

แบบจำลองมาตรฐาน: คำนำทางเทคนิคเกี่ยวกับ ความเข้าใจในปัจจุบันของเราต่อจักรวาล

ในระดับนามธรรมสูงสุด ความรู้ของเราเกี่ยวกับจักรวาลทางกายภาพสามารถบีบอัดลงในนิพจน์เชิงสัญลักษณ์เพียงนิพจน์เดียว เขียนด้วยภาษาของอินทิกรัลเส้นทาง มันมีดังนี้:

$$W = \int_{k < \Lambda} [Dg][DA][D\psi][D\Phi] \exp \left\{ i \int d^4x \sqrt{-g} \left[\frac{m_p^2}{2} R - \frac{1}{4} F_{\mu\nu}^a F^{a\mu\nu} + i \bar{\psi}^i \gamma^\mu D_\mu \psi^i + (\bar{\psi}_L^i V_{ij} \Phi \psi_R^j + h.c.) - |D_\mu \Phi|^2 - V(\Phi) \right] \right\}.$$

นิพจน์นี้ ซึ่งหนาแน่นและกะทัดรัด เป็น **รูปแบบอินทิกรัลเส้นทางของแบบจำลองมาตรฐานบวกแรงโน้มถ่วง** มันรวมกลศาสตร์ควอนตัม, กาลอวกาศ, สสาร, แรงแม่เหล็กไฟฟ้า, และการสร้างมวลเข้าไว้ในกรอบเดียวกัน มาวิเคราะห์มันทีละส่วนกัน

1. กลศาสตร์ควอนตัม: อินทิกรัลเส้นทาง

ตัวประกอบหน้า

$$W = \int [Dg][DA][D\psi][D\Phi] e^{iS}$$

คือ **ฟังก์ชันนัลกำเนิด** ของทฤษฎีสถานะควอนตัม

มันระบุว่าเพื่อคำนวณกระบวนการใด ๆ จะต้องรวมผลรวมของ **การกำหนดค่าสนามที่เป็นไปได้ทั้งหมด**:

เรขาคณิต g , สนามเกจ A , สนามเฟอร์มิออน ψ , และสนามฮิกส์ Φ แต่การกำหนดค่าจะมีส่วนร่วมด้วยน้ำหนัก e^{iS} โดยที่ S คือการกระทำ

นี่คือแก่นแท้ของ **กลศาสตร์ควอนตัมที่ขยายไปยังสนาม**: ความเป็นจริงคือรูปแบบการแทรกสอดของประวัติศาสตร์ที่เป็นไปได้ทั้งหมด

2. กาลอวกาศและแรงโน้มถ่วง

เทอม

$$\frac{m_p^2}{2} R$$

แทน **การกระทำของไอน์สไตน์-ฮิลเบิร์ต** โดยที่ R คือความโค้งสเกลาร์ของรีชี และ m_p คือมวลพลาנקที่ลดลง

มันเข้ารหัส **ทฤษฎีสัมพัทธภาพทั่วไป**: กาลอวกาศเป็นพลวัต โค้งงอโดยการมีอยู่ของพลังงานและโมเมนตัม

แม้ว่าความสอดคล้องเชิงควอนตัมของแรงโน้มถ่วงยังไม่ได้รับการแก้ไข การรวมเทอมนี้แสดงถึงทฤษฎีที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของเราเกี่ยวกับกาลอวกาศ

3. สนามเกจ: แรงอื่น ๆ

$$-\frac{1}{4}F_{\mu\nu}^a F^{a\mu\nu}$$

เทอมที่กะทัดรัดนี้เข้ารหัสพลวัตของสนามเกจ: กลูออน (แรงนิวเคลียร์เข้ม), บอสอน W และ Z (แรงนิวเคลียร์อ่อน), และโฟตอน (แม่เหล็กไฟฟ้า) สัญลักษณ์ $F_{\mu\nu}^a$ ขยายเทนเซอร์สนามแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังสนามYang-Millsที่ไม่ใช่จะมีเลียน

