

## 正誤表

講談社ブルーバックス

『宇宙と物質の起源 「見えない世界」を理解する』

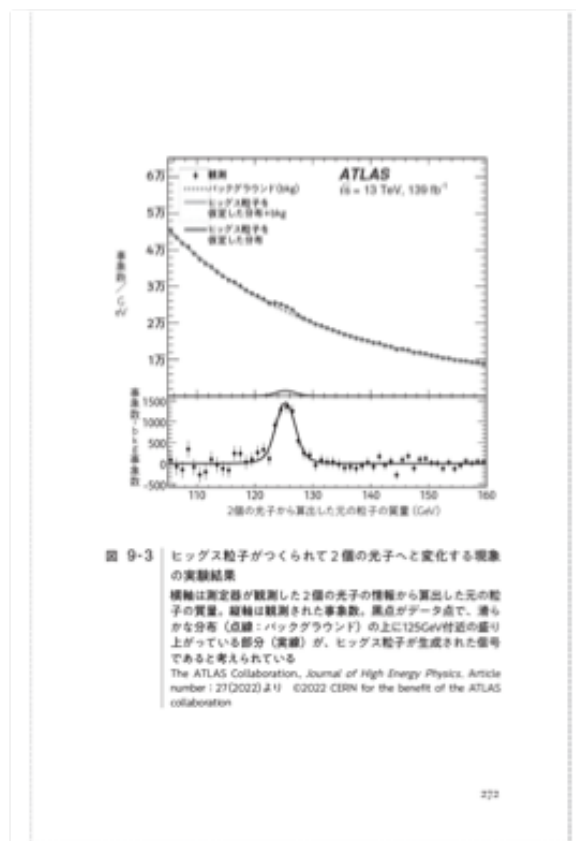
発刊後に判明した正誤リストを順次記載していきます。

(1) 272 ページ、図 9-3 で、上部 2 つ目のプロットの一番下に 0 を入れます。

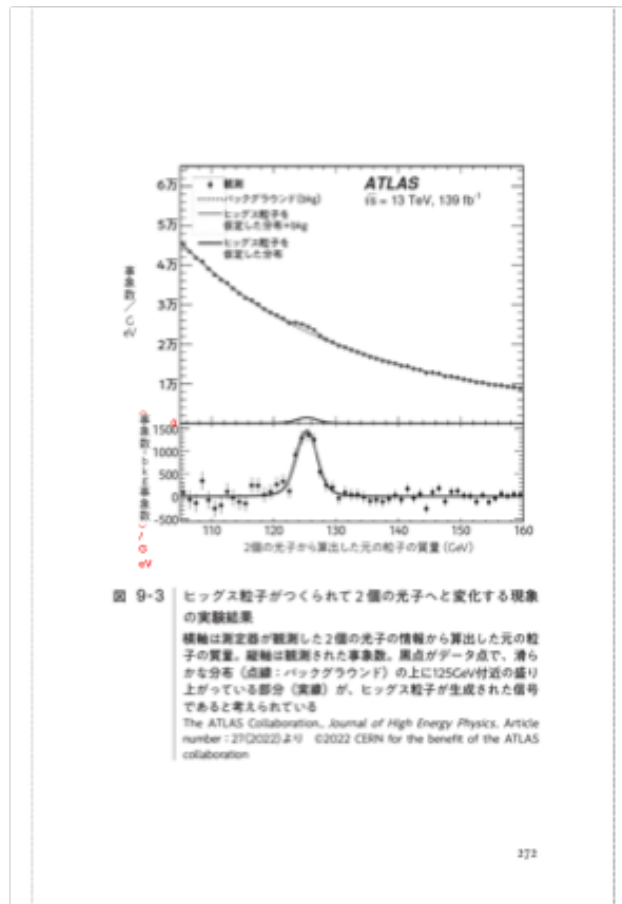
(2) 同ページ、図 9-3 の 2 つ目の縦軸表記を以下のように修正

「事象数－bkg 事象数」⇒「(事象数－bkg 事象数) /GeV」。

修正前と後の図 9-3 を載せます。(修正後の 9-3 図での 2 ヶ所の赤字部をご覧ください。)



