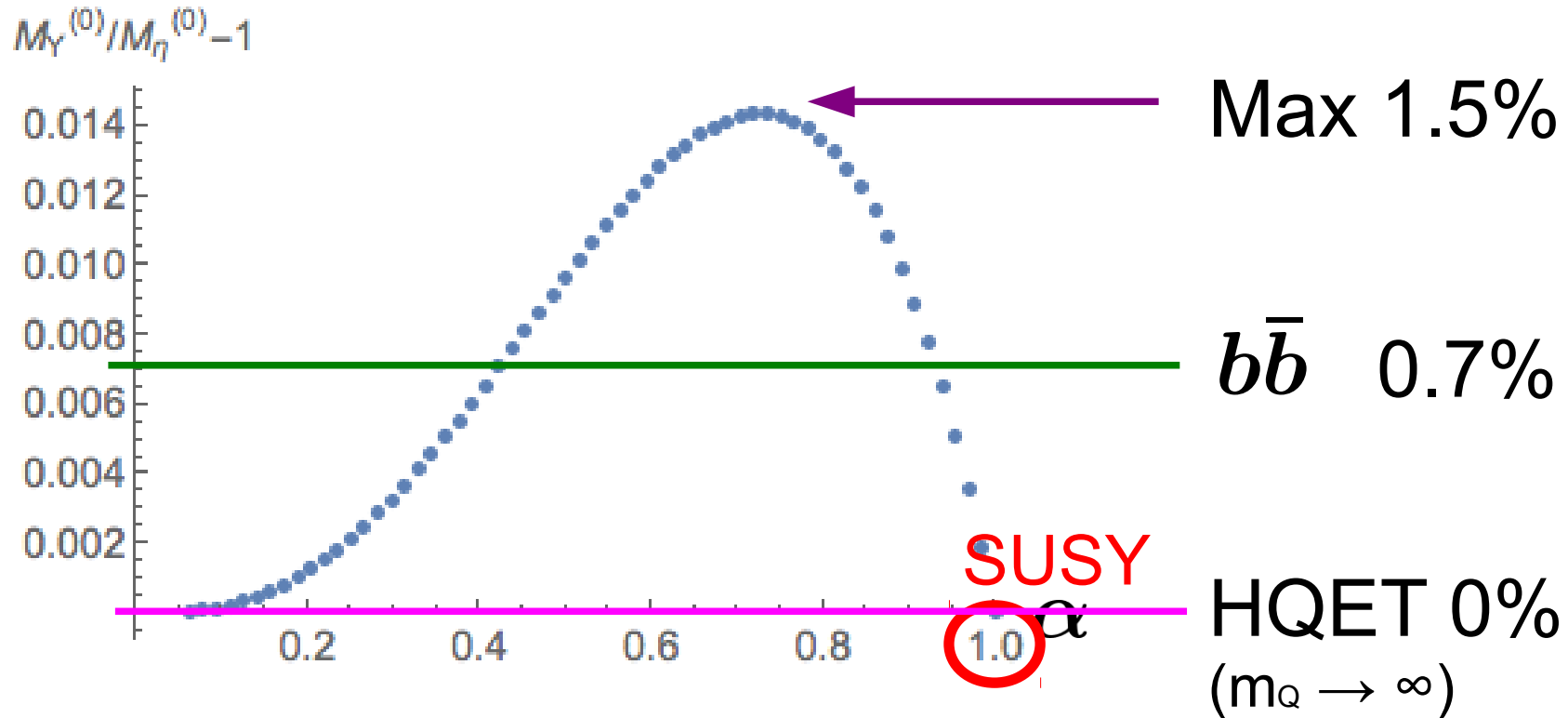
3. メソン・スペクトラム

- 基底状態と励起エネルギー

4. まとめ・議論

基底状態のスピン縮退

ベクトルと擬スカラーの基底状態質量差 (比)

