

万物の理論

自由パラメータなし



神はサイコロを振らなかった

結論 (宇宙の真理)

神は、宇宙を創造するときに、サイコロを振りませんでした。

素粒子論、
宇宙論の
パラメータ

- ・なぜ空間は3次元なの？
- ・四つの力の強さ（なぜ階層性があるの？）
- ・全てのクォークとレプトンの質量と混合比
- ・ヒッグス粒子の質量と真空期待値
- ・ハッブル定数、インフレーション
- ・ダークエネルギー、ダークマター、バリオンの比率
- ・バリオン数（なぜ反物質が少ないの？）

全てのパラメータが、必然的に決まっていることを説明します。

つまり、自由パラメータなしの万物の理論です。

微細構造定数や重力定数の理論値と実測値が完全に一致します。

はじめに、結論として宇宙の真理を述べます。

神は、宇宙を創造するときに、サイコロを振りませんでした。

素粒子論、宇宙論のパラメータを挙げました。

全てのパラメータが、必然的に決まっていることを説明します。

つまり、自由パラメータなしの万物の理論です。

最終的に、微細構造定数や重力定数の理論値と実測値が完全に一致します。

目次

なぜ空間は3次元なの？	4	重力	121
電磁気力	14	エントロピー	138
フェルミオンと世代	29	宇宙	142
スピンとパウリ斥力	39	ダークマターとダークエネルギー	162
強い力	45	バリオン数	172
ヒッグス機構	56	微細構造定数	184
カイラリティ	64	修正重力	196
弱い力	70	白銀のキューブ	208
質量	81	補足説明	215
荷電レプトン質量	89	結論、etc.	229
ニュートリノ質量と混合	101		
クォーク質量と混合	108		

目次です。
なぜ空間は3次元なのかという基礎の部分から考えていきます。
前半は素粒子論で、後半は宇宙論です。
全ての自由パラメータを説明するため、長時間の動画となっております。
じっくり見たい方は、PDF版の閲覧をお勧めします。

なぜ空間は3次元なの？

なぜ空間は3次元なの？

素粒子や力の性質を決める前に、空間の次元数を決めるところから始めます。

- 神の
選択
- ▶ 1. 必要最小限の次元数にする
 - 2. 必要以上の次元数にする
- …余分な次元数は、自由に決められる。
サイコロを振らないと決められない。

必然的な説明をするためには、前者を選択します。

つまり、空間が2次元では足りない何らかの理由があるということです。

素粒子や力の性質を決める前に、空間の次元数を決めるところから始めます。

まず、空間がなぜ3次元なのか考えてみましょう。

神には二つの選択肢があります。

1. 必要最小限の次元数にする

2. 必要以上の次元数にする

後者の場合、余分な次元数は、自由に決められます。

その場合、神はサイコロを振らないと決められません。

必然的な説明をするためには、前者を選択します。

つまり、空間が2次元では足りない何らかの理由があるということです。

なぜ空間は3次元なの？

無

そもそも、なぜ空間が必要なのでしょう？

粒子が一つも存在しない空間



=

情報量: 0

=

「無」
と呼ぶ

観測者が居ない

… 空間がどういう性質を持っていようが、無意味

そもそも、なぜ空間が必要なのでしょう？

素粒子が一つも存在しない空間を考えてみましょう。

空間がどういう性質を持っていようが、無意味です。

観測者が居ないので、情報量は0です。

情報量が0の状態を「無」と呼ぶことにしましょう。

なぜ空間は3次元なの？

有

最も基本的な素粒子： 最小限の「有」

「有」： 「無」と区別できる「何か」

その「何か」とは、空間です。

ある空間と別の空間が、何らかの方法で区別可能だとします。

そのとき、片方は「有」で、もう片方は「無」と定義できます。

粒子とは、「有」の空間を指します。

最も基本的な素粒子から、設計を始めましょう。

最も基本的な素粒子は、最小限の「有」だとします。

「有」とは、「無」と区別できる「何か」です。

その「何か」とは、空間です。

ある空間と別の空間が、何らかの方法で区別可能だとします。

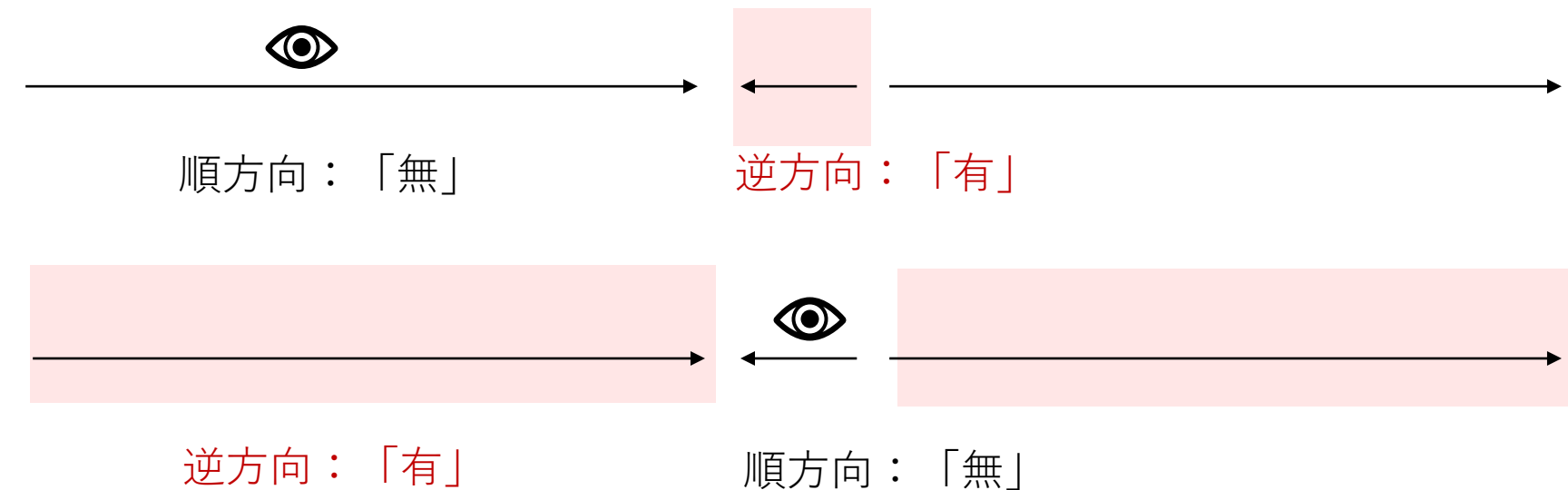
そのとき、片方は「有」で、もう片方は「無」と定義できます。

粒子とは、「有」の空間を指します。

なぜ空間は3次元なの？

逆方向＝「有」？

空間には向きがあり、順方向と逆方向を区別できます。



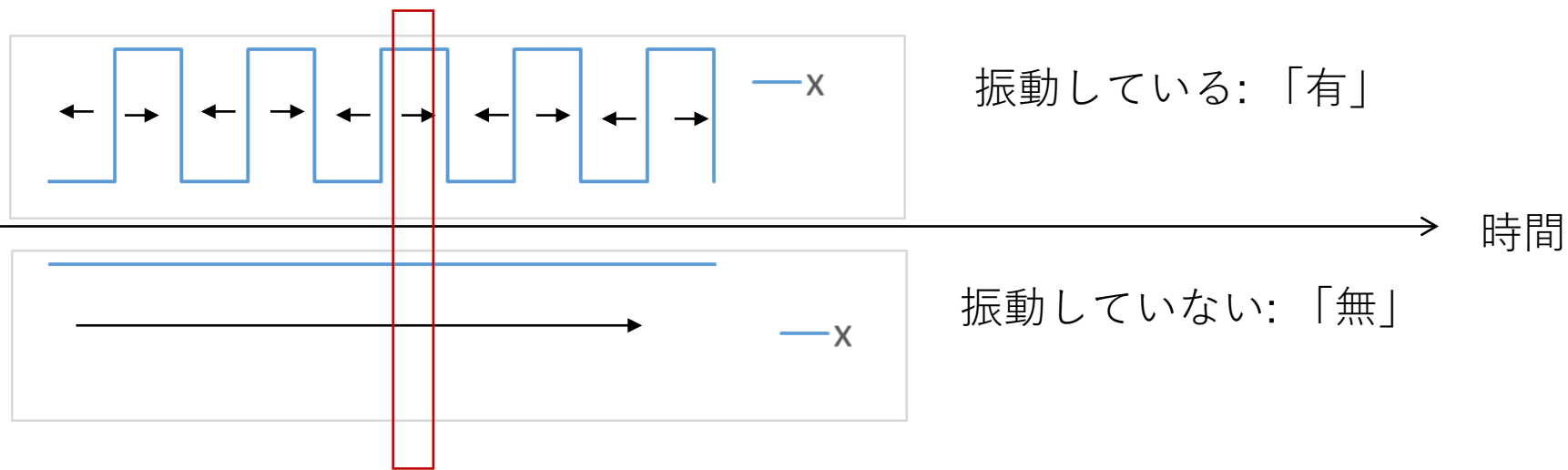
逆から見ると、「無」だった空間が「有」に見えてしまいます。

NG

空間には向きがあり、順方向と逆方向を区別できます。
 一定範囲の空間だけ、向きが反転した状態を考えてみましょう。
 空間が順方向なら「無」、逆方向なら「有」と定義できます。
 しかし、この定義には問題があります。
 逆から見ると、「無」だった空間が「有」に見えてしまいます。
 この「有」の定義は失敗です。

なぜ空間は3次元なの？

振動＝「有」？



微小時間だけ空間を観察したとき、
反転しているかどうか判別できません。

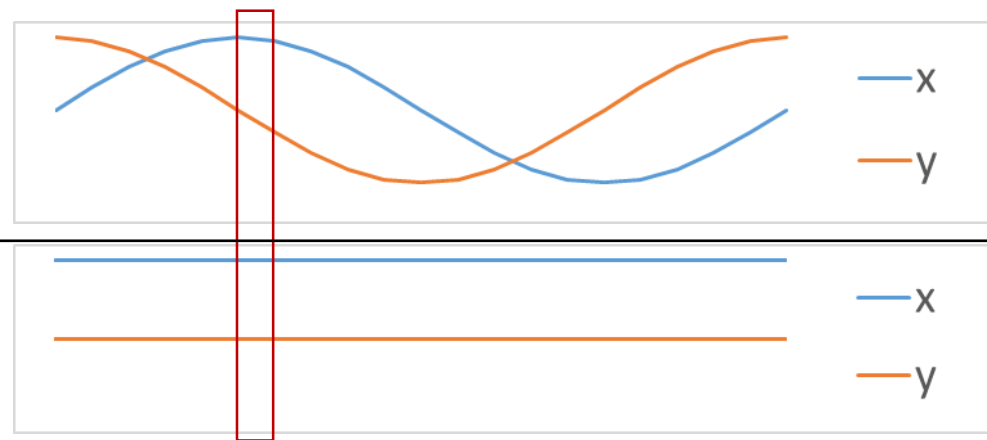
NG

それでは、時間軸も活用してみましょう。
一定範囲の空間の向きが時間と共に反転を繰り返しているとします。
振動している空間を「有」、していない空間を「無」と定義できます。
しかし、この定義にも問題があります。
微小時間だけ空間を観察したとき、振動しているかどうか判別できません。
この「有」の定義も失敗です。

なぜ空間は3次元なの？

回転＝「有」？

時間と共に、2軸が滑らかに入れ替わるとしましょう。



回転している: 「有」

回転していない: 「無」

これなら、微小時間の観察でも、
「有」と「無」を区別できます。
空間2次元と時間1次元で、「有」を定義できました。

OK

それでは、空間を二次元にしてみましょう。
時間と共に、2軸が滑らかに入れ替わるとしましょう。
つまり、回転していれば「有」と定義します。
これなら、微小時間の観察でも、「有」と「無」を区別できます。
空間2次元と時間1次元で、「有」を定義できました。

なぜ空間は3次元なの？

最も基本的な素粒子の回転速度

- 神の
選択
- ▶ 1. ゼロではない最小の角速度
 - 2. ゼロではない任意の角速度
…サイコロを振って決める

最も基本的な素粒子： スピン= $1\hbar$

真空： スピン= $0\hbar$

\hbar ：ディラック定数

最も基本的な素粒子の回転速度を考えてみましょう。

神には2つの選択肢があります。

1. ゼロではない最小の角速度
2. ゼロではない任意の角速度

後者は神がサイコロを振ることになるので、前者を採用します。

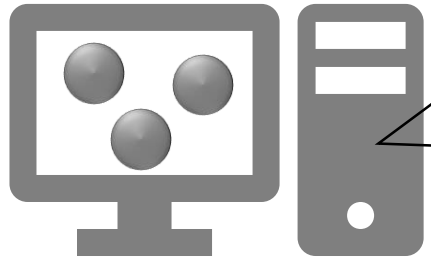
最も基本的な素粒子はスピン1、真空はスピン0としましょう。

スピンの単位は、ディラック定数です。

なぜ空間は3次元なの？

素粒子台帳

粒子とは、情報の表現に過ぎないと考えられます。



素粒子台帳

メモリアドレス	x	y	回転
0x0100	0x0000	0x0000	+1 \hbar
0x0200	0x0010	0x0114	+1 \hbar
0x0300	0x0020	0x0514	-1 \hbar

重複データを検知する仕組みが必要です。
メモリアドレスを見れば区別することができます。
メモリアドレスは1次元の整数です。

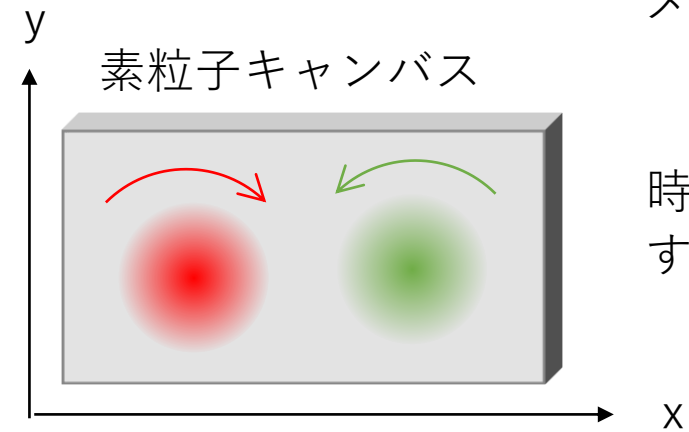
粒子とは、情報の表現に過ぎないと考えられます。
例えば、パソコン画面上で素粒子の3Dグラフィックスが表示されているとします。
ですが、その本質は、メモリ上の16進数データです。
宇宙をシミュレートしている神のパソコンには、どんな情報が記録されているでしょうか？
素粒子の位置などをリスト化した台帳があるかもしれません。
重複データを検知する仕組みが必要です。
メモリアドレスを見れば区別することができます。
メモリアドレスは1次元の整数です。

なぜ空間は3次元なの？

素粒子キャンバス

空間2次元と時間1次元のデータを記録するために、メモリを3次元にしましょう。

メモリアドレスは、時空の座標そのものです。



時空は、情報を記録するためのキャンバスです。
すべての粒子が重ね描きされています。

最も基本的な粒子は、0ではない大きさの回転として描かれます。
角運動量があるだけで、半径のある球があるわけではありません。

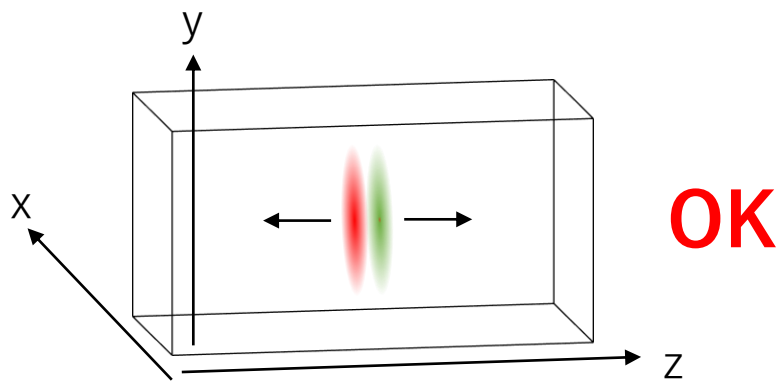
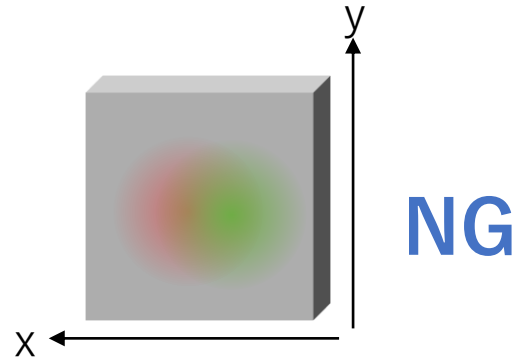
空間2次元と時間1次元のデータを記録するために、メモリのを3次元にしましょう。
そのとき、メモリアドレスは、時空の座標そのものです。
つまり、時空は、情報を記録するためのキャンバスです。
このキャンバスには、すべての粒子が重ね描きされています。
最も基本的な粒子は、0ではない大きさの回転として描かれます。
角運動量があるだけで、半径のある球があるわけではありません。

なぜ空間は3次元なの？

4次元キャンパス

粒子は、回転する平面の方向に大きさがあります。

二つの粒子の位置が近いと、重なって相殺してしまいます。



それを回避するには、空間を3次元に拡張する必要があります。

回転方向と垂直な方向に、粒子が対生成して進むとします。

空間3次元と時間1次元で、最小限の「有」を表現できました。

複数の粒子をキャンバスに描こうとすると問題が発生します。

粒子は、回転方向に大きさがあります。

二つの粒子の位置が近いと、重なって相殺してしまいます。

それを回避するには、空間を3次元に拡張する必要があります。

回転方向と垂直な方向に、粒子が対生成して進むとします。

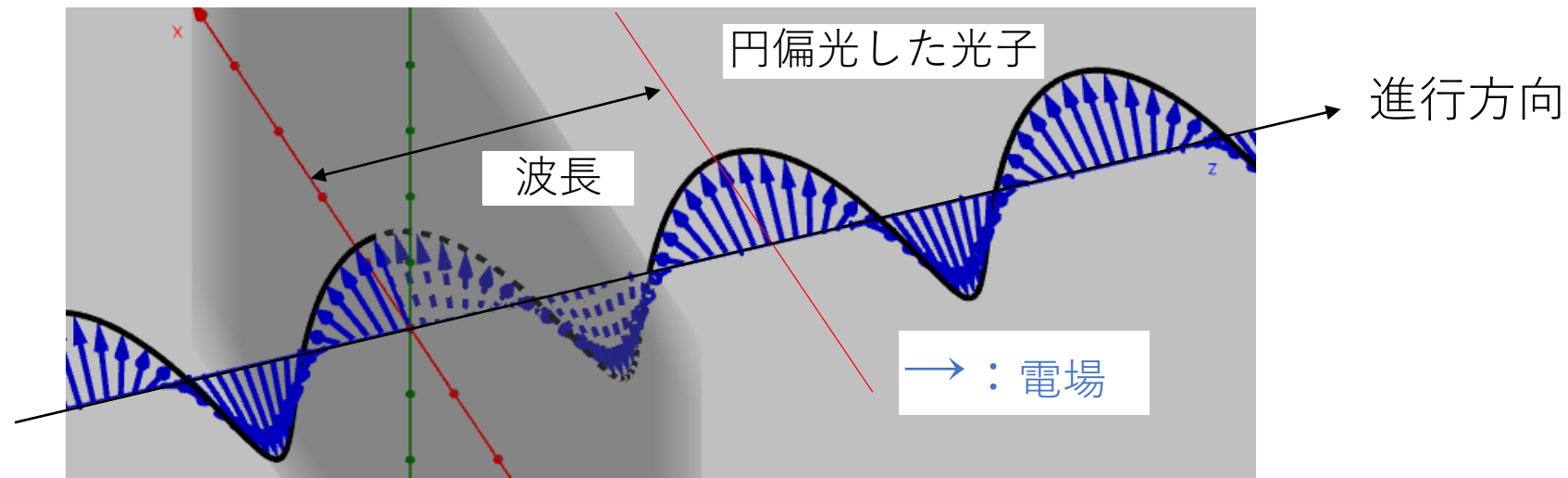
空間3次元と時間1次元で、最小限の「有」を表現できました。

電磁気力

光子

最も基本的な素粒子 = 光子

進行方向と垂直に1回転するスピン1の素粒子

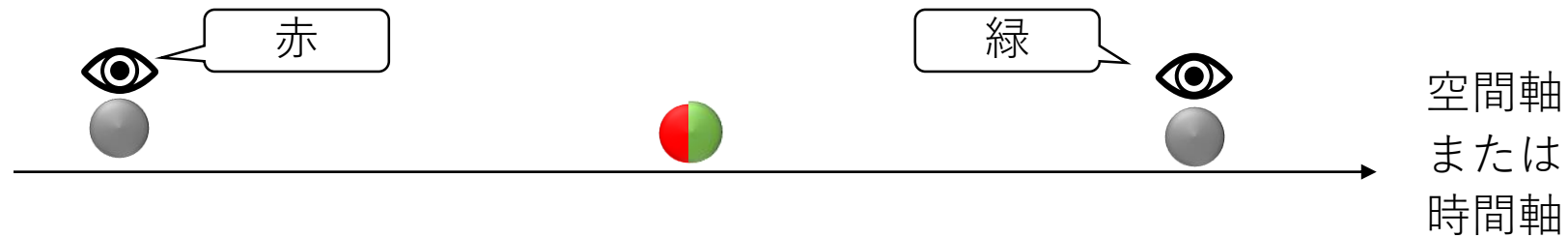


神が初めに「光あれ」と言って創られたとされる粒子です。

最も基本的な素粒子というのは、何なのでしょう？
 進行方向と垂直に1回転するスピン1の素粒子です。
 これは、円偏光の光子の性質と完全に一致します。
 神が初めに「光あれ」と言って創られたとされる粒子です。

電磁気力

二面性



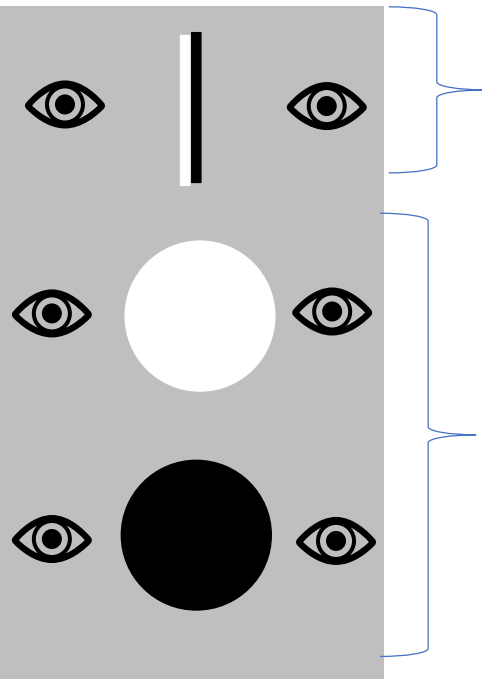
粒子が持ちうる情報について、見逃していることがあります。
ある粒子を別の粒子から観察すると、裏側までは見えません。
逆に、反対側にいる観察者からは、裏側しか見えません。
そのため、表側と裏側で、全く別の粒子に見えることが許されます。
空間が3次元なので、それぞれの軸について同じことがいえます。
時間軸についても、時間が逆行したときに、別の粒子に見えることが許されます。

粒子が持ちうる情報について、見逃していることがあります。
ある粒子を別の粒子から観察すると、裏側までは見えません。
逆に、反対側にいる観察者からは、裏側しか見えません。
そのため、表側と裏側で、全く別の粒子に見えることが許されます。
空間が3次元なので、それぞれの軸について同じことがいえます。
時間軸についても、時間が逆行したときに、別の粒子に見えることが許されます。

電磁気力

球

空間には向きがあるので、ある向きを白、逆向きを黒で図示するとしましょう。



光子の電場の向きは、
両面が白と黒の平面で表現できます。

両面とも同じ色の粒子を仮定できます。
3次元のどの方向からも同じ方向に見えるので、
球体で表現できます。
白と黒の二種類の球があります。
これは、見る方向や時間で変化しない、
いわゆる保存量です。

