

# 弦理論の応用

橋本幸士 (阪大 / 理研)

topcite 7000+

[find j\\*"Phys.Rev.Lett.,105"\\*](#) :: [さらに](#)

並べ替え :

結果の表示

**HEP** 4 のレコードが見つかりました。

### 1. The Large N limit of superconformal field theories and supergravity

(9154) [Juan Martin Maldacena](#) ([Harvard U.](#)). Nov 1997. 19 pp.

Published in *Adv.Theor.Math.Phys.* **2** (1998) 231-252

HUTP-97-A097

e-Print: [hep-th/9711200](#) | [PDF](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [ATMP Server](#); [Mathematical Reviews](#)

[レコードの詳細](#) - [Cited by 9154 records](#) 1000+

### 2. A Model of Leptons

(8561) [Steven Weinberg](#) ([MIT, LNS](#)). Nov 1967. 3 pp.

Published in *Phys.Rev.Lett.* **19** (1967) 1264-1266

DOI: [10.1103/PhysRevLett.19.1264](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [Phys. Rev. Lett. Server](#)

[レコードの詳細](#) - [Cited by 8561 records](#) 1000+

### 3. CP Violation in the Renormalizable Theory of Weak Interaction

(7399) [Makoto Kobayashi](#), [Toshihide Maskawa](#) ([Kyoto U.](#)). Feb 1973. 6 pp.

Published in *Prog.Theor.Phys.* **49** (1973) 652-657

KUNS-242

DOI: [10.1143/PTP.49.652](#)

[References](#) | [BibTeX](#) | [LaTeX\(US\)](#) | [LaTeX\(EU\)](#) | [Harvmac](#) | [EndNote](#)  
[ADS Abstract Service](#); [Prog.Theor.Phys. Server](#)

[レコードの詳細](#) - [Cited by 7399 records](#) 1000+

### 4. Measurements of Omega and Lambda from 42 high redshift supernovae

(7076) [Supernova Cosmology Project Collaboration](#) ([S. Perlmutter](#) ([UC Berkeley, CfPA](#)) *et al.*). Dec 1998. 33 pp.

refersto:recid:451647 refersto:recid:51188

[find j\\*"Phys.Rev.Lett.,105"\\*](#) :: [さらに](#)

並べ替え :

結果の表示

**HEP** 33 のレコードが見つかりました。

HEPNAMES

refersto:recid:451647 refersto:recid:81350

[find j\\*"Phys.Rev.Lett.,105"\\*](#) :: [さらに](#)

並べ替え :

結果の表示

**HEP** 16 のレコードが見つかりました。

JAM

refersto:recid:51188 refersto:recid:81350

[find j\\*"Phys.Rev.Lett.,105"\\*](#) :: [さらに](#)

並べ替え :

結果の表示

**HEP** 1,806 のレコードが見つかりました。

超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

ロード  
マップ

- 1 超弦理論は死なない: 応用研究 2ページ
- 2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ
- 3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ

超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

ロード  
マップ

- 1 超弦理論は死なない：応用研究 2ページ
- 2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ
- 3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ

理論が死ぬ =

- ・ 自然と合わない(現象論的)
- ・ やる人がいない(社会的)

### やる人が多い幾つもの理由

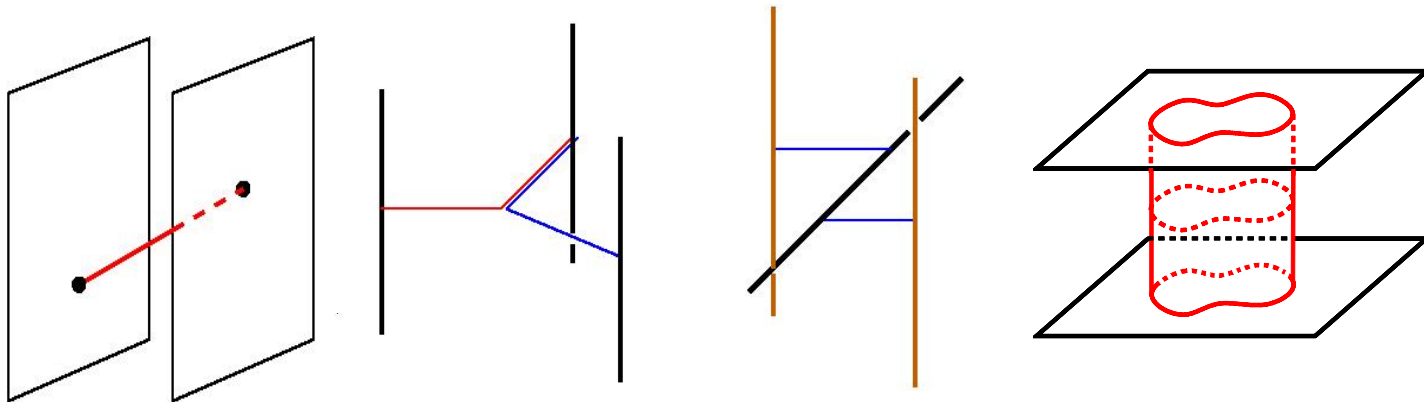
- ・ Maldacenaの予想(AdS/CFT)の存在
  - 長い期間、証明できない予想
- ・ 驚きを与える数理構造
  - 理論と理論をつなげる双対性が山のように存在
- ・ 応用研究が巣立った
  - AdS/CFT、ソリトン、ブラックホール、非可換幾何、双対性、局所化、AGT、ムーンシャイン、...