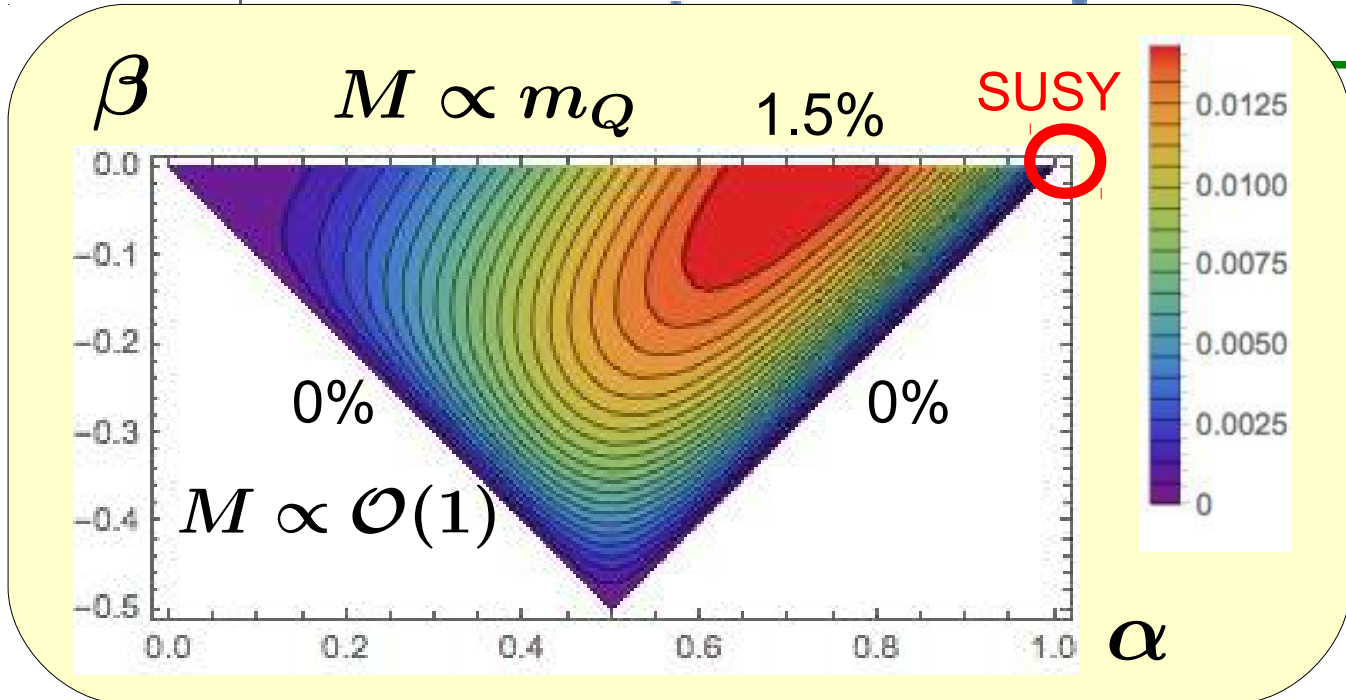
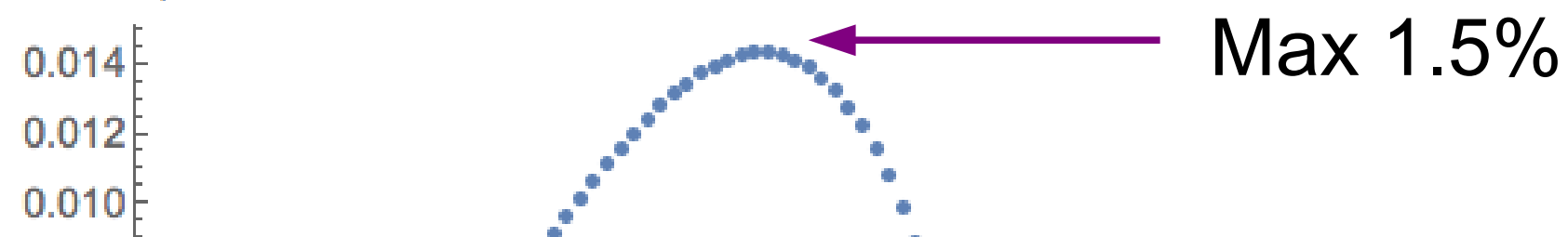


