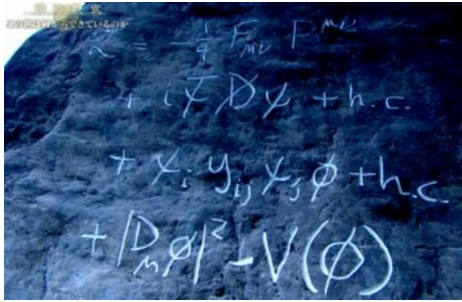


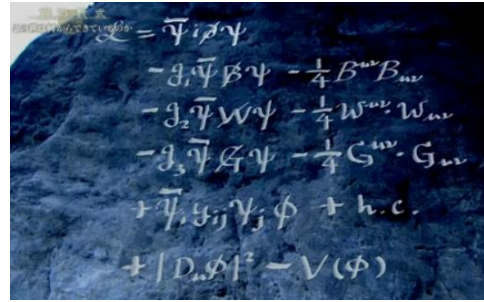
# 神の数式 (NHK スペシャルにて放送)

万物を表す理論・宇宙の設計図

※ヨーロッパ合同原子核研究機構 CERN (スイス)の石碑



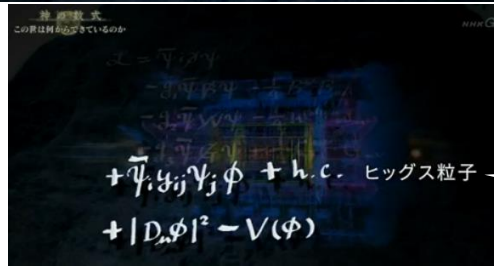
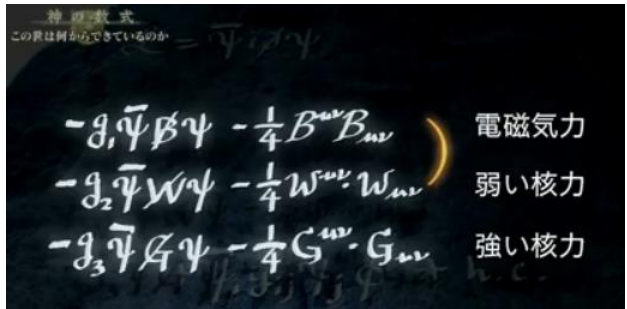
・素粒子がどんな性質を持っているかを表す数式

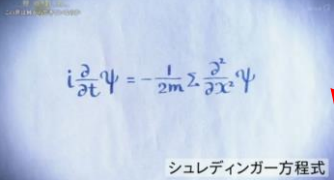
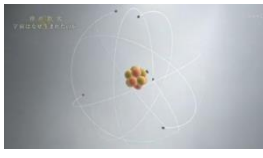

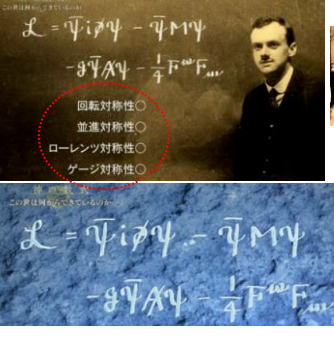


・素粒子を原子の中にまとめたり動かしたりしている力を表す数式



原子の中から時々飛び出してくる気まぐれな粒子



<p>・電子を表す数式 (シュレディンガー)</p> <p>①回転対称性と ②併進対称性に注目</p>	 <p>シュレディンガー方程式</p>	 <p>(美しい式=対称性)</p>
<p>・基本素粒子を表す数式 (ポール・ディラック)</p> <p>電子・ニュートリノ・クォーク</p> <p>③ローレンツ対称性に注目</p>	 <p>ディラック方程式</p> <p>時間, 空間</p> <p>回転対称性○ 並進対称性○ ローレンツ対称性○</p>	<p>①回転対称性 ②併進対称性 ③ローレンツ対称性 ④ゲージ対称性 ⑤非可換ゲージ対称性</p>
<p>・基本素粒子と電磁気力を表す数式 (ロバート・オッペンハイマー)</p> <p>④ゲージ対称性に注目</p> <p><b>問題</b> 電子のエネルギーは無限大</p> <p>↓</p> <p>朝永振一郎 (くり込み理論) リチャード・ファインマン ジュリアン・シュウィンガー</p>	 <p>基本素粒子 電磁気力</p> <p>回転対称性○ 並進対称性○ ローレンツ対称性○ ゲージ対称性○</p>	<p>基本素粒子</p> <p>(素粒子間を結び付ける力)</p> <p>①電磁気力(原子核と電子) ②弱い力 ③強い力 ④重力</p>