## 応用例：ソリトン物理

[Callan,Maldacena (9708147)]

- 新ソリトンの存在予言 [Bergman (9712211)]
- ソリトンの解空間の予言 [Hanany,Tong (0306150)]
- ソリトンのダイナミクスの予言 [Tong,KH (0506022)]

モノポール、インスタントン、ボーテックス、ダイオン、  
ウォール、スキルミオン、スファレロン、  
非可換空間、多電荷ソリトン、ソリトン構成法、...



超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

ロード  
マップ

- 1 超弦理論は死なない: 応用研究 2ページ
- 2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ
- 3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ

超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

1 超弦理論は死なない：応用研究 2ページ

2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ

3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ



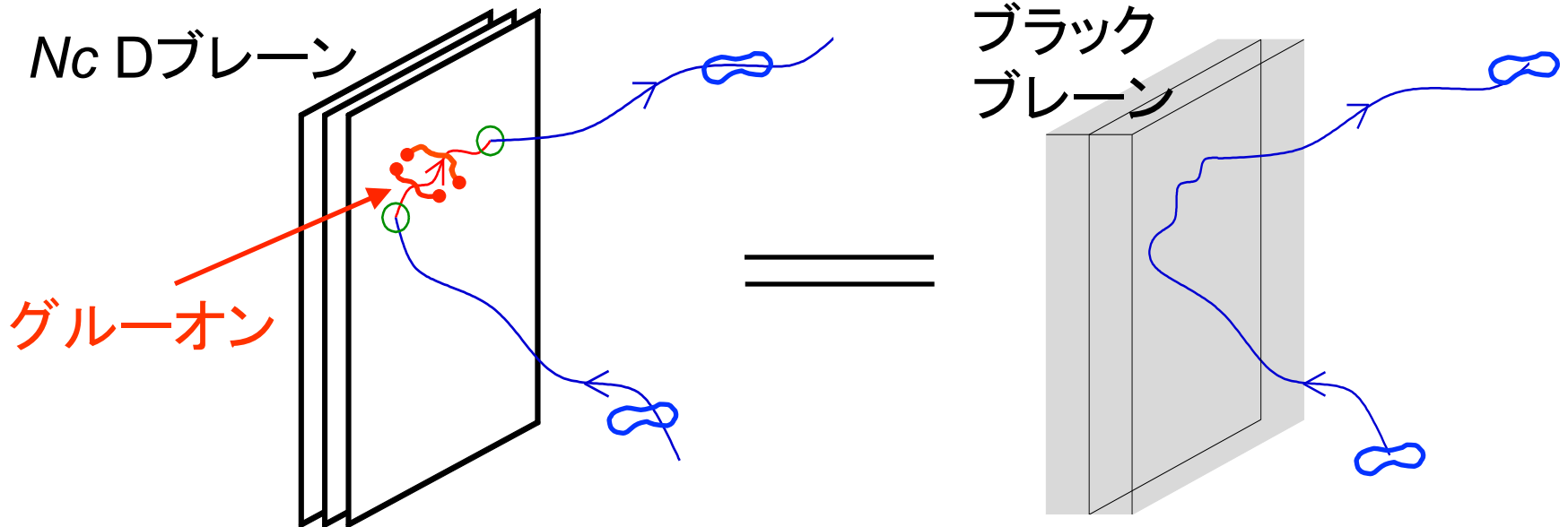
## 2-1

## AdS/CFT対応の限界が見えているか

AdS/CFT対応 (Maldacena '98) はユニバーサルという期待

3+1次元  $N=4$  超対称Yang-Mills  
 ラージ $N_c$ , ラージ 't Hooft coupling

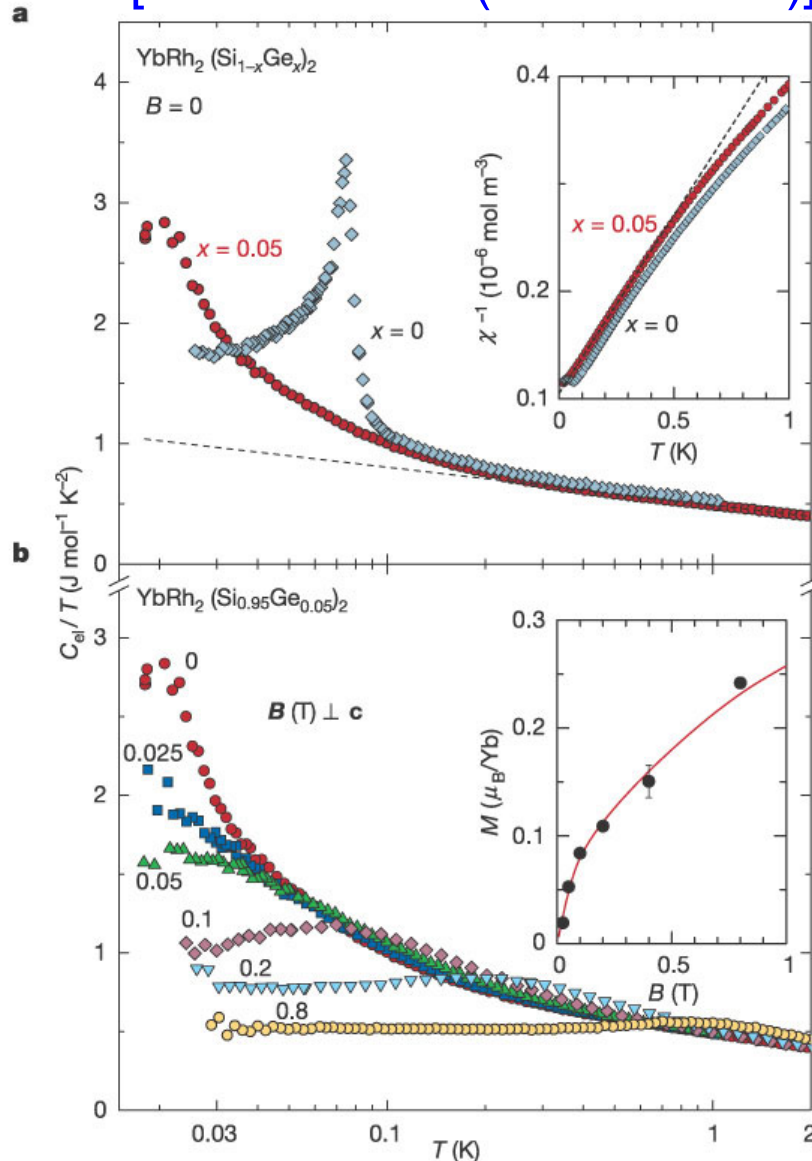
$AdS_5 \times S^5$ 上の  
 閉弦の理論



超対称性が無くても成立？  
 ラージ $N_c$ でなくとも成立？

共形不変性が無くても成立？  
 強結合でなくとも成立？

[Custers et al. (Nature 2003)]



弦理論の意義付け

例) 強相関物性. 比熱

AdS/CFT

$$C \propto T^\alpha, \alpha = 2/3$$

[Ogawa, Takayanagi, Ugajin  
(1111.1023)]

[Shaghoulain (1112.2702)]

実験



$$C \propto T^\alpha, \alpha \sim 0.66$$

AdS/CFTは証明されるか？ 糸口は見えない

簡素化した対応:  $O(N)$ ベクトル模型 = 高スピン理論

[Klebanov, Polyakov (0210114)] [Giombi, Yin(0912.3462)]

厳密に評価できる例: 局所化による演算子期待値の計算

[Pestun(0712.2824)]

M理論への拡張: 3次元超共形ゲージ理論の発見

[Aharony, Bergman, Jafferis, Maldacena(0806.1218)]

証明に向けて: 真剣な例は少ない [Kawai, Suyama(0708.2463)]

超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

ロード  
マップ

- 1 超弦理論は死なない: 応用研究 2ページ
- 2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ
- 3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ



