https://farid.ps/articles/physics_beyond_the_standard_model/ur.html

سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس

2012 میں، جب ہگس بوزون کی تصدیق CERN کے لارج ہیڈرون کولائیڈر (LHC) میں ہوئی، تو سٹینڈرڈ ماڈل (SM) نظریاتی طور پر مکمل تھا۔ ہر پیش گوئی کی گئی ذرہ دریافت ہو چکی تھی۔ اس کے مساوات نے تجرباتی ٹیسٹوں کو حیرت انگیز درستگی کے ساتھ پاس کیا تھا۔

تاہم، فزکس کے ماحول میں اختتام کا احساس نہیں تھا، بلکہ نامکمل ہونے کا احساس تھا۔ جیسے نیوٹن کے قوانین آئنسٹائن سے پہلے یا کلاسیکی فزکس کوانٹم مکینکس سے پہلے تھے، سٹینڈرڈ ماڈل ہمارے ٹیسٹ کردہ پیمانوں پر بہت کامیاب تھا، لیکن گہرے سوالات کے جوابات دینے سے قاصر تھا۔ یہ تقریباً ایک کامل نقشہ تھا – لیکن صرف منظر نامے کے ایک چھوٹے سے حصے کا۔

کشش ثقل: غائب قوت

سب سے واضح کمی کشش ثقل ہے۔

- SM چار معلوم بنیادی قوتوں میں سے تین کو بیان کرتا ہے: برقی مقناطیسیت، کمزور تعامل، اور مضبوط تعامل۔
- آئنسٹائن کی **جنرل ریلیٹیویٹی (GR)** کے ذریعے بیان کی گئی کشش ثقل مکمل طور پر غائب ہے۔

یہ کوئی معمولی بھول نہیں ہے۔ جنرل ریلیٹیویٹی کشش ثقل کو خلا-وقت کی خمیدگی کے طور پر دیکھتی ہے، ایک ہموار ہندسی میدان، جبکہ SM قوتوں کو ذرات کے ذریعے منتقل ہونے والے کوانٹم فیلڈز کے طور پر دیکھتا ہے۔ کشش ثقل کو اسی طرح کوانٹائز کرنے کی کوشش ناقابلِ معمول لامحدودیتوں کا سامنا کرتی ہے۔

سٹینڈرڈ ماڈل اور GR دو مختلف آپریٹنگ سسٹمز کی طرح ہیں – اپنے اپنے ڈومینز میں شاندار، لیکن بنیادی طور پر غیر مطابقت پذیر۔ ان کو متحد کرنا جدید فزکس کا سب سے بڑا چیلنج ہو سکتا ہے۔

نیوٹرینو کی ماس

SMپیش گوئی کرتا ہے کہ نیوٹرینو کی کوئی ماس نہیں ہوتی۔ لیکن جاپان کے سپر-کامیوکینڈ ڈیٹیکٹر (1998) سے شروع ہونے والے تجربات، جو عالمی سطح پر تصدیق شدہ ہیں، نے دکھایا کہ نیوٹرینو مختلف ذائقوں (الیکٹران، میوون، ٹاؤ) کے درمیان اوسیلیٹ کرتے ہیں۔ اوسیلیشن کے لیے ماس کی ضرورت ہوتی ہے۔

یہ سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس کا پہلا تصدیق شدہ ثبوت تھا۔ اس دریافت نے کاجیتا اور میک ڈونلڈ کو 2015 کا نوبل انعام دلایا۔

نیوٹرینو انتہائی ہلکے ہیں، کم از کم الیکٹران سے دس لاکھ گنا ہلکے۔ ان کی ماس کو SM سے سمجھا نہیں جا سکتا - لیکن یہ نئی فزکس کی طرف اشارہ کر سکتے ہیں، جیسے کہ **سیسا میکانزم**، سٹیرائل نیوٹرینو، یا ابتدائی کائنات سے تعلقات۔ کچھ منظرناموں میں، بھاری سیسا نیوٹرینو **لیپٹوجینیسس** کو ممکن بناتے ہیں، جہاں ابتدائی کائنات میں لیپٹن کی عدم توازن پیدا ہوتی ہے، جو بعد میں مشاہدہ شدہ **مادہ-اینٹی میٹر عدم توازن** میں تبدیل ہوتی ہے۔

ڈارک میٹر

SM کے ذریعے بیان کردہ نظر آنے والا مادہ کائنات کا 5% سے بھی کم حصہ بناتا ہے۔ باقی غیر مرئی ہے۔

- **ڈارک میٹر** (کائنات کا تقریباً 27%) صرف کشش ثقل کے ذریعے ظاہر ہوتا ہے: کہکشائیں نظر آنے والے مادے کی اجازت سے زیادہ تیزی سے گھومتی ہیں، کہکشائی جھرمٹ روشنی کو توقع سے زیادہ موڑتے ہیں، اور کوسمک مائکروویو پس منظر کو اضافی غیر مرئی ماس کی ضرورت ہوتی ہے۔
- SM کی کوئی ذرہ اس کی وضاحت نہیں کر سکتی۔ نیوٹرینو بہت ہلکے اور تیز ہیں۔ عام مادہ بہت کم ہے۔

نظریات نئی ذرات تجویز کرتے ہیں: WIMP (کمزور طور پر تعامل کرنے والی بڑی ماس والی ذرات)، ایکسینز، سٹیرائل نیوٹرینو، یا کچھ اور عجیب۔ لیکن زیر زمین ڈیٹیکٹرز، تصادم کے تجربات، اور فلکیاتی سروے کے باوجود، ڈارک میٹر اب بھی پکڑ میں نہیں آیا۔

ڈارک انرجی

اس سے بھی زیادہ پراسرار **ڈارک انرجی** ہے، جو کائنات کی تیزی سے پھیلتی ہوئی توسیع کو چلاتی ہے۔

- 1998 میں سپرنووا مشاہدات کے ذریعے دریافت ہونے والی ڈارک انرجی کائنات کا تقریباً 68% بناتی ہے۔

- اصولی طور پر، اسے کوانٹم فیلڈز کی "ویکیوم انرجی" کے طور پر سمجھا جا سکتا ہے۔ لیکن QFT کے سادہ حسابات ویکیوم انرجی کی کثافت کو 120 درجہ بہت زیادہ پیش گوئی کرتے ہیں - فزکس کی تاریخ کی بدترین پیش گوئی۔

یہ **کاسمولوجیکل کانسٹنٹ مسئلہ** شاید کوانٹم فیلڈ تھیوری اور کشش ثقل کے درمیان سب سے شدید تنازعہ ہے۔ سٹینڈرڈ ماڈل ڈارک انرجی کے بارے میں کچھ نہیں کہتا۔ یہ کائنات کے ہمارے فہم میں ایک بڑا خلا ہے۔

ہائرارکی مسئلہ

ایک اور گہرا راز خود ہگس بوزون میں ہے۔

ہگس کی ماس 125 GeV پر ماپا گیا ہے۔ لیکن کوانٹم تصحیحات اسے پلانک اسکیل (10^{19} GeV) کی طرف دھکیل دیتی ہیں، جب تک کہ غیر معمولی منسوخی نہ ہو۔ یہ کشش ثقل کی قدرتی توانائی اسکیل کے مقابلے میں اتنا ہلکا کیوں ہے؟

یہ **ہائرارکی مسئلہ** ہے: ہگس غیر معمولی طور پر باریک طور پر ٹیون کیا ہوا لگتا ہے۔ فزکس دان نئی فزکس کا شک کرتے ہیں، جیسے کہ **سپر سمیٹری (SUSY)**، جو ہگس کی ماس کو مستحکم کر سکتی ہے، پارٹنر ذرات متعارف کروا کر جو خطرناک تصحیحات کو منسوخ کرتی ہیں۔ (**قدرتیت** کے بارے میں بحثیں متحرک حل سے لے کر ممکنہ "ویکیوم کے منظر" میں **اینتھروپک** استدلال تک شامل ہیں۔)