空間には向きがあるので、ある向きを白、逆向きを黒で図示するとしましょう。

光子の電場の向きは、両面が白と黒の平面で表現できます。

逆から見た粒子の性質は、自由に決められます。

そのため、両面とも同じ色の粒子を仮定できます。

3次元のどの方向からも同じ方向に見えるので、球体で表現できます。

白と黒の二種類の球があります。

これは、見る方向や時間で変化しない、いわゆる保存量です。

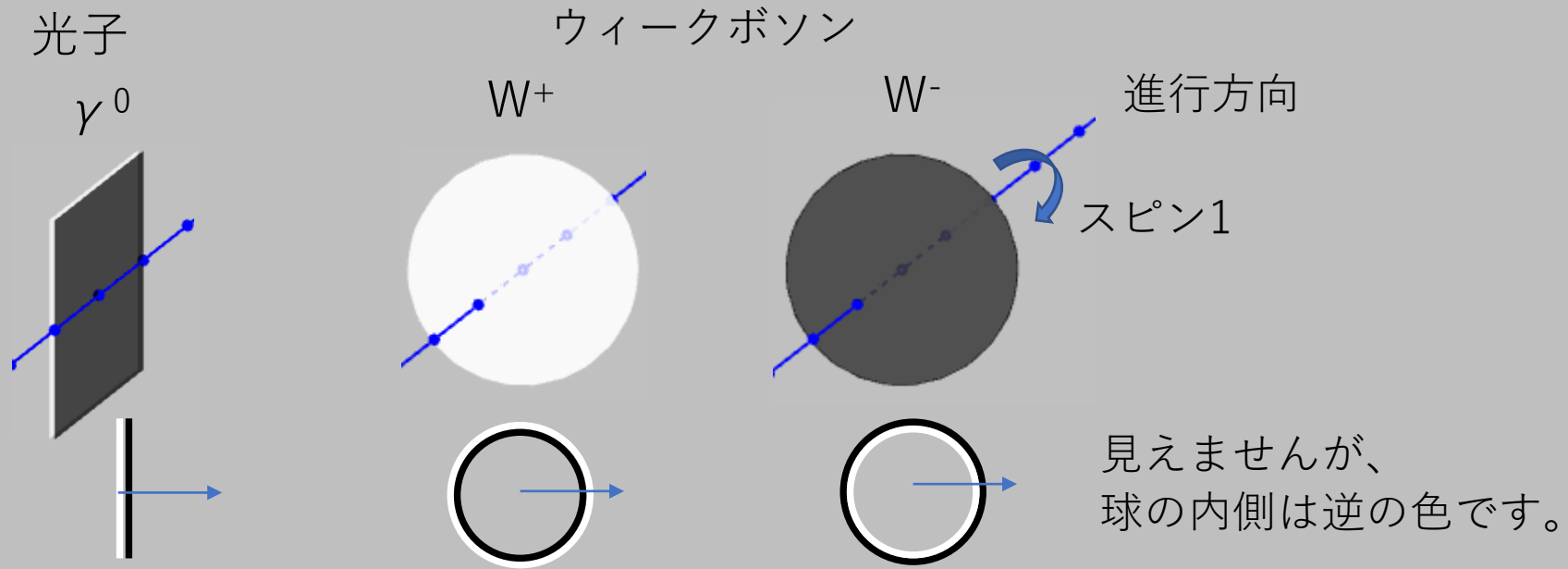
電磁気力

電荷

白色の電荷：+1

黒色の電荷：-1

全方向から見た平均が、その粒子の電荷です。



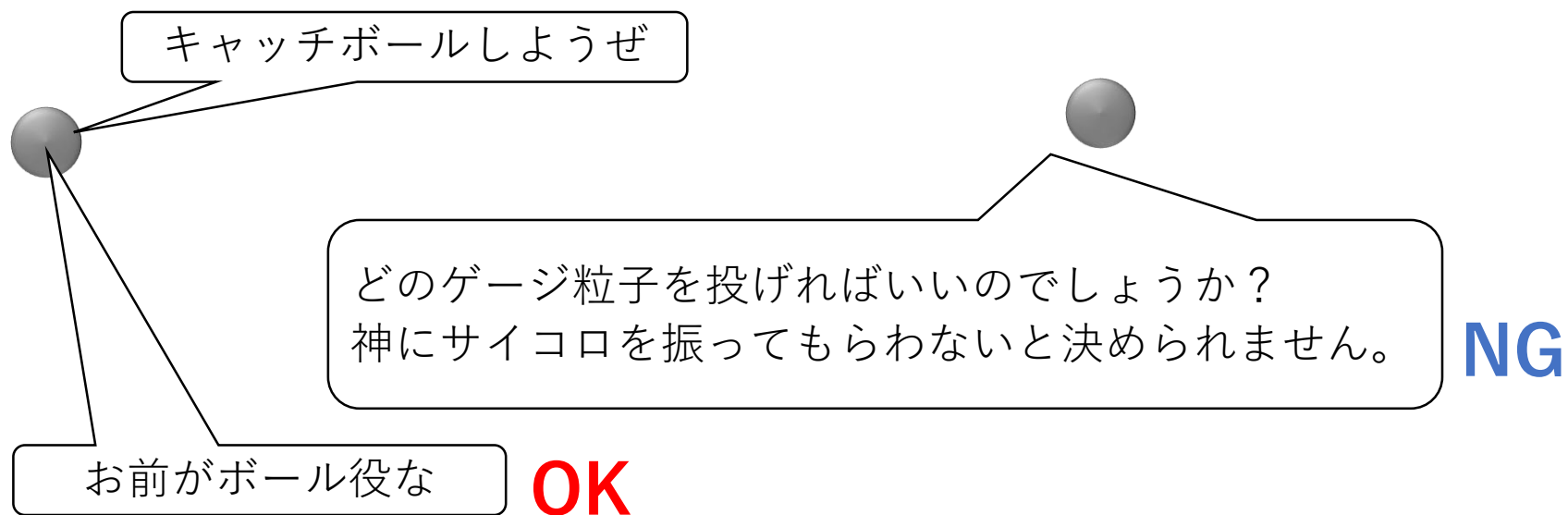
その保存量は、電荷に相当します。
 白色の電荷は+1、黒色の電荷は-1とします。
 全方向から見た平均が、その粒子の電荷です。
 光子のように白と黒が等量なら、電荷は0です。
 電荷が±1で、スピン1の粒子は、ウィークボソンに対応します。
 ウィークボソンは弱い力を媒介するゲージ粒子です。
 また、見えませんが、球の内側は逆の色になっています。

電磁気力

なぜ力が働くのか？

相互作用は、ゲージ粒子のキャッチボールに例えられます。

ゲージ粒子とは、力を媒介する光子などの粒子です。

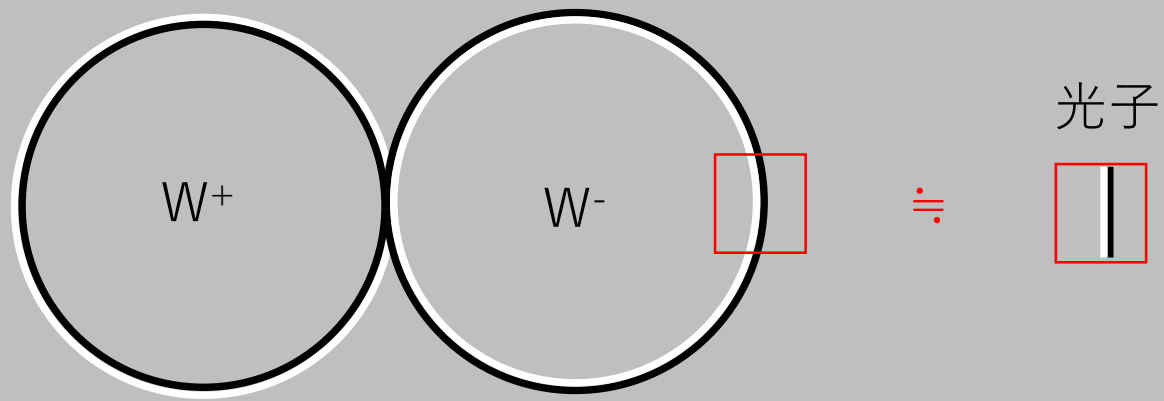


次に、なぜ力が働くのか考えましょう。
相互作用は、ゲージ粒子のキャッチボールに例えられます。
ゲージ粒子とは、力を媒介する光子などの粒子です。
ある粒子から、「キャッチボールしようぜ」と言われました。
どのゲージ粒子を投げればいいのでしょうか？
神にサイコロを振ってもらわないと決められません。
正解は、「お前がボール役な」です。

電磁気力

媒介

図では球ですが、実際には粒子の大きさは決まっています。
大きさが決まっていないだけで、大きさが無いわけではありません。
距離と等しい半径を仮定すれば、2粒子は接触できます。

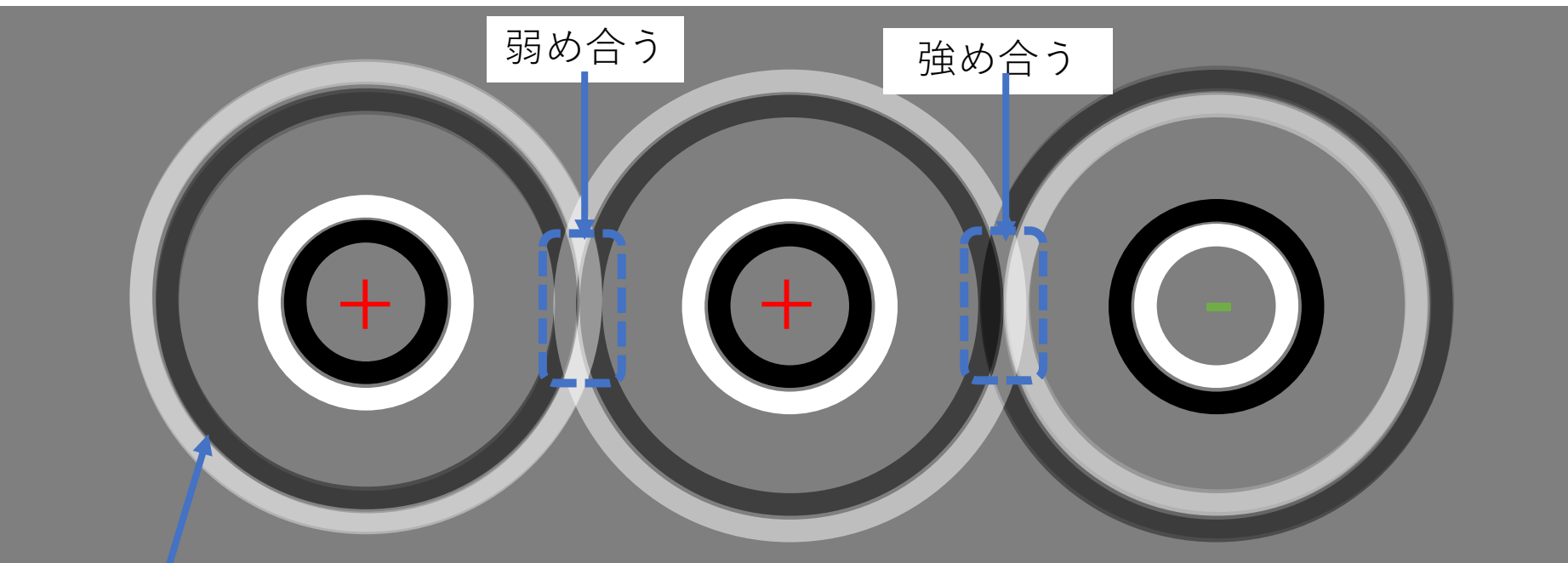


球面の一部を切り取って見ると、光子とそっくりです。
区別できないなら、そこには光子があるのと同じです。

電荷がプラスとマイナスの2粒子の模式図を示しました。
図では球ですが、実際には粒子の大きさは決まっています。
大きさが決まっていないだけで、大きさが無いわけではありません。
距離と等しい半径を仮定すれば、2粒子は接触できます。
光子を媒介せずに、相互作用できそうです。
ですが、よく見てください。
球面の一部を切り取って見ると、光子とそっくりです。
区別できないなら、そこには光子があるのと同じです。

電磁気力

干渉

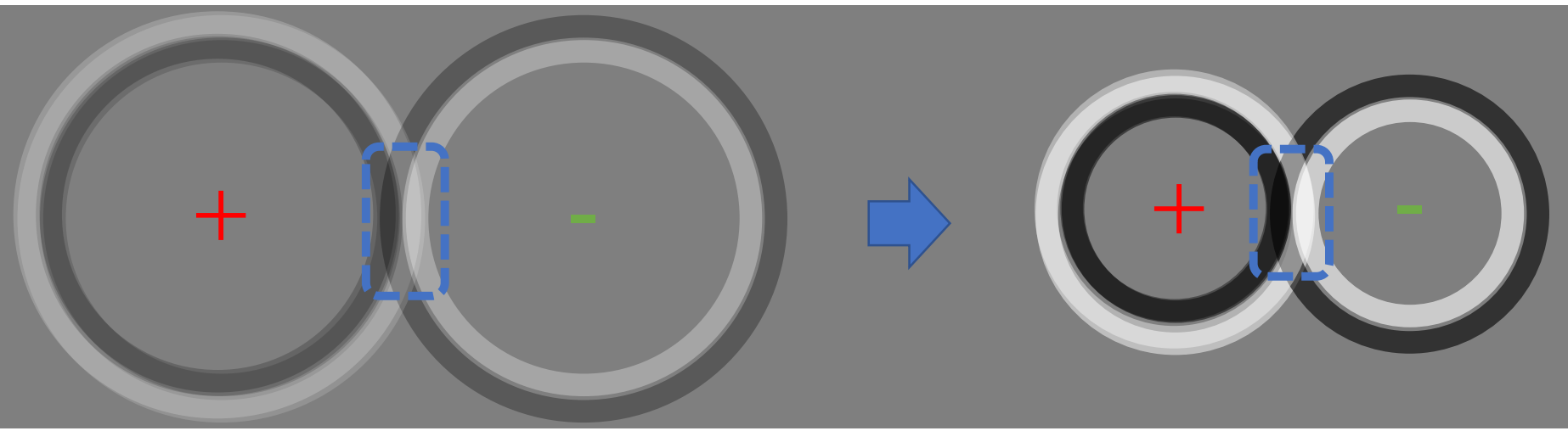


距離が大きいほど表面積が大きくなり、希釈されます。

同符号または異符号の電荷の接触を図示しました。
異符号では強め合い、同符号では弱め合うように重なります。
また、距離が大きいほど表面積が大きくなり、希釈されます。

電磁気力

電磁気力



波動関数の二乗が粒子の存在確率です。
異符号の電荷では、距離が近いほど、波が強まります。
現在位置よりも、僅かに接近した位置の方が存在確率が高いのです。
これが電磁気力による引力です。

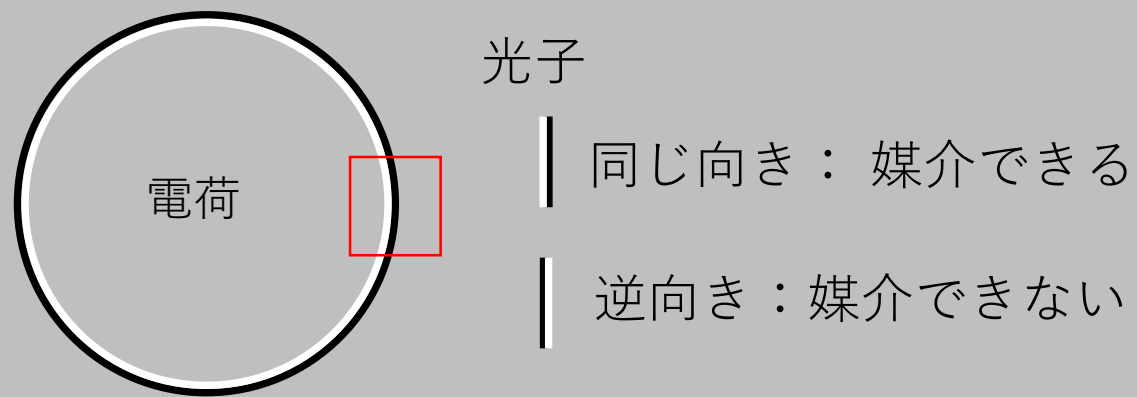
量子力学では波動関数の二乗が粒子の存在確率です。
異符号の電荷では、距離が近いほど、波が強まります。
現在位置よりも、僅かに接近した位置の方が存在確率が高いのです。
これが電磁気力による引力です。
同符号の電荷なら、逆に波が弱まりため斥力になります。

電磁気力

電磁気力の強さ(1)

電磁気力の強さ = 光子が電荷を媒介する度合い

電荷による球面と、光子の平面の一致度合いを考えましょう。



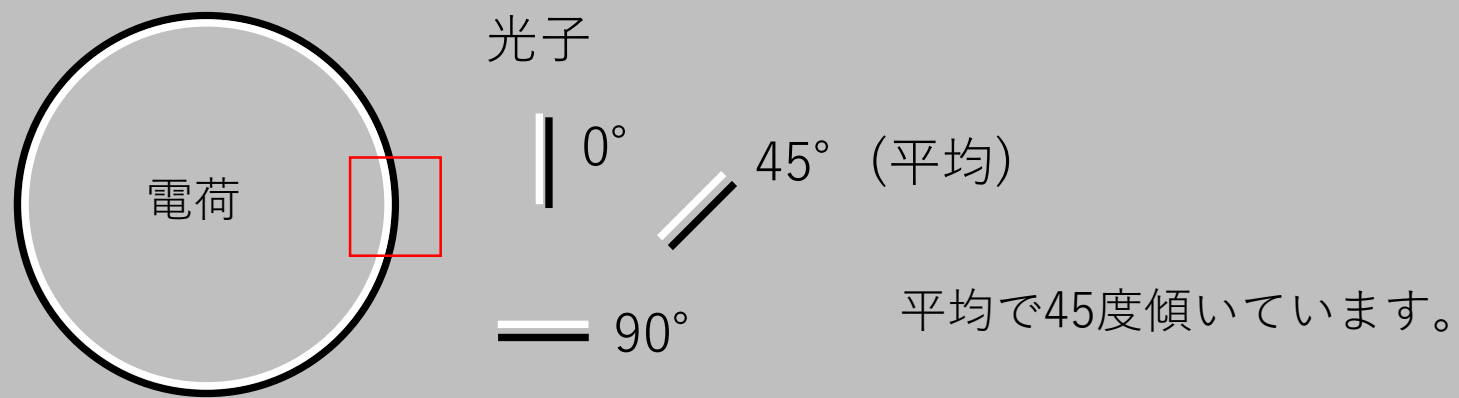
多くても、 $1/2$ の光子しか電荷を媒介できない。

電磁気力の強さについて考えます。
 それは、光子が電荷を媒介する度合いに相当します。
 100%媒介できる保証はありません。
 電荷による球面と、光子の平面の一致度合いを考えましょう。
 まず、光子には、方向性があります。
 逆向きの光子は、電荷を媒介できません。
 光子の向きはランダムだとします。
 すると、多くても半数の光子しか電荷を媒介できません。

電磁気力

電磁気力の強さ(2)

半数の光子は電荷と同じ向きですが、それでも0から90度の間で傾いています。



$\cos 45^\circ$ の成分しか媒介できません。

半数の光子は電荷と同じ向きですが、それでも0から90度の間で傾いています。

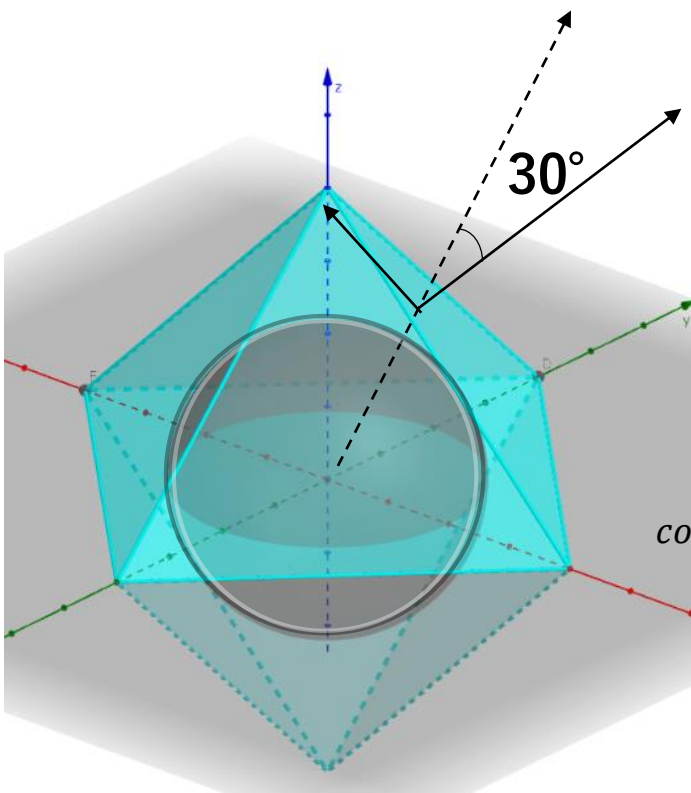
平均で45度傾いています。

同じ向きの成分はコサイン45度です。

そのため、コサイン45度の成分しか媒介できません。

電磁気力

電磁気力の強さ(3)



球面と平面は一致せず、傾いています。

球面と平面との、平均の傾き計算しましょう。

正八面体と球面の法線のなす角の平均は、
30° です。

$$\cos\theta = \frac{\int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \cos\theta + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin\theta \cos\varphi + \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \sin\theta \sin\varphi \right) \sin\theta \, d\theta \, d\varphi}{\int_0^{\pi/2} \int_0^{\pi/2} \sin\theta \, d\theta \, d\varphi}$$

$\cos 30^\circ$ の成分だけ媒介できます。

さらに、球面と平面は一致せず、傾いています。

球面と平面との、平均の傾き計算しましょう。

空間を対称的に8つに分割して考えます。

x, y, zが全てが正の方向の空間だけを計算すれば十分です。

正八面体と球面の法線のなす角の平均は、30度です。

コサイン30度の成分だけ媒介できます。

電磁気力

電磁気力の強さ(4)

電磁気力の
ゲージ結合定数

$$e = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \cos 30^\circ = \frac{1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\frac{3}{32}} = 0.306$$

微細構造定数

$$\alpha = \frac{e^2}{4\pi} = \frac{3}{128\pi} = 1/134$$

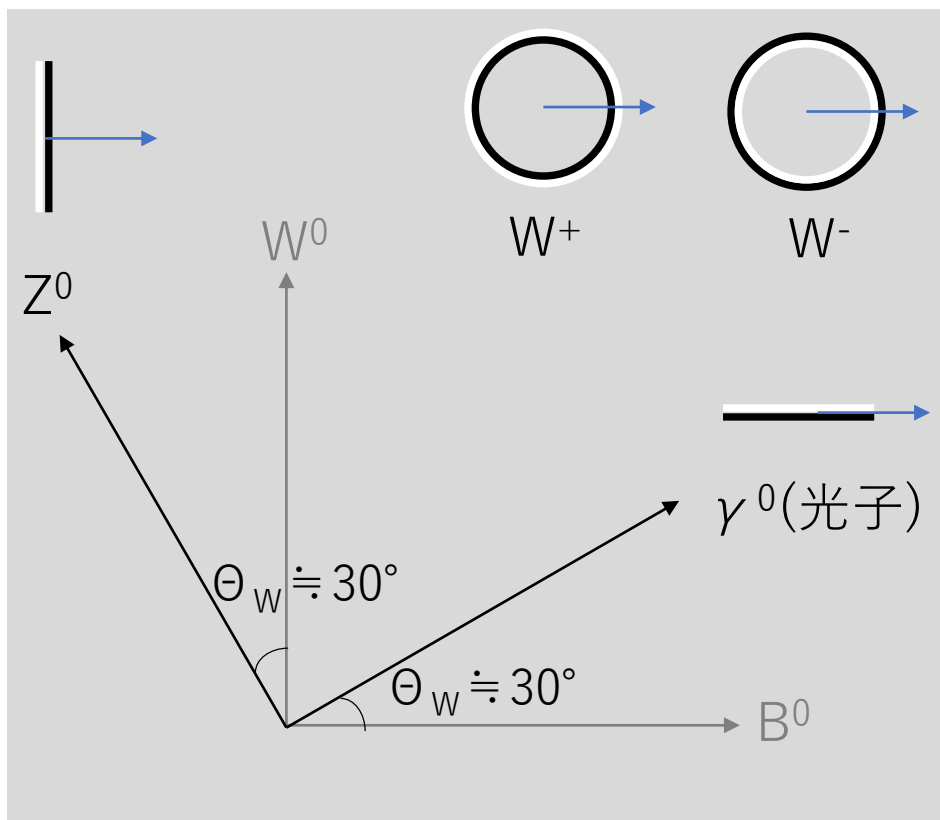
実測値: 1/137.035999177(21)

理論値と実測値は「微細構造定数」の章で、ピッタリ合うまで補正されます。

2分の1と、コサイン45度と、コサイン30度を掛けた値が、電磁気力の強さです。
これは、ゲージ結合定数と呼ばれる無次元量です。
この値は、微細構造定数に換算すると134分の1です。
実測値は137分の1です。
理論値と実測値は「微細構造定数」の章で、ピッタリ合うまで補正されます。