弦理論の応用例：  
強結合理論におけるシュウインガー効果

ロード  
マップ

1 超弦理論は死なない：応用研究 2ページ

2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ

3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ

問題

3-1

電場で閉じ込めを壊せるか

原因

3-2

非線形電磁気学、強結合QCD

我々の解

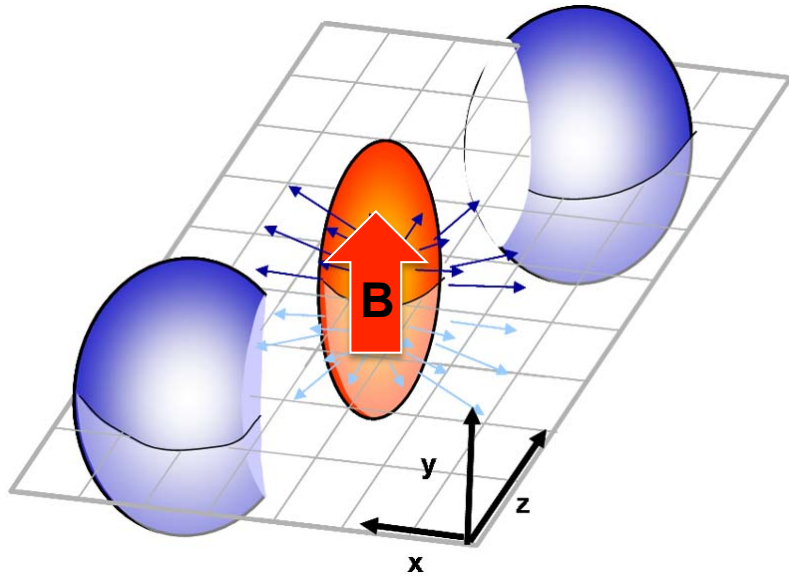
3-3

ホログラフィーを超対称QCDに使う

Dブレーン作用の虚部

シュウィンガー効果、熱化

QCDの閉じ込め：実験や観測で強電磁場が現れうる

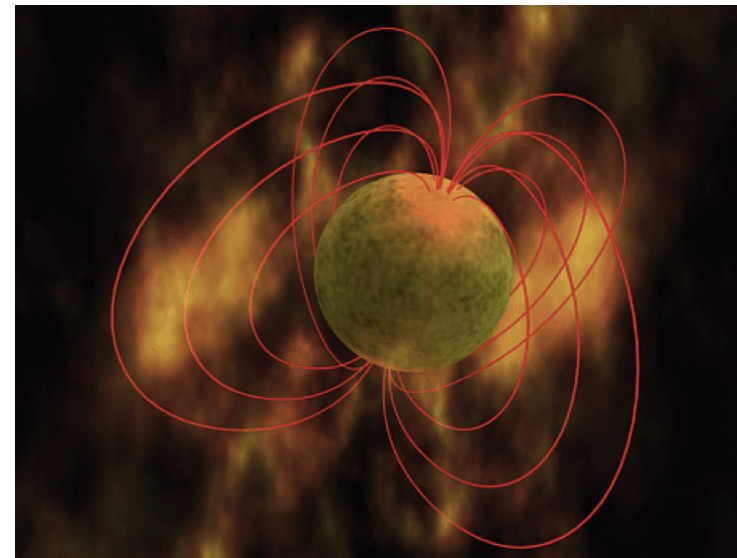


重イオン衝突での  
強電磁場？

[Kharzeev, McLerran, Warringa, 0711.0950]

[Voronyuk et.al 1103.4239]

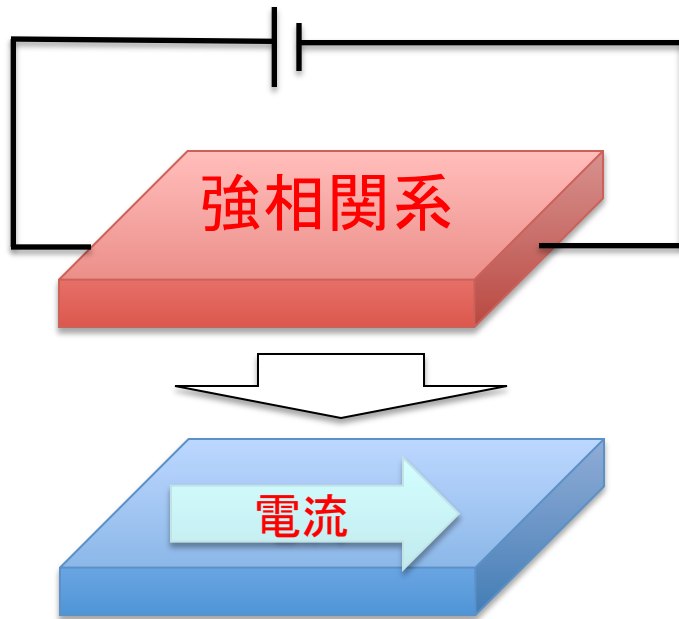
e.g. [板倉数紀, 原子核研究(2012/09)]