مادہ-اینٹی میٹر عدم توازن

SM میں کچھ CP توڑ شامل ہے، لیکن یہ اس بات کی وضاحت کے لیے کافی نہیں کہ موجودہ کائنات مادے سے بھری ہوئی ہے، نہ کہ مادہ اور اینٹی میٹر کی برابر مقداروں سے۔ جیسا کہ اوپر ذکر کیا گیا، **لیپٹوجینیسس** جیسے میکانزم (جو اکثر نیوٹرینو کی ماس کے سیسا میکانزم سے منسلک ہوتے ہیں) ایک زبردست راستہ پیش کرتے ہیں جہاں SM سے آگے کی فزکس توازن کو جھکاتی ہے۔

ایک خوبصورت لیکن نامکمل تصویر

سٹینڈرڈ ماڈل کو بعض اوقات "فزکس کی سب سے کامیاب تھیوری" کہا جاتا ہے۔ اس کی پیش گوئیاں تجربات کے ساتھ 10-12 دہائیوں تک مطابقت رکھتی ہیں۔ یہ تقریباً ہر وہ چیز بیان کرتا ہے جو ہم ذرہ ایکسلریٹرز اور لیبارٹریوں میں دیکھتے ہیں۔

لیکن یہ نامکمل ہے:

- یہ کشش ثقل کو نظر انداز کرتا ہے۔
- یہ نیوٹرینو کی ماس کی وضاحت نہیں کر سکتا۔
- یہ ڈارک میٹر یا ڈارک انرجی کی وضاحت نہیں کر سکتا۔
- یہ ہائرارکی مسئلہ یا مادہ-اینٹی میٹر عدم توازن جیسے گہرے اسرار کو حل نہیں کرتا۔

فزکس دان اب تاریخ کے ایک مانوس لمحے کا سامنا کر رہے ہیں۔ جیسے نیوٹن کی مکینکس نے ریلیٹیویٹی کو راستہ دیا، اور کلاسیکی فزکس نے کوانٹم مکینکس کو، سٹینڈرڈ ماڈل کو بالآخر کسی گہری چیز کے لیے راستہ دینا ہوگا۔

مقدس گریل: متحدہ تھیوری

حتمی مقصد ایک **گرینڈ یونیفائیڈ تھیوری (GUT)** یا حتیٰ کہ **تھیوری آف ایور یتھنگ (ToE)** ہے: ایک فریم ورک جو چاروں قوتوں کو متحد کرتا ہے، تمام ذرات کی وضاحت کرتا ہے، اور سب سے چھوٹے پیمانوں (کوانٹم گریویٹی) سے لے کر سب سے بڑے (کاسمولوجی) تک مستقل طور پر کام کرتا ہے۔

یہ جدید فزکس کا مقدس گریل ہے۔ اسی لیے محققین ایکسلریٹرز کو بلند توانائیوں تک لے جا رہے ہیں، بڑے پیمانے پر نیوٹرینو ڈیٹیکٹرز بنا رہے ہیں، دوربینوں سے کائنات کا نقشہ بنا رہے ہیں، اور نئے ریاضیاتی طریقوں کی ایجاد کر رہے ہیں۔

اگلے ابواب میں، ہم اہم امیدواروں کو تلاش کریں گے:

- **سپر سمیٹری (SUSY)** – مادہ اور قوت ذرات کے درمیان ایک سمیٹری۔
- **سٹرنگ تھیوری اور M- تھیوری** – جہاں ذرات ہلتی ہوئی سٹرنگز ہیں، اور گریویٹون قدرتی طور پر ظاہر ہوتا ہے۔
- **اضافی جہتیں** – کالوزا-کلین کے ابتدائی خیال سے لے کر جدید رینڈل-سنڈرم ماڈلز تک۔
- **دیگر نقطہ نظر** – جیسے لوپ کوانٹم گریویٹی اور ایسمپٹوٹک سیفٹی۔

یہ خیالات ہر ایک ڈگما کے طور پر نہیں، بلکہ سائنس کی بہترین شکل کے طور پر پیدا ہوئے: دراڑوں کو نوٹ کرنا، نئی تھیوریز بنانا، اور انہیں حقیقت کے مقابلے میں جانچنا۔

سپر سمیٹری: اگلی بڑی سمیٹری؟

فزکس کی متحدہ کرنے کی ایک طویل تاریخ ہے جو سمیٹری کے ذریعے ہوتی ہے۔ میکسویل کے مساوات نے بجلی اور مقناطیسیت کو متحد کیا۔ خصوصی ریلیٹیویٹی نے خلا اور وقت کو متحد کیا۔ الیکٹروویک تھیوری نے چار بنیادی قوتوں میں سے دو کو متحد کیا۔ ہر ترقی فطرت میں چھپی سمیٹری کو ظاہر کرنے سے آئی۔

سپر سمیٹری - یا SUSY، جیسا کہ فزکس دان اسے پیار سے کہتے ہیں - ایک جرات مندانہ تجویز ہے کہ اگلی بڑی سمیٹری دو بظاہر مختلف زمرہ جات کی ذرات کو جوڑتی ہے: **مادہ** اور **قوت**۔

فرمیونز اور بوزونز: مادہ بمقابلہ قوت

سٹینڈرڈ ماڈل میں، ذرات دو بڑے خاندانوں میں تقسیم ہوتے ہیں:

- **فرمیونز (اسپن 1/2)**: کوارک اور لیپٹون شامل ہیں، جو مادے کے بلڈنگ بلاکس ہیں۔ ان کا آدھا عدد اسپن اس کا مطلب ہے کہ وہ پاؤلی کے اخراج اصول کی پیروی کرتے ہیں: دو یکساں فرمیون ایک ہی حالت پر قبضہ نہیں کر سکتے۔ یہ وضاحت کرتا ہے کہ ایٹموں کے ڈھانچے والے خول کیوں ہیں اور مادہ مستحکم کیوں ہے۔
- **بوزونز (عدد صحیح اسپن)**: فوٹونز، گلوؤنز، W اور Z بوزونز، اور ہگس شامل ہیں۔ بوزونز قوتوں کی منتقلی کرتے ہیں۔ فرمیونز کے برعکس، وہ ایک ہی حالت میں جمع ہو سکتے ہیں، جو لیزرز (فوٹونز) اور بوس-آئنسٹائن کنڈینسیٹس کی موجودگی کی وضاحت کرتا ہے۔

مختصراً: فرمیونز مادہ بناتے ہیں، بوزونز قوتوں کو منتقل کرتے ہیں۔

سپر سمیٹری کی مفروضہ

سپر سمیٹری ایک ایسی سمیٹری تجویز کرتی ہے جو فرمیونز اور بوزونز کو جوڑتی ہے۔ ہر معلوم فرمیون کے لیے ایک بوزونک پارٹنر ہوتا ہے۔ ہر معلوم بوزون کے لیے ایک فرمیونک پارٹنر ہوتا ہے۔

- کوارک → **اسکوارک**
- لیپٹون → **سلیپٹون**
- گلوؤنز → **گلوئنو**
- گیج/ہگس سیکٹر → **نیوٹرالینو** (بینو، وینو، ہگسینو کے مکس؛ نیوٹرل) اور **چارجینو** (وینو، ہگسینو کے مکس؛ چارج شدہ)

("فوٹینو" اور "زینو" گیج ایجن اسٹیٹس کے لیے پرانے عرفی نام ہیں؛ تجربات حقیقت میں مذکورہ بالا ماس ایجن اسٹیٹس کی تلاش کرتے ہیں۔)

ذرہ کی دنیا کی ایسی شدید دوگنی کیوں تجویز کی جائے؟ کیونکہ SUSY سٹینڈرڈ ماڈل کے کچھ گہرے مسائل کے لیے خوبصورت حل پیش کرتی ہے۔

ہائرارکی مسئلہ کا حل

SUSY کا سب سے بڑا رغبت اس کی ہائرارکی مسئلہ کو حل کرنے کی صلاحیت ہے: ہگس بوزون پلانک اسکیل کے مقابلے میں اتنا ہلکا کیوں ہے۔