จากโครงสร้างเดียวนี้ สามารถอนุพัทธ์ **สมการของแมกซ์เวลล์** ในขอบเขตอะบีเลียน รวมถึงเครื่องจักรทั้งหมดของควอนตัมโครโมไดนามิกส์ (QCD) และทฤษฎีอิเล็กโตรวีก

4. สนามสสาร

$$i\bar{\psi}\gamma^\mu D_\mu\psi$$

นี่คือ **การกระทำของดีแรค** สำหรับเฟอร์มิออน: ควาร์กและเลปตอน ดัชนี i ครอบคลุมสามรุ่น อนุพันธ์โควาเรียนต์ D_μ เชื่อมโยงสนามสสารกับสนามเกจ เพื่อให้มั่นใจว่าสอดคล้องกับความสมมาตรของแบบจำลองมาตรฐาน

นี่คือคำแถลงทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับวิธีที่อนุภาคสสารเคลื่อนที่และมีปฏิสัมพันธ์กับแรง

5. การคัปปลิงยูกาวา

$$\bar{\psi}_L^i V_{ij} \Phi \psi_R^j + h.c.$$

เทอมเหล่านี้อธิบาย **ปฏิสัมพันธ์ยูกาวา**: การคัปปลิงของเฟอร์มิออนกับสนามฮิกส์ Φ เมื่อสนามฮิกส์ได้รับค่าคาดหวังในสุญญากาศ ปฏิสัมพันธ์เหล่านี้จะแปลเป็น **มวลของเฟอร์มิออน**

สัมประสิทธิ์ V_{ij} เข้ารหัสโครงสร้างของการผสมรสชาติ (เช่น เมทริกซ์ CKM สำหรับควาร์ก)

6. ภาคฮิกส์

$$-|D_\mu\Phi|^2 - V(\Phi)$$

นี่คือสนามฮิกส์เอง

เทอมจลนศาสตร์ $|D_\mu\Phi|^2$ เชื่อมโยงมันกับบอสอนเกจ ในขณะที่ศักย์

$$V(\Phi) = \mu^2\Phi^\dagger\Phi + \lambda(\Phi^\dagger\Phi)^2$$

ขับเคลื่อน **การแตกสมมาตรโดยสมัครใจ**

นี่ทำลาย $SU(2)_L \times U(1)_Y \rightarrow U(1)_{em}$ ทำให้บอสอน W และ Z มีมวล ในขณะที่โฟตอนยังคงไม่มีมวล

การค้นพบอนุภาคฮิกส์ที่ CERN ในปี 2012 ยืนยันกรอบนี้

7. คำแถลงที่เป็นเอกภาพ

เมื่อรวมกัน การกระทำนี้แสดงถึง:

- **กลศาสตร์ควอนตัม** ผ่านอินทิกรัลเส้นทาง
- **กาลอวกาศและแรงโน้มถ่วง** ผ่านเทอมไอน์สไตน์-ฮิลเบิร์ต
- **ปฏิสัมพันธ์เกจ** (เข้ม, อ่อน, แม่เหล็กไฟฟ้า)
- **สนามสสาร** (ควาร์กและเลปตอน)
- **การสร้างมวล** ผ่านกลไกฮิกส์และการคัปปลิงยูคาวา

มันไม่ใช่ “ทฤษฎีของทุกสิ่ง” สุดท้าย — มันละเลยสสารมืด, พลังงานมืด, และทฤษฎีควอนตัมเต็มรูปแบบของแรงโน้มถ่วง — แต่เป็น **คำอธิบายที่สมบูรณ์ที่สุดของความเป็นจริงที่มนุษย์ชาติเคยบรรลุมานี้**

สรุป

หากสิ่งมีชีวิตอัจฉริยะอื่นถามถึงคำอธิบายของเราต่อกฎของธรรมชาติ เราจะนำเสนอสมการนี้

ไม่ใช่กวีนิพนธ์ แต่มีความงามอันลึกซึ้ง: นิพจน์เดียวที่เข้ารหัสพลวัตของอวกาศ, เวลา, สสาร, และปฏิสัมพันธ์

นี่คือ **ความเข้าใจในปัจจุบันของเราต่อจักรวาล** ซึ่งถูกบีบอัดลงในคณิตศาสตร์