修正前の図 9-3



修正後の図 9-3

(3) 15 ページ、第 3 章目次での後ろから 2 番目の小見出し

「r 過程が起きている天体の候補：超新星爆発や中性子合体」⇒「r 過程が起きている天体の候補：超新星爆発や中性子星合体」、

(4) 119 ページ、小見出し：「r 過程が起きている天体の候補：超新星爆発や中性子合体」⇒「r 過程が起きている天体の候補：超新星爆発や中性子星合体」、

(5) 308 ページ、下方から 3 行目：「誤差をして、」⇒「誤差を考慮して、」、

以下、(18) までは索引情報に関する修正となります。

(6) 314 ページ、索引項目左欄 4 行目、マルチバース仮説：「301」⇒「299」、

(7) 314 ページ、索引項目左欄 24 行目「量子ゆらぎ」：「132」⇒「233」、

(8) 315 ページ、索引項目右欄 6 行目、非摂動限界：「292」⇒「290」、

(9) 316 ページ、索引項目左欄 32 行目、ダークエネルギー問題：「262」⇒「261」

(10) 316 ページ、索引項目右欄 1 行目、ダークマター（暗黒物質）：「242」⇒「240」、

- (11) 316 ページ、索引項目右欄 6 行目、大統一力：「287」⇒「285」、
- (12) 316 ページ、索引項目右欄 22 行目、超伝導状態：「287」⇒「285」、
- (13) 316 ページ、索引項目右欄 22 行目、超大統一力：「287」⇒「285」、
- (14) 317 ページ、索引項目左欄 23 行目、宇宙定数問題：「262」⇒「261」、
- (15) 318 ページ、索引項目右欄 16 行目：「J-PARK」⇒「J-PARC」、
- (16) 318 ページ、索引項目右欄 22 行目、LHC(大型ハドロン衝突型加速器)：「272」⇒「270」、
- (17) 318 ページ、索引項目右欄 30 行目、「r 過程 (速い(rapid)中性子捕獲過程)：「113」⇒「112」、
- (18) 318 ページ、索引項目右欄 32 行目、「s 過程 (遅い(slow)中性子捕獲過程)：「113」⇒「112」、
- (19) 9 ページ、2 行目：「欧州合同原子核研究機関」⇒「欧州合同原子核研究機構」、
- (20) 157 ページ、1 行目：「であり、その 2 乗は、」⇒「であり、存在確率に比例する絶対値の 2 乗は、」
- (21) 157 ページ、2 行目： $z^2=(a+ib)(a-ib)=a^2+b^2 \Rightarrow |z|^2=(a+ib)(a-ib)=a^2+b^2$
- (22) 158 ページ、6 行目： $z^2=r^2(\cos(\theta)+i\sin(\theta))^2=r^2(\cos^2(\theta)+\sin^2(\theta))=r^2 \Rightarrow |z|^2=r^2$   
 $| \cos(\theta)+i\sin(\theta) |^2=r^2(\cos^2(\theta)+\sin^2(\theta))=r^2$
- (23) 158 ページ、7 行目：「電子の位置の確率を示す  $z^2$  は変化しないからです。」⇒「電子の位置の存在確率に比例する量である  $|z|^2$  は変化しないからです。」
- (24) 269 ページ、1 行目： $\phi_1(x,y,z,t) \Rightarrow \varphi_1(x,y,z,t)$
- (25) 269 ページ、2 行目： $\phi_2(x,y,z,t) \Rightarrow \varphi_2(x,y,z,t)$
- (26) 同 269 ページ、2 行目：「 $(|\phi_1|, |\phi_2|)$  という大きさのエネルギー」⇒「 $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  という大きさのエネルギー」
- (27) 同 269 ページ、4 行目：「複素ヒッグス場  $\phi_1$  と  $\phi_2$  に場の値 $(|\phi_1|, |\phi_2|)$ を」⇒「複素ヒッグス場  $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  に場の値 $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$ を」
- (28) 96 ページ、1 行目：「宇宙の年齢が約 10 億分の 1 秒よりずっと前」⇒「宇宙の年齢が約 100 億分の 1 秒よりずっと前」
- (29) 96 ページ、2 行目：「約 1000 億度よりずっと高い」⇒「約 1000 兆度よりずっと高い」
- (30) 96 ページ、2 行目：「大きさが約 30cm」⇒「大きさが約 3cm」
- (31) 187 ページ、13 行目から 14 行目と 188 ページ、1 行目から 7 行目  
「A さんが B さんにお金を借りる」を、  
 $A+(+m)=B$   
とします。すると、「B さんが A さんにお金を貸す」は、  
 $A=B+(-m)$ となります。m が貸し借りしたお金です。このやりとりによって、A さんは所持金が増えるので  
 $+m$ としています。一方、B さんは所持金が減るので  $-m$  となっています。このとき、 $-m$  を「貸付粒