中性子星、マグネターでの  
強電磁場？

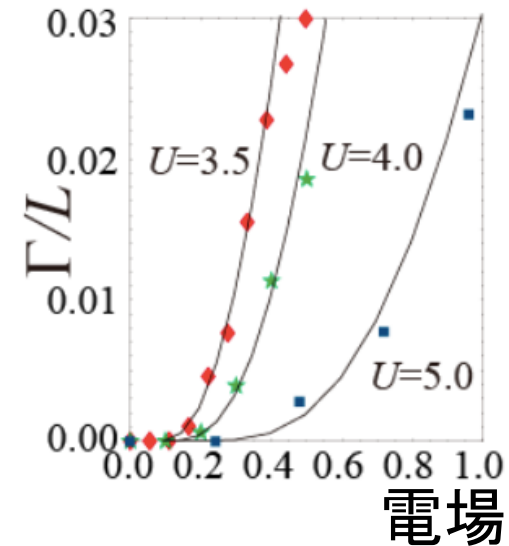
e.g. [T.Enoto, 天文月報 105(2012)431]

物性系での閉じ込め：「絶縁破壊」



強相関物質の絶縁破壊

数値計算：  
1次元モット絶縁体  
での崩壊確率



[Oka, Aoki, PRL 95 (2005) 137601]



問題

3-1

電場で閉じ込めを壊せるか

原因

3-2

非線形電磁気学、強結合QCD

我々の解

3-3

ホログラフィーを超対称QCDに使う

Dブレーン作用の虚部

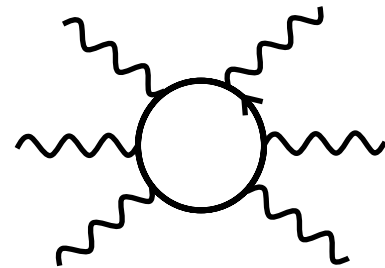
シュウィンガー効果、熱化

# 3-2

## 非線形電磁気学、強結合QCD

QEDの場合：電子を積分 → **非線形電磁気学**

Euler-Heisenberg 作用 (定数背景電場)



$$\mathcal{L} = \frac{1}{2}E^2 - \frac{1}{8\pi^2} \int_0^\infty \frac{ds}{s^3} \left[ eEs \cot(eEs) - 1 + \frac{1}{3}(eEs)^2 \right]$$

[Heisenberg, Euler 1936]

ポールから虚部 [Schwinger 1951]

$$\text{Im } \mathcal{L} = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{e^2 E^2}{4\pi^3} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -\frac{n\pi m^2}{eE} \right]$$

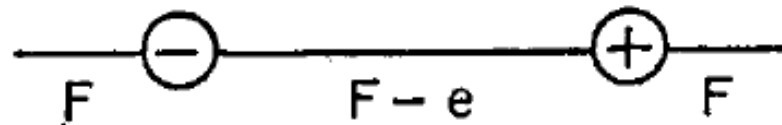
n インスタントン

$$S_{\text{inst}} = 2\pi Rm - \pi R^2 eE$$

$$\frac{dS_{\text{inst}}}{dR} = 0 \Rightarrow S_{\text{inst}} = \frac{\pi m^2}{eE}$$

期待：閉じ込め力よりも強い電場でのみ、崩壊

類似と考えられる例 = 1次元空間の場合. (電束が1次的)



マッシブ シュウィンガー模型 (1+1 次元 QED)

[Coleman, Jackiv, Susskind 1975] [Coleman 1976]

電場  $E$  は、 $0 < E < e$  でのみ意味あり.

( $e < E$  では電子陽電子の対生成で真空が不安定.)