電磁気力

電弱統一理論



中性の W ボソンと B ボソンは、
混合して、
光子と Z ボソンになりました。

$$\Theta_W \doteq 30^\circ$$

弱混合角
または
ワインバーグ角

弱い力についても考えましょう。

まず、標準模型である電弱統一理論の要点を説明します。

ウィークボソンには、電荷がプラスとマイナスと中性の三種類がありました。

中性の W ボソンは、同じく中性の B ボソンと、約30度で混合しました。

混合の結果、直交する光子と Z ボソンになりました。

この弱混合角は、ワインバーグ角とも呼ばれます。

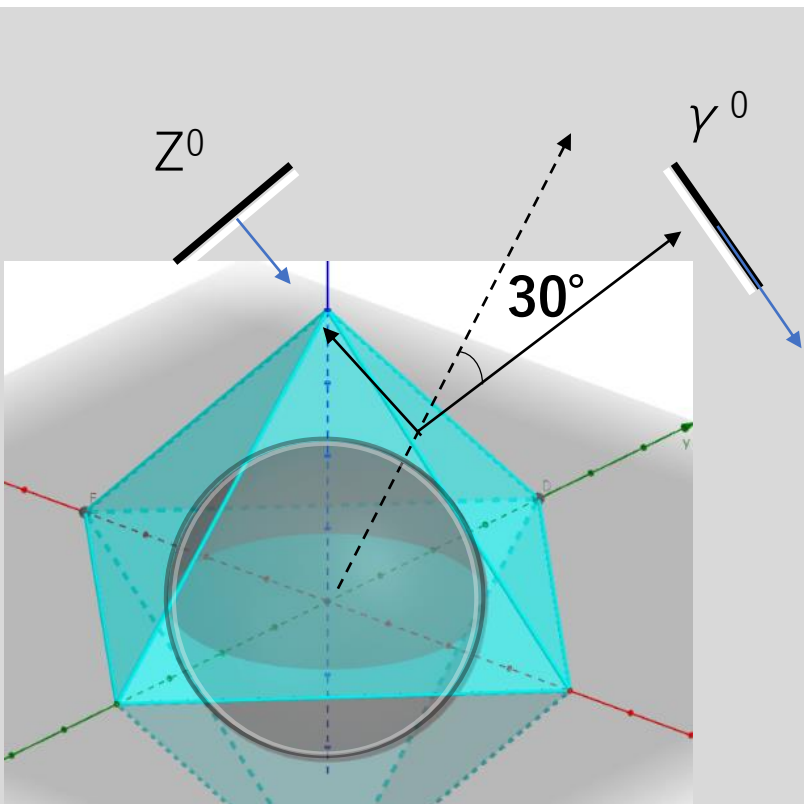
平面と球面の30度の傾きが、ワインバーグ角に対応します。

W ボソンが球面で、光子と Z ボソンが平面です。

Z ボソンは、光子と直交した平面です。

電磁気力

直交する力



光子：横波を媒介

$$e = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \textcolor{red}{\cos} 30^\circ$$

Z^0 ：縦波を媒介

$$z = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \textcolor{red}{\sin} 30^\circ$$

電磁気力と弱い力が
分かれているのは、
方向性の違いが原因

Zボソンもまた力を媒介するゲージ粒子です。
電磁波は横波です。
直交するZボソンは縦波を媒介すると考えられます。
Zボソンのゲージ結合係数は、光子の場合のコサインをサインに変えたものです。
電磁気力と弱い力が分かれているのは、方向性の違いが原因です。

電磁気力

弱混合角

実測値 $\theta_W \doteq 28.7^\circ$

神の
選択

1. サイコロを振って、角度を決める
- ▶ 2. 幾何学的に必然的に決まる

最もエレガントな解釈の一つが、平面と正四面体のなす角の30度でしょう。
空間の次元数の3という数字のみから、求まります。

弱混合角は、標準模型では実測して決めるしかありません。

実測値では、28.7度です。

これは、神がサイコロを振って決めたのでしょうか？

その解釈は、科学的説明を諦めただけです。

幾何学的に必然的に決まるはずです。

最もエレガントな解釈の一つが、平面と正四面体のなす角の30度でしょう。

空間の次元数の3という数字のみから求まります。

僅かな差は、補正計算で埋まるでしょう。

フェルミオンと世代

クォークとレプトン

		電荷							
		-1	-2/3	-1/3	0	0	+1/3	+2/3	+1
世代	1	電子 e		ダウ d	$\bar{\nu}_e$	ニュートリノ ν_e		アップ u	\bar{e}
	2	ミューオン μ		ストレンジ s	$\bar{\nu}_\mu$	ニュートリノ ν_μ		チャーム c	$\bar{\mu}$
	3	タウオン τ		ボトム b	$\bar{\nu}_\tau$	ニュートリノ ν_τ		トップ t	$\bar{\tau}$
		レプトン	クォーク		レプトン		クォーク		レプトン

次に、クォークとレプトンについて考えましょう。

表の横軸は電荷です。

電荷が整数のものがレプトンで、分数のものがクォークです。

レプトンは1色ですが、クォークは3色あります。

グレーで示したものは反粒子で、電荷の符号が逆のものです。

表の縦軸は世代です。

3世代ありますが、質量以外に差はありません。

全部で48種類あります。

フェルミオンと世代

アイソスピンとハイパーチャージ

$$\begin{array}{ccc}
 \text{電荷} & & \text{アイソスピン} \quad \text{ハイパーチャージ} \\
 Q & = & T \quad + \quad Y \\
 & & \left\{ \begin{array}{ll} \pm \frac{1}{2} & \left\{ \begin{array}{ll} \pm \frac{1}{6} & \text{クォーク} \\ \pm \frac{1}{2} & \text{レプトン} \end{array} \right. \\ \pm 1 & W^+, W^- \\ 0 & Z^0, \gamma^0 \end{array} \right.
 \end{array}$$

標準模型では、電荷はアイソスピンとハイパーチャージの和です。
クォーク、レプトンともに、アイソスピンは $\pm 1/2$ です。
レプトンのハイパーチャージは、 $\pm 1/2$ です。
クォークのハイパーチャージは、 $\pm 1/6$ です。
また、Wボソンは ± 1 のアイソスピンを持っています。
Wボソンを放出または吸収すると、アイソスピンが変化します。

フェルミオンと世代

符号の組み合わせ

	電荷 Q	= アイソスピン T $\pm 1/2$	ハイパーチャージ + Y _R + Y _G + Y _B $\pm 1/6$ $\pm 1/6$ $\pm 1/6$			色
ν_e	+0	+1/2	-1/6	-1/6	-1/6	
\bar{d}	+1/3	+1/2	-1/6	-1/6	+1/6	R
	+1/3	+1/2	-1/6	+1/6	-1/6	G
	+1/3	+1/2	+1/6	-1/6	-1/6	B
u	+2/3	+1/2	+1/6	+1/6	-1/6	R
	+2/3	+1/2	+1/6	-1/6	+1/6	G
	+2/3	+1/2	-1/6	+1/6	+1/6	B
\bar{e}	+1	+1/2	+1/6	+1/6	+1/6	

クォークとレプトンの電荷は、次の組み合わせで表現できます。
 $\pm 1/2$ が一つと、 $\pm 1/6$ が三つの和です。
 ハイパーチャージの部分を3つに分けた形です。
 符号の組み合わせは2の4乗で、16通りです。
 これは、1世代のクォークとレプトンに対応しています。
 表には、半分だけ載せています。
 三つの1/6の符号が揃っているのがレプトンで、揃っていないのがクォークです。
 3つの内、符号が異なるのが一つだけあるため、3色の自由度があります。

フェルミオンと世代

組み合わせの起源 (1)

2^4 の組み合わせはどこから来たのでしょうか？

粒子は、ある方向と逆方向で、別々の性質を持つことができます。

3次元空間

+x, -x, +y, -y, +z, -zの6方向で、正負の電荷を持てます。

組み合わせ： 2^6

1次元時間

+t, -tの2方向で、正負の電荷を持てます。

組み合わせ： 2^2

2の4乗の組み合わせはどこから来たのでしょうか？

粒子は、ある方向と逆方向で、別々の性質を持つことができます。

3次元空間の+x, -x, +y, -y, +z, -zの6方向で、正負の電荷を持てます。

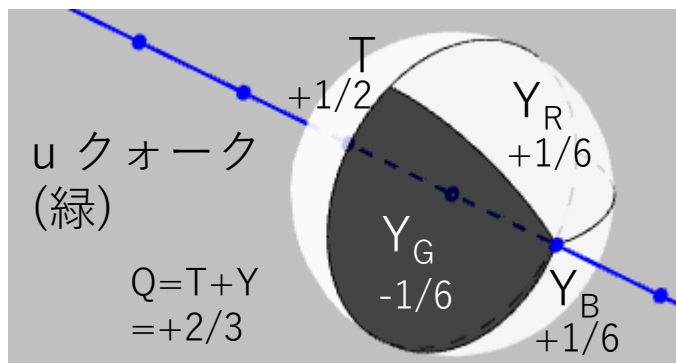
2の6乗の組み合わせがあります。

時間軸でも同様に、+t, -tの2方向で、正負の電荷を持てます。

フェルミオンと世代

組み合わせの起源 (2)

+方向は空間軸、-方向は時間軸とすることもできます。
 +x, +y, +z, -tの4方向について、正負の電荷を取れます。
 2^4 の組み合わせは、クォークとレプトンに一致します。



時間軸	空間軸
アイソスピン	ハイパーチャージ
T	$Y_R + Y_G + Y_B$
$\pm 1/2$	$\pm 1/6 \quad \pm 1/6 \quad \pm 1/6$

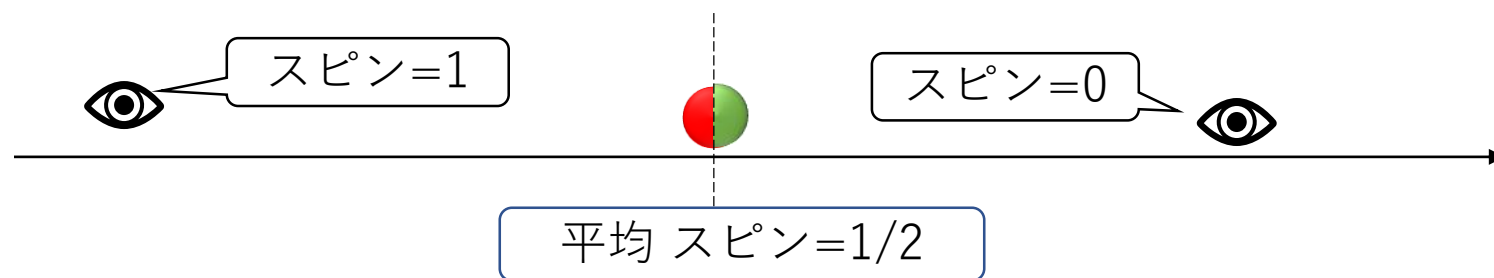
ハイパーチャージの3項は、空間の3軸と対応しています。
 3色の違いは、空間軸の違いです。

+方向は空間軸、-方向は時間軸とすることもできます。
 +x, +y, +z, -tの4方向について、正負の電荷を取ることができます。
 組み合わせは2の4乗になり、クォークとレプトンに一致します。
 模式図として、uクォークを示しています。
 時間軸側の半球がアイソスピンを持ちます。
 空間軸側の半球がハイパーチャージを持ちます。
 ハイパーチャージの3項は、空間の3軸と対応しています。
 3色の違いは、空間軸の違いです。

フェルミオンと世代

フェルミオン

クォークとレプトンはスピンの $1/2$ で、フェルミオンと呼ばれます。
 粒子は、逆から見ると別の性質を持つことが許されています。
 一方から見るとスピン 1 で、逆から見るとスピン 0 というのが許されます。



平均するとスピン $1/2$ です。

「無」はスピン 0 で、「有」はスピン 1 です。

フェルミオンは、「有」と「無」の半分が混合したようなものです。

スピンについて考えましょう。

クォークとレプトンはスピンの $1/2$ で、フェルミオンと呼ばれます。

粒子は、逆から見ると別の性質を持つことが許されています。

一方から見るとスピン 1 で、逆から見るとスピン 0 というのが許されます。

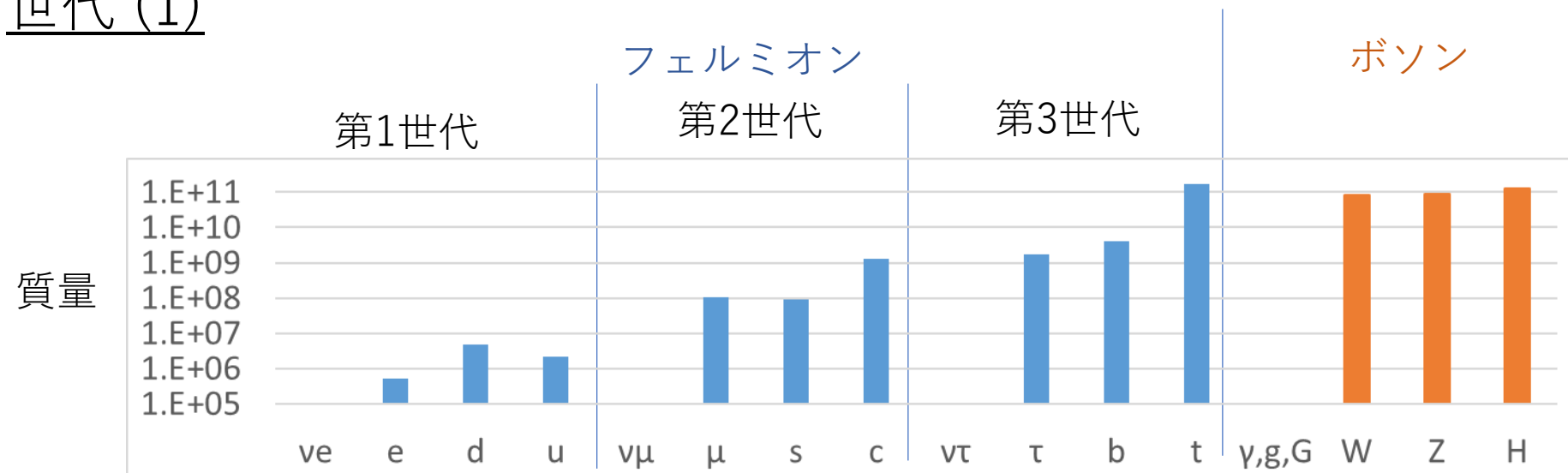
平均するとスピン $1/2$ です。

「無」はスピン 0 で、「有」はスピン 1 です。

フェルミオンは、「有」と「無」の半分が混合したようなものです。

フェルミオンと世代

世代 (1)



世代数は保存しません。

例えば、ある粒子の世代が減っても、別の粒子の世代が増えるとは限りません。

また、クォークの世代は混合していて、一定の割合で別の世代のように振舞います。

ボソンには世代がありませんが、フェルミオンは3世代あります。

世代が大きくなるほど質量が重くなりますが、他の性質は変わりません。

一方、ボソンの質量は、0または第三世代のフェルミオンくらいです。

世代数は保存しません。

例えば、ある粒子の世代が減っても、別の粒子の世代が増えるとは限りません。

また、クォークの世代は混合していて、一定の割合で別の世代のように振舞います。

スピンの1/2の粒子のみが世代を持ちます。
スピン0とスピン1の部分の混合の度合いを考えてみましょう。
空間を8方向に分けると、半分がスピン1で、残りはスピン0です。

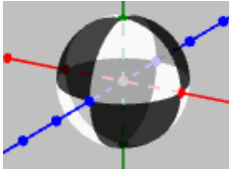
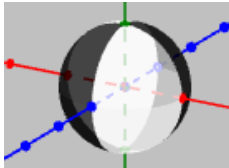
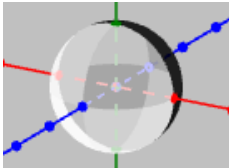
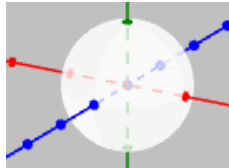
3方向で、対称または、反対称になっています。

スピンの1/2の粒子のみが世代を持ちます。
 そこで、スピン0とスピン1の部分の混合の度合いを考えてみましょう。
 空間を8方向に分けると、半分がスピン1で、残りはスピン0です。
 混合の度合いは、図のように3水準になります。
 3方向で、対称または、反対称になっています。

フェルミオンと世代

世代 (3)

世代 = 対称な次元数 + 1

	フェルミオン			ボソン
世代	1	2	3	(4)
				
X	反対称	対称	対称	対称
Y	反対称	反対称	対称	対称
Z	反対称	反対称	反対称	対称

ボソンは第4世代に相当します。
反対称な次元が増えるほど、質量が小さくなる傾向があります。

対称な次元数+1が、世代に対応すると考えられます。
一方、ボソンは、混合していないので3方向共に対称です。
ボソンは第4世代に相当します。
反対称な次元が増えるほど、質量が小さくなる傾向があります。

フェルミオンと世代

世代 (4)

神の
選択

1. サイコロを振って世代数を3に決めた



2. 空間が3次元だから、世代数も3

混合の次元数が、最もエレガントな解釈の一つです。

おそらく、スピンの混合でしょう。

混合の度合いが異なるだけで、原材料は変わりません。

そのため、保存しないという性質と合致します。

また、混合の度合いが、世代間で混合してもおかしくありません。

神は、サイコロを振って世代数を3に決めたのでしょうか？

空間が3次元だから、世代数も3だと推測できます。

混合の次元数が、最もエレガントな解釈の一つです。

おそらく、スピンの混合でしょう。

混合の度合いが異なるだけで、原材料は変わりません。

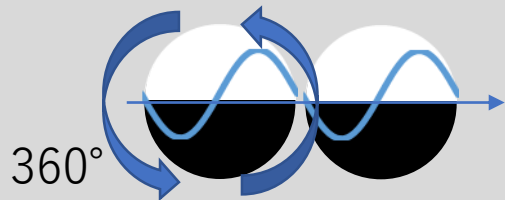
そのため、保存しないという性質と合致します。

また、混合の度合いが、世代間で混合してもおかしくありません。

スピンとパウリ斥力

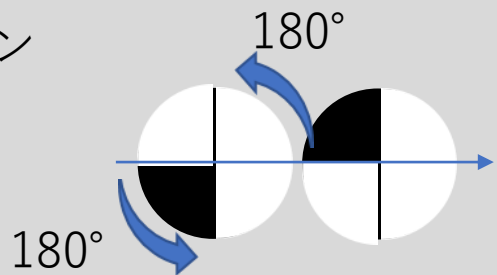
スピン1/2

光子
スピン1



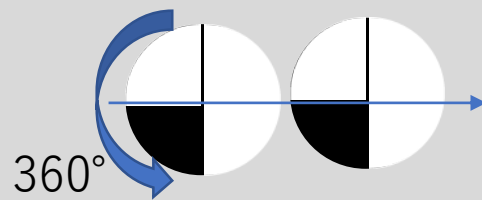
全体が 360° 回転して、
元の位相に戻る。

フェルミオン
スピン1/2



全体が 180° 回転すると、
元の位相に戻らない。

NG



半分が 360° 回転すれば、
元の位相に戻る。

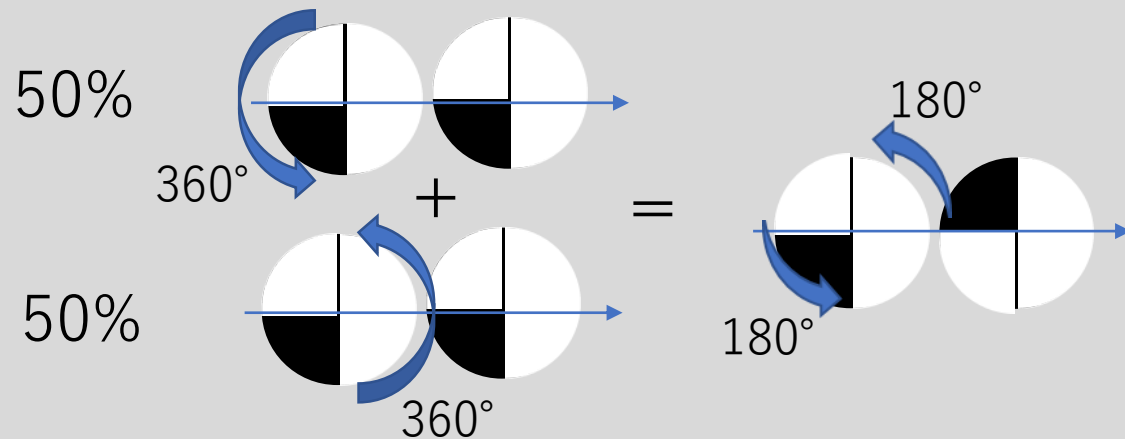
OK

スピン1/2の不思議な性質を解釈してみましょう。
光子はスピン1なので、1波長で360度回転して、元に位相に戻ります。
一方で、フェルミオンはスピンの1/2です。
全体が180度回転すると、元の位相に戻りません。
半分が360度回転すれば、元の位相に戻ります。
回転量が半分なだけで、ちゃんと一回転してますね。

スピンとパウリ斥力

720° 回転

スピンではなく、機械的に360° 回転させる。



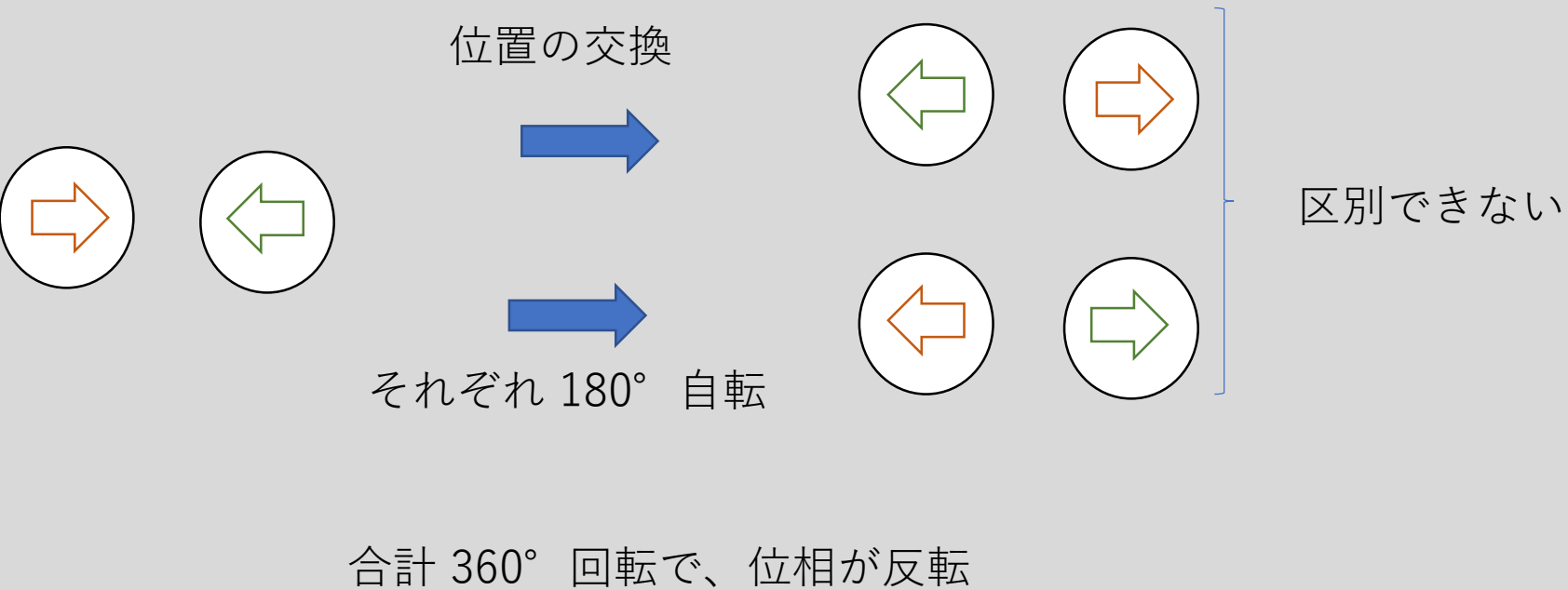
半分の360° 回転と、もう半分の360° 回転が、50%ずつ混合した状態になる。

全体で180° 回転になるように減速され、位相が反転する。

また、スピン1/2の粒子は360度回転では位相が反転し、720度回転しないと元に戻りません。
 スピンではなく、機械的に360度回転させた場合を考えます。
 機械的な回転では、スピンの場合のように、半分だけを狙って回転させられません。
 半分の360度回転と、もう半分の360度回転が、50%ずつ混合した状態になります。
 全体で180度回転になるように減速され、位相が反転します。

スピンとパウリ斥力

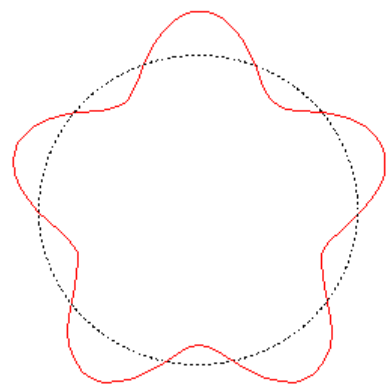
位置の交換



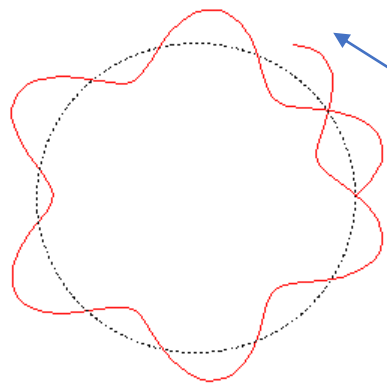
また、フェルミオンには、同種の2粒子の位置を入れ替えると位相が反転する性質があります。
 二つの粒子が向き合っている状態を図示しました。
 便宜に色を変えて区別できるようにしていますが、実際には区別できません。
 二つの位置を入れ替えると、背中合わせの状態になります。
 これは、位置を入れ替えずに、2粒子がそれぞれ180度回転したのと区別できません。
 合計360度回転したことになるので、位相が反転します。