子」、+m を「借金粒子」と名付けると、これらの粒子は、金額は同じですが、「B さんから見たら貸付」であり、「A さんから見たら借金」となり、見る側の立場によってちょうど反転していることがわかります。この「貸付粒子」と「借金粒子」が、粒子と反粒子の関係にあるのです。

⇒

「A さんが B さんに m 円のお金を借りる」という表現では、A さんの所持金は m 円増えていて、 $A+(+m)$

です。「B さんが A さんに m 円のお金を貸す」との表現では、B さんの所持金は m 円減るので、 $B-m=B+(-m)$

となります。同じことなのですが、最初の表現では、A さんは所持金が増えるので +m となっていて、一方、B さんは所持金が減るので -m です。このとき、-m を「貸付粒子」、+m を「借金粒子」と名付

けると、これらの粒子は、金額は同じですが、「B さんから見たら貸付」であり、「A さんから見たら借金」となり、見る側の立場によってちょうど反転していることがわかります。この「貸付粒子」と「借金粒子」が、粒子と反粒子の関係にあるのです。

### (3 2) 307 ページ、19 行目から 27 行目

1988 年 3 月に名古屋大学大学院 理学研究科博士課程（後期過程）を終了後、日本学術振興会特別研究員（名古屋大学）を経て、1989 年から高エ

⇒

1988 年 3 月に名古屋大学大学院 理学研究科博士課程（後期過程）を終了。理学博士。その後、日本学術振興会特別研究員（名古屋大学）を経て、1989 年から高エ

### (3 3) 48 ページ、図 1-5 キャプションの 2 行目：

「Anderson C.D. Physical Review 43 (1993)より」

⇒ 「Anderson C.D. Physical Review Vol.43, p491 (1993)より」

### (3 4) 109 ページ 13 行目：

「褐色矮星や白色矮星となります。」

⇒ 「白色矮星となります。」

(35) 109 ページ 図3-5中：惑星状星雲からの褐色矮星の矢印を消す

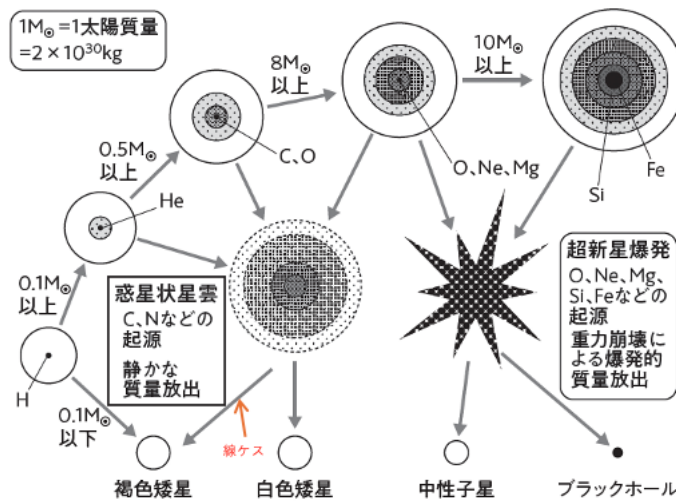


図 3-5 初期質量によって異なる「星の一生」と生成元素  
星が生まれたときの質量によって、星の中でどこまで重い元素を生成できるかが変わり、寿命や終末期の姿も異なる  
和南城伸也「超新星爆発におけるrプロセスとrpプロセスII」第11回 TRIACセミナー（2008年7月2日）p3の図をもとに作成