問題

3-1

電場で閉じ込めを壊せるか

原因

3-2

非線形電磁気学、強結合QCD

我々の解

3-3

ホログラフィーを超対称QCDに使う

Dブレーン作用の虚部

シュウィンガー効果、熱化

## 3-3

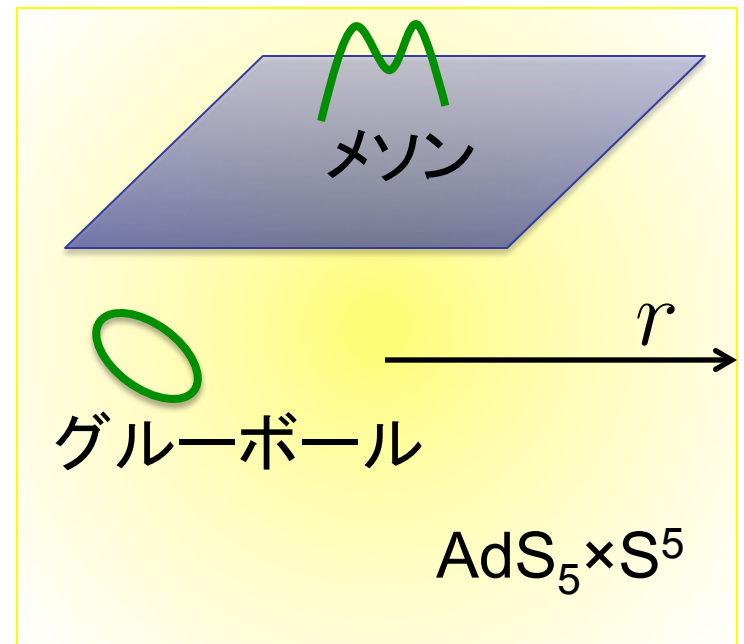
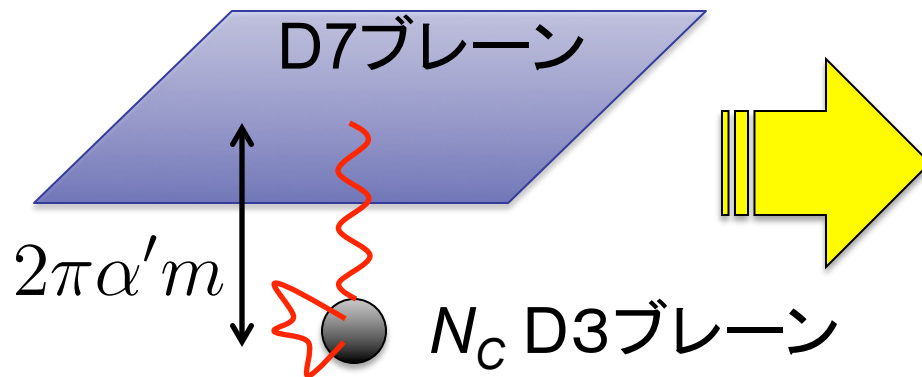
## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

$N=2$  超対称QCDのメソンセクタ =  $AdS_5 \times S^5$  中のD7ブレーン

$$\mathcal{L} = T_{D7} 2\pi^2 R^2 \int_0^\infty dr r^3 \sqrt{1 - (2\pi\alpha' E)^2 \frac{R^4}{((2\pi\alpha' m)^2 + r^2)^2}}$$

$$R = (2\lambda)^{1/4} \sqrt{\alpha'}$$

IIB型超弦理論、10次元時空



$N=4$  超対称ヤンミルズ  
+  $N=2$  クォークハイパー多重項

[Karch, Katz (02)]

## 3-3

## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

オイラーハイゼンベルグ作用 =  $\text{AdS}_5 \times S^5$  中のD7ブレーン作用

$$\mathcal{L} = \mathcal{T}_{\text{D7}} 2\pi^2 R^2 \int_0^\infty dr r^3 \sqrt{1 - (2\pi\alpha' E)^2 \frac{R^4}{((2\pi\alpha' m)^2 + r^2)^2}}$$

結果1. 臨界電場 = 閉じ込め力

$$E_{\text{cr}} = \frac{2\pi\alpha' m^2}{R^2} = \frac{\sqrt{2}\pi m^2}{\sqrt{\lambda}}$$

結果2. 自動的にシュウィンガー

$$\text{Im } \mathcal{L} = \frac{N_c}{2^5 \pi} e^2 E^2 \left( 1 + 2^{5/2} \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} \log \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} + \text{higher} \right)$$

結果3. ユニバーサルな速い熱化

$$\tau_{\text{th}} \sim a\pi \left( \frac{\lambda}{2\pi^2} \right)^{1/4} \frac{\hbar}{k_B} E^{-1/2}$$