スピンとパウリ斥力

量子条件



波長の整数倍



波長の整数倍ではない

半波長ずれていると、一周前の自分と逆位相になります。

一周前の自分と干渉すると、波が消えてしまいます。

重要なのは、別の時刻の自分とも干渉するということです。

パウリの排他原理を説明する前に、ボーア水素の量子条件について説明します。

軌道の長さは、波長の整数倍でなければなりません、

整数倍ではないと、何がいけないのでしょうか？

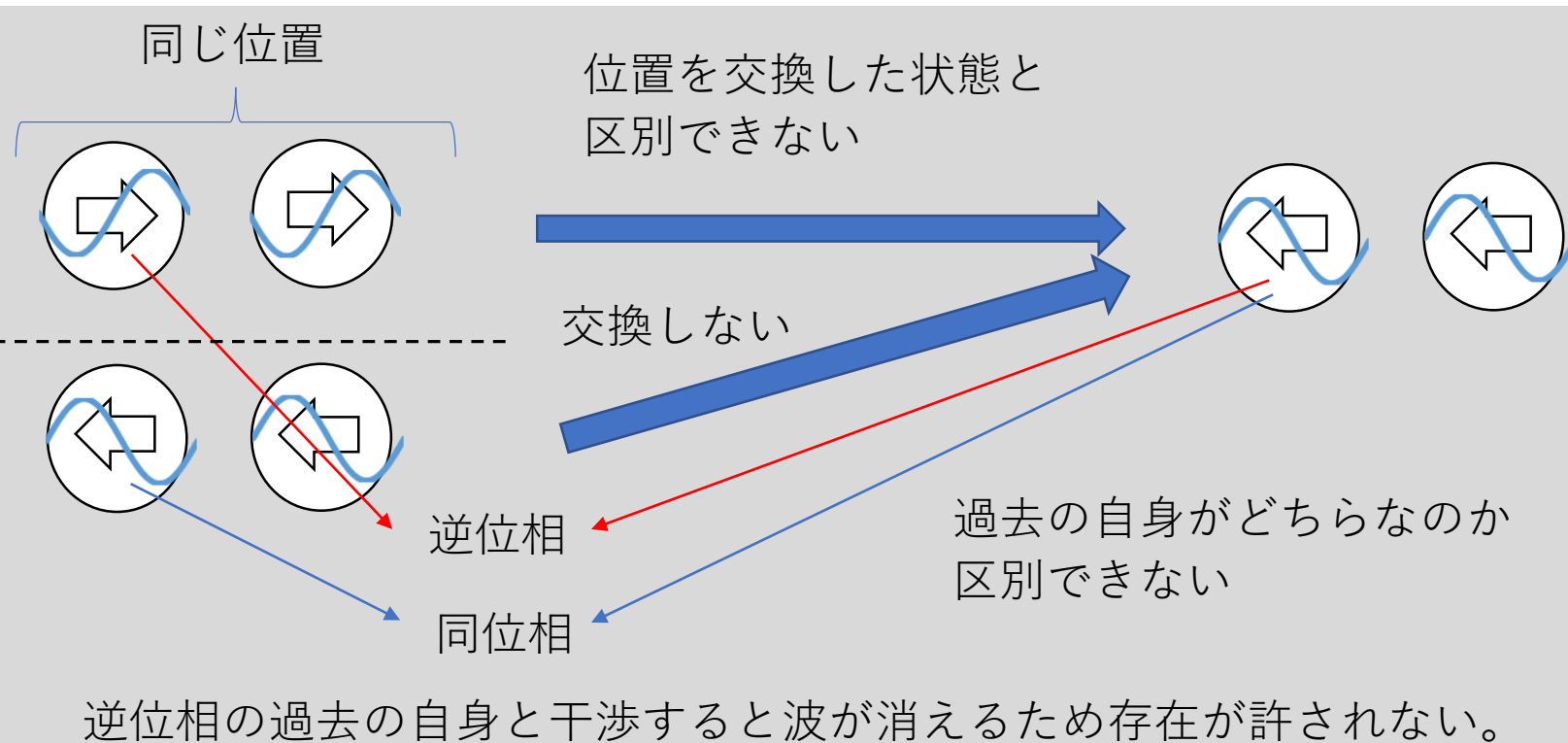
半波長ずれていると、一周前の自分と逆位相になります。

一周前の自分と干渉すると、波が消えてしまいます。

重要なのは、別の時刻の自分とも干渉するということです。

スピンとパウリ斥力

パウリの排他原理



パウリの排他原理について解釈しましょう。
 同種の粒子が同じ量子状態を取ることはできません。
 そのため、区別できない二つのフェルミオンは、同じ位置に存在できません。
 同じ位置に存在することは、位置が交換されているのと区別できません。
 位置の交換に必然性はなく、交換していないかもしれません。
 過去の自身が、位置を交換されたものなのか否か、区別できません。
 逆位相の過去の自身と干渉すると波が消えるため存在が許されなくなります。

スピンとパウリ斥力

パウリ斥力

過去の自身との干渉による力

…ゲージ粒子が媒介する必要がない

- ・ 同位相(50%) …力が働かない
- ・ 逆位相(50%) …力が働く

結合定数

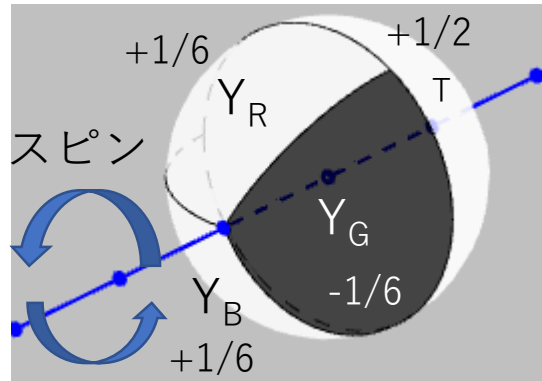
$$g_P = \frac{1}{2}$$

波の振幅の二乗が粒子に存在確率になります。
 どんなに接近しても、50%分の振幅は残ります。
 そのため、ブラックホールの存在は許されます。

パウリの排他原理により働く力は、パウリ斥力と呼ばれます。
 過去の自身との干渉による力なので、ゲージ粒子が媒介する必要ありません。
 過去の自身は、50%の確率で同位相、50%の確率で逆位相です。
 逆位相のときのみ斥力が働きます。
 そのため、パウリ斥力の強さを表す結合定数は、1/2になります。
 波の振幅の二乗が粒子に存在確率になります。
 どんなに接近しても、50%分の振幅は残ります。
 そのため、ブラックホールの存在は許されます。

強い力 色

クォークのように、電荷が分数の粒子は色を持ちます。



進行方向

緑色アップクォーク (U_G)

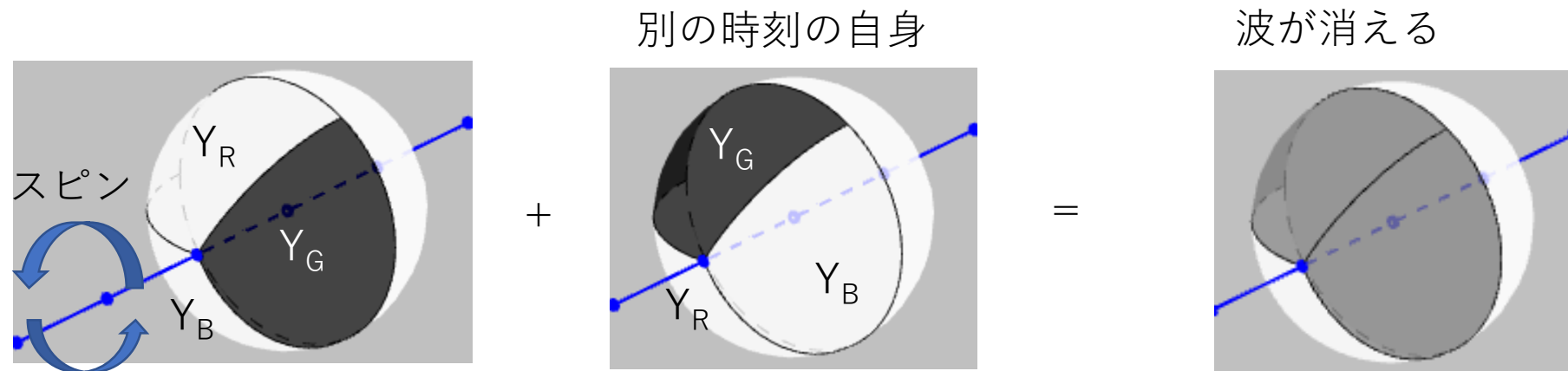
色は、空間の向に対応しています。
 色がある粒子は、3方向の電荷が偏っています。
 強い力は、無色になるように、3色の粒子を結び付けます。
 色のある粒子単独では、安定して存在できません。

次に、強い力について考えていきます。
 強い力は、色のある粒子にだけ働きます。
 クォークのように、電荷が分数の粒子は色を持ちます。
 緑色のアップクォークの模式図を示しました。
 色は、空間の向に対応しています。
 色がある粒子は、3方向の電荷が偏っています。
 強い力は、無色になるように、3色の粒子を結び付けます。
 色のある粒子単独では、安定して存在できません。

強い力

色の回転

スピンすると、偏っている電荷の向きが変わります。
粒子は、別の時刻の自身とも重なり合って干渉します。



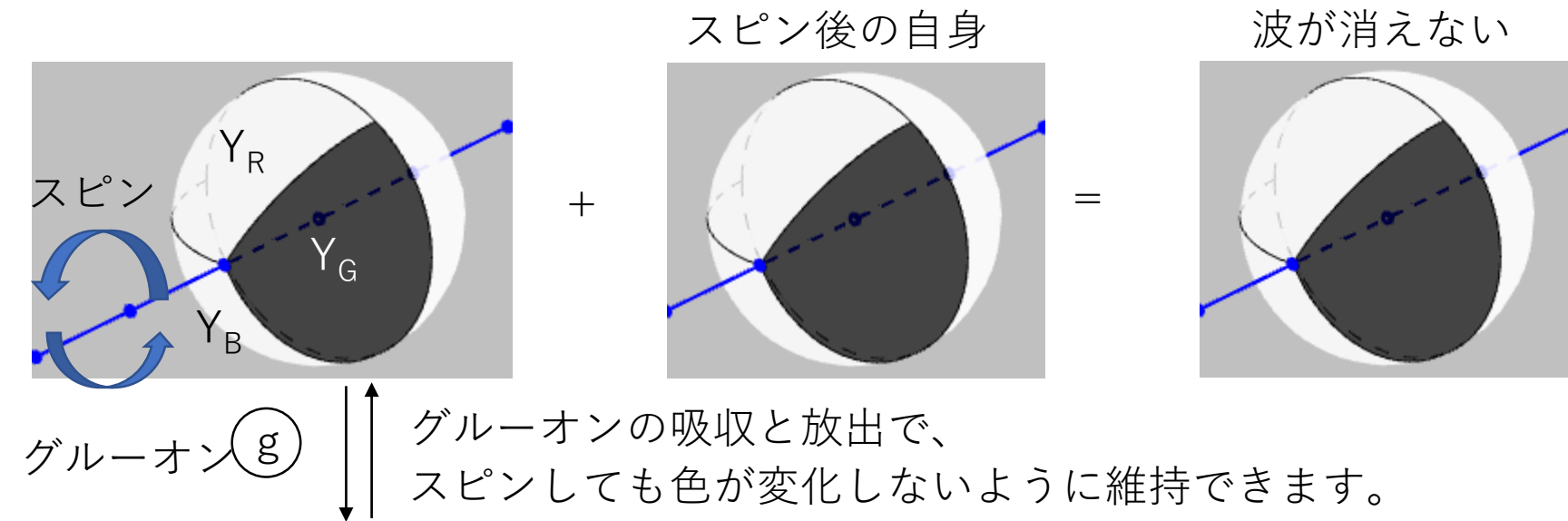
回転前後の自身と重なると、電荷が相殺してしまいます。
波が消えると、存在確率は0です。

なぜ、色のついた粒子は単独で存在できないのでしょうか？
スピンすると、偏っている電荷の向きが変わります。
粒子は、別の時刻の自身とも重なり合って干渉します。
回転前後の自身と重なると、電荷が相殺してしまいます。
波が消えると、存在確率は0です。

強い力

色の保持

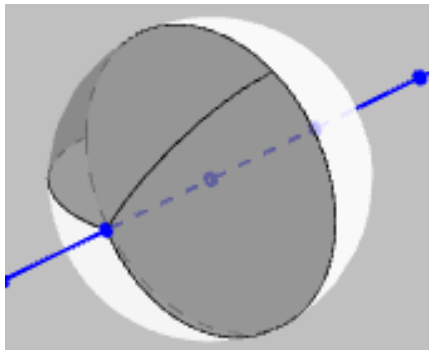
強い力は、グルーオンというゲージボソンが媒介します。
 グルーオン自身に色があります。
 グルーオンを吸収または放出すると、色が変わります。



強い力は、グルーオンというゲージボソンが媒介します。
 グルーオン自身に色があります。
 グルーオンを吸収または放出すると、色が変わります。
 何もしなければ、スピンすると色が変わります。
 グルーオンの吸収と放出で、スピンしても色が変わらないように維持できます。
 そうすれば、波が消えずに存在できます。

強い力

強い力の強さ (1)



干渉する部分 (電荷の大きさ)

= 強い力の強さ (ゲージ結合定数)

$$g_s = \frac{1}{3} \quad (1/3 \text{ 球})$$

$$a_s = \frac{g_s^2}{4\pi} = \frac{1}{36\pi} = 0.009$$

?

単純に、このようにはなりません。

電磁気力と違って、1/2などの項で弱くなりません。

自身との干渉の度合いは、他の粒子から離れても緩和されないからです。

強い力の強さを計算します。

干渉が起こる部分は、1/3球です。

そのため、ゲージ結合定数は単純に1/3と推測できます。

二乗して4パイで割れば、強い結合定数になります。

電磁気力と違って、1/2などの項で弱くなりません。

自身との干渉の度合いは、他の粒子から離れても緩和されないからです。

ですが、単純に、このようにはなりません。

強い力

低エネルギーでの強い力

グルーオン自身に色があるため、反遮蔽効果で、力は最大で3倍になります。

クォークの色(1) + グルーオンの色(1) + グルーオンの反色(1) = 3

$$g_s(0) = \frac{1}{3} \times 3 \times 2\pi = 2\pi$$

$$\alpha_s(0) = \frac{g_s^2}{4\pi} = \pi = 3.1416$$

$$\alpha_s(0.142\text{GeV}) = 3.13$$

実測値

- ・ 回転的な力(強い力) : 2π (円周長)
- ・ 直進的な力(強い力以外) : 1 (半径)

強い力の強さはエネルギースケールで変化します。

低エネルギーの極限の場合を考えます。

グルーオン自身に色があるため、反遮蔽効果で、力は最大で3倍になります。

グルーオンは色と反色を持っています。

クォークの持つ色の大きさを1とすれば、合計で倍になります。

また、それとは別に、力の強さは2パイ倍になります。

強い力のような回転的な力は、円周長の2パイ倍になります。

強い力以外は直進的な力で、半径に当たる1倍になります。

こうして計算した強い結合定数は、実測値と合っています。

強い力

高エネルギーでの強い力

タウオンのエネルギースケールするとき、
グルーオンによる色の増強が無い場合の強さになります。

$$g_s \left(\underset{\text{タウオン質量}}{M_\tau} = \frac{3}{2\pi r} \underset{\text{ヒッグス質量}}{M_H} \right) = \frac{1}{3} \times \mathbf{1} \times 2\pi = \frac{2\pi}{3}$$

$$\alpha_s(M_\tau) = \frac{g_s^2}{4\pi} = \frac{\pi}{9} = 0.3491$$

$$\alpha_s(M_\tau) = 0.31$$

実測値

なぜ、タウオンなのかは、「荷電レプトン質量」章の最後に説明します。

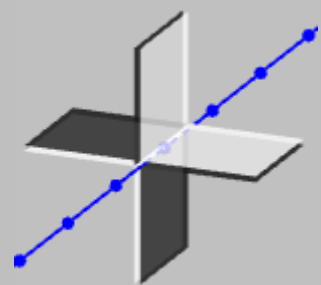
今後は、高エネルギーでの強い力を考えます。
高エネルギーなほど、反遮蔽効果が小さくなり、力は弱くなります。
そこで、一般的にはZボソンのエネルギーの場合の強さを見ます。
ですが、ここではタウオンのエネルギースケールで見ます。
タウオンのエネルギースケールするとき、グルーオンによる色の増強が無い場合の強さになります。
これで、実測値と合致しています。
このときのゲージ結合定数は3分の2パイです。
タウオン質量に3分の2パイrを掛けるとヒッグス質量になります。
なぜ、タウオンなのかは、「荷電レプトン質量」章の最後に説明します。

強い力

グルーオン

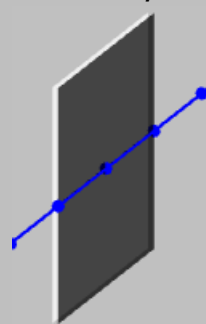
3色のうち2色が干渉するため、2方向の電荷を入れ替える能力が必要です。
進行方向と垂直な2軸に電場を持つ粒子になります。

グルーオン(g)



スピン=1
質量=0
電荷=0

光子(γ)



進行方向

グルーオンが向いている方向で色が決まるため、1種類で十分です。

グルーオンの模式図を示しました。

スピン1、質量0、電荷0という性質は、光子と同じです。

3色のうち2色が干渉するため、2方向の電荷を入れ替える能力が必要です。

進行方向と垂直な2軸に電場を持つ粒子になります。

白と黒の部分が等量なので、電荷は0です。

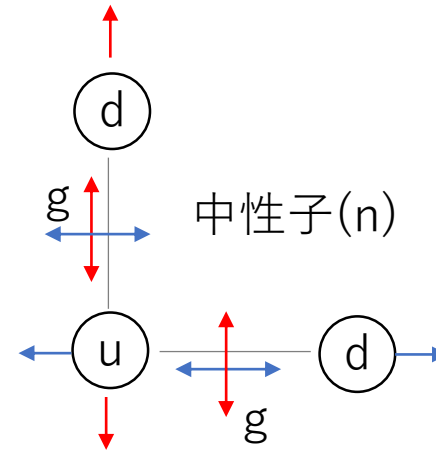
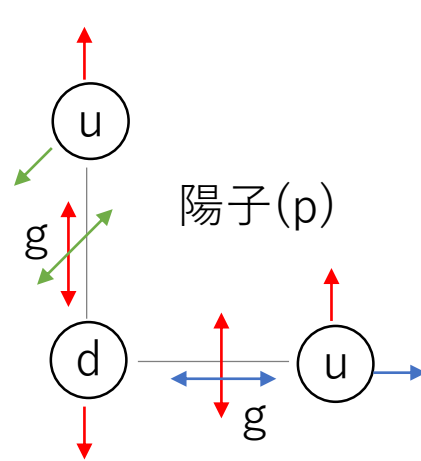
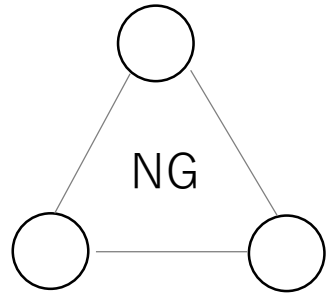
標準模型では、理論的に8種類のグルーオンが必要とされています。

しかし、グルーオンが向いている方向で色が決まるため、1種類で十分です。

強い力

バリオン

放出されたグルーオンは、別のクォークに吸収されます。



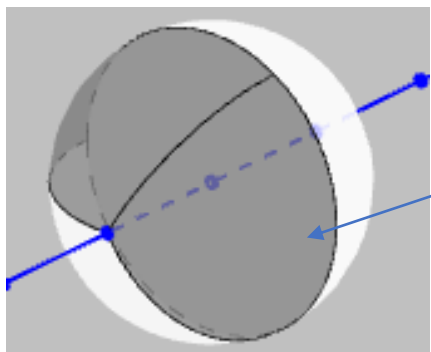
色が無色になるために、3粒子の方向が揃っていなければなりません。
3つのクォークは直角に並びます。

放出されたグルーオンは、別のクォークに吸収されます。
3つのクォークで、陽子や中性子になります。
色が無色になるために、3粒子が方向が揃っていなければなりません。
3つのクォークは直角に並びます。

強い力

色の閉じ込め

クォーク単独で取り出すことはできないと考えられています。
ですが、色はハイパーチャージの空間的な偏りにすぎません。
神が、色という概念と、無色という制約を新たに制定したわけではありません。



仮にクォーク単体を取り出すと、
回転によって波が消えるのは、
粒子の1/3に当たる部分だけです。

波の振幅の二乗が0にならないので、粒子の存在確率は0になりません。
クォーク・グルーオンプラズマも許されます。

色の閉じ込めといって、クォーク単独で取り出すことはできないと考えられています。
ですが、色はハイパーチャージの空間的な偏りにすぎません。
神が、色という概念と、無色という制約を新たに制定したわけではありません。
仮にクォーク単体を取り出すと、回転によって波が消えるのは、粒子の1/3に当たる部分だけです。
波の振幅の二乗が0にならないので、粒子の存在確率は0になりません。
クォーク・グルーオンプラズマも許されます。

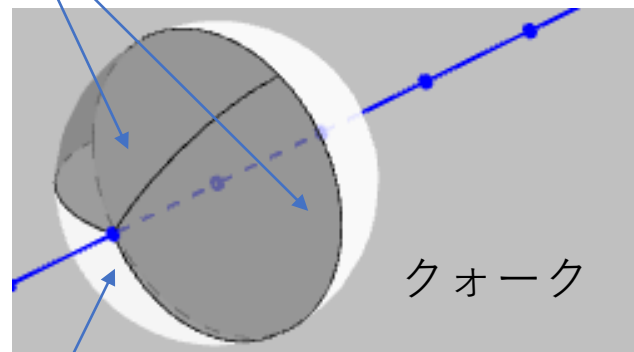
強い力

陽子スピン危機

実験によると、クォークは陽子のスピンの約33%しか担っていない。

2/3色は、グルーオンが色を交換します。

⇒ クォークのスピンの2/3は、グルーオンが持ち出します。



1/3色は、グルーオンが色を交換しません。

⇒ クォークのスピンの1/3は、持ち出されずに残ります。

とてもシンプルな解釈です。

陽子スピン危機という問題があります。

実験によると、クォークは陽子のスピンの約33%しか担っていません。

2/3色は、グルーオンが色を交換します。

そのため、クォークのスピンの2/3は、グルーオンが持ち出します。

1/3色は、グルーオンが色を交換しません。

そのため、クォークのスピンの1/3は、持ち出されずに残ります。

とてもシンプルな解釈です。

強い力

なんで色があるの？

神の
選択

1. 人間が存在するために必要だから

… 人間原理



2. 粒子が存在するために必要だから

…回転で波が消えて、粒子の存在確率が0にならないように、
強い力が働く

すべての力は、粒子が存在を保つために、
必然的に必要なものだとなれば、神はサイコロを振らなくてよい。

そもそも、なんで色があるのでしょうか？

1. 人間が存在するために必要だから。

いわゆる人間原理です。

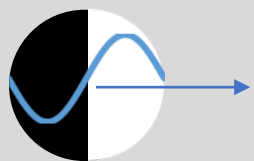
2. 粒子が存在するために必要だから。

回転で波が消えて、粒子の存在確率が0にならないように、強い力が働きます。

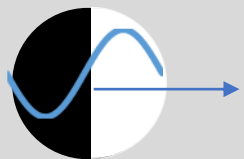
すべての力は、粒子が存在を保つために、必然的に必要なものだとなれば、神はサイコロを振らなくてよくなります。

ヒッグス機構

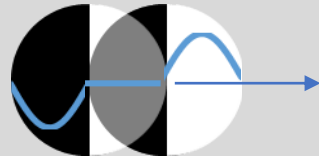
平行移動



進行方向に対して、回転対称な粒子
…回転によって、波が消えることはない



1/2波長進んだ後



1/2波長前の自身と干渉して、波が消える

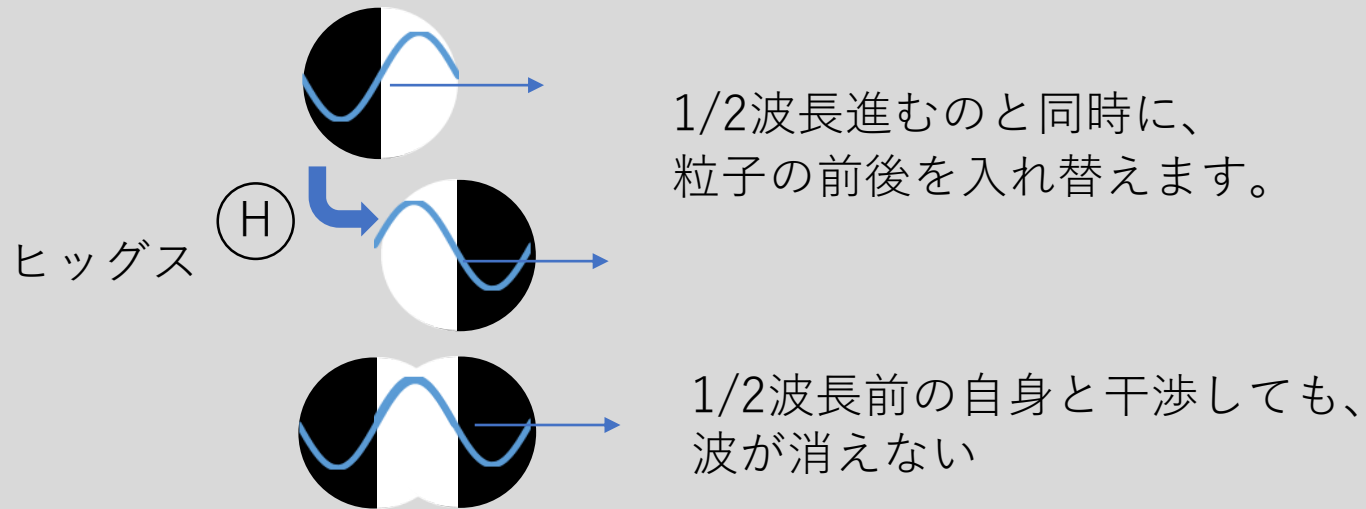
存在確率が0になるので、粒子の移動は許されません

回転ではなく、平行移動について考えます。
進行方向に対して、回転対称な粒子を考えます。
回転によって、波が消えることはありません。
1/2波長進んだ後を考えます。
1/2波長前の自身と干渉して、波が消えます。
存在確率が0になるので、粒子の移動は許されません。