(36) 267 ページ、最後から1行目

標準理論が想定する対になる2つの複素ヒッグス場のエネルギーポテンシャルを図で表すと、

⇒

標準理論が想定する対になる2つの複素ヒッグス場のポテンシャルエネルギー密度を図で表すと、

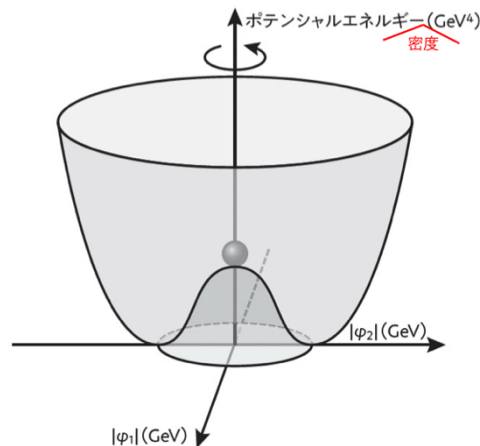


図 9-1 標準理論が想定する対になっている 2 つの複素ヒッグス場  $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  に、 $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  という大きさを与えるために必要なポテンシャルエネルギーの形  
しばしばワイン瓶の底の形に例えられる。中央の盛り上がったところはエネルギーが高く、しかも不安定なので、エネルギーの低い円環状になった底に落ち、そこが「真空」になる。どこに落ちるかは決まっていないため、真空には回転対称性がない。対称性が破れたことで、素粒子に質量が発生したと解釈される

図 9-1 中の「ポテンシャルエネルギー」  $\Rightarrow$  「ポテンシャルエネルギー密度」

同様に図 9-1 のキャプション中でも「ポテンシャルエネルギー」  $\Rightarrow$  「ポテンシャルエネルギー密度」

### (38) 269 ページ、1 行目から 5 行目

図 9-1 のようになります。この図は位置  $(x, y, z)$  における時刻  $t$  のヒッグス場  $\varphi_1(x, y, z, t)$  と  $\varphi_2(x, y, z, t)$  に  $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  という大きさのエネルギー（単位はそれぞれ GeV）をもたせるために必要なポテンシャルエネルギー（単位は  $\text{GeV}^4$ ）を表したものです。

図 9-1 は、縦軸が、複素ヒッグス場  $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  に場の値  $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  を与えるために必要なエネルギーの大きさを表しています。例えばこの図で、ボールを中心の山の上に置くとイメージして

$\Rightarrow$

図 9-1 のようになります。この図は位置  $(x, y, z)$  における時刻  $t$  のヒッグス場  $\varphi_1(x, y, z, t)$  と  $\varphi_2(x, y, z, t)$  に  $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  という大きさのエネルギー（単位はそれぞれ GeV）をもたせるために必要なポテンシャルエネルギー密度（単位は  $\text{GeV}^4$ ）を表したものです。

図 9-1 は、縦軸が、複素ヒッグス場  $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  に場の値  $(|\varphi_1|, |\varphi_2|)$  を与えるために必要なエネルギー密度の大きさを表しています。例えばこの図で、ボールを中心の山の上に置くとイメージして