- exact な縮退は一般に起こらない
- α : 小なら実験値と無矛盾

基底状態のスピン縮退

ベクトルと擬スカラーの基底状態質量差 (比)

$$M_V^{(0)}/M_S^{(0)} - 1$$



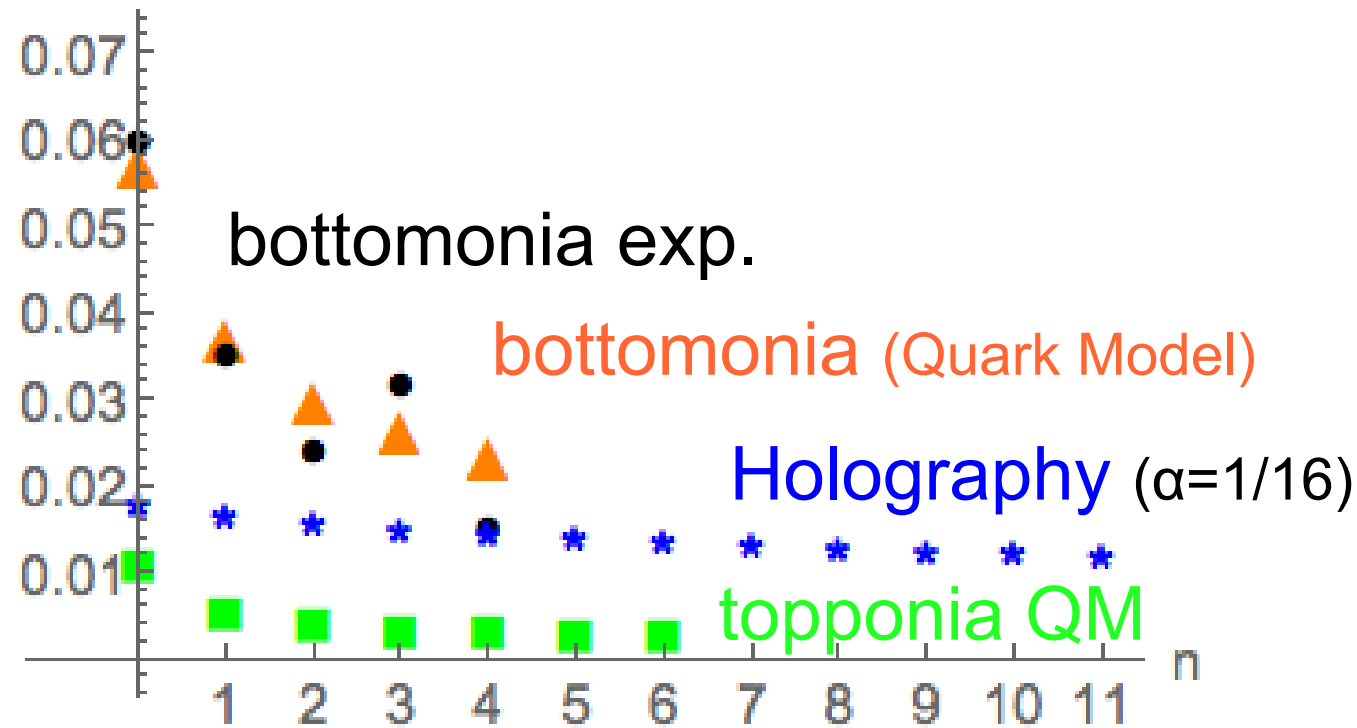
Max 1.5%

$b\bar{b}$ 0.7%

HQET 0%
($m_Q \rightarrow \infty$)

励起スペクトラム

$$(M_Y^{(n+1)} - M_Y^{(n)}) / M_\eta^{(0)}$$



- 定性的に良く一致！

もくじ

1. ヘビークォーク対称性

- 実験と理論

2. ホログラフィック模型の構成

- 超対称性との戦い
- 変形 D3-D7 模型
- パラメータの物理的制限

3. メソン・スペクトラム

- 基底状態と励起エネルギー

4. まとめ・議論

まとめ・議論

- Heavy Quark 対称性をゲージ/重力対応で解析
- 変形 D3-D7 模型
 - ✓ UV でも超対称性のない QCD-like 理論を実現
- 物理的条件（安定性、局所性、メソン/クォーク質量、古典重力）
 - ✓ 強いパラメータ制約。実質 1 パラメータに。
- メソンスペクトラムを計算
 - ✓ 実験データとは定性的によく一致。
 - ✓ Heavy Quark 極限でも縮退は exact ではない。
 - ✓ 最大 1.5% のずれは本物か？ Artifact か？
(large N_c と large m_Q の非可換性？ → 量子重力で回復！)

Copyrights of Images, etc

- Cat



(c)Neko-no-Oshigoto

<http://members.jcom.home.ne.jp/0412269401/>

- Miffy

(c) Dick Bruna