ヒッグス機構

前後の反転

粒子が移動するための仕組みを考えます。

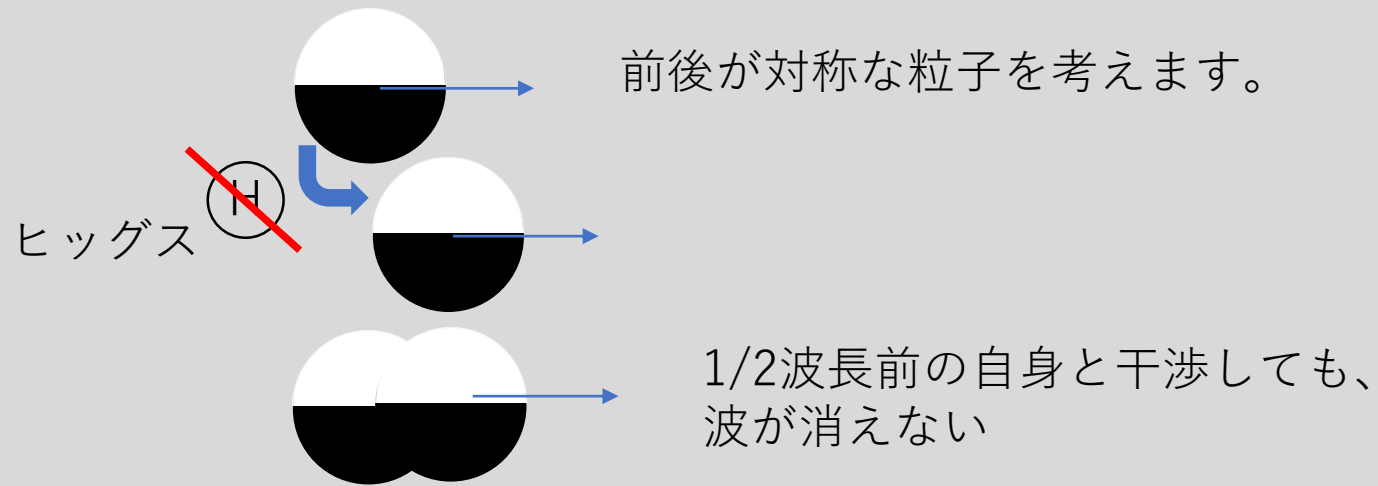


このような機構があれば、粒子の移動が許される

粒子が移動するための仕組みを考えます。
半波長進むのと同時に、粒子の前後を入れ替えます。
ヒッグス粒子が、それを行います。
1/2波長前の自身と干渉しても、波が消えません。
このような機構があれば、粒子の移動が許されます。

ヒッグス機構

前後の対称



前後対称：移動にヒッグス粒子が不要 …質量=0

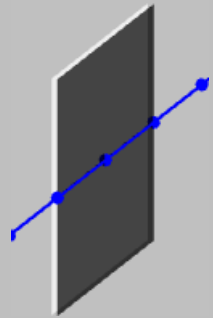
前後非対称：移動にヒッグス粒子が必要 …質量>0

前後が対称な粒子を考えてみましょう。
 ヒッグス粒子が前後を入れ替える必要ありません。
 1/2波長前の自身と干渉しても、波が消えません。
 前後対称だと、移動にヒッグス粒子が不要です。
 すなわち、質量0です。
 前後非対称だと、移動にヒッグス粒子が必要です。
 すなわち、質量があります。

ヒッグス機構

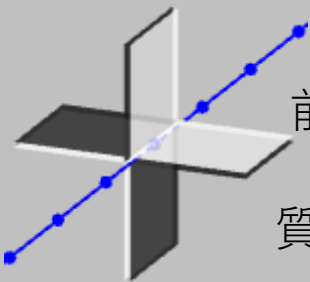
ゲージボソンの質量 (1)

γ^0 (光子)



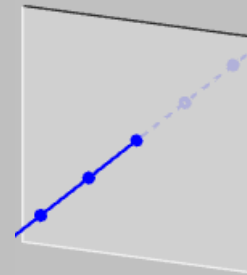
前後対称
質量=0

g^0 (グルーオン)



前後対称
質量=0

Z^0



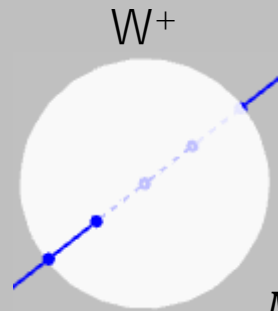
前後非対称
質量=91.19GeV/c²

ゲージ粒子の対称性と質量を見てみましょう。
光子は、前後が対称で、質量が0です。
グルーオンも同様です。
Zボソンは、前後が非対称で、質量があります。

ヒッグス機構

ゲージボソンの質量 (2)

Wボソンは球体なので、前後方向には部分的に非対称

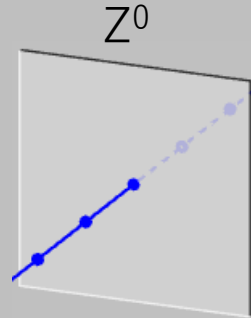


質量
 $M_W = 80.37 \text{ GeV}/c^2$

$$\frac{M_W}{M_Z} = \cos\theta_W \quad \text{標準模型}$$

$$= \cos 30^\circ \quad \text{前後方向を向いている面の割合}$$

30° : 球面と正八面体のなす角の平均



質量
 $M_Z = 91.19 \text{ GeV}/c^2$

質量 = 前後の非対称性の大きさに比例

Wボソンも見てみましょう。

Wボソンは球体なので、前後方向には部分的に非対称です。

質量は、Zボソンよりやや小さいです。

標準模型では、これらのボソンの質量比は、コサイン弱混合角です。

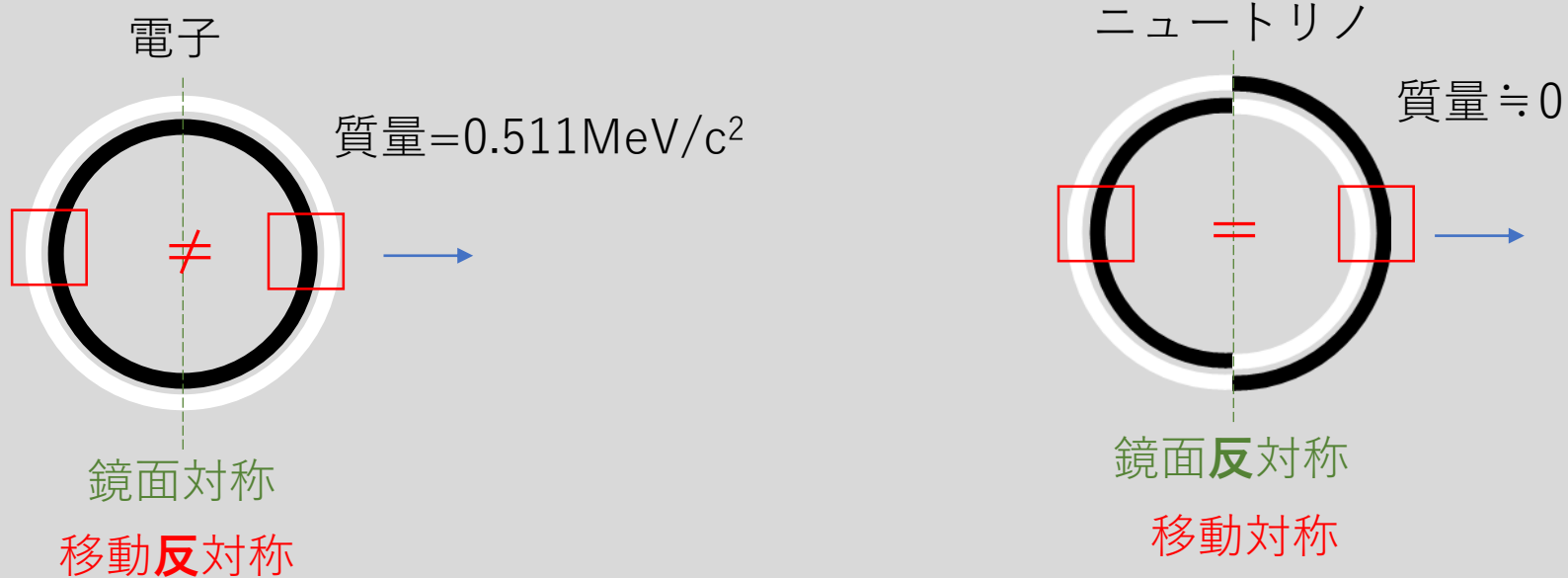
これは、前後方向を向ている面の割合に相当します。

30度は、平面と正八面体のなす角の平均です。

質量は、前後の非対称性の大きさに比例します。

ヒッグス機構

移動対称



移動対称：平行移動して、一致すること

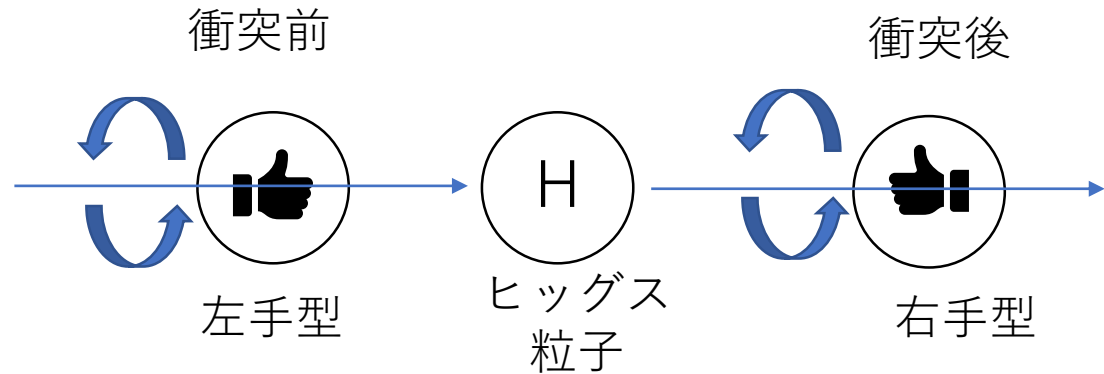
質量 = 移動**非**対称の大きさに比例

電子とニュートリノの対称性と質量を見てみましょう。
鏡面对称と移動対称を区別してください。
平行移動して、一致することを、移動対称とします。
電子は、鏡面对称ですが、移動**反**対称です。
ニュートリノは、鏡面**反**対称ですが、移動**対**称です。
質量は、移動**非**対称の大きさに比例します。
そのため、ニュートリノより電子の方が重くなります。

ヒッグス機構

ヒッグス機構 (1)

真空中に凝集しているヒッグス粒子との衝突による抵抗が、質量です。



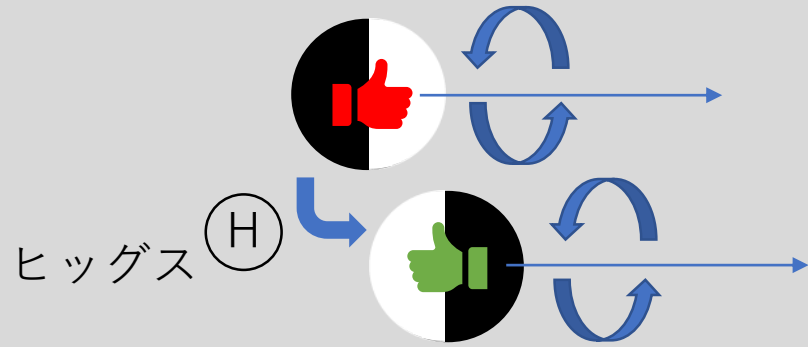
ヒッグス粒子と衝突すると、左手型と右手型が入れ替わります。
これをカイラリティといって、鏡面で反転します。
スピンの方向はが変わりません。

標準模型におけるヒッグス粒子の役割を見てみましょう。
真空中に凝集しているヒッグス粒子との衝突による抵抗が、質量です。
ヒッグス粒子と衝突すると、左手型と右手型が入れ替わります。
これをカイラリティといって、鏡面で反転します。
スピンの方向はが変わりません。

ヒッグス機構

ヒッグス機構 (2)

先ほどは、前後を入れ替えるのがヒッグス粒子の役割だと考えました。



前後が区別可能なら、右手型と左手型が入れ替わります。
標準模型と矛盾しません。

カイラリティ：粒子が前後のどちらを向いているかの区別に対応

先ほどは、前後を入れ替えるのがヒッグス粒子の役割だと考えました。

スピン方向を変えずに、前後を入れ替えます。

すると、鏡に映した状態になります。

前後が区別可能なら、右手型と左手型が入れ替わります。

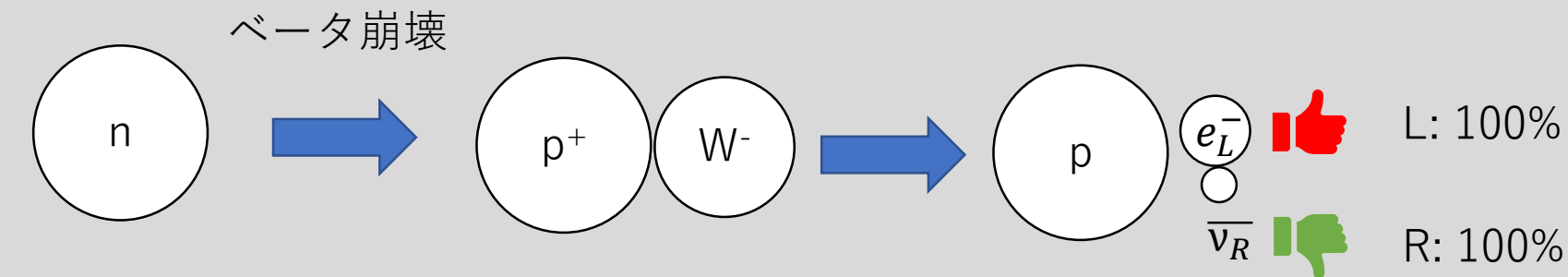
標準模型と矛盾しません。

カイラリティとは、粒子が前後のどちらを向いているかの区別に対応します。

カイラリティ

ベータ崩壊

標準模型では、クォークとレプトンのみ、右手型と左手型で異なる性質があります。
左手型の粒子または右手型の反粒子のみが、弱い相互作用をします。



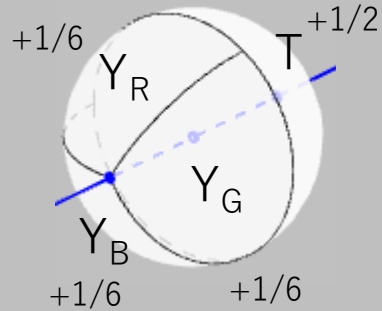
例えば、ベータ崩壊で中性子はWボソンを放出して陽子に変化します。
Wボソンは、電子と反ニュートリノに崩壊します。
このとき、電子は必ず左手型で、反ニュートリノは必ず右手型になります。

標準模型では、クォークとレプトンのみ、右手型と左手型で異なる性質があります。
左手型の粒子または右手型の反粒子のみが、弱い相互作用をします。
例えば、ベータ崩壊で中性子はWボソンを放出して陽子に変化します。
Wボソンは、電子と反ニュートリノに崩壊します。
このとき、電子は必ず左手型で、反ニュートリノは必ず右手型になります。

カイラリティ

前後の区別

電子(陽電子)

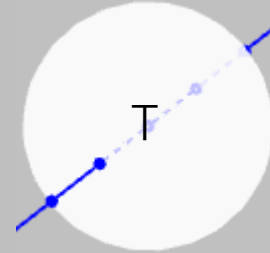


アイソスピン部分(T) +
ハイパーチャージ部分(Y)

前後が区別できる

= 右手型と左手型が区別出来る

W^+ ボソン
+1



全体がアイソスピン部分(T)

前後が区別できない

電子とWボソンを図示しました。
どちらも、電荷の大きさは同じです。
電子は、アイソスピンの部分とハイパーチャージの部分があり、前後が区別できます。
ゆえに、右手型と左手型が区別できます。
一方、Wボソンは、全体がアイソスピン部分なので、前後が区別できません。

カイラリティ

粒子と反粒子 (1)

$Q=T+Y$	-1	-2/3	-2/3	0	0	+1/3	+2/3	+1
	e	\bar{u}	d	$\bar{\nu}_e$	ν_e	\bar{d}	u	\bar{e}
T	-1/2	-1/2	-1/2	-1/2	+1/2	+1/2	+1/2	+1/2
Y_R	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6
Y_G	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6
Y_B	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6
$Y_R \times Y_G \times Y_B$	-	+	-	+	-	+	-	+
"-"	奇数	偶数	奇数	偶数	奇数	偶数	奇数	偶数

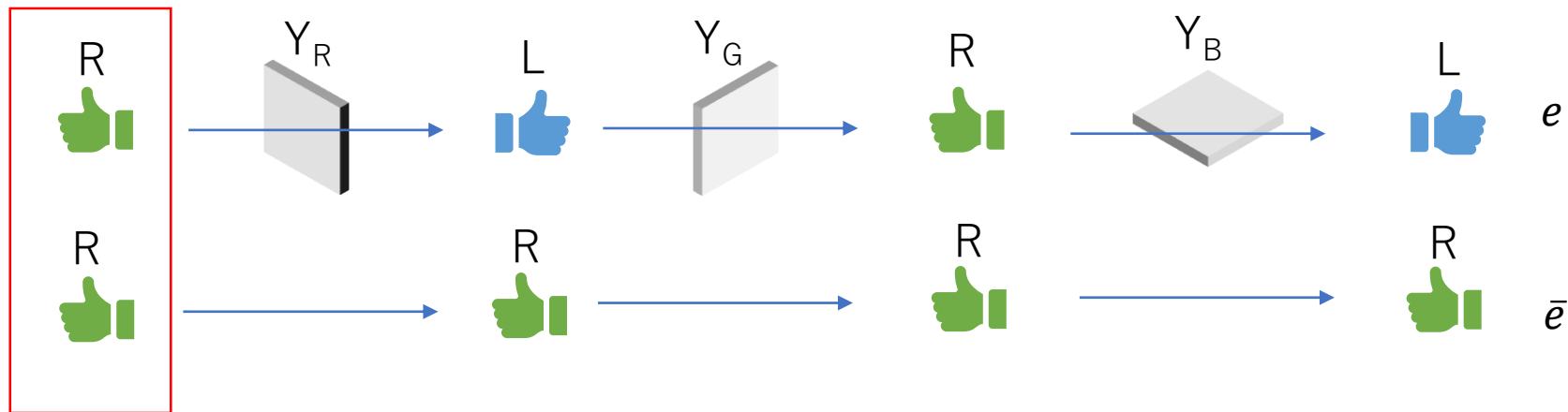
ハイパーチャージの"- " 奇数：粒子 偶数：反粒子

粒子は左手型、反粒子は右手型のみ弱い相互作用します。
 そもそも、粒子と反粒子の違いは何なのでしょう？
 粒子と反粒子を、電荷の順で並べると、交互に現れます。
 ハイパーチャージの符号に注目しましょう。
 3つのハイパーチャージの符号の積を計算しました。
 これは、"- "の数、偶数か奇数かを意味します。
 ハイパーチャージの"- "が、奇数なら粒子、偶数なら反粒子です。

カイラリティ

粒子と反粒子 (2)

ハイパーチャージ(Y)の符号は、空間の3方向を意味します。
 "-"なら鏡像反転していると仮定します。



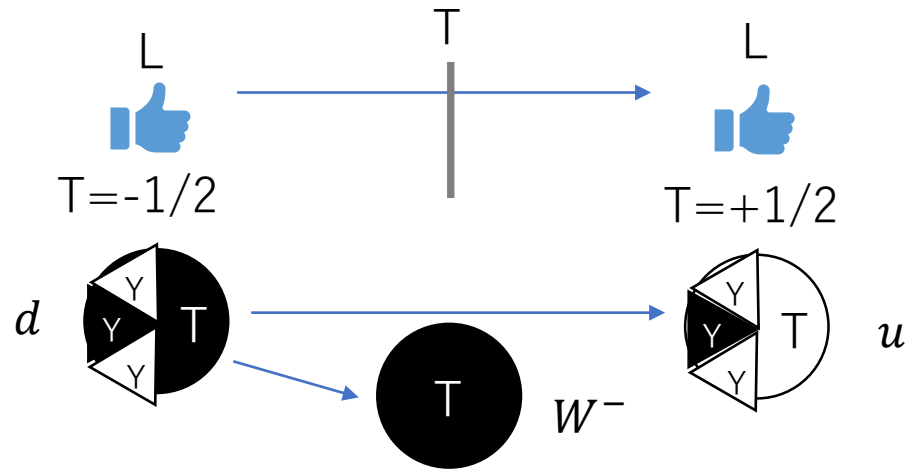
鏡像反転前に、右手型の粒子のみ、弱い相互作用をするといえます。

ハイパーチャージの符号は、空間の3方向を意味します。
 "-"なら鏡像反転していると仮定します。
 電子は、3つの符号が全て "-" なので、3回、鏡像反転されます。
 陽電子は、3つの符号が全て "+" なので、1回も、鏡像反転されます。
 左手型の電子は、鏡像反転前は右手型でした。
 右手型の両電子は、鏡像反転前は右手型でした。
 鏡像反転前に、右手型の粒子のみ、弱い相互作用をするといえます。
 ただし、"+"なら鏡像反転をしていると仮定すれば、左手型です。

カイラリティ

粒子と反粒子 (3)

アイソスピン(T)の符号は、時間の方向を意味しています。
時間の流れを逆にしても、鏡像にはならないので、
右手型と左手型は入れ替わりません。



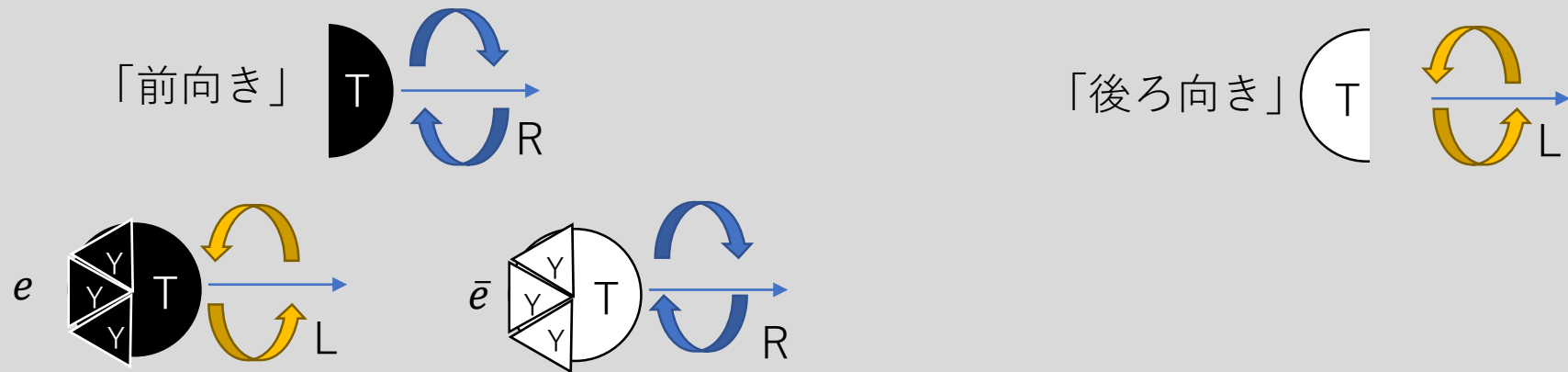
ベータ崩壊ではdクォークのアイソスピンが反転しますが、
反粒子にはなりません。

また、アイソスピンにも符号があります。
アイソスピンの符号は、時間の方向を意味しています。
時間の流れを逆にしても、鏡像にはならないので、右手型と左手型は入れ替わりません。
ベータ崩壊ではdクォークのアイソスピンが反転しますが、反粒子にはなりません。