(39) 291 ページ、14 行目、15 行目

$$V(\phi) = \mu^2 \phi^2 + \lambda \phi^4$$

という形をしています。 $\phi$  (ファイ) はヒッグス場の大きさ (電光掲示板の例えでは電球の明る

⇒

$$V(\varphi) = \mu^2 \varphi^2 + \lambda \varphi^4$$

という形をしています。 $\phi$  (ファイ) はヒッグス場の大きさ (電光掲示板の例えでは電球の明る

(40) 292 ページ、全文

さ) で、 $\mu$  (ミュー) と  $\lambda$  (ラムダ) は係数で、 $\lambda$  がヒッグス自己結合定数に対応します。定数  
といいながら、 $\mu$  や  $\lambda$  は、エネルギーの変化につれてゆっくり変化する関数です。第9章で説明  
したように、標準理論では、ヒッグス場として  $\phi_1$  と  $\phi_2$  という対になる2つの複素数成分をもつ  
場を導入したのでした。ヒッグス場の大きさ  $\phi$  とは、 $\phi_1$  と  $\phi_2$  からなる複素2次元平面上での原  
点からの距離  $\phi \equiv |\phi_1|^2 + |\phi_2|^2$  です。

多くのエネルギーを注ぎ込むほど電球は明るく点灯するので、 $\mu$  や  $\lambda$  は  $\phi$  の値の関数と言い換  
えてもよいです。

さて、 $\mu^2$  と  $\lambda$  が正の値なら、ポテンシャルエネルギーが最低になるのは、 $\phi=0$  の場所、つまり  
電球が消えている状態です。標準理論では、なぜそうなっているのか理由はわかりませんが、  
この世界は  $\lambda > 0$  で  $\mu^2 < 0$  となっていると仮定します。そうするとポテンシャルエネルギーが最

低になる  $\phi$  の値が  $\phi = v \equiv \sqrt{-\mu^2/2\lambda} > 0$  になり、ヒッグス場が点灯していた方が、エネルギー

が低くなるわけです。繰り返しますが、標準理論では、「なぜヒッグス場が満ちた真空の方が、  
エネルギーが低くなったのか?」、つまり「なぜ  $\mu^2 < 0$  なのか?」にはまったく答えてくれま  
せん。この形を仮定するとうまくいくという、ある意味では、ご都合主義的な仮定です。

ちょっと脱線しました。ヒッグス自己結合定数:  $\lambda$  とヒッグス場のポテンシャルエネルギー:  
 $V(\phi)$  の関係がわかったので、ヒッグス自己結合定数が負の値、つまり  $\lambda < 0$  になったとき何

⇒

さ) で、 $\mu$  (ミュー) と  $\lambda$  (ラムダ) は係数で、 $\lambda$  がヒッグス自己結合定数に対応します。定数  
といいながら、 $\mu$  や  $\lambda$  は、エネルギーの変化につれてゆっくり変化する関数です。第9章で説明  
したように、標準理論では、ヒッグス場として  $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  という対になる2つの複素数成分をもつ  
場を導入したのでした。ヒッグス場の大きさ  $\varphi$  とは、 $\varphi_1$  と  $\varphi_2$  からなる複素2次元平面上での原  
点からの距離  $\varphi \equiv |\varphi_1|^2 + |\varphi_2|^2$  です。

多くのエネルギーを注ぎ込むほど電球は明るく点灯するので、 $\mu$  や  $\lambda$  は  $\varphi$  の値の関数と言い換  
えてもよいです。

さて、 $\mu^2$  と  $\lambda$  が正の値なら、ポテンシャルエネルギーが最低になるのは、 $\varphi=0$  の場所、つまり

電球が消えている状態です。標準理論では、なぜそうになっているのか理由はわかりませんが、この世界は $\lambda > 0$  で $\mu^2 < 0$ となっていると仮定します。そうするとポテンシャルエネルギーが最

低になる $\phi$ の値が $\phi = v \equiv \sqrt{-\mu^2/2\lambda} > 0$ になり、ヒッグス場が点灯していた方が、エネルギー

が低くなるわけです。繰り返しますが、標準理論では、「なぜヒッグス場が満ちた真空の方が、エネルギーが低くなったのか?」、つまり「なぜ $\mu^2 < 0$ なのか?」にはまったく答えてくれません。この形を仮定するとうまくいくという、ある意味では、ご都合主義的な仮定です。