سٹینڈرڈ ماڈل میں، ورچوئل ذرات سے کوانٹم تصحیحات ہگس کی ماس کو بے پناہ اقدار کی طرف دھکیل دیتی ہیں۔ سپر سمیٹری اسپارٹکلز متعارف کرواتی ہے جن کے تعاون سے یہ انحرافات منسوخ ہو جاتی ہیں۔ نتیجہ: ہگس کی ماس قدرتی طور پر مستحکم ہوتی ہے، بغیر کسی باریک ٹیوننگ کے (کم از کم "قدرتی" SUSY سپیکٹرا میں)۔

SUSY اور گرینڈ یونیفیکیشن

SUSY کی ایک اور ترغیب قوتوں کی یونیفیکیشن سے آتی ہے۔

- مضبوط، کمزور، اور برقی مقناطیسی قوتوں کے جوڑنے والے مستقلات کو بلند توانائیوں پر حساب کرنے پر، سٹینڈرڈ ماڈل میں وہ تقریباً ایک نقطے پر ملتے ہیں، لیکن بالکل نہیں۔
- SUSY کے ساتھ، اسپارٹکلز کے تعاون کی بدولت، جوڑنے والے مستقلات تقریباً 10^{16} GeV پر خوبصورتی سے مل جاتے ہیں۔

یہ تجویز کرتا ہے کہ انتہائی بلند توانائیوں پر، تینوں قوتیں ایک گرینڈ یونیفائیڈ تھیوری (GUT) میں ضم ہو سکتی ہیں۔

ڈارک میٹر کے امیدوار کے طور پر SUSY

سپر سمیٹری ایک ڈارک میٹر کے لیے بھی ایک قدرتی امیدوار فراہم کرتی ہے۔

اگر SUSY درست ہے، تو ایک اسپارٹکل مستحکم اور برقی طور پر غیر جانبدار ہونا چاہیے۔ بنیادی امیدوار سب سے ہلکا نیوٹرالینو ہے، جو بینو، وینو، اور ہگسینو کا ایک مکس ہے۔

نیوٹرالینوز صرف کمزور طور پر تعامل کریں گے، جو WIMP (کمزور طور پر تعامل کرنے والی بڑی ماس والی ذرات) کے پروفائل سے مطابقت رکھتا ہے۔ اگر ان کی دریافت ہو جاتی ہے، تو وہ کائنات کی گمشدہ 27% مادے کی وضاحت کر سکتے ہیں۔

SUSY کے تجرباتی تلاش

عقدوں تک، فزکس دانوں نے امید کی کہ سپر سمیٹریکل ذرات پہلے سے دریافت شدہ توانائی اسکیلز کے بالکل اوپر ظاہر ہوں گی۔

- **LEP (CERN، 1990 کی دہائی):** تقریباً 100 GeV تک کوئی SUSY ذرات نہیں ملے۔
- **ٹیواٹران (فرمی لیب، 1990-2000 کی دہائی):** کوئی اسپارٹکلز نہیں۔
- **LHC (CERN، 2010-2020 کی دہائی):** 13.6 TeV تک پروٹون-پروٹون تصادم (ڈیزائن: 14 TeV). وسیع تلاش کے باوجود، کئی TeV کی اسکیل تک اسکوارک، گلوئنو، یا نیوٹرالینو کے کوئی ثبوت نہیں ملے۔

LHC میں SUSY کی دریافت کی کمی مایوسی کا باعث بنی۔ SUSY کی سب سے سادہ ورژنز، جیسے کہ "منیمل سپر سمیٹرک سٹینڈرڈ ماڈل" (MSSM)، اب سخت محدود ہیں۔ "قدرتی" سپیکٹرا کو زیادہ بھاری اقدار کی طرف دھکیلا گیا ہے، جس کا مطلب ہے کہ اگر SUSY TeV اسکیل کے قریب موجود ہے تو اسے مزید باریک ٹیوننگ کی ضرورت ہے۔

پھر بھی، SUSY کو خارج نہیں کیا گیا۔ زیادہ پیچیدہ ماڈلز زیادہ بھاری یا زیادہ لطیف اسپارٹکلز کی پیش گوئی کرتے ہیں، شاید LHC کی رسائی سے باہر، یا ایسی تعاملات کے ساتھ جو آسانی سے پکڑ میں نہ آئیں۔

SUSY کی ریاضیاتی خوبصورتی

فینومینولوجیکل ترغیبات سے ہٹ کر، SUSY ایک گہری ریاضیاتی خوبصورتی رکھتی ہے۔

- یہ خلا-وقت کی سمیٹری کا واحد ممکنہ توسیع ہے جو ریلیٹیویٹی اور کوانٹم مکینکس کے ساتھ مطابقت رکھتی ہے۔
- سپر سمیٹریکل نظریات اکثر زیادہ قابل حساب ہوتی ہیں: وہ لامحدودیتوں کو قابو کرتی ہیں اور QFT میں چھپی ہوئی ڈھانچوں کو ظاہر کرتی ہیں۔

- سٹرنگ تھیوری میں، SUSY تسلسل کے لیے ضروری ہے: اس کے بغیر، تھیوری میں ٹیکیون اور دیگر پیتھالوجیز شامل ہوتے ہیں۔

اگر فطرت قابل رسائی توانائیوں پر SUSY کو عملی شکل نہ دے، تب بھی اس کی ریاضیات نے فزکس کو تقویت بخشی ہے۔

سپر سمیٹری کی موجودہ حالت

آج، SUSY ایک عجیب مقام پر ہے۔

- یہ سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس کے لیے سب سے زیادہ زبردست فریم ورکس میں سے ایک ہے۔
- یہ ہائرارکی مسئلہ حل کرتی ہے، یونیفیکیشن کی حمایت کرتی ہے، اور ڈارک میٹر کے لیے ایک امیدوار پیش کرتی ہے۔
- لیکن اس کے تجرباتی ثبوت ابھی تک نہیں ملے۔

اگر LHC اور اس کے جانشین کچھ نہیں پاتے، تو SUSY صرف ہماری رسائی سے باہر توانائی اسکیلز پر عمل میں آسکتی ہے – یا شاید فطرت نے بالکل مختلف راستہ اختیار کیا ہو۔

ایک طریقہ، ڈگما نہیں

سپر سمیٹری سائنسی طریقہ کار کو عمل میں دکھاتی ہے۔

فزکس دانوں نے مسائل کی نشاندہی کی: ہائرارکی مسئلہ، یونیفیکیشن، ڈارک میٹر۔ انہوں نے ایک نئی، جرات مندانہ سمیٹری تجویز کی جو ان سب کو حل کرتی ہے۔ انہوں نے اسے جانچنے کے لیے تجربات ڈیزائن کیے۔ اب تک، نتائج منفی ہیں – لیکن اس کا مطلب یہ نہیں کہ خیال بے کار تھا۔ SUSY نے ہمارے اوزاروں کو بہتر کیا، واضح کیا کہ ہم کیا ڈھونڈ رہے ہیں، اور تحقیق کے نسلوں کی رہنمائی کی۔

جیسے کہ ایتھریا ایپی سائیکلز اس سے پہلے تھے، SUSY ایک گہری حقیقت کی طرف ایک قدم ہو سکتی ہے، چاہے یہ آخری لفظ کے طور پر زندہ رہے یا نہ رہے۔

سٹرنگ تھیوری اور M- تھیوری

سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس اکثر پیچز سے تحریک حاصل کرتی ہے: ہائرارکی مسئلہ حل کرنا، ڈارک میٹر کی وضاحت، گیج کپلنگز کو متحد کرنا۔ سٹرنگ تھیوری مختلف ہے۔ یہ کسی مخصوص پہیلی سے شروع نہیں ہوتی۔ یہ ریاضی سے شروع ہوتی ہے – اور خلا، وقت، اور مادے کے ہمارے پورے تصور کو دوبارہ تشکیل دینے پر ختم ہوتی ہے۔

ابتدا: ناکامی سے پیدا ہونے والی تھیوری

حیرت انگیز طور پر، سٹرنگ تھیوری ایک تھیوری آف ایوریتھنگ کے طور پر نہیں، بلکہ مضبوط نیوکلیئر فورس کو سمجھنے کی ناکام کوشش کے طور پر شروع ہوئی۔