カイラリティ

カイラリティ

進行方向の前方側がアイソスピン(T)側なら、「前向き」と仮定します。
鏡像反転前の「前向き」粒子は、右回転しているとします。



実際には、ハイパーチャージで鏡像反転後の回転方向が見えます。
粒子なら左回転、反粒子なら右回転に見えます。

結局、右手型と左手型とは何なのでしょう？

「前向き」と「後ろ向き」で表現しましょう。

進行方向の前方側がアイソスピン側なら、「前向き」と仮定します。

鏡像反転前の「前向き」粒子は、右回転しているとします。

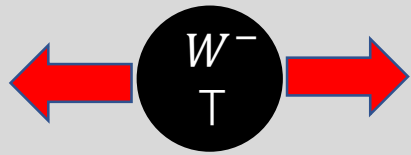
実際には、ハイパーチャージで鏡像反転後の回転方向が見えます。

粒子なら左回転、反粒子なら右回転に見えます。

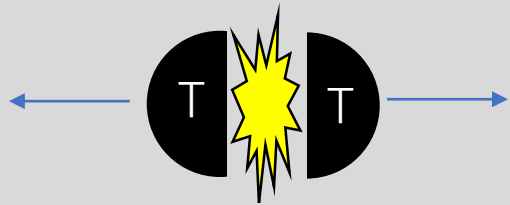
弱い力

Wの崩壊

Wボソンが崩壊してできる2粒子は、どちらも必ず「前向き」になります。

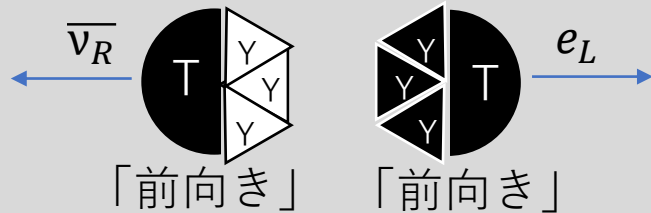


弱アイソスピンによる力では、
粒子を外側に引っ張る力が働くと考えます。



粒子が崩壊後も、
アイソスピンの部分(T)は再利用されます。

ハイパーチャージ部分(Y)のみ対生成します。

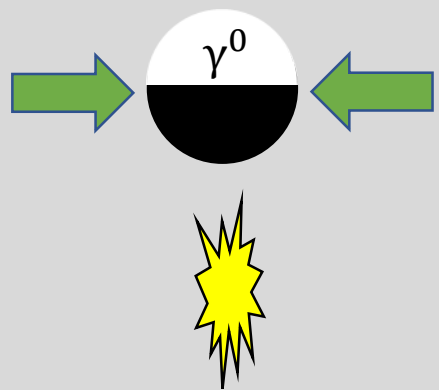


できた粒子は、必然的に「前向き」になります。

なぜ、「前向き」粒子しか弱い相互作用しないのか考えましょう。
Wボソンが崩壊してできる2粒子は、どちらも必ず「前向き」になります。
「後ろ向き」粒子が発生しないのは、Wボソンと相互作用できないからです。
弱アイソスピンによる力では、粒子を外側に引っ張る力が働くと考えます。
粒子が崩壊後も、アイソスピンの部分は再利用されます。
ハイパーチャージ部分のみ対生成します。
できた粒子は、必然的に「前向き」になります。

弱い力

光子の崩壊



電荷による力は、
粒子を内側に圧縮するが働くと考えます。

一旦、完全に消滅するとします。
すなわち、アイソスピン側(T)の再利用はされません。

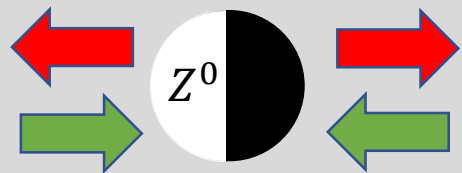
ゼロから対生成するので、
「前向き」と「後ろ向き」が均等になります。



電磁気力による場合も同様に考えてみましょう。
光子からの対生成は、光子の崩壊です。
電荷による力は、粒子を内側に圧縮するが働くと考えます。
一旦、完全に消滅するとします。
すなわち、アイソスピン側の再利用はされません。
ゼロから対生成するので、「前向き」と「後ろ向き」が均等になります。

弱い力

Zの崩壊



Zボソンは、アイソスピン(T)による力と、電荷(Q)による力の両方が働きます。

標準模型における

Zボソンの結合の強さ： $T - Q \sin^2 \Theta_W$

アイソスピン(T)による力と、電荷(Q)による力は、逆符号で弱め合う関係にあります。

これは、外側と内側に向けて働く力のイメージと合っています。

Zボソンの崩壊についても考えましょう。

Zボソンは、アイソスピンによる力と、電荷による力の両方が働きます。

標準模型における、Zボソンの結合の強さを表す式を載せました。

アイソスピンによる力と、電荷による力は、逆符号で弱め合う関係にあります。

これは、外側と内側に向けて働く力のイメージと合っています。

弱い力

Zボソンの結合定数

(アイソスピンに対する結合定数)

光子と同様に、平均45° 傾いていて、
 $\cos 45^\circ$ の成分しか、力を媒介できないと考える。

$$\cos 45^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} = 0.707$$

実測値：
$$\sqrt{g^2 + g'^2} = \frac{g}{\cos \Theta_W} = 0.718$$

光子の場合は、さらに1/2しましたが、ここで必要ありません。
 部分的な再利用が起こるため、逆向きの半分会が無駄になってしまうことはないためだと考えられます。

Zボソンの結合定数を計算します。

アイソスピンに対する結合定数を計算します。

光子と同様に、平均45° 傾いていて、 $\cos 45^\circ$ の成分しか、力を媒介できないと考えます。

補正計算すれば、実測値と合う範囲だと思います。

光子の場合は、さらに1/2しましたが、ここで必要ありません。

部分的な再利用が起こるため、逆向きの半分会が無駄になってしまうことはないためだと考えられます。

弱い力

Wボソンの結合定数

コサイン45度の部分は、Zボソンと同様です。

Wボソンは、球面なので部分的にしか力を媒介できないと考えます。

球面と正八面体のなす角の平均は30度なので、コサイン30度を掛けます。

$$\cos 45^\circ \times \cos 30^\circ = \sqrt{\frac{3}{8}} = 0.612$$

実測値：

$$g = e \sin \Theta_W = 0.630$$

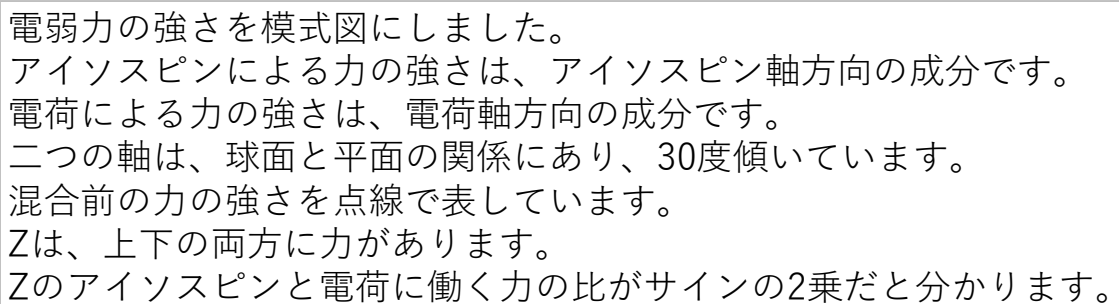
Wボソンの結合定数を計算します。

コサイン45度の部分は、Zボソンと同様です。

Wボソンは、球面なので部分的にしか力を媒介できないと考えます。

球面と正八面体のなす角の平均は30度なので、コサイン30度を掛けます。

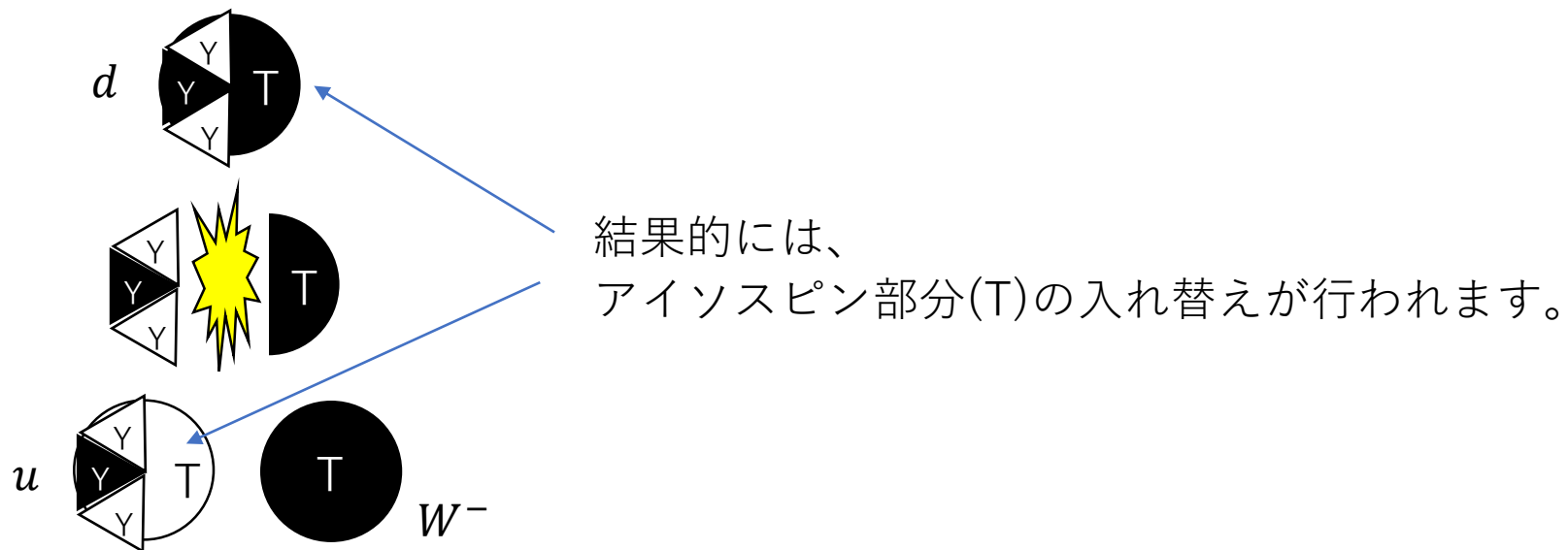
補正計算すれば、実測値と合う範囲だと思います。



弱い力

弱い力とは何なの？ (1)

強い力や質量と違って、弱い力がなくても、波が消えて困ることはなさそうです。



結局、弱い力とは何なのでしょう？

強い力や質量と違って、弱い力がなくても、波が消えて困ることはなさそうです。

ベータ崩壊の前後で何が変わるのか見てみましょう。

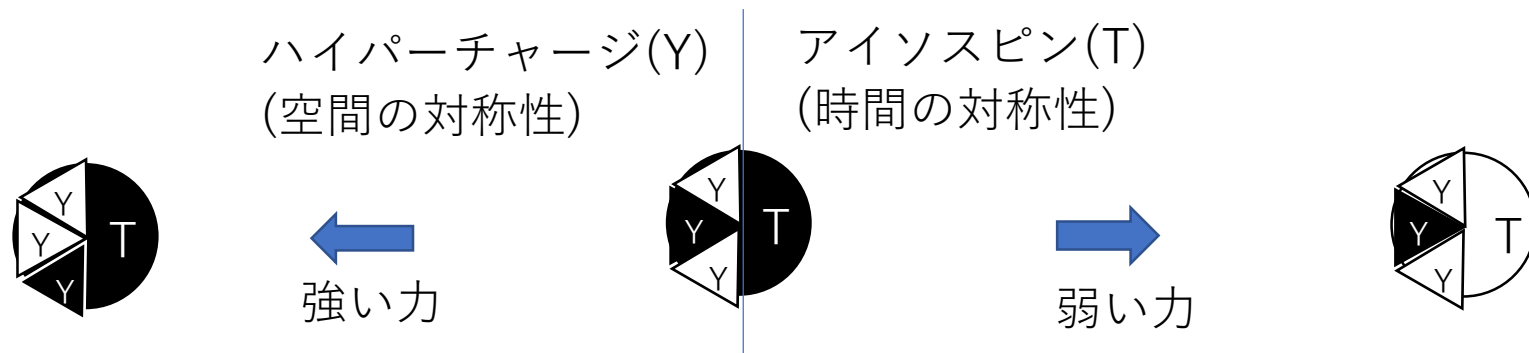
アイソスピンの部分が再利用されて、Wボソンが放出されます。

不足分のアイソスピンは対生成します。

結果的には、アイソスピン部分の入れ替えが行われます。

弱い力

弱い力とは何なの？ (2)



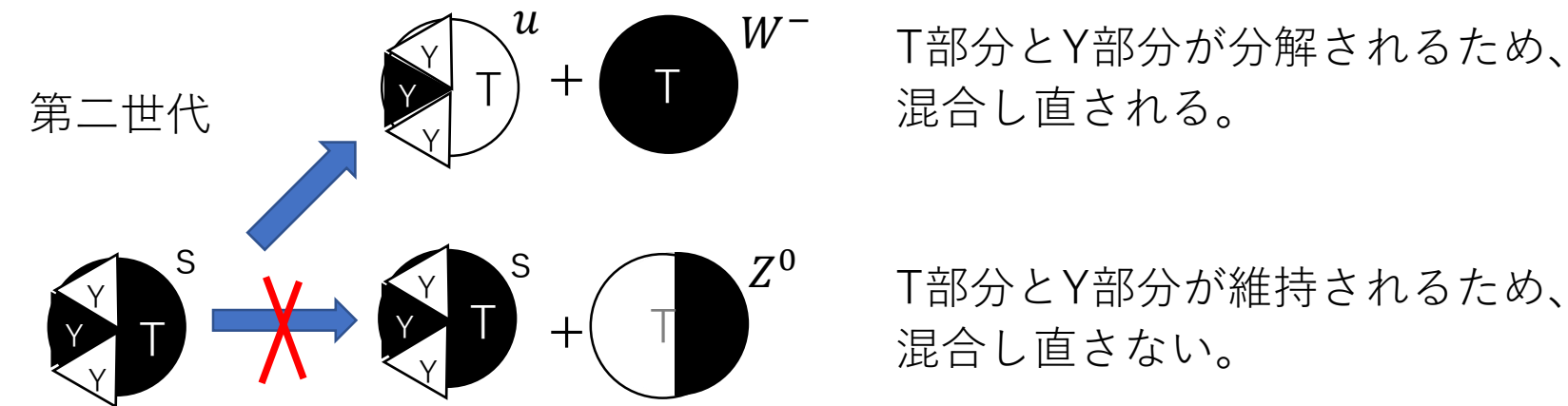
アイソスピンは $+1/2$ または $-1/2$ の値を取る自由度があります。
 自由度があるということは、変更できるということです。
 それが弱い力です。

フェルミオンには、アイソスピンとハイパーチャージがあります。
 強い力は、ハイパーチャージの符号を入れ替えます。
 弱い力は、アイソスピンの符号を入れ替えます。
 ハイパーチャージは空間、アイソスピンは時間に対応します。
 どちらも最小単位があり、量子化されています。
 アイソスピンは $+1/2$ または $-1/2$ の値を取る自由度があります。
 自由度があるということは、変更できるということです。
 それが弱い力です。

弱い力

フレーバー変更 (1)

第一世代 … 第二世代より均一に混合

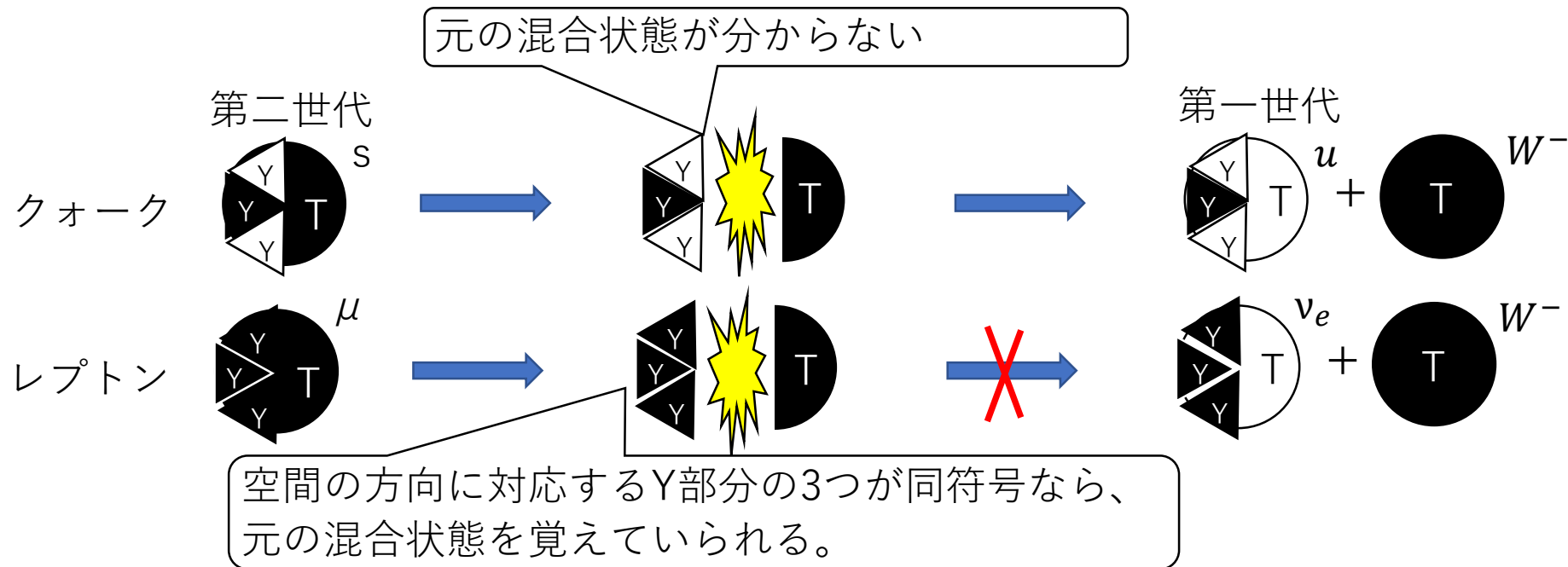


均一に混合させようという力は存在しません。
分解されると、元の混合状態が特定できなくなるだけです。

弱い力は、クォークの世代を変える力でもあります。
第二世代のストレンジクォークは、ウィークボソンを放出して、第一世代のアップクォークに変化します。
一方で、Zボソンを放出してダウンクォークに変化することはありません。
世代は混合の均一さの水準であり、第一世代は第二世代より均一に混合しています。
ウィークボソンの放出では、T部分とY部分が分解されるため、混合し直されると考えられます。
Zボソンの放出では、T部分とY部分が維持されるため、混合し直さないと考えられます。
均一に混合させようという力は存在しません。
分解されると、元の混合状態が特定できなくなるだけです。

弱い力

フレーバー変更 (2)



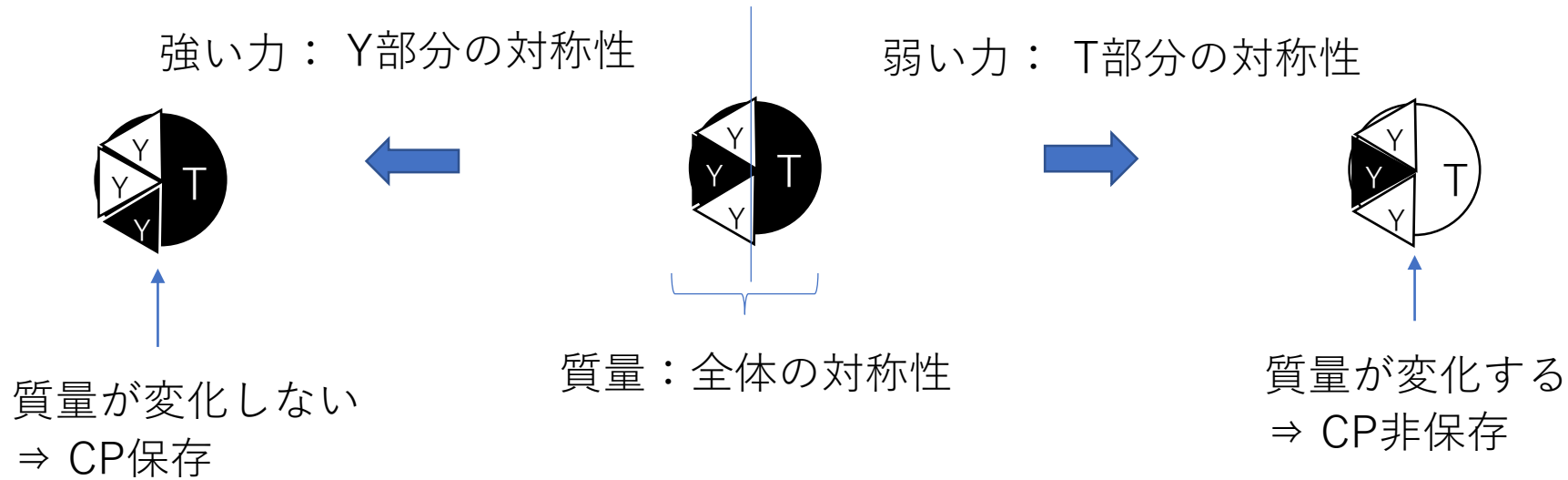
世代は、空間的な混合度合なので、電荷が空間的に不均一だと、混合が乱されると考えられます。

レプトンもまたウィークボソンを放出して、他の粒子へ変化します。
 しかし、レプトンの場合は、別の世代へ変化することはありません。
 空間の方向に対応するY部分の3つが同符号なら、元の混合状態を覚えていられると考えられます。
 一方で、クォークは元の混合状態が分からなくなっていると思われます。
 世代は、空間的な混合度合なので、電荷が空間的に不均一だと、混合が乱されると考えられます。

弱い力

CP対称性

電荷とカイラリティを入れ替えても物理現象は変わらない？



強い力は、単純に粒子の向きを変更するのと同じなので、CP保存する。

弱い力では、CP対称性が僅かに非保存だと知られています。
 CP対称とは、電荷とカイラリティを入れ替えても物理現象は変わらないということです。
 一方で、強い力では、実験的にCP保存となっています。
 強い力が働いて、色が変わっても質量は変化しません。
 強い力は、単純に粒子の向きを変更するのと同じなので、CP保存と考えられます。
 一方で、弱い力が働くと質量の変化も伴うため、CP非保存になると考えられます。

質量

ヒッグス粒子とは何なの？

光 {
・ 粒子の性質 (局在性) … 光子
・ 波の性質 (非局在性)

粒子とは、性質の違う空間に過ぎない

真空 {
・ 粒子の性質 (局在性) … ヒッグス粒子
・ 波の性質 (非局在性)

次に、質量の計算を始めます。
その前に、ヒッグス粒子とは何なのか考えましょう。
光には、粒子の性質と波の性質があります。
局在的な性質と、非局在的な性質があるともいえます。
そもそも、粒子とは、性質の違う空間に過ぎないと考えてきました。
そのため、真空もまた、局在的な性質を持つはずです。
ヒッグス粒子とは、真空の粒子としての性質だと解釈できます。

質量

なぜ質量が存在するの？

神の
選択

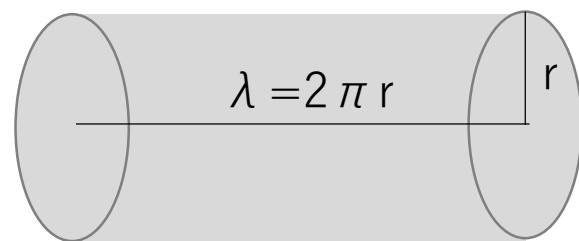
1. 別に、なくても良いので
宇宙の初期にはなかった。
…質量が発生するタイミングは、サイコロで決めた。
- ▶ 2. 粒子が移動するために必要だから、
初めからあった。

そもそも、なぜ質量が存在するのでしょうか？
別に、なくても良いので、宇宙の初期にはなかったと考えられています。
ですが、その場合、質量が発生するタイミングをサイコロで決めなければなりません。
粒子が移動するために必要だから、初めからあったと考えるべきでしょう。

質量

ヒッグス衝突体積

質量は、ヒッグス粒子と衝突する度合いと解釈できます。
ある粒子がヒッグス粒子と衝突する体積を計算します。
球体が、1波長進む間に、通過する空間の体積を計算します。



$$V = 2\pi r \times \pi r^2$$

$$= 2\pi^2 r^3$$

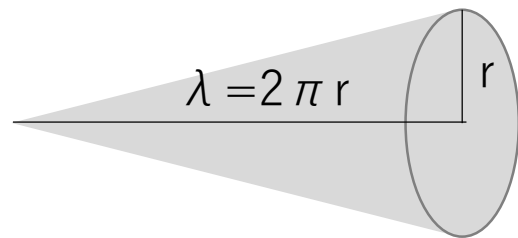
この体積の100%で衝突するとき、質量が最大になります。

質量は、ヒッグス粒子と衝突する度合いと解釈できます。
ある粒子がヒッグス粒子と衝突する体積を計算します。
球体が、1波長進む間に、通過する空間の体積を計算します。
半径 r で、波長 $\lambda = 2\pi r$ とします。
円柱として体積が計算できます。
この体積の100%で衝突するとき、質量が最大になります。

質量

ヒッグス自身の衝突体積

ヒッグス粒子は、移動方向の非対称性に対して働きます。
空間は3次元ありますが、移動方向の1次元にだけ働きます。
そのため、衝突体積も1/3になります。



$$V_H = \frac{1}{3} \times 2\pi r \times \pi r^2$$

$$= \frac{2}{3} \pi^2 r^3$$

円柱の移動方向成分に当たります。
これは、ちょうど円錐の体積になります。

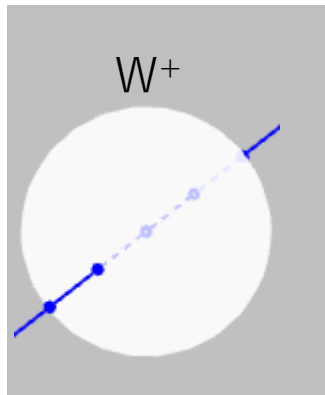
ヒッグス粒子自身が、ヒッグス粒子と衝突する体積を計算します。
ヒッグス粒子は、移動方向の非対称性に対して働きます。
空間は3次元ありますが、移動方向の1次元にだけ働きます。
そのため、衝突体積も1/3になります。
円柱の移動方向成分に当たります。
これは、ちょうど円錐の体積になります。