ちょっと脱線しました。ヒッグス自己結合定数： $\lambda$ とヒッグス場のポテンシャルエネルギー： $V(\phi)$ の関係がわかったので、ヒッグス自己結合定数が負の値、つまり $\lambda < 0$ になったとき何

#### (4 1) 293 ページ、全文

が起こるかという問題に戻しましょう。もうおわかりですね。こうなると $\phi$ の値を大きくすれば大きくするほど $V(\phi)$ が負の無限大へと底抜けでいくらでも小さくなれることになってしまうのです。真空のエネルギーが底抜けになるので、理論が破綻するというわけです。

「偽の真空」と「真の真空」

実際には、真空のエネルギーが負の無限大になる前に、それまでは目立たなかった力の媒介粒子（ゲージ粒子）のヒッグス自己結合への影響が大きくなって $\lambda > 0$ に戻ることが知られています。ですので、ヒッグス場のポテンシャルエネルギー $V(\phi)$ は負の無限大にはなりませんが、非常に大きな $\phi$ の値のところにエネルギーが本当に最低である「真の真空」ができることになります。一方、標準理論で仮定してきたエネルギー最低の場所 $\phi = v \equiv \sqrt{-\mu^2/2\lambda}$ は、実はその周りよりはエネルギーが低いけれど、「真の真空」の場所での $V(\phi)$ よりは高いエネルギーをもっていることになります。「真の真空」がどこにあるかは $V(\phi)$ の形で決まり、それは、ヒッグス粒子の質量とトップクォークの質量で決まります。

ヒッグス粒子の質量を125GeVに固定した際に、 $V(\phi)$ がトップクォーク質量を変えるとどう変わるかを示したのが、図10-1です。図10-1の計算に採用しているヒッグス粒子の質量の実験値は $m_H = 125.9 \pm 0.4 \text{ GeV}$  トップクォークの質量値は  $m_t = 171.393 \text{ GeV}$  前後です。 $\phi = 0$

⇒

が起こるかという問題に戻しましょう。もうおわかりですね。こうなると $\phi$ の値を大きくすれば大きくするほど $V(\phi)$ が負の無限大へと底抜けでいくらでも小さくなれることになってしまうのです。真空のエネルギーが底抜けになるので、理論が破綻するというわけです。

「偽の真空」と「真の真空」

実際には、真空のエネルギーが負の無限大になる前に、それまでは目立たなかった力の媒介粒子（ゲージ粒子）のヒッグス自己結合への影響が大きくなって $\lambda > 0$ に戻ることが知られていま

す。ですので、ヒッグス場のポテンシャルエネルギー $V(\phi)$ は負の無限大にはなりませんが、非常に大きな $\phi$ の値のところにエネルギーが本当に最低である「真の真空」ができることになります。一方、標準理論で仮定してきたエネルギー最低の場所 $\phi = v \equiv \sqrt{\mu^2/2\lambda}$ は、実はその周りよりはエネルギーが低いけれど、「真の真空」の場所での $V(\phi)$ よりは高いエネルギーをもっていることになります。「真の真空」がどこにあるかは $V(\phi)$ の形で決まり、それは、ヒッグス粒子の質量とトップクォークの質量で決まります。

ヒッグス粒子の質量を125GeVに固定した際に、 $V(\phi)$ がトップクォーク質量を変えるとどう変わるかを示したのが、図10-1です。図10-1の計算に採用しているヒッグス粒子の質量の実験値は $m_H = 125.9 \pm 0.4 \text{ GeV}$  トップクォークの質量値は $m_t = 171.393 \text{ GeV}$ 前後です。 $\phi = 0$