1960 کی دہائی کے آخر میں، QCD مکمل طور پر ترقی یافتہ ہونے سے پہلے، فزکس دان ہیڈرونز کے چڑیا گھر کی وضاحت کرنے کی کوشش کر رہے تھے۔ انہوں نے اسکیٹرنگ ڈیٹا میں نمونوں کو دیکھا جو تجویز کرتے تھے کہ ریزوننسز ہلتی ہوئی سٹرنگز کے ذریعے ماڈل کی جا سکتی ہیں۔

1968 میں وینزیانو کے متعارف کردہ "ڈوئل ریزوننس ماڈل" نے مضبوط تعاملات کو اس طرح بیان کیا جیسے ہیڈرونز چھوٹی سٹرنگز کی ایکسائٹیشنز ہوں۔ یہ خوبصورت تھا لیکن جب QCD مضبوط قوت کی اصلی تھیوری کے طور پر ابھری تو اسے فوراً ترک کر دیا گیا۔

پھر بھی، سٹرنگ تھیوری مرنے سے انکار کرتی تھی۔ اس کے مساوات میں ایسی قابل ذکر خصوصیات چھپی تھیں جو نیوکلیئر فزکس سے کہیں آگے کی طرف اشارہ کرتی تھیں۔

حیرت انگیز دریافت: گریویٹون

جب نظریہ دانوں نے سٹرنگز کی ہلن کو کوانٹائز کیا، تو انہوں نے پایا کہ سپیکٹرم میں لازمی طور پر ایک بغیر ماس کی اسپن 2 ذرہ شامل ہے۔

یہ چونکا دینے والا تھا۔ کوانٹم فیلڈ تھیوری نے دکھایا کہ بغیر ماس کی اسپن 2 ذرہ منفرد ہے: یہ کشش ثقل کا کوانٹم، گریویٹون ہونا چاہیے۔

جیسا کہ جان شوارز نے بعد میں کہا: **"لیکن ایک حیرت انگیز حقیقت سامنے آئی: سٹرنگ تھیوری کی ریاضیات میں لازمی طور پر ایک بغیر ماس کی اسپن 2 ذرہ – گریویٹون شامل تھا۔"**

جو ایک ہیڈرونز کی تھیوری کے طور پر شروع ہوا تھا، اس نے اتفاقی طور پر کوانٹم گریویٹی کے بنیادی بلاک کو پیدا کیا تھا۔

مرکزی خیال: نقطوں کے بجائے سٹرنگز

سٹرنگ تھیوری کے دل میں، نقطہ ذرات کو چھوٹے ایک جہتی اشیاء سے تبدیل کیا جاتا ہے: سٹرنگز۔

- سٹرنگز کھلی (دو سروں کے ساتھ) یا بند (لوپس) ہو سکتی ہیں۔
- سٹرنگ کے مختلف ہلن موڈز مختلف ذرات کے مطابق ہوتے ہیں۔
  - ایک مخصوص ہلن فوٹون کے طور پر ظاہر ہو سکتا ہے۔
  - دوسرا گلوؤن کے طور پر۔
  - دوسرا کوارک کے طور پر۔
  - اور ایک موڈ، لازمی طور پر، گریویٹون کے طور پر۔

یہ سادہ تبدیلی – نقطوں سے سٹرنگز تک – کوانٹم گریویٹی کو پریشان کرنے والی بہت سی لامحدودیتوں کو حل کرتی ہے۔ سٹرنگ کا محدود سائز صفر فاصلے پر پھٹنے والی تعاملات کو دھندلا دیتا ہے۔

سپر سمیٹری اور سپر سٹرنگز

سٹرنگ تھیوری کے ابتدائی ورژنز میں مسائل تھے: ان میں ٹیکیون (غیر استحکام) شامل تھے اور غیر حقیقت پسندانہ خصوصیات کی ضرورت تھی۔ بریک تھرو **سپر سمیٹری** کے تعارف کے ساتھ آیا، جو 1970 اور 1980 کی دہائیوں میں **سپر سٹرنگ تھیوری** کی طرف لے گیا۔

سپر سٹرنگز نے ٹیکیونز کو ختم کیا، فرمیونز کو شامل کیا، اور نئی ریاضیاتی تسلسل لایا۔

لیکن ایک مشکل تھی: سٹرنگ تھیوری صرف بلند جہتوں میں کام کرتی ہے۔ خاص طور پر، **10 خلا-وقت جہتیں**۔

- چار جو ہم دیکھتے ہیں (تین خلا، ایک وقت)۔
- دیگر چھ، جو موجودہ تجربات کے لیے ناقابلِ دید چھوٹی اسکیلز پر کمپریس یا رولڈ اپ ہیں۔

یہ خیال، اگرچہ بنیادی لگتا ہے، بالکل نیا نہیں تھا۔ 1920 کی دہائی میں، **کالوزا-کلین تھیوری** نے تجویز کیا کہ اضافی جہتیں کشش ثقل اور برقی مقناطیسیت کو متحد کر سکتی ہیں۔ سٹرنگ تھیوری نے اس خیال کو بحال کیا اور اسے بہت زیادہ وسعت دی۔

پانچ سٹرنگ تھیوریز

1980 کی دہائی کے وسط میں، فزکس دانوں نے دریافت کیا کہ سٹرنگ تھیوری ایک نہیں، بلکہ **پانچ مختلف ورژنز** میں موجود ہے:

1. **ٹائپ I** – کھلی اور بند سٹرنگز، بشمول اورینٹڈ اور غیر اورینٹڈ سٹرنگز۔
2. **ٹائپ IIA** – بند، اورینٹڈ سٹرنگز، غیر کائرل۔
3. **ٹائپ IIB** – بند، اورینٹڈ سٹرنگز، کائرل۔
4. **ہیٹروٹک SO(32)** – بند سٹرنگز ہائبرڈ ڈھانچے کے ساتھ۔
5. **ہیٹروٹک $E_8 \times E_8$** – ایک اعلیٰ سمیٹریکل ورژن، جو بعد میں حقیقت پسندانہ ذرہ فزکس سے رابطے کے لیے اہم ہے۔

ہر ایک ریاضیاتی طور پر مستقل نظر آتا تھا، لیکن فطرت ایک کو کیوں منتخب کرے گی؟

سپر سٹرنگز کی پہلی انقلاب

1984 میں، مائیکل گرین اور جان شوارز نے دکھایا کہ سٹرنگ تھیوری کو انٹم انوملیز کو خود بخود منسوخ کر سکتی ہے – کچھ جو کوانٹم فیلڈ تھیوریز کو احتیاط سے ڈیزائن کرنا پڑتا ہے۔ اس دریافت نے **سپر سٹرنگز کی پہلی انقلاب** کو جنم دیا، جب ہزاروں فزکس دانوں نے تمام قوتوں کو متحد کرنے والی تھیوری کے طور پر سٹرنگ تھیوری کی طرف رجوع کیا۔

یہ پہلا سنجیدہ فریم ورک تھا جس میں کوانٹم گریویٹی نہ صرف مستقل تھی بلکہ ناگزیر تھی۔

سپر سٹرنگز کی دوسری انقلاب: M- تھیوری

1990 کی دہائی کے وسط میں، ایک دوسری انقلاب آئی۔ ایڈورڈ ویٹن اور دیگر نے دریافت کیا کہ پانچ مختلف سٹرنگ تھیوریز حریف نہیں تھیں، بلکہ ایک ہی گہری تھیوری کی مختلف حدود تھیں: **M- تھیوری**۔

M- تھیوری کے بارے میں خیال کیا جاتا ہے کہ یہ **11 جہتوں** میں موجود ہے اور اس میں نہ صرف سٹرنگز شامل ہیں بلکہ بلند جہتی اشیاء بھی شامل ہیں جنہیں **برینز** (ممبرین کا مخفف) کہا جاتا ہے۔

- 1-جہتی برینز = سٹرنگز۔
- 2-جہتی برینز = ممبرینز۔
- 9 خلا جہتوں تک بلند جہتی برینز۔