<p>・基本素粒子と<b>3つ力</b>を表す数式 (チェンニン・ヤン)</p> <p>⑤非可換ゲージ対称性に注目</p> <p><b>問題</b> 全ての素粒子の重さがゼロ</p> <p>↓</p> <p>南部陽一郎(自発的対称性の破れ) ※クォーク(強い力)に対応 ステーブ・ワインバーグ(ヒッグス場の提唱) ※電子・ニュートリノ(弱い力)にも対応</p>	 <p>基本素粒子 電磁気力 弱い核力 強い核力</p> <p>↓</p> <p>ヒッグス機構</p>	<p>(素粒子間を結び付ける力)</p> <p>①電磁気力(原子核と電子) ②弱い力(ニュートリノを飛び出させる) ③強い力(クォーク同士を結び付ける) ④重力</p>
<p>・素粒子の標準理論の完成</p> <p>※基本素粒子と<b>3つ力の統一</b></p> <p>ステーブ・ワインバーグ(ヒッグス場の提唱) ピーター・ヒッグス(ヒッグス粒子の提唱) フランソワ・アングレール(ヒッグス機構の説明)</p> <p>◎光子を除く素粒子に重さ</p> <p>※2012年ヒッグス粒子の発見 (ヨーロッパ合同原子核研究機構)</p>	 <p>標準理論</p> <p>基本素粒子 電磁気力 弱い核力 強い核力 ヒッグス粒子</p>	
<p>・基本素粒子と<b>4つ力</b>を統一</p> <p>ブロンスタイン(相対性理論の組み込み)</p> <p><b>問題</b> ブラックホールの底などで 重力が無限大(計算不能)</p> <p>↓</p> <p>ジョン・シュワルツ(弦理論)</p> <p>↓</p> <p>◎超ひも理論・M理論</p> <p>ジョン・シュワルツ ポルチンスキー(パラドックスの解消)</p> <p>アスペン物理学センター(コロラド)</p>	 <p>超弦理論</p>    <p>超ひも理論</p> <p>超弦理論</p>	<p>(素粒子間を結び付ける力)</p> <p>①電磁気力(原子核と電子) ②弱い力(ニュートリノを飛び出させる) ③強い力(クォーク同士を結び付ける) ④重力</p>

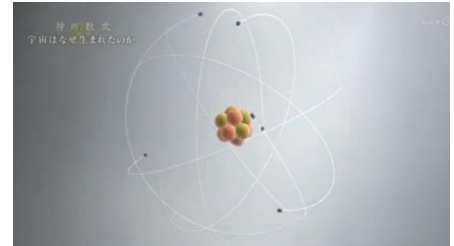
●量子理論 (ステーブ・ワインバーグ)

神の方程式  
宇宙はなぜ生まれたのか

# 素粒子の数式

$$Z = \int [DA][D\psi][D\phi] \exp\left\{i \int d^4x \left[ -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} + (\bar{\psi}D\psi + h.c.) + (\psi_{ij}\psi_j\phi + h.c.) + |D_\mu\phi|^2 - V(\phi) \right]\right\}$$

標準理論

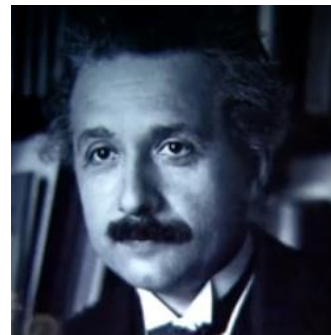
●一般相対性理論 (アルバート・アインシュタイン)

神の方程式  
宇宙はなぜ生まれたのか

# 宇宙正しく表す 重力理論

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \kappa T_{\mu\nu}$$

一般相対性理論

神の方程式  
宇宙はなぜ生まれたのか

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \kappa T_{\mu\nu}$$

座標 | 座標 | 比例定数 | 座標  
空間のゆがみ | 距離 | 空間のゆがみ | エネルギー

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}g_{\mu\nu}R = \kappa T_{\mu\nu}$$

空間のゆがみ | 物の重さ・エネルギー



**問題** ブラックホールの底や宇宙の始まりの最小点では、無限大( $\infty$ )  
空間がゼロなため、重力は無限大となり、計算不能を意味する

$$D_{\text{distortion}} \propto \frac{1}{r^3}$$

空間の“ゆがみ” | r: 底との距離

$$D_{\text{distortion}} = \frac{1}{0^3} = \infty$$

無限大

●超ひも理論 (ジョン・シュワルツ)