**(4 2) 294 ページ、図 10-1 で、**

縦軸：「ヒッグス場のポテンシャルエネルギー (GeV<sup>4</sup>)」

⇒ 「ヒッグス場のポテンシャルエネルギー密度 (GeV<sup>4</sup>)」

**(4 3) 294 ページ、図 10-1 のキャプション、**

「ヒッグス場のポテンシャルエネルギーの形と真空の安定性の関係」

⇒ 「ヒッグス場のポテンシャルエネルギー密度の形と真空の安定性の関係」

**(4 4) 294 ページの下部の文章で 3 行目、**

「シャルになっており、この図の $\phi$ 」

⇒ 「シャルになっており、この図の $\phi$ 」

**(4 5) 294 ページの下部の文章で 6 行目、**

「しかし、 $\phi$ の大きいところ（超高）」

⇒ 「しかし、 $\phi$ の大きいところ（超高）」

**(4 6) 180 ページの最後から 3 行目、**

ヒッグス粒子の質量は LHC 実験で測られていて、約 125GeV です。ヒッグス粒子がスピン 0 の粒子であるために、素粒子物理学の数学的枠組みである場の量子論によれば、ヒッグス粒子と反応する素粒子から、その質量の 2 乗に比例する影響を受けて、ヒッグス粒子の質量（の 2 乗に変化が生じることがわかっています。もともと 1 つだった力を、自発的に対称性を破ることで電弱力(U(1))、電弱力(SU(2)L)、強い力(SU(3))の 3 つの力に分離させる役割をもつ「大統一ヒッグス粒子」も、125 GeV ヒッグス粒子の質量に影響を与えることができ、その「大統一ヒッグス粒子」の質量は非常に大きく  $10^{16} \text{ GeV}$  程度と考えられます。125GeV ヒッグス粒子の質量に、「大統一ヒッグス粒子」の非常に大きな質量の 2 乗に比例した変化が加えられる可能性があるのです。しかし実際には、ヒッグス粒子の質量は 125GeV です。つまり、質量の 2 乗で最

大 32 から 4 桁引いた 28 桁もの質量の変化の可能性があるにもかかわらず、なんらかの調整が働いて、質量が 125GeV にとどまっていることになります。その大胆な調整を行っているのはどんな原理なのか？ というのが微調整問題です。

→

ヒッグス粒子の質量は LHC 実験で測られていて、約 125GeV です。ヒッグス粒子はスピン 0 の粒子であるために、素粒子物理学の数学的枠組みである場の量子論によれば、ヒッグス粒子と反応する他の素粒子からの量子力学的効果により、宇宙誕生直後に電弱力(U(1))、電弱力(SU(2)L)、強い力(SU(3))の 3 つの力が大統一していたと仮定するエネルギースケールの  $10^{16}\text{GeV}$  の 2 乗に比例する影響を受けて、ヒッグス粒子の質量が変化を受ける可能性があることがわかっています。これを量子力学の高次効果による「高次質量補正」と言います。ところが、観測されているヒッグス粒子の質量は 125GeV です。

(1 行)

つまりヒッグス粒子は、エネルギースケール  $10^{16}\text{GeV}$  の 2 乗である最大 32 桁から 125 の 2 乗である 4 桁を引いた 28 桁もの「高次質量補正」を受ける可能性があるにもかかわらず、なんらかの調整が働いて、質量が 125GeV にとどまっていることになります。このような大きな桁数の調整を行っているのはどんな原理なのか？ というのが微調整問題です。

(47) 181 ページの最後から 5 行目、

この微調整問題を解決するために、2 つの方向が考えられます。この問題は、ヒッグス粒子のスピンが 0 であることに起因しています。スピン 1/2 やスピン 1 の粒子では、その粒子の質量への変化がそれと反応する素粒子の 2 乗に比例することはなく、その影響が抑えられることが知られています。

→

この微調整問題を解決するために、2 つの方向が考えられます。この問題は、ヒッグス粒子のスピンが 0 であることに起因しています。場の量子論によればスピン 1/2 やスピン 1 の粒子では、それらの粒子が反応することができる粒子による量子力学的効果の質量変化はエネルギースケールの 2 乗に比例して大きくなるのではなく、対数的にしか増えないことが知られているからです。

2025 年 7 月 18 日  
高エネルギー加速器研究所  
素粒子原子核研究所