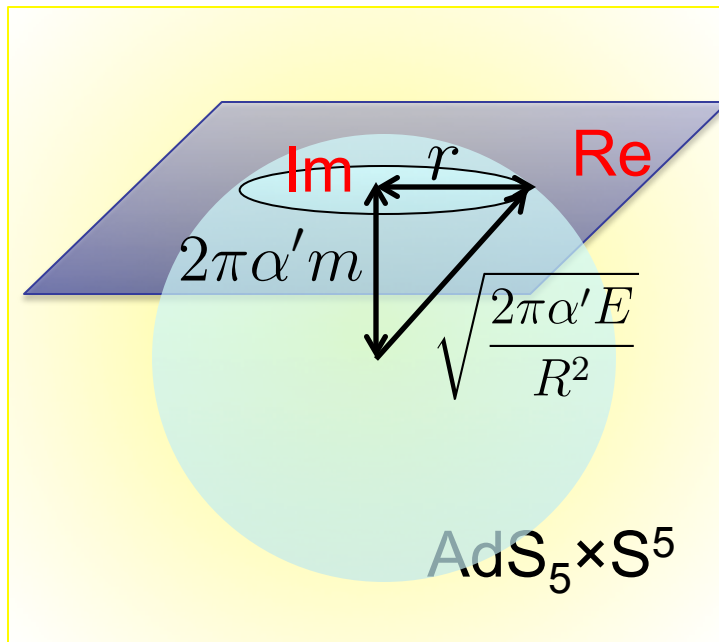
## 3-3

## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

結果1. 臨界電場 = 閉じ込め力

非線形電磁気学はD7ブレーン作用

$$\mathcal{L} = \mathcal{T}_{D7} 2\pi^2 R^2 \int_0^\infty dr r^3 \sqrt{1 - (2\pi\alpha' E)^2 \frac{R^4}{((2\pi\alpha' m)^2 + r^2)^2}}$$



ルートの中が正

$$\Leftrightarrow (2\pi\alpha' m)^2 + r^2 > 2\pi\alpha' E R^2$$

臨界電場より上で虚数作用

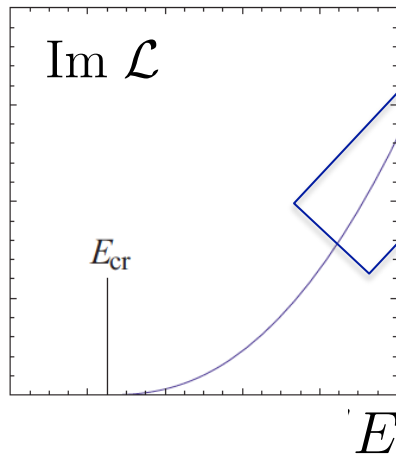
$$E_{\text{cr}} = \frac{2\pi\alpha' m^2}{R^2} = \frac{\sqrt{2\pi} m^2}{\sqrt{\lambda}}$$

[Erdmenger, Meyer, Shock (07)]

## 3-3

## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

## 結果2. 自動的にシュウィンガー



DBI作用の虚部の1/電場の展開

$$\text{Im } \mathcal{L} = \frac{N_c}{2^5 \pi} e^2 E^2 \left( 1 + 2^{5/2} \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} \log \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} + \text{higher} \right)$$

QEDのシュウィンガー効果と一致

対応:  $E_{\text{cr}} \leftrightarrow m_e^2$ 

$$\text{Im } \mathcal{L} = \frac{N_c}{2^5 \pi} e^2 E^2 \left( 1 + \frac{4}{\pi} \frac{m_e^2}{e E} \log \frac{m_e^2}{2e E} + \text{higher} \right)$$

$$\left( \text{Im } \mathcal{L}_{\text{spinor}} = \frac{e^2 E^2}{8\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n^2} \exp \left[ -\frac{m_e^2 \pi}{e E} n \right], \quad \text{Im } \mathcal{L}_{\text{scalar}} = \frac{e^2 E^2}{16\pi^3} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(-1)^{n-1}}{n^2} \exp \left[ -\frac{m_e^2 \pi}{e E} n \right] \right)$$