یہ برینز نئی، بھرپور امکانات کو جنم دیتے ہیں: پورے کائنات بلند جہتی خلا میں تیرتے ہوئے 3-برینز کے طور پر موجود ہو سکتے ہیں، جہاں کشش ثقل والیوم میں نکلتی ہے جبکہ دیگر قوتیں محدود رہتی ہیں۔ یہ تصویر جدید اضافی جہتی ماڈلز جیسے **رینڈل-سنڈرم** سے متاثر ہوئی۔

قابل ذکر مثالیں: **کالوزا-کلین** اور **رینڈل-سنڈرم**

- **کالوزا-کلین (1920 کی دہائی):** نے کشش ثقل اور برقی مقناطیسیت کو متحد کرنے کے لیے پانچویں اضافی جہت کی تجویز دی۔ یہ خیال دہائیوں تک شیلف پر رہا، لیکن سٹرنگ تھیوری نے اسے ایک عظیم تر شکل میں بحال کیا۔ کمپریسڈ اضافی جہتیں سٹرنگ ماڈلز کی ایک مرکزی خصوصیت ہیں۔

- **رینڈل-سنڈرم (1999):** نے "وارپڈ" اضافی جہتوں کی تجویز دی، جہاں ہماری کائنات بلند جہتوں میں سرایت شدہ ایک 3-برین ہے۔ کشش ثقل والیوم میں پھیلتی ہے، جو اس کی کمزوری کی وضاحت کرتی ہے۔ اس طرح کے ماڈل ذرہ ایکسلریٹرز میں ممکنہ سگنلز یا بہت کم فاصلوں پر نیوٹن کے قانون سے انحرافات کی پیش گوئی کرتے ہیں۔

تجرباتی اشارے اور چیلنجز

سٹرنگ تھیوری بڑے دعوے کرتی ہے، لیکن ان کی جانچ کرنا انتہائی مشکل ہے۔

- **اضافی جہتیں:** گمشدہ توانائی کے سگنلز یا **کالوزا-کلین ایکسائٹیشنز** کے ذریعے ظاہر ہو سکتی ہیں - ممکنہ طور پر **گریویٹونز** یا حتیٰ کہ **SM فیلڈز** کے لیے، ترتیب کے لحاظ سے۔ کولائیڈر کی حدود عام طور پر **ملٹی-TeV** رینج تک پہنچتی ہیں۔
- **گریویٹون:** ایک بغیر ماس کی اسپن 2 ذرہ کی پیش گوئی کی جاتی ہے، لیکن ایک واحد گریویٹون کو پکڑنا موجودہ ٹیکنالوجی سے ممکن نہیں۔ بالواسطہ اثرات، جیسے کہ گریویٹیشنل ویوز میں انحرافات، ممکن ہیں۔
- **سپر سمیٹری:** سٹرنگ تھیوری کسی اسکیل پر SUSY کی ضرورت رکھتی ہے، لیکن LHC نے ابھی تک اسپارٹکلز نہیں پائے۔

- **کاسمولوجی:** ابتدائی کائنات، افراط زر، اور کوسمک مائکروویو پس منظر سٹرنگ فزکس کے آثار شامل کر سکتے ہیں، حالانکہ موجودہ نتائج غیر فیصلہ کن ہیں۔

چیلنجز کے باوجود، سٹرنگ تھیوری نے ریاضی کے لیے زرخیز زمین فراہم کی ہے، جو ہندسہ، ٹوپولوجی، اور AdS/CFT (جو بلند جہتوں میں کشش ثقل کو بغیر کشش ثقل کے کوانٹم فیلڈ تھیوری سے جوڑتی ہے) جیسی ڈوئلٹیز میں ترقی کو متاثر کرتی ہے۔

خوبصورتی اور تنازع

حامیوں کا کہنا ہے کہ سٹرنگ تھیوری ایک متحدہ تھیوری کی طرف سب سے زیادہ امید افزا راستہ ہے: یہ کوانٹم گریویٹی کو شامل کرتی ہے، تمام قوتوں کو متحد کرتی ہے، اور گریویٹون کی موجودگی کی وجہ بتاتی ہے۔

ناقدین استدلال کرتے ہیں کہ تجرباتی تصدیق کے بغیر، سٹرنگ تھیوری تجرباتی سائنس سے منقطع ہونے کا خطرہ رکھتی ہے۔ اس کے ممکنہ حل کا وسیع "لینڈ اسکیپ" (زیادہ سے زیادہ 10^{500}) منفرد پیش گوئیوں کو نکالنا مشکل بناتا ہے۔

دونوں اطراف ایک بات پر متفق ہیں: سٹرنگ تھیوری نے فزکس کے بارے میں ہمارے سوچنے کے طریقے کو بدل دیا ہے، یونیفیکیشن کے لیے ایک نئی زبان فراہم کی ہے۔

تھیوری آف ایور یتھنگ کی طرف

اگر سپر سمیٹری سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے اگلا قدم ہے، تو سٹرنگ تھیوری اس سے اگلا قدم ہے: طویل عرصے سے مطلوب **تھیوری آف ایور یتھنگ** کی ایک امیدوار۔

اس کا سب سے جرات مندانہ دعویٰ یہ نہیں کہ یہ سٹینڈرڈ ماڈل اور کشش ثقل کو شامل کرتی ہے، بلکہ یہ کہ یہ بلند جہتوں میں ہلتی ہوئی سٹرنگز کی ناگزیر نتائج ہیں۔ گریویٹون کوئی اضافی حصہ نہیں—یہ بنایا ہوا ہے۔

یہ ابھی تک دریافت ہونا باقی ہے کہ آیا فطرت نے یہ راستہ اختیار کیا۔

سرحدیں تلاش کرنا: سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کے تجربات

تھیوریز فزکس کی زندگی ہیں، لیکن تجربات اس کا دل ہیں۔ سپر سمیٹری، سٹرنگ تھیوری، اور اضافی جہتیں خوبصورت ریاضیاتی ڈھانچے ہیں، لیکن وہ ثبوت کے ذریعے زندہ رہتے ہیں یا مر جاتے ہیں۔ اگر وہ محض قیاس سے زیادہ ہوں، تو انہیں ڈیٹا میں آثار

چھوڑنے ہوں گے۔

فزکس دانوں نے ان آثار کی تلاش کے لیے ہوشیار طریقے تیار کیے ہیں – کولائیڈرز میں، کائنات میں، اور خود خلا-وقت کی ساخت میں۔

کولائیڈرز: اسپارٹکلز اور گریویٹونز کی تلاش

CERN کا لارج ہیڈرون کولائیڈر (LHC) دنیا کا سب سے طاقتور ذرہ ایکسلریٹر ہے، جو پروٹونز کو **13.6 TeV** تک توانائیوں پر ٹکراتا ہے (ڈیزائن: **14 TeV**). یہ سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس کو تلاش کرنے کے لیے انسانیت کا بنیادی آلہ رہا ہے۔

LHC پر سپر سمیٹری

- **اسپارٹکلز کی تلاش:** ATLAS اور CMS تجربات نے اسکوارک، گلوئنو، اور نیوٹرالینو/چارجینو کے لیے ڈیٹا کی چھان بین کی۔ یہ اکثر "گمشدہ توانائی" کے سگنل کے طور پر ظاہر ہوں گے، کیونکہ SUSY ذرات پکڑ سے بچ جاتے ہیں۔
- **نتائج:** کئی TeV کی اسکیل تک کوئی تصدیق شدہ SUSY ذرات نہیں ملے۔ اس نے SUSY کے بہت سے سادہ ورژنز کو خارج کر دیا اور "قدرتی" SUSY کو زیادہ بھاری اور زیادہ باریک ٹیون شدہ علاقوں کی طرف دھکیل دیا۔