素粒子の数式

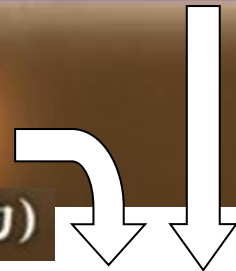
ミクロの世界

物質と様々な力

$$Z = \int [DA][D\psi][D\phi] \exp\left\{i \int d^4x \left[ -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} D\psi + h.c.) + (\psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \right] \right\}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu}$$

一般相対性理論(重力)



$$Z = \int [Dg][DA][D\psi][D\phi] \exp\left\{i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{1}{2\kappa} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} D\psi + h.c.) + (\psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \right] \right\}$$

ブロンスタインによる組み込み

$$\frac{1}{0} = \infty$$



超弦理論



$$Z = \int [Dg][DX][D\psi] \exp\left\{ -\frac{1}{2\pi} \int_M d^2\sigma \sqrt{-h} [h^{\alpha\beta} \partial_\alpha X^\mu \partial_\beta X_\mu - i\bar{\psi}^\mu \rho^\alpha \partial_\alpha \psi_\mu] \right\}$$

$$Z = \int [Dg][DA][D\psi][D\phi] \exp\left\{i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{1}{2\kappa} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} D\psi + h.c.) + (\psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \right] \right\}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu} \quad -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} D\psi + h.c.) + (\psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

一般相対性理論

素粒子の数式

$$Z = \int [Dg][DA][D\psi][D\phi] \exp\left\{i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{1}{2\kappa} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} D\psi + h.c.) + (\psi_i y_{ij} \psi_j \phi + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \right] \right\}$$

粒子は点である



●まとめ 神の数式 (超ひも理論)



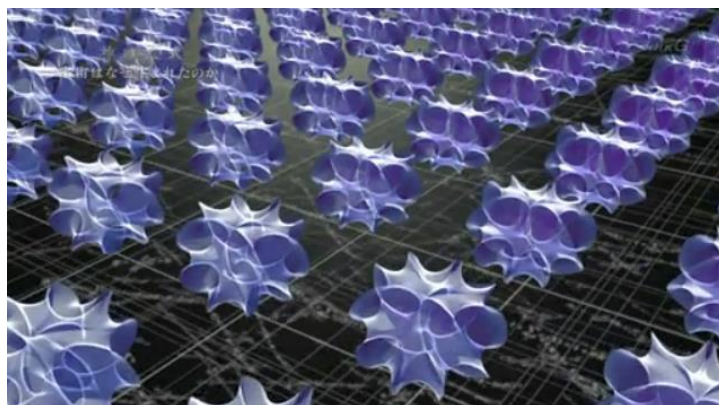
神の数式  
宇宙はなぜ生まれたのか

$$Z = \int |Dg||DX||D\psi| \exp\left\{-\frac{1}{2\pi} \int_M d^2\sigma \sqrt{h} [h^{\alpha\beta} \partial_\alpha X^\mu \partial_\beta X_\mu - i\bar{\psi}^\mu \rho^\alpha \partial_\alpha \psi_\mu]\right\}$$

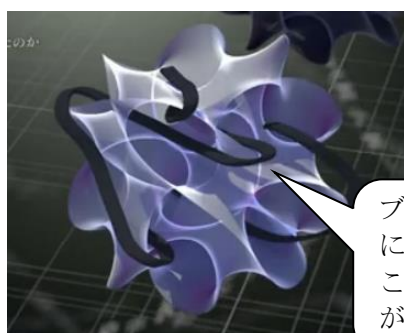
$$Z = \int |Dg||DA||D\psi||D\phi| \exp\left\{i \int d^4x \sqrt{-g} \left[ \frac{1}{2\kappa} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} \not{D}\psi + h.c.) + (\psi_{,Y} \psi_{,Y} + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi) \right]\right\}$$

$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = \kappa T_{\mu\nu} \quad \frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + (i\bar{\psi} \not{D}\psi + h.c.) + (\psi_{,Y} \psi_{,Y} + h.c.) + |D_\mu \phi|^2 - V(\phi)$$

●異次元 (次元: 動くことができる座標の数) ※原子の1兆分の1のそのまた1兆分の1の世界



●ホーキングパラドックス (ブラックホールの底の熱) ⇒ ポルチンスキーが解決



ブラックホールの底にも異次元があり、そこをひもの集団(膜)が動いて熱を発生



宇宙はなぜ生まれたのか

$$S = \ln d(Q_r, Q_n) \sim 2\pi \sqrt{Q_n \left(\frac{1}{2} Q_r^2 + 1\right)} \sim 2\pi \sqrt{\frac{Q_n Q_r^2}{2}}$$

$$S = \frac{1}{4G} A$$