質量

Wボソンの質量

ヒッグス衝突体積の比率から、質量を計算します。

ヒッグス粒子の質量(実測値)： $M_H = 125.2 \text{ GeV}/c^2$



Wの体積

$$V_W = \frac{4}{3} \pi r^3$$

Wの質量

$$M_W = \frac{V_W}{V_H} M_H = \frac{\frac{4}{3} \pi r^3}{\frac{2}{3} \pi^2 r^3} M_H = \frac{2}{\pi} M_H = 79.70 \text{ GeV}/c^2$$

実測値： $80.37 \text{ GeV}/c^2$

(誤差： -0.8%)

Wボソンの質量を計算してみましょう。
 ヒッグス衝突体積の比率から、質量を計算します。
 ヒッグス粒子の質量の実測値を基準にします。
 Wボソンは球体だと仮定します。
 球と円柱の体積比から、質量が求まります。
 実測値との誤差は0.8%で、だいたい合ってます。

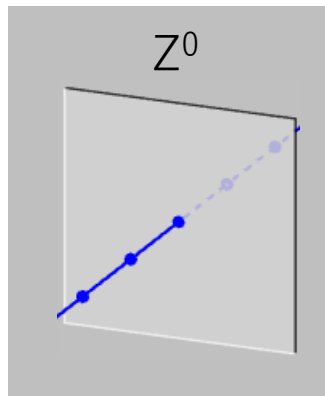
質量

Zボソンの質量

Wボソンとの比で計算します。

Zボソンは平面的な粒子です。

球面と正八面体の傾きの30度を使って計算します。



体積

$$V_Z = \frac{V_W}{\cos 30^\circ} = \frac{1}{\cos 30^\circ} \times \frac{4}{3} \pi r^3 = \frac{8}{3\sqrt{3}} \pi r^3$$

質量

$$M_Z = \frac{V_W}{V_H} M_H = \frac{\frac{8}{3\sqrt{3}} \pi r^3}{\frac{2}{3} \pi^2 r^3} M_H = \frac{4}{\sqrt{3} \pi} M_H = 92.04 \text{ GeV}/c^2$$

実測値： $91.19 \text{ GeV}/c^2$

(誤差：+0.9%)

Zボソンの質量も計算してみましょう。

Wボソンとの比で計算します。

Zボソンは平面的な粒子です。

球面と正八面体の傾きの30度を使って計算します。

実測値との誤差は0.9%で、だいたい合ってます。

質量

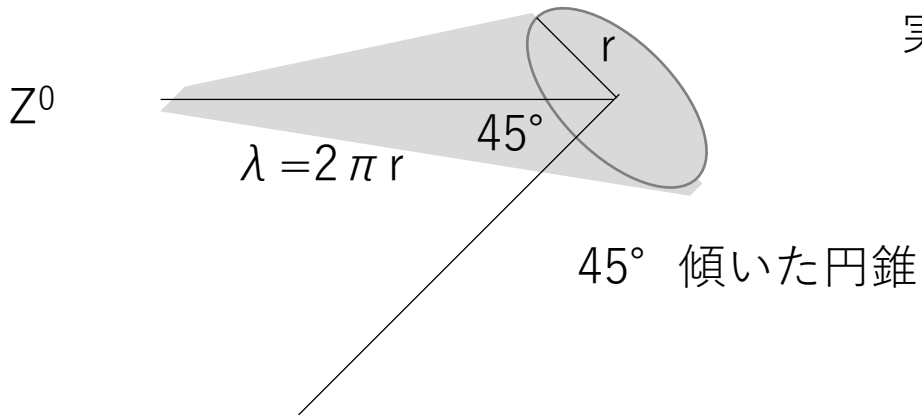
弱い力と質量 (1)

面の移動方向に対する傾きの成分が、質量になる。

弱い力と質量のどちらも、移動方向成分の力なので、結合定数の大きさは、質量と比例する。

$$M_Z = g_Z M_H = \cos 45^\circ M_H = \frac{1}{\sqrt{2}} M_H = \frac{\frac{1}{\sqrt{2}} V_H}{V_H} \times M_H = 88.53 \text{ GeV}/c^2$$

実測値 $91.19 \text{ GeV}/c^2$



別の質量の計算の仕方があります。

面の移動方向に対する傾きの成分が、質量になります。

弱い力と質量のどちらも、移動方向成分の力なので、結合定数の大きさは、質量と比例します。

Zボソンの結合定数とヒッグス質量を掛けると、Zボソンの質量になります。

前の計算方法より、やや軽くなっています。

この式から、体積を逆算できます。

45度傾いた円柱の形状になります。

質量

弱い力と質量 (2)

$$M_W = g_W M_H = \cos 45^\circ \cos 30^\circ M_H = \sqrt{\frac{3}{8}} M_H = \frac{\sqrt{\frac{3}{8}} V_H}{V_H} \times M_H = 76.67 \text{ GeV}/c^2$$

実測値 $80.37 \text{ GeV}/c^2$

W^+ 45° 傾いた円錐が、さらに 30° 傾いたような形状

移動方向の成分としてなら、
球体よりこのような形状の方が正確だと考えられます。

$$M_H = g_H M_H \quad g_H = 1 \quad \text{ヒッグス粒子の結合定数は1}$$

Wボソンの質量についても同様の方法で計算してみます。
前の計算方法より、やや軽くなっています。
 45° 傾いた円錐が、さらに 30° 傾いたような形状になります。
移動方向の成分としてなら、球体よりこのような形状の方が正確だと考えられます。
また、ヒッグス粒子の質量も、同様の式に当てはめてみました。
ヒッグス粒子の結合定数は、1であるといえます。

荷電レプトン質量

世代と対称性

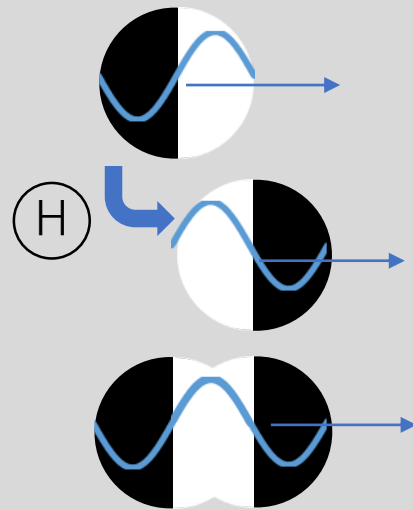
		フェルミオン			ボソン
世代		1	2	3	4
鏡面对称性	X	反对称	対称	対称	対称
	Y	反对称	反对称	対称	対称
	Z	反对称	反对称	反对称	対称
移動対称性	X	対称	反对称	反对称	反对称
	Y	対称	対称	反对称	反对称
	Z	対称	対称	対称	反对称
反对称な次元数		0	1	2	3

次にフェルミオンの質量を計算していきます。
フェルミオンだけが持つ、世代についておさらいします。
世代によって、スピンの鏡面对称性が変わります。
質量と比例する移動対称性は、鏡面对称性とは逆の関係にあります。
世代が増えると、反对称な次元数が増えます。
ボソンは4世代に相当します。

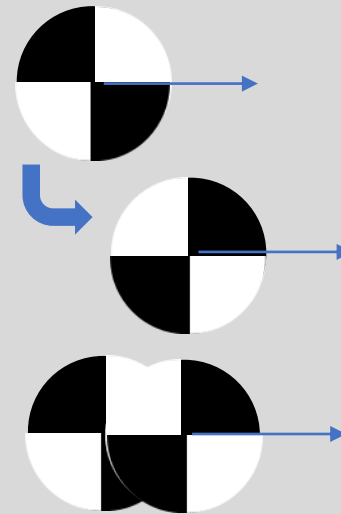
荷電レプトン質量

スピンと対称性 (1)

ヒッグスによる
前後の入れ替え



スピンによる
半回転



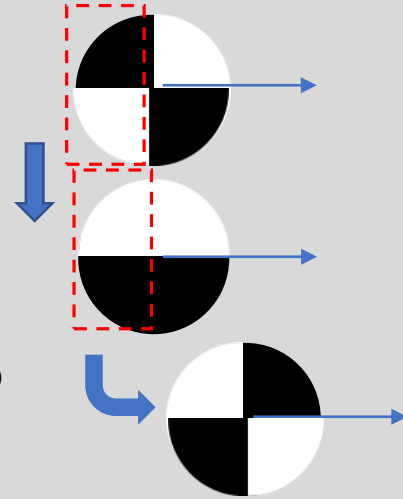
右の図のような粒子では、スピンによる半回転で前後が入れ替わります。
そのため、ヒッグス機構による前後の入れ替えが不要になり、軽くなります。

スピンと対称性について考えます。
左の図はヒッグス機構による粒子の前後の入れ替えを表しています。
半波長進んだ前後の、自身との干渉を見えています。
半波長進むと、スピンによって半回転します。
右の図のような粒子では、スピンによる半回転で前後が入れ替わります。
そのため、ヒッグス機構による前後の入れ替えが不要になり、軽くなります。

荷電レプトン質量

スピンと対称性 (2)

スピンが $1/2$ の場合、半波長で、半分だけが半回転します。



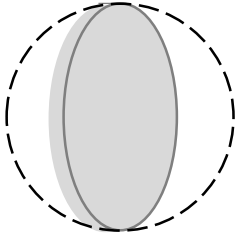
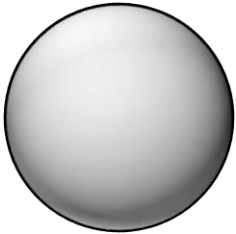
それにより、ヒッグスによる前後の入れ替えの必要量が変化します。

フェルミオンの世代は、半分の分け方の違いです。
分け方が異なると、必要なヒッグスの量が異なるため、質量が異なります。

スピン $1/2$ の場合を考えます。
スピンが $1/2$ の場合、半波長で、半分だけが半回転します。
それにより、ヒッグスによる前後の入れ替えの必要量が変化します。
フェルミオンの世代は、半分の分け方の違いです。
分け方が異なると、必要なヒッグスの量が異なるため、質量が異なります。

荷電レプトン質量

タウオンの質量 (1)

	τ (タウオン)	W ボソン
電荷	1	1
世代	3	4
反対称な次元数	2	3
ヒッグス衝突 体積	 ディスク	 球

タウオンは、1次元だけ対称になり、ヒッグスと衝突しなくなると考えられます。

タウオンの質量から計算します。
第三世代の荷電レプトンです。
電荷が1なので、Wボソンと同様に球体がイメージできます。
反対称性な次元数は、Wボソンは3、タウオンは2です。
タウオンは、1次元だけ対称になり、ヒッグスと衝突しなくなると考えられます。
Z方向で、ヒッグスと衝突しなくなると仮定します。
すると、球をスライスしたディスクになります。

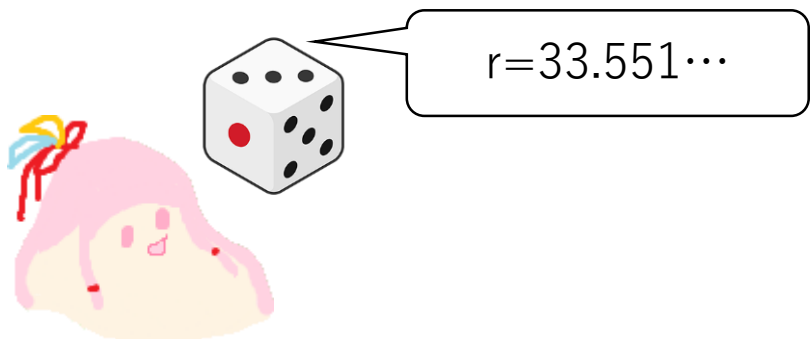
荷電レプトン質量

神のサイコロ (1)

ディスクの体積を計算したいのですが、厚みの手掛かりがありません。

一旦、神の力を借りさせてください。

一旦、神のサイコロを一回だけ振ります。



後から、この数値を説明可能になりましたら、サイコロは返納いたします。

ディスクの体積を計算したいのですが、厚みの手掛かりがありません。

一旦、神の力を借りさせてください。

一旦、神のサイコロを一回だけ振ります。

サイコロの目は、33.551と出ました。

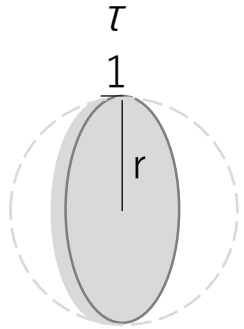
これを半径 r として使います。

後から、この数値を説明可能になりましたら、サイコロは返納いたします。

荷電レプトン質量

タウオンの質量 (2)

$r=33.551\dots$ を使用します。



ディスク

体積

$$V_{\tau} = 1 \times \pi r^2$$

質量

$$M_{\tau} = \frac{V_{\tau}}{V_H} M_H = \frac{\pi r^2}{\frac{2}{3} \pi^2 r^3} M_H = \frac{3}{2 \pi r} M_H = 1781.2 \text{ MeV}/c^2$$

実測値： $1776.9 \text{ MeV}/c^2$
(誤差：+0.2%)

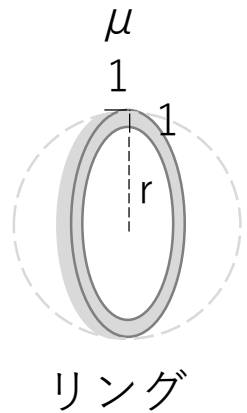
一致するように r を調整したと言われればそうですが。

タウオンの計算を再開します。
半径 r で、厚み1のディスクの体積を計算します。
 $r=33.551$ を使用します。
ヒッグス粒子との体積比から、質量を求めます。
誤差0.2%で、実測値と一致しました。
一致するように r を調整したと言われればそうですが。

荷電レプトン質量

ミューオンの質量

第二世代なので、反対称な次元が一つ減ります。
半径方向に、ヒッグスと衝突しなくなると仮定します。



体積

$$V_{\mu} = 1 \times 1 \times 2\pi r$$

質量

$$M_{\mu} = \frac{V_{\mu}}{V_H} M_H = \frac{2\pi r}{\frac{2}{3}\pi^2 r^3} M_H = \frac{3}{\pi r^2} M_H = 106.15 \text{ MeV}/c^2$$

実測値： $105.66 \text{ MeV}/c^2$
(誤差：+0.5%)

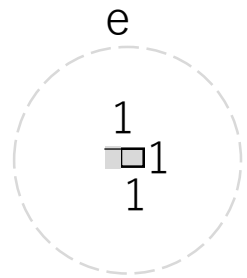
一致させるための恣意的な調節は行っていません。

同様に、ミューオンの質量を計算します。
第二世代なので、反対称な次元が一つ減ります。
半径方向に、ヒッグスと衝突しなくなると仮定します。
すると、リングになります。
リングの幅と厚みは、1とします。
これで、体積と質量を計算しました。
誤差は0.5%で一致しました。
一致させるための恣意的な調節は行っていません。

荷電レプトン質量

電子の質量

第一世代なので、反対称な次元がもう一つ減ります。
円周方向も、ヒッグスと衝突しなくなると仮定します。



体積

$$V_e = 1 \times 1 \times 1$$

質量

$$M_e = \frac{V_e}{V_H} M_H = \frac{1}{\frac{2}{3}\pi^2 r^3} M_H = \frac{3}{2\pi r^3} M_H = 0.5034 MeV/c^2$$

立方体

$$\text{実測値： } 0.5110 MeV/c^2$$

(誤差：-1.5%)

一致させるための恣意的な調節は行っていません。

同様に、電子の質量も計算します。
第一世代なので、反対称な次元がもう一つ減ります。
円周方向に、ヒッグスと衝突しなくなると仮定します。
すると、単位立方体になります。
これで、体積と質量を計算しました。
誤差は1.5%で一致しました。
一致させるための恣意的な調節は行っていません。

荷電レプトン質量

半径 r の意味

対称な方向には、ヒッグス粒子と衝突しなくなります。

厚み=0 (体積=0) … 100% 対称

実際は、

厚み>0 (体積>0) … $1/r=2.9805\%$ だけ、
非対称性が残っている。

約3%の非対称性は、どこから来たのでしょうか？

半径 $r=33.551$ の意味を考えましょう。
対称な方向には、ヒッグス粒子と衝突しなくなります。
ですが、厚みが0になると体積は0になってしまいます。
実際には、厚みが、 $1/r$ だけ残るようです。
これは、完全な対称ではないと解釈できます。
すなわち、 $1/r=2.9805\%$ だけ、非対称性が残っています。
約3%の非対称性は、どこから来たのでしょうか？

荷電レプトン質量

小出式

荷電レプトンの質量比の経験則

最小

$$\frac{1+1+1}{(\sqrt{1}+\sqrt{1}+\sqrt{1})^2} = \frac{1}{3}$$

中間

$$\frac{M_e + M_\mu + M_\tau}{(\sqrt{M_e} + \sqrt{M_\mu} + \sqrt{M_\tau})^2} \approx \frac{2}{3}$$

最大

$$\frac{0+0+1}{(\sqrt{0}+\sqrt{0}+\sqrt{1})^2} = 1$$

$$\frac{1+2\pi r+\pi r^2}{(\sqrt{1}+\sqrt{2\pi r}+\sqrt{\pi r^2})^2} = \frac{2}{3}$$

$$r=33.57715\dots$$

幾何学的な解釈が難しく、偶然かもしれない。

半径rを説明できる可能性として、小出式があります。
荷電レプトンの質量比の経験則です。
これを解くと、r=33.577となります。
幾何学的な解釈が難しく、偶然かもしれません。

荷電レプトン質量

質量と強い力の統一 (1)

タウオンのエネルギースケールするとき、
強い力は、グルーオンによる色の増強が0の場合の強さになります。

$$g_s(M_\tau) = \frac{1}{3} \times 1 \times 2\pi = \frac{2\pi}{3}$$

$$\text{強い力による回転量} \quad \frac{2\pi r}{3} \times \pi r^2 = \frac{2\pi^2 r^3}{3} = V_H \quad \text{ヒッグス体積}$$

$$V_\tau = \pi r^2 \quad \text{タウオン体積}$$

$$\alpha_s(M_\tau) = \frac{g_s^2}{4\pi} = \frac{\pi}{9} = 0.3491$$

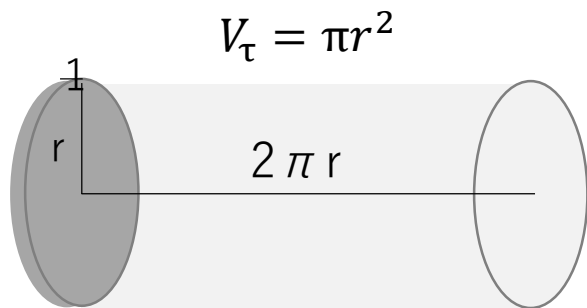
$$\text{実測値} \quad \alpha_s(M_\tau) = 0.31$$

強い力のエネルギースケールは、
ヒッグス機構による質量と同じ原理で決まっているといえます。

ここで、後回しにしていた強い力の話をします。
タウオンのエネルギースケールするとき、強い力は、グルーオンによる色の増強が0の場合の強さになります。
このときゲージ結合定数は3分の2パイです。
半径をrとすれば、強い力による回転量は3分の2パイrになります。
一方、タウオンの体積はパイrの二乗です。
これらを掛けると、ヒッグス粒子の体積になります。
強い力のエネルギースケールは、ヒッグス機構による質量と同じ原理で決まっているといえます。

荷電レプトン質量

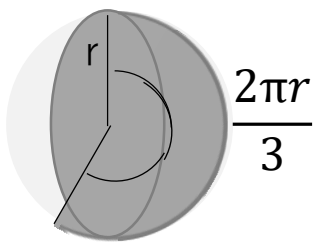
質量と強い力の統一 (2)



質量：移動に対する抵抗力

エネルギーは移動で通過する体積で決まる。

$$V = \pi r^2 \times \frac{2}{3}\pi$$



強い力：スピンに対する抵抗力

エネルギーはスピンの通過する体積で決まる。

図で比較してみましょう。

質量は、移動に対する抵抗力といえます。

エネルギーは移動で通過する体積で決まります。

強い力は、スピンに対する抵抗力といえます。

エネルギーはスピンの通過する体積で決まります。

3分の2パイrだけ回転するとヒッグス体積になります。

同じ原理でエネルギーが決まるため、統一されていると言えますね。

ニュートリノ質量と混合

ニュートリノの質量 (1)

3つの質量は、単純に r の平方根の等比数列だと仮定しました。

$$\begin{aligned}
 M_1 &= \frac{r^{-2}}{V_H^2} M_H & M_2 &= \frac{r^{-1.5}}{V_H^2} M_H & M_3 &= \frac{r^{-1}}{V_H^2} M_H \\
 &= 0.00180 eV/c^2 & &= 0.0104 eV/c^2 & &= 0.0604 eV/c^2 \\
 \Delta M_{21}^2 &= 2.50 \times 10^{-3} (eV/c^2)^2 & \Delta M_{32}^2 &= 7.45 \times 10^{-5} (eV/c^2)^2 \\
 2.45(3) \times 10^{-3} (eV/c^2)^2 & & 7.50(19) \times 10^{-5} (eV/c^2)^2 & \\
 \text{(実測値)} & & \text{(実測値)} &
 \end{aligned}$$

分母がヒッグス体積の2乗になっているため、
他の粒子より軽くなっています。

ここから、ニュートリノの質量を計算します。
ニュートリノには、3つの質量固有状態があり、それらが混合しています。
質量差の二乗のみが実測されています。
3つの質量は、単純に r の平方根の等比数列だと仮定しました。
測定誤差の範囲で、実測値と一致しました。
分母がヒッグス体積の二乗になっているため、他の粒子より軽くなっています。

ニュートリノ質量と混合

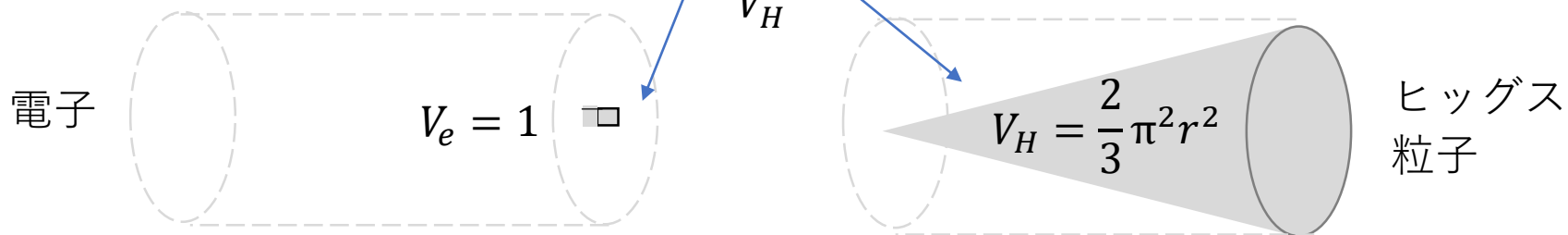
ニュートリノの質量 (2)

電子の質量 $M_e = \frac{V_e}{V_H} \times M_H$



分母がヒッグス体積の2乗になるように変形

$$M_e = \frac{V_e \times V_H}{V_H^2} \times M_H$$



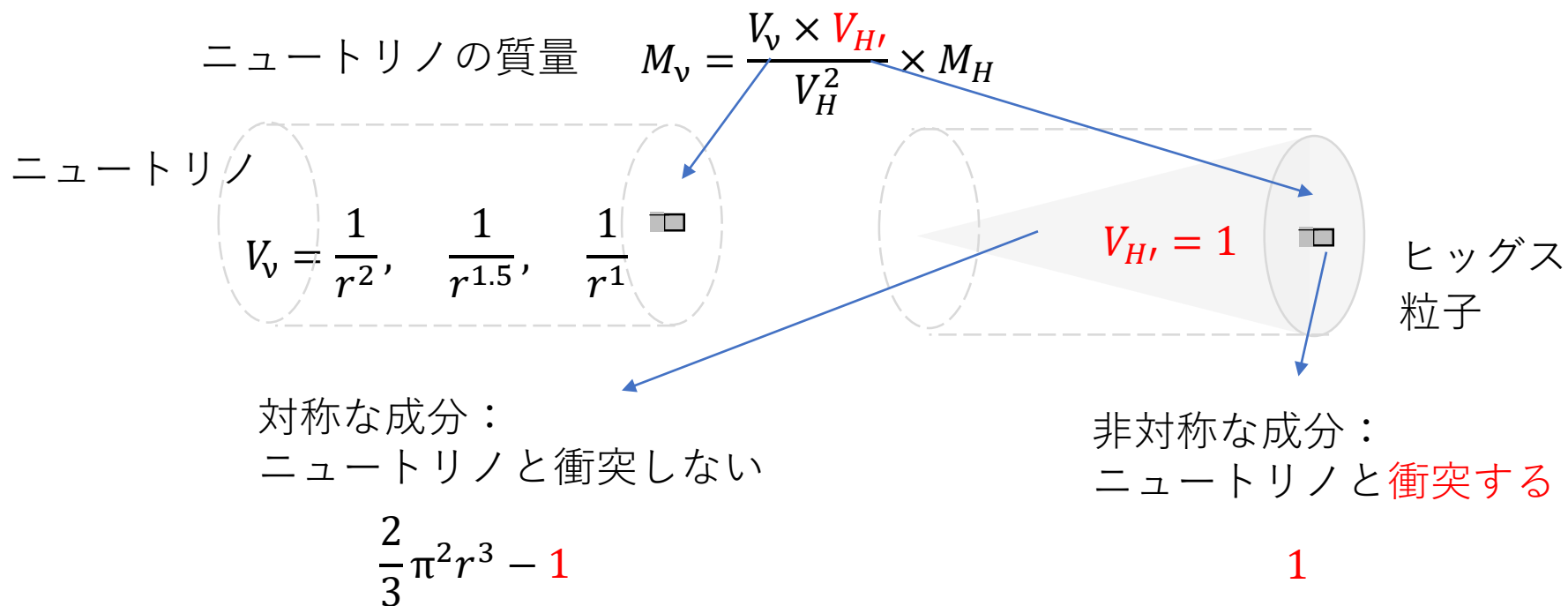
質量は、電子の体積とヒッグス体積の積に比例します。
2つの体積が重なったときに、衝突すると解釈できます。