گریویٹونز اور اضافی جہتیں

- **کالوزا–کلین موڈز:** اگر اضافی جہتیں موجود ہیں، تو گریویٹونز یا حتیٰ کہ **SM فیلڈز** بڑے پیمانے پر KK ایکسائٹیشنز کے طور پر ظاہر ہو سکتے ہیں، جو ڈیلیپٹن، ڈیفوٹون، یا ڈیجیٹ چینلز میں ریزونینسز کے طور پر قابلِ پکڑ ہیں۔
- **رینڈل–سنڈرم سگنلز:** وارپڈ اضافی جہتیں اسپن 2 کے خصوصیت زاویاتی پیٹرن کے ساتھ گریویٹون ریزونینسز پیدا کر سکتی ہیں۔
- **نتائج:** LHC کی تلاشوں نے اب تک کوئی ثبوت نہیں پایا، لیکن حدود کو **ملٹی-TeV** رینج تک دھکیلا، جو اضافی جہتوں کے سائز، وارپنگ، اور ہندسہ کو محدود کرتا ہے۔

مائیکرو بلیک ہولز

کچھ نظریات تجویز کرتی ہیں کہ اگر TeV اسکیل پر کشش ثقل مضبوط ہو جاتی ہے، تو LHC کے تصادمات میں چھوٹے بلیک ہولز بن سکتے ہیں، جو ذرات کے دھماکوں میں بخارات بن جاتے ہیں۔ ایسی کوئی واقعات دیکھی نہیں گئیں۔

پریسیژن تجربات: چھوٹے پیمانوں پر کشش ثقل کی جانچ

اگر اضافی جہتیں موجود ہیں، تو نیوٹن کا قانون کشش ثقل مختصر فاصلوں پر ٹوٹ سکتا ہے۔

- **ٹورشن بیلنس تجربات ("Eöt-Wash")**: انورس اسکوائر قانون کو **سب ملمیٹر** اسکیلز تک جانچتے ہیں۔ فی الحال کئی مائیکرون (~50 µm)۔
- **نتائج**: کوئی انحرافات نہیں پائے گئے۔ یہ تجربات **ایک وسیع کلاس کے اضافی جہتی منظرناموں کو خارج کرتے ہیں** جن کی خصوصیت لمبائی $\sim 10^{-4}$ m سے زیادہ ہوتی ہے (ماڈل پر منحصر)۔

یہ ڈیسک ٹاپ تجربات حیرت انگیز طور پر حساس ہیں، جو کولائیڈرز کے لیے ناقابلِ رسائی اسکیلز کو تلاش کرتے ہیں۔

گریویٹیشنل ویوز: کوانٹم گریویٹی کی طرف ایک نیا دریچہ

2015 میں LIGO کے ذریعے گریویٹیشنل ویوز کی دریافت نے ایک نئی سرحد کھولی۔

- **اضافی پولرائزیشنز / ترمیم شدہ ترسیل**: کچھ کوانٹم گریویٹی یا اضافی جہتی ماڈلز GR سے انحرافات کی پیش گوئی کرتے ہیں (اضافی پولرائزیشنز، ڈسپرشن، یا ترمیم شدہ رنگ ڈاؤن)۔
- **رنگ ڈاؤن سپیکٹروسکوپی**: بلیک ہولز کے انضمام کے بعد "گھنٹی بجنا" GR سے معمولی انحرافات کو ظاہر کر سکتا ہے۔
- **پرائمورڈیئل گریویٹیشنل ویوز**: بگ بینگ سے لہریں سٹرنگ فزکس کے آثار لے جا سکتی ہیں، جو LISA یا آئنسٹائن ٹیلیسکوپ جیسے مستقبل کے رصدگاہوں سے قابلِ پکڑ ہیں۔

اب تک کی مشاہدات موجودہ غیر یقینی صورتحال کے اندر GR کے ساتھ مطابقت رکھتی ہیں، لیکن زیادہ درستگی حیرتوں کو ظاہر کر سکتی ہے۔

کاسمولوجی: کائنات ایک لیبارٹری کے طور پر

خود کائنات حتمی ذرہ ایکسلریٹر ہے۔

- **کوسمک مائکروویو بیک گراؤنڈ (CMB)**: چھوٹی اتار چڑھاؤ ابتدائی کائنات کو نقشہ بناتی ہیں۔ کچھ سٹرنگ ماڈلز مخصوص سگنیچرز کی پیش گوئی کرتے ہیں، جیسے غیر گاؤسی خصوصیات یا اوسیلیٹری خصوصیات۔

- **افراط زر:** کائنات کی تیزی سے توسیع سٹرنگ تھیوری سے متعلقہ فیلڈز کے ذریعے چلائی جا سکتی تھی۔ CMB میں پرائمورڈیئل B-موڈز کا پتہ لگانا ایک مضبوط اشارہ ہوگا۔
- **ڈارک میٹر کی تلاش:** SUSY کے نیوٹرالینو ڈارک میٹر کے بنیادی امیدوار ہیں۔ LUX-ZEPLIN، XENONnT، اور PandaX جیسے تجربات نیوکلیئر ریکائل کے ذریعے WIMP کی تلاش کرتے ہیں۔
- **ایکسینز:** سٹرنگ تھیوری ایکسین نما ذرات کی بھی پیش گوئی کرتی ہے، جو ریزونینٹ کیویٹیز یا فلکیاتی مشاہدات کے ذریعے پکڑے جا سکتے ہیں۔

اب تک آسمان خاموش ہے۔ ڈارک میٹر کا پتہ نہیں چلا، اور کاسمولوجیکل ڈیٹا ΛCDM ماڈل کے ساتھ بغیر واضح سٹرنگ آثار کے فٹ ہوتا ہے۔

موجودہ حالت: حدود، تصدیقات نہیں

عقدوں کی تلاش نے SUSY، اضافی جہتوں، یا سٹرنگ سگنلز کی تصدیق نہیں کی۔ لیکن ثبوت کی عدم موجودگی عدم موجودگی کا ثبوت نہیں:

- SUSY LHC کی رسائی سے باہر اسکیلز پر یا کم واضح سپیکٹرا میں موجود ہو سکتی ہے؛ اب تک کے صفر نتائج **زیادہ باریک ٹیون شدہ ("کم قدرتی") ورژنز کو پسند کرتے ہیں** اگر SUSY TeV اسکیل کے قریب ہو۔
- اضافی جہتیں چھوٹی، زیادہ وارپڈ، یا موجودہ پروبز سے دوسری طرح چھپی ہوئی ہو سکتی ہیں۔
- سٹرنگ تھیوری صرف بہت ابتدائی کائنات میں پکڑے جانے والے آثار چھوڑ سکتی ہے، جو صرف کاسمولوجی کے ذریعے قابل رسائی ہیں۔

کچھ **پریسیژن انوملیز** (مثلاً، میوون کا $(g-2)$ پیمائش اور **فلیور فزکس** میں کچھ تناؤ) **دلچسپ لیکن حل طلب** رہتے ہیں؛ وہ مسلسل جانچ کی ترغیب دیتے ہیں لیکن ابھی تک SM کو نہیں پلٹتے۔

تجربات نے **پیرامیٹر اسپیس کو محدود** کیا ہے۔ انہوں نے ہمیں بتایا کہ SUSY کہاں نہیں ہے، اضافی جہتوں کو کتنا چھوٹا ہونا چاہیے، اور ڈارک میٹر کتنی مضبوط یا کمزور طور پر تعامل کر سکتا ہے۔

آگے کا راستہ

مستقبل کے تجربات گہرائی سے تلاش کرنے کا وعدہ کرتے ہیں:

- **ہائی لومینوسٹی LHC (HL-LHC):** تقریباً 10 گنا زیادہ ڈیٹا جمع کرے گا، SUSY کو بلند تر ماسز اور نایاب عمل تک تلاش کرے گا۔
- **فیوچر سرکلر کولائیڈر (FCC-hh):** 100 TeV کولائیڈر کا تجویز کردہ منصوبہ، جو توانائی اسکیلز کو تلاش کرنے کے لیے کافی طاقتور ہے جہاں GUT فزکس ظاہر ہو سکتی ہے۔
- **LISA (2030 کی دہائی):** ابتدائی کائنات سے پرائمورڈیئل سگنلز کے لیے حساس، خلائی بنیاد پر گریویٹیشنل ویو آبزرویٹری۔
- **اگلی نسل کے ڈارک میٹر ڈیٹیکٹرز:** کمزور سگنلز کے لیے حساسیت کے ساتھ، وہ آخر کار ایک WIMP یا ایکسین کو پکڑ سکتے ہیں۔