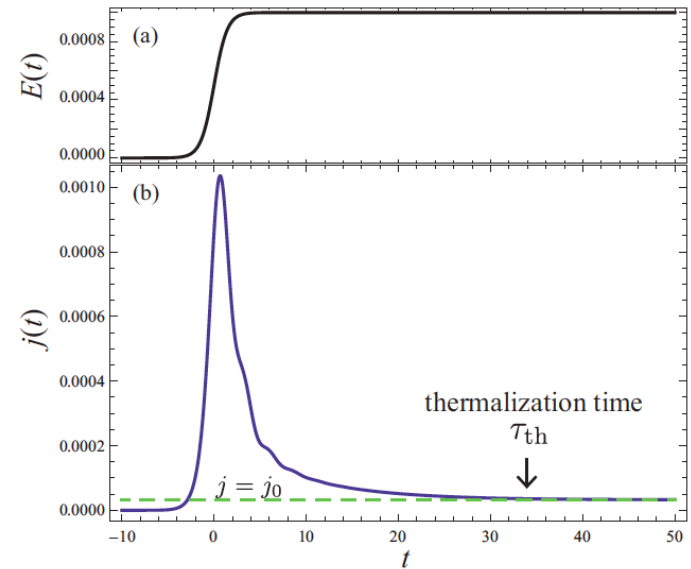
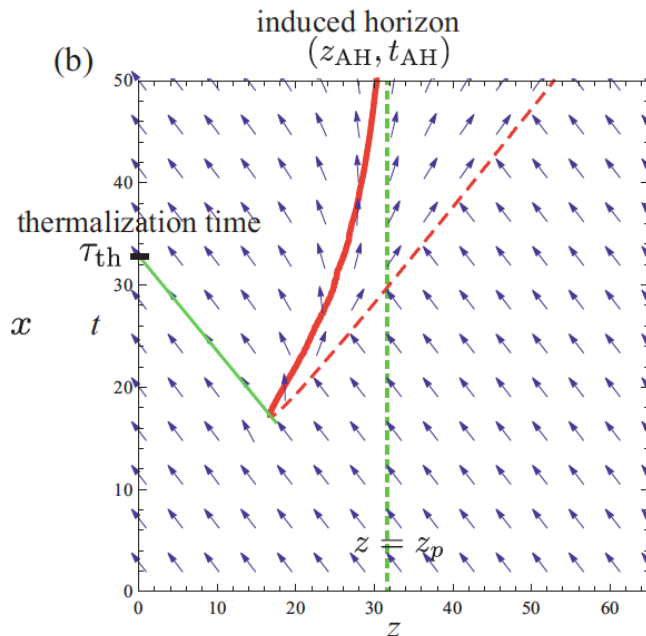
# 3-3

## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

### 結果3. ユニバーサルな速い熱化

$$E(t) = \frac{E}{2}(1 + \tanh(\omega t))$$

時間依存電場が解け、  
非平衡定常状態に移行



熱化 = 事象の地平面の形成  
D7上の誘導メトリックが  
熱的励起を記述

$$\tau_{th} \sim a\pi \left( \frac{\lambda}{2\pi^2} \right)^{1/4} \frac{\hbar}{k_B} E^{-1/2} \sim 1 \text{ [fm/c]}$$

## 3-3

## ホログラフィー、シュウィンガー効果、熱化

オイラーハイゼンベルグ作用 =  $\text{AdS}_5 \times S^5$  中のD7ブレーン作用

$$\mathcal{L} = \mathcal{T}_{D7} 2\pi^2 R^2 \int_0^\infty dr r^3 \sqrt{1 - (2\pi\alpha' E)^2 \frac{R^4}{((2\pi\alpha' m)^2 + r^2)^2}}$$

結果1. 臨界電場 = 閉じ込め力

$$E_{\text{cr}} = \frac{2\pi\alpha' m^2}{R^2} = \frac{\sqrt{2}\pi m^2}{\sqrt{\lambda}}$$

結果2. 自動的にシュウィンガー

$$\text{Im } \mathcal{L} = \frac{N_c}{2^5 \pi} e^2 E^2 \left( 1 + 2^{5/2} \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} \log \frac{m^2}{\sqrt{\lambda} e E} + \text{higher} \right)$$

結果3. ユニバーサルな速い熱化

$$\tau_{\text{th}} \sim a\pi \left( \frac{\lambda}{2\pi^2} \right)^{1/4} \frac{\hbar}{k_B} E^{-1/2}$$

問題

3-1

電場で閉じ込めを壊せるか

原因

3-2

非線形電磁気学、強結合QCD

我々の解

3-3

ホログラフィーを超対称QCDに使う

Dブレーン作用の虚部

シュウィンガー効果、熱化

超弦理論は素粒子統一理論のためだけのものではない

## 弦理論の技術：ソリトン、強結合、非平衡

ロード  
マップ

- 1 超弦理論は死なない: 応用研究 2ページ
- 2 AdS/CFTの限界が見えているか 3ページ
- 3 非平衡系、不安定系への応用 10ページ