

アインシュタインと宇宙の謎

1905年にアインシュタインは物理学史上に残る有名な論文を次々に3つ発表しました。このため1905年は奇跡の年とも呼ばれています。これらの論文は、互いに等速度で運動する座標系では同じ物理法則が成り立つことを主張する特殊相対性理論、光が粒子の集まりとして振舞うことを指摘した光電効果の理論、さらに、微小粒子がそれを取り巻く媒質の熱運動で動かされるようすを記述するブラウン運動の理論を展開したものです。それぞれ、特殊相対性理論、量子力学、統計力学へと発展して20世紀の物理学の柱を形成しました。

しかし、アインシュタインの最も重要な仕事は何かと問われると、それは重力の力を時空の幾何学で説明した一般相対性理論になるでしょう。一般相対論は、特殊相対論や量子力学など20世紀を通じてその正しさが確立された理論とは違って、まだその一部には未完成なところがあり、今世紀における中心的な研究課題となっています。特に、すべての物質が一点に集中した宇宙の始まりや、光も逃げだせないブラックホールの時空などはミステリーに包まれており、一般相対論には多くの謎が残されています。

今、この謎に挑戦しようとしているのが、素粒子を1次元的に広がった紐と考える超弦理論 (superstring theory) です。超弦理論にはこの10数年間で著しい進展があり、理論の理解が大きく進みましたが、特にブラックホールの量子状態を一つずつ数え上げることに成功しています。

この講演では、アインシュタインの夢を実現しようとしている超弦理論がどこまで進展しているのか、残された困難は何かなどについて紹介したいと思います。

アインシュタインと宇宙の謎

京都大学基礎物理学研究所

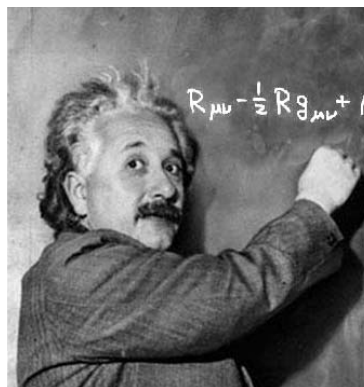
江口徹

アインシュタイン奇跡の年: 1905年
(国際物理年: 2005年)

特殊相対性理論

光電効果 → 量子力学

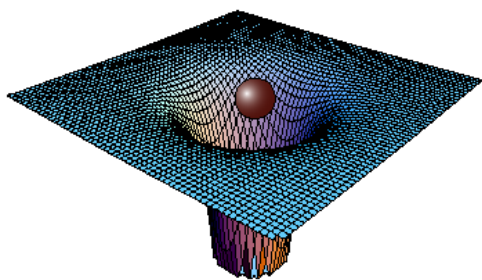
ブラウン運動 → 統計力学



アインシュタイン東大講演, 1922

20世紀の物理学の柱

♠ 一般相対性理論: 1916年



質量エネルギーなど
重力の源があると、
周りの時空にゆがみを生じる

歪んだ時空の中で運動する粒子には、重力
が働くように見える

等価原理

慣性質量と重力質量は高い精度で一致

$$m_I a = F = \frac{GMm_G}{r^2}$$

$$m_I = m_G$$

アインシュタイン晩年の夢

重力と電磁気力の統一

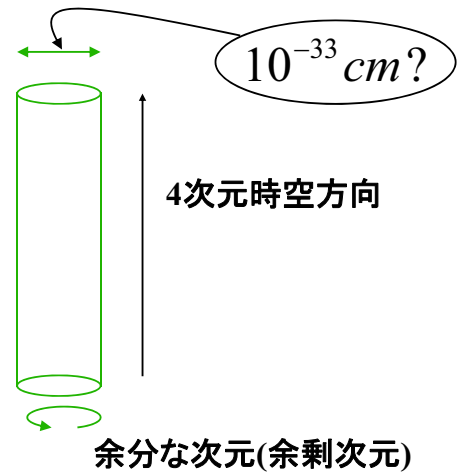
5次元時空の一般相対論

余分な次元は小さくて見えない

5次元の計量

$$G_{ij} = g_{ij}, \quad G_{i5} = A_i \quad \text{ゲージポテンシャル}$$

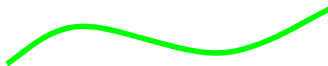
高次元統一理論(カルツァ-クライン理論)



♡ 最有力候補 ♡
超弦理論:

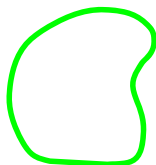
南部 陽一郎

開いた弦⇒ゲージ理論



エドワード・ウィッテン

閉じた弦⇒重力理論



ひもの長さ=10⁻³³cm



素粒子は極微の紐から出来ている。
 紐の基底状態 \longrightarrow $\left\{ \begin{array}{l} \text{ゲージ粒子} \\ \text{重力子} \end{array} \right.$
 紐の励起状態は質量の大きな
 素粒子に対応する。

低いエネルギーの現象ではゲージ理論や一般相対論を再現。

しかし、極微の世界、超高エネルギーの現象でひもの励起状態が効いてくる。 \longrightarrow 一般相対論、ゲージ理論を修正。

数学的な整合性をもつ量子重力理論を与える。

☆カラビヤウ多様体

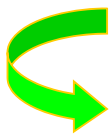
$R_{ij}(g)=0, c_1(K)=0$
 曲率のU(1)成分が消える



4次元での超対称性

☆ALE空間 ($\times S^2$)

消滅サイクルが存在

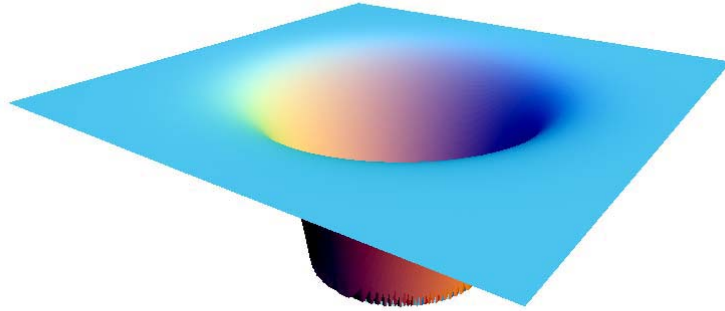


ゲージ対称性を生成

詳しい研究が行われている



- ♣ 弦理論の重要な成果：
ブラックホールのエントロピーの導出



ブラックホールは情報を溜め込んでいる



エントロピーを持つ

- ♣ 超弦理論の克服すべき課題：

超対称性(supersymmetry)に頼っている。

超対称性：

ボソンとフェルミオンが常に対になって理論に現れる。

非繰り込み定理。ホロモーフィー(正則性)。

しばしば、理論の厳密解を与える。

自然界では超対称性は破れた形で存在。

超対称性の(自発的)破れの機構が良く分かっていない。

超対称性が無いと近似に信頼性がなくなる

講師略歴

江口徹 (えぐち とおる)

京都大学基礎物理学研究所・所長



略歴

- 1975年：東京大学理学系研究科博士課程終了、
- 1975-1978年：米国シカゴ大学、スタンフォード大学研究員
- 1978年-1980年：シカゴ大学物理教室助教授、
- 1980-2007年：東京大学理学系研究科助教授、教授
- 2007年-現在：京都大学基礎物理学研究所教授、同研究所所長。