سائنس ایک سفر کے طور پر

سٹینڈرڈ ماڈل سے آگے کی فزکس کی تجرباتی کہانی ناکامی کی کہانی نہیں، بلکہ عمل کی کہانی ہے۔

- صفر نتائج سادہ ماڈلز کو خارج کرتے ہیں اور ہماری تھیوریز کو بہتر بناتے ہیں۔
- ہر حد ہمیں زیادہ باریک اور پیش گوئی کرنے والے فریم ورکس کی طرف لے جاتی ہے۔
- TeV اسکیل پر SUSY یا اضافی جہتوں کی عدم موجودگی خیالات کو ختم نہیں کرتی—یہ انہیں نئے علاقوں کی طرف دھکیلتی ہے۔

جیسے کہ ردرفورڈ کے گولڈ فوائل تجربے نے پلوم پڈنگ ماڈل کو توڑ دیا، یا LIGO نے گریویٹیشنل ویوز کے بارے میں شکوک کو دور کیا، اگلی بڑی دریافت اچانک آ سکتی ہے—اور سب کچھ بدل سکتی ہے۔

تھیوری آف ایوریتھنگ کی طرف

صدیوں سے، فزکس نے یونیفیکیشن کے ذریعے ترقی کی ہے۔ نیوٹن نے آسمان اور زمین کو ایک کشش ثقل کے قانون کے تحت متحد کیا۔ میکسویل نے بجلی اور مقناطیسیت کو متحد کیا۔ آئنسٹائن نے خلا اور وقت کو متحد کیا۔ الیکٹروویک تھیوری نے دکھایا کہ دو بہت مختلف قوتیں ایک ہی پہلو ہیں۔

اگلا قدم اب تک کا سب سے جرات مندانہ ہے: **چار بنیادی تعاملات** – مضبوط، کمزور، برقی مقناطیسی، اور کشش ثقل – کو ایک ہی، مستقل فریم ورک میں متحد کرنا۔ یہ فزکس کا مقدس گریل ہے: **تھیوری آف ایور یتھنگ (ToE)**۔

ToE کیوں اہم ہے

مکمل یونیفیکیشن صرف فلسفیانہ خوبصورتی نہیں؛ یہ گہرے عملی اور تصوراتی مسائل سے نمٹتی ہے:

- **کوانٹم گریویٹی:** جنرل ریلیٹیویٹی پلانک اسکیل (10^{19} GeV) پر ناکام ہو جاتی ہے۔ صرف ایک کوانٹم گریویٹی تھیوری بلیک ہولز اور بگ بینگ کی سنگلریٹی کی وضاحت کر سکتی ہے۔
- **قدرتیت اور فائن ٹیوننگ:** ہائرارکی مسئلہ اور کاسمولوجیکل کانسٹنٹ مسئلہ گہری وضاحت مانگتے ہیں۔
- **سٹینڈرڈ ماڈل کے پیرامیٹرز:** ذرات کی ایسی ماسز اور چارجز کیوں ہیں؟ کوارک اور لیپٹونز کی تین نسلیں کیوں؟ ایک ToE ان اسرار کی وضاحت کر سکتی ہے۔
- **کاسمولوجی:** ڈارک میٹر، ڈارک انرجی، اور افراط زر سب یونیفیکیشن اسکیل پر فزکس سے جڑے ہو سکتے ہیں۔

ایک ToE نہ صرف قوتوں کو متحد کرے گی – یہ اسکیلز کو متحد کرے گی، کوانٹم تھیوری کی سب سے چھوٹی سٹرنگز سے لے کر سب سے بڑی کوسمک ڈھانچوں تک۔

سپر سمیٹری اور گرینڈ یونیفیکیشن

سپر سمیٹری (SUSY)، اگر فطرت میں عمل میں آتی ہے، تو ToE کی طرف ایک قدم فراہم کرتی ہے۔

- **ہائرارکی مسئلہ حل:** اسپارٹکلز ہگس کی ماس کے لیے انحرافی تصحیحات کو منسوخ کرتے ہیں۔
- **متحدہ گیج کپلنگز:** SUSY کے ساتھ، تین تعاملات کی قوتیں 10^{16} GeV پر خوبصورتی سے ملتی ہیں، جو ایک **گرینڈ یونیفائیڈ تھیوری (GUT)** کی تجویز دیتی ہیں۔
- **ڈارک میٹر کا امیدوار:** نیوٹرالینو کوسمک ڈارک میٹر کے لیے ایک قدرتی وضاحت فراہم کرتا ہے۔

SUSY سے متاثرہ GUTs (جیسے SO(10)، SU(5)، یا E_6) تصور کرتے ہیں کہ الٹراہائی توانائیوں پر کوارک اور لیپٹونز بڑے ملٹی پلیٹس میں متحد ہوتے ہیں، اور قوتیں ایک ہی گیج گروپ میں ضم ہوتی ہیں۔

لیکن SUSY ابھی تک تجربات میں ظاہر نہیں ہوئی۔ اگر یہ صرف ہماری رسائی سے باہر اسکیلز پر موجود ہے، تو اس کی متحدہ قوت پر کشش لیکن چھپی ہوئی رہ سکتی ہے۔

سٹرنگ تھیوری: کوانٹم گریویٹی اور گریویٹون

سٹرنگ تھیوری اس سے بھی آگے جاتی ہے۔ سٹینڈرڈ ماڈل کو پیچ کرنے کے بجائے، یہ اس کے بنیادی اصولوں کو دوبارہ لکھتی ہے:

- **سٹرنگز، نقطوں کے بجائے:** تمام ذرات چھوٹی سٹرنگز کی ہلن ہیں۔
- **گریویٹون قدرتی طور پر ظاہر ہوتا ہے:** بغیر ماس کی اسپن 2 ایکسائٹیشن ناگزیر ہے، جس کا مطلب ہے کہ کوانٹم گریویٹی بنائی ہوئی ہے۔
- **یونیفیکیشن:** مختلف ہلن موڈز تمام معلوم ذرات – کوارک، لیپٹونز، گیج بوزونز، ہگس – کو ایک ہی فریم ورک میں پیدا کرتے ہیں۔
- **اضافی جہتیں:** سٹرنگ تھیوری کو 10 خلا-وقت جہتوں کی ضرورت ہوتی ہے؛ M-تھیوری کو 11 کی ضرورت ہوتی ہے، جن میں چھپی جہتیں کمپریسڈ یا وارپڈ ہوتی ہیں۔

اس وژن میں، یونیفیکیشن اتفاقی نہیں – یہ ہندسہ ہے۔ قوتیں اس لیے مختلف ہیں کیونکہ سٹرنگز مختلف طریقوں سے ہلتی ہیں، جو اضافی جہتوں کی ٹوپولوجی سے تشکیل پاتی ہیں۔

M-تھیوری اور برینز کی دنیا

پانچ سٹرنگ تھیوریز کے ڈوئلٹیز کے ذریعے جڑے ہونے کی دریافت نے M-تھیوری کی طرف لے گئی، ایک اور عظیم تر فریم ورک:

- اس میں سٹرنگز، ممبرینز، اور بلند جہتی برینز شامل ہیں۔
- یہ تجویز کرتا ہے کہ ہماری کائنات بلند جہتی خلا میں سرایت شدہ ایک 3-برین ہو سکتی ہے۔
- یہ قدرتی طور پر وضاحت کرتا ہے کہ کشش ثقل کیوں کمزور ہے (یہ اضافی جہتوں میں پھیلتی ہے) اور کس طرح کئی کائنات "ملٹی ورس" میں موجود ہو سکتی ہیں۔

M- تھیوری ابھی تک نامکمل ہے، لیکن یہ ToE کی طرف اب تک کا سب سے عظیم قدم ہے۔

کوانٹم گریویٹی کے دیگر راستے

سٹرنگ تھیوری اور M- تھیوری واحد راستے نہیں ہیں۔ فزکس دان متعدد فریم ورکس کی تلاش کر رہے ہیں، ہر ایک مختلف طاقتوں کے ساتھ:

- **لوپ کوانٹم گریویٹی (LQG):** خلا-وقت کو براہ راست کوانٹائز کرنے کی کوشش کرتی ہے، اور پیش گوئی کرتی ہے کہ خلا پلانک اسکیل پر گسستہ ہے۔
- **ایسمپٹوٹک سیفٹی:** تجویز کرتی ہے کہ کشش ثقل بلند توانائیوں پر ایک غیر معمولی فکسڈ پوائنٹ کی وجہ سے اچھا سلوک کر سکتی ہے۔
- **کازل ڈائنامک ٹرائینگولیشنز (CDT):** خلا-وقت کو سادہ ہندسی بلڈنگ بلاکس سے بناتی ہے۔
- **ٹوئسٹر تھیوری اور ایmpliٹوہیڈرنز:** نئے ریاضیاتی فریم ورکس جو خلا-وقت اور اسکیٹرنگ ایmpliٹوڈز کو دوبارہ تصور کرتے ہیں۔

اگرچہ کوئی ابھی تک سٹرنگ تھیوری کی متحدہ رسائی سے مقابلہ نہیں کرتا، وہ تحقیق کی بھرپوری کو ظاہر کرتے ہیں۔

تجربہ کا کردار

ایک ToE کو بالآخر قابلِ جانچ ہونا چاہیے۔ اگرچہ پلانک اسکیل موجودہ تجربات سے بہت دور ہے، فزکس دان بالواسطہ ثبوتوں کی تلاش کرتے ہیں:

- **کولائیڈرز:** SUSY ذرات، اضافی جہتیں، یا مائیکرو بلیک ہولز۔
- **پریسیژن ٹیسٹس:** مختصر اسکیلز پر نیوٹن کے قانون سے انحرافات۔
- **گریویٹیشنل ویوز:** غیر معمولی پولرائزیشنز یا بلند جہتوں سے ایکو۔
- **کاسمولوجی:** افراط زر کے آثار، ڈارک میٹر کے امیدوار، یا سٹرنگ تھیوری کے پیش گوئی کردہ ایکسینز۔

اب تک، ToE ہماری رسائی سے باہر ہے، لیکن ہر صفر نتیجہ امکانات کو کاٹتا ہے۔

خوبصورتی اور چیلنج

ایک اصلی ToE نہ صرف فزکس کو متحد کرے گی - یہ **انسانی علم** کو متحد کرے گی۔ یہ کوانٹم میکنکس اور ریلیٹیویٹی، مائیکرو اور میکرو، ذرہ اور کائنات کو جوڑے گی۔

پھر بھی، یہ ایک تضاد کا شکار ہے: یونیفیکیشن جو اسکیل خود ہمیشہ کے لیے تجرباتی رسائی سے باہر ہو سکتی ہے۔ ایک 100 TeV کولائیڈر پلانک اسکیل کی طرف صرف ایک حصہ تلاش کرتا ہے۔ ہمیں کاسمولوجی، ریاضیاتی تسلسل، یا بالواسطہ سگنیچرز پر انحصار کرنا پڑ سکتا ہے۔

خواب اپنے فریم ورکس کی گہری خوبصورتی کی وجہ سے زندہ رہتا ہے۔ جیسا کہ ویٹن نے کہا، سٹرنگ تھیوری صرف "مساوات کا ایک مجموعہ" نہیں، بلکہ "فزکس کے لیے ایک نیا فریم ورک" ہے۔

سائنس ایک طریقہ کے طور پر، ڈگما نہیں

ToE کی تلاش سٹرنگ تھیوری، SUSY، یا کسی ایک خیال کو "سچ" قرار دینے کے بارے میں نہیں ہے۔ یہ **سائنسی طریقہ** کے بارے میں ہے:

- موجودہ تھیوریز میں دراڑوں کی نشاندہی کرنا۔
- نئے، جرات مندانہ فریم ورکس تجویز کرنا۔
- انہیں حقیقت کے مقابلے میں جانچنا، ضرورت کے مطابق رد یا بہتر کرنا۔

کہانی ختم ہونے سے دور ہے۔ لیکن یہ کھلا پن - کسی تھیوری کو مقدس نہ ماننے کی نفی - وہی ہے جو فزکس کو ایک زندہ سائنس بناتی ہے، نہ کہ ڈگما۔

آگے کا افق

فزکس کا اگلا صدی یہ ظاہر کر سکتا ہے:

- سپر سمیٹری یا اس کے متبادل کے ثبوت۔
- سٹرنگ کی پیش گوئیوں کی تصدیق یا تردید کرنے والا کاسمولوجیکل ڈیٹا۔
- خود خلا-وقت کی گہری تشکیل نو۔

یا شاید اصلی ToE کوئی ایسی چیز ہو جس کا ابھی تک کسی نے تصور بھی نہیں کیا۔

لیکن خودتلاش - متحد کرنے، سمجھانے، فطرت کو مکمل طور پر دیکھنے کی خواہش - اتنی ہی انسانی ہے جتنی کہ خود مساوات۔

حوالہ جات اور مزید پڑھائی

سپر سمیٹری اور گرینڈ یونیفیکیشن

- ویس، جے، اور بیگر، جے (1992). **Supersymmetry and Supergravity**. پرنسٹن یونیورسٹی پریس۔
- بیئر، ایچ، اور ٹاٹا، ایکس (2006). **Weak Scale Supersymmetry: From Superfields to Scattering Events**. کیمبرج یونیورسٹی پریس۔
- جارجی، ایچ، اور گلاشو، ایس ایل (1974). "Unity of All Elementary-Particle Forces." **Physical Review Letters**, 32(8), 438.

سٹرنگ تھیوری اور M-تھیوری

- گرین، ایم بی، شوارز، جے ایچ، اور ویٹن، ای (1987). **Superstring Theory** (جلد 1 اور 2). کیمبرج یونیورسٹی پریس۔
- پولچنسکی، جے (1998). **String Theory** (جلد 1 اور 2). کیمبرج یونیورسٹی پریس۔
- ویٹن، ای (1995). "String Theory Dynamics in Various Dimensions." **Nuclear Physics B**, 443(1), 85–126.
- بیکر، کے، بیکر، ایم، اور شوارز، جے ایچ (2006). **String Theory and M-Theory: A Modern Introduction**. کیمبرج یونیورسٹی پریس۔

لوپ کوانٹم گریویٹی اور متبادل

- روویلی، سی (2004). **Quantum Gravity**. کیمبرج یونیورسٹی پریس۔
- تھیمن، ٹی (2007). **Modern Canonical Quantum General Relativity**. کیمبرج یونیورسٹی پریس۔

- ایمبجورن، جے، جرکیوکز، جے، اور لول، آر (2005). "Reconstructing the Universe." **Physical Review D**, 72(6), 064014.

تجرباتی سرحدیں

- آد، جی، وغیرہ (ATLAS تعاون). (2012). "Observation of a New Particle in the Search for the Standard Model Higgs Boson." **Physics Letters B**, 716(1), 1–29.
- چیٹرجین، ایس، وغیرہ (CMS تعاون). (2012). "Observation of a New Boson at a Mass of 125 GeV." **Physics Letters B**, 716(1), 30–61.
- ایبٹ، بی پی، وغیرہ (LIGO سائنٹیفک تعاون اور ورگو تعاون). (2016). "Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger." **Physical Review Letters**, 116(6), 061102.

قابل رسائی پاپولر سائنس بیانیے

- گرین، بی (1999). **The Elegant Universe: Superstrings, Hidden Dimensions, and the Quest for the Ultimate Theory**. ڈبلیو ڈبلیو نورٹن۔
- رینڈل، ایل (2005). **Warped Passages: Unraveling the Mysteries of the Universe's Hidden Dimensions**. ہارپر پیرینئل۔
- روویلی، سی (2016). **Seven Brief Lessons on Physics**. ریورہیڈ بکس۔
- ولزیک، ایف (2008). **The Lightness of Being: Mass, Ether, and the Unification of Forces**. بیسک بکس۔