電子について振り返ります。
電子の質量は、ヒッグス体積の1乗に反比例しています。
分母がヒッグス体積の2乗になるように、式を変形します。
質量は、電子の体積とヒッグス体積の積に比例します。
2つの体積が重なったときに、衝突すると解釈できます。

ニュートリノ質量と混合

ニュートリノの質量 (3)

衝突相手のヒッグス粒子の体積が減少していると考えます。



同様にして、ニュートリノの場合を考えます。

衝突相手のヒッグス粒子の体積が減少していると考えます。

体積1の分だけ衝突すると考えます。

ヒッグス粒子の非対称な成分だけが、ニュートリノと衝突します。

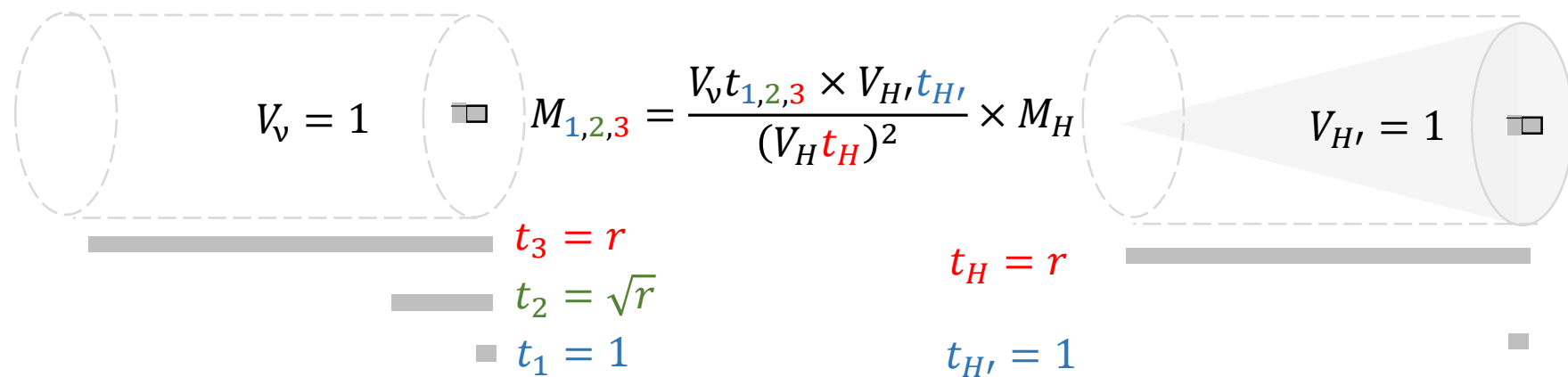
残りの対称な成分は、ニュートリノと衝突しません。

ただし、この考え方のままでは、ニュートリノの体積が1より小さくなってしまっています。

ニュートリノ質量と混合

ニュートリノの質量 (4)

2つの体積と時間の積が重なったときに、衝突すると考えます。



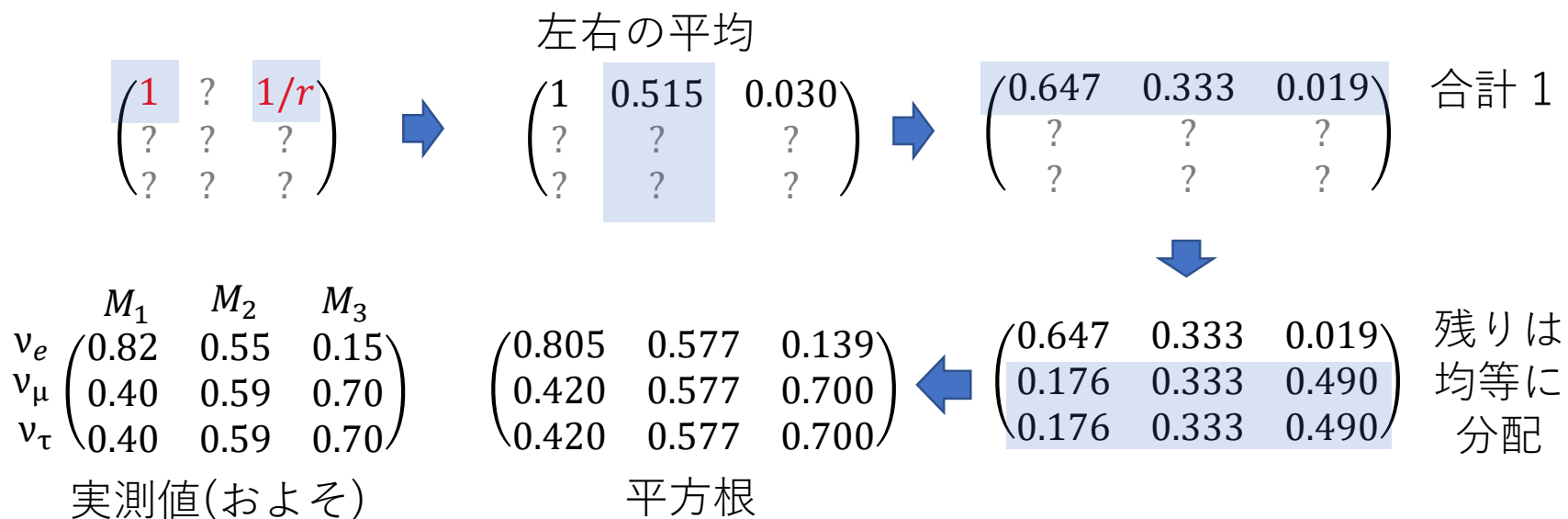
ヒッグス粒子の時間 r のうち、 1 の部分だけがニュートリノと衝突します。
 ニュートリノの時間は、 1 、 \sqrt{r} 、 r の3水準があります。

空間だけでなく、時間軸の対称性についても考えます。
 2つの体積と時間の積が重なったときに、衝突すると考えます。
 ヒッグス粒子の時間 r のうち、 1 の部分だけがニュートリノと衝突します。
 ニュートリノの時間は、 1 、 \sqrt{r} 、 r の3水準があります。

ニュートリノ質量と混合

ニュートリノ混合行列

M_1 と M_3 の質量比は r なので、それだけを行列に入れます。



ニュートリノの混合は行列で表されます。

M_1 と M_3 の質量比は r なので、それだけを行列に入れます。

真ん中の列は、左右の列の平均値を入れます。

横の合計が1になるようにします。

下の二行には、残りを均等に入れます。

最後に、平方根にします。

r のみから、実測値に近い行列が得られました。

ニュートリノ質量と混合

世代と次元数

フレーバー		V_1 H(コア)	V_2	V_3, V_e u,d,e	V_μ s,c, μ	V_τ b,t, τ	H,Z,W
非対称な 次元数	空間	0	0	0	1	2	3
	時間	0	0.5	1	1	1	1
	合計	0	0.5	1	2	3	4
世代		0	0.5	1	2	3	4

世代 = 非対称な次元数

ニュートリノでは、空間の対称性は、質量には直接効かないが、時間の対称性の混合度合として間接的に効く。

世代と次元数の関係を表にしました。

空間だけでなく、時間についても考えます。

世代は、非対称な次元数と一致します。

ニュートリノでは、空間の対称性は、質量には直接効きませんが、時間の対称性の混合度合として間接的に効きます。

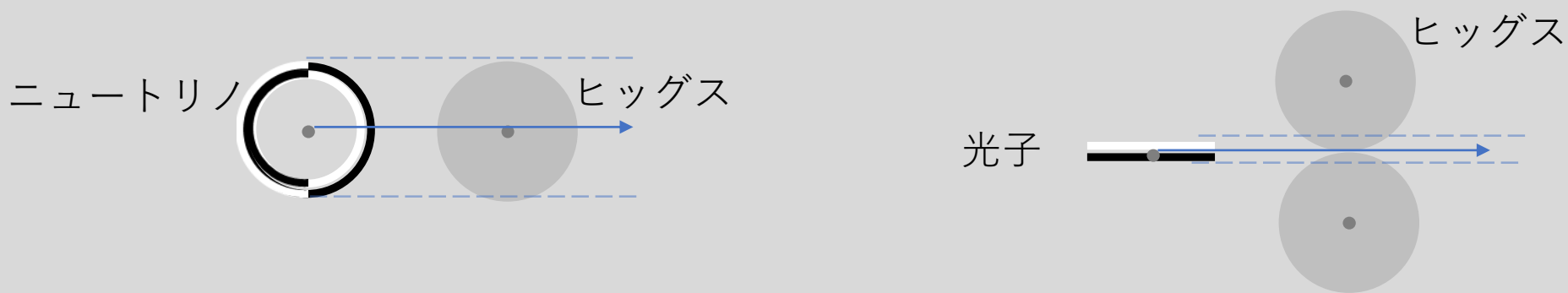
ニュートリノの質量は、0,0.5,1世代に対応します。

ヒッグス粒子は第4世代ですが、コア部分は第0世代です。

ニュートリノ質量と混合

光子の質量

全ての粒子には、非対称なコアが存在すると考えられる。
ニュートリノとヒッグスのコアが衝突するため質量が発生する。



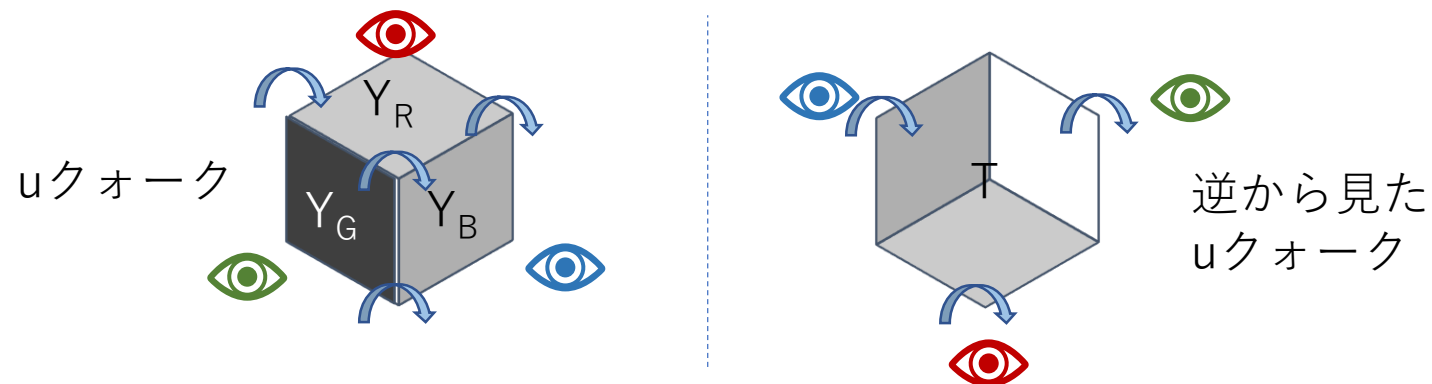
光子は、移動方向と水平な面を粒子として表現したもので、幅がないために、ヒッグスと衝突しないと考えられる。

光子の質量について考えます。
全ての粒子には、非対称なコアが存在すると考えられます。
ニュートリノとヒッグスのコアが衝突するため質量が発生する。
光子は、移動方向と水平な面を粒子として表現したもので、幅がないために、ヒッグスと衝突しないと考えられます。
光子は質量を持たないことが許されます。

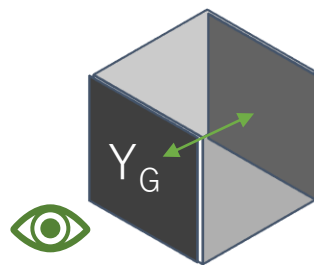
クォーク質量と混合

クォークの対称性 (1)

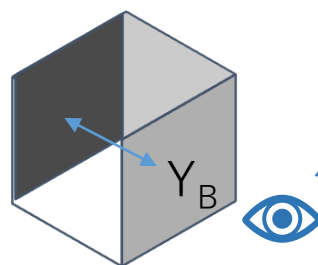
半回転で、半分の面が反転します。



対称



反対称



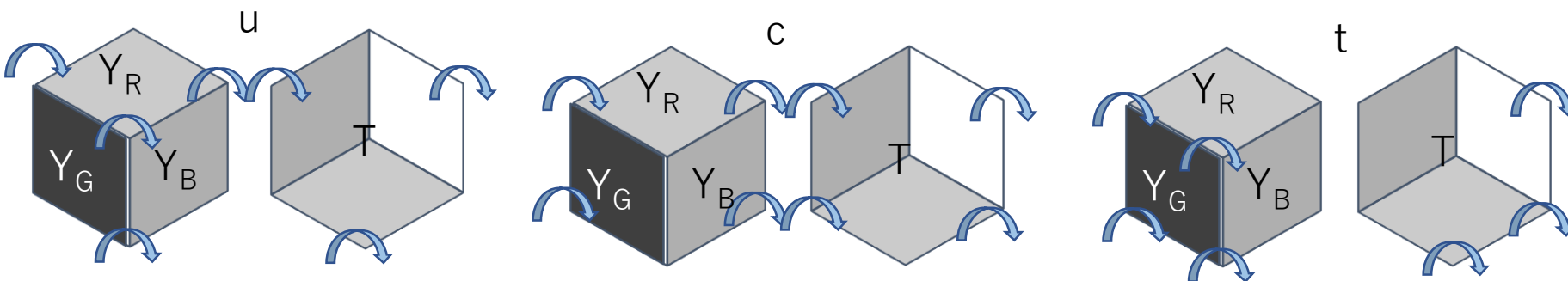
3方向から移動対称性を見ます。

ここからは、クォークの質量について考えます。
 アップクォークを図示しました。
 逆から見たものも図示しました。
 半回転で、半分の面が反転します。
 3方向から移動対称性を見ます。
 下の図のように、逆側にある面を透視して見比べます。
 色は方向を表しており、反対側は逆の色になっています。

クォーク質量と混合

クォークの対称性 (2)

u型クォークを表と裏から見た模式図



電荷：6面が、プラスまたはマイナス

世代：8頂点の内、スピンする4頂点の選び方

質量：半分に切って、入れ替えたときの不一致

6面の対称性と、8頂点の対称性は切り離せない。

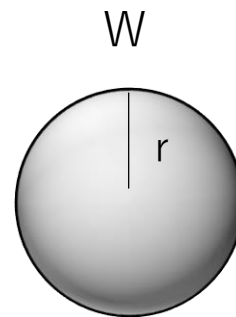
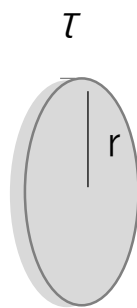
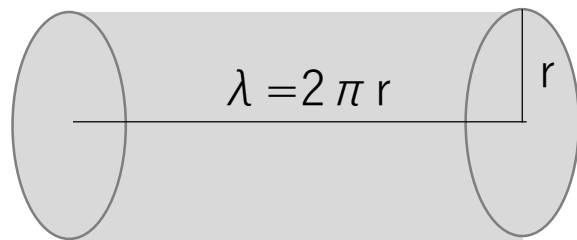
レプトンのように面が揃っている場合を除いて、対称性が乱れる。

u型クォークを表と裏から見た模式図を示しました。
 電荷は、6面が、プラスまたはマイナスなことです。
 世代は、8頂点の内、スピンする4頂点の選び方です。
 質量は、半分に切って、入れ替えたときの不一致です。
 6面の対称性と、8頂点の対称性は切り離せません。
 レプトンのように面が揃っている場合を除いて、対称性が乱れます。

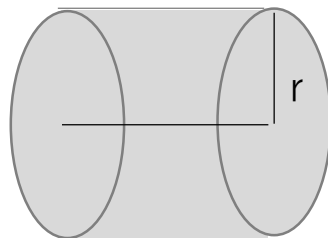
クォーク質量と混合

トップクォークの質量

体積の制限



t (トップクォーク)



体積を増やすには、
高さ方向しかありません。

次は、トップクォークの質量を計算しましょう。

最も重い素粒子です。

どんな形状の体積なのか考えます。

体積は、高さが $2\pi r$ の円柱までに制限されます。

タウオンやWボソンでも、半径方向は、フルに使用しています。

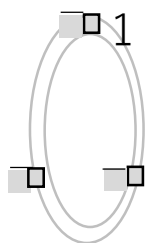
そのため、体積を増やすには、高さ方向しかありません。

クォーク質量と混合

uタイプクォークの質量

u (アップ)

$$\frac{3}{2} \times 8^0$$



$$V_u = \frac{3}{2} 8^0 \times 3$$

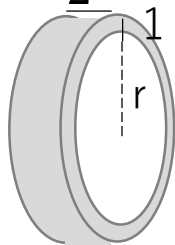
$$M_u = 2.27 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{実測値: } 2.16 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{誤差: } +4.9\%$$

c (チャーム)

$$\frac{3}{2} \times 8^1$$



$$V_c = \frac{3}{2} 8^1 \times 2\pi r$$

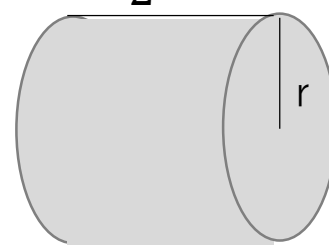
$$M_c = 1274 \text{ MeV}/c^2$$

$$1273 \text{ MeV}/c^2$$

$$+0.1\%$$

t (トップ)

$$\frac{3}{2} \times 8^2$$



$$V_t = \frac{3}{2} 8^2 \times \pi r^2$$

$$M_t = 170.99 \text{ GeV}/c^2$$

$$172.57 \text{ GeV}/c^2$$

$$-0.9\%$$

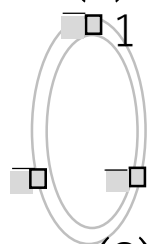
uタイプのクォーク3世代の質量を計算します。
アップクォークは、電子と違って、3つの立方体だとします。
世代によって、円柱の高さが変わります。
円柱の高さは、等比数列になります。
質量の実測値との誤差は、1%程度です。

クォーク質量と混合

dタイプクォークの質量

d (ダウン)

$$3 \times \left(\frac{8}{3}\right)^0$$



$$V_d = 3 \left(\frac{8}{3}\right)^0 \times 3$$

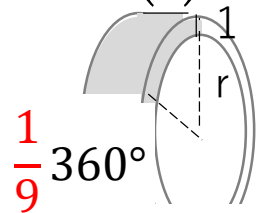
$$M_d = 4.5 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{実測値: } 4.7 \text{ MeV}/c^2$$

$$\text{誤差: } -3.6\%$$

s (ストレンジ)

$$3 \times \left(\frac{8}{3}\right)^1$$



$$V_s = 3 \left(\frac{8}{3}\right)^1 \times 2\pi r$$

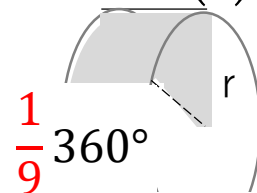
$$M_s = 94.3 \text{ MeV}/c^2$$

$$93.5 \text{ MeV}/c^2$$

$$+0.9\%$$

b (ボトム)

$$3 \times \left(\frac{8}{3}\right)^2$$



$$V_d = 3 \left(\frac{8}{3}\right)^2 \times \pi r^2$$

$$M_d = 4.222 \text{ GeV}/c^2$$

$$4.183 \text{ GeV}/c^2$$

$$+0.9\%$$

dタイプのクォーク3世代の質量を計算します。
 円周方向には、360度の9分の1しか体積がないとします。
 世代によって、円柱の高さが変わります。
 円柱の高さは、等比数列になります。
 質量の実測値との誤差は、1%程度です。

クオーク質量と混合

クオーク混合行列 (1)

第一世代と第二世代の比は r 、第二世代と第三世代の比は r の二乗とします。

$$\begin{pmatrix} 1 & 2/r & 1/r^3 \\ 2/r & 1 & 2/r^2 \\ 1/r^3 & 2/r^2 & 1 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 94.4\% & 5.62\% & 0.003\% \\ 5.62\% & 94.2\% & 0.172\% \\ 0.003\% & 0.172\% & 94.2\% \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{縦横両方で、} \\ \text{合計が100\%} \end{array}$$

$$\begin{array}{c} \text{u} \\ \text{c} \\ \text{t} \end{array} \begin{array}{c} \text{d} \quad \text{s} \quad \text{b} \\ \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.004 \\ 0.225 & 0.973 & 0.042 \\ 0.009 & 0.041 & 0.999 \end{pmatrix} \end{array} \quad \begin{array}{c} \downarrow \\ \begin{pmatrix} 0.971 & 0.237 & 0.005 \\ 0.237 & 0.971 & 0.042 \\ 0.005 & 0.042 & 0.999 \end{pmatrix} \end{array}$$

実測値 平方根

クオークも混合しており、行列で表されます。
 第一世代と第二世代の比は r 、第二世代と第三世代の比は r の二乗とします。
 縦と横の両方で、合計が100%になるようにします。
 最後に、平方根にします。
 r のみから、実測値に近い行列が得られました。

クォーク質量と混合

クォーク混合行列 (2)

$$\begin{aligned}
 (\sqrt{M_d} \quad \sqrt{M_s} \quad \sqrt{M_b}) &\propto (\sqrt{M_u} \quad \sqrt{M_c} \quad \sqrt{M_t}) \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.004 \\ 0.225 & 0.973 & 0.042 \\ 0.009 & 0.041 & 0.999 \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} \text{(西田)} \\ \text{経験式} \end{matrix} \\
 (\sqrt{M_d} \quad \sqrt{M_s} \quad \sqrt{M_b}) &\approx \sqrt{1/r} (\sqrt{M_u} \quad \sqrt{M_c} \quad \sqrt{M_t}) \begin{pmatrix} 1 & \sqrt{2/r} & \sqrt{1/r^3} \\ \sqrt{2/r} & 1 & \sqrt{2/r^2} \\ \sqrt{1/r^3} & \sqrt{2/r^2} & 1 \end{pmatrix} \\
 &= (\sqrt{M_u} \quad \sqrt{M_c} \quad \sqrt{M_t}) \begin{pmatrix} \sqrt{1/r} & \sqrt{2/r^2} & \sqrt{1/r^4} \\ \sqrt{2/r^2} & \sqrt{1/r} & \sqrt{2/r^3} \\ \sqrt{1/r^4} & \sqrt{2/r^3} & \sqrt{1/r} \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

d型クォーク質量の平方根が、u型クォーク質量の平方根の混合で表せました。

クォークの質量と混合行列の間には、経験式が知られています。
u型クォークの平方根に混合行列を掛けると、d型クォークの平方根に比例します。
rを使って係数を表せば、近似的にイコールになります。
行列も、rを使って近似的に表せます。
d型クォーク質量の平方根が、u型クォーク質量の平方根の混合で表せました。

クォーク質量と混合

クォーク混合行列 (3)

逆行列(近似)

u→d

d→u

+ : u→d

- : d→u

$$\frac{1}{\sqrt{r}} \begin{pmatrix} 1 & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & \frac{1}{\sqrt{r^3}} \\ \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & 1 & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} \\ \frac{1}{\sqrt{r^3}} & \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} & 1 \end{pmatrix}$$

$$\sqrt{r} \begin{pmatrix} 1 & -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & \frac{1}{\sqrt{r^3}} \\ -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & 1 & -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} \\ \frac{1}{\sqrt{r^3}} & -\frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} & 1 \end{pmatrix}$$

$$\frac{1}{\sqrt{r^{\pm 1}}} \begin{pmatrix} 1 & \pm \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & \frac{1}{\sqrt{r^3}} \\ \pm \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r}} & 1 & \pm \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} \\ \frac{1}{\sqrt{r^3}} & \pm \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{r^2}} & 1 \end{pmatrix}$$

u型からd型は、混合行列で変換できましたが、逆はどうでしょうか？

逆行列を計算しました。

右上と左下の項が変わった形になりました。

u型からd型と、d型からu型の変換は、符号の違いだけで表せました。

クォーク質量と混合

ヒッグス衝突確率

ヒッグス
衝突体積

$$\text{ヒッグス衝突確率} \quad P = \frac{V}{2\pi^2 r^3} \text{ (円柱)} \quad \text{質量} \quad M = P \times 3M_H$$

ヒッグス衝突確率は、ヒッグス粒子と衝突する位置に、粒子が存在する確率

粒子の存在確率 = 波動の振幅²

$$\text{波動の振幅} = \sqrt{\text{粒子の存在確率}} \propto \sqrt{\text{質量}}$$

波が混合すると、質量の平方根が混合すると解釈できる。

質量の平方根が混合しているようにみえるわけを考えてみましょう。
 質量は、ヒッグス衝突体積に比例します。
 ヒッグス衝突体積と円柱の体積比を、ヒッグス衝突確率と定義します。
 ヒッグス衝突確率は、ヒッグス粒子と衝突する位置に、粒子が存在する確率です。
 粒子の存在確率は、波動の振幅の二乗です。
 逆に、波動の振幅は、粒子の存在確率の平方根です。
 波動の振幅は、質量の平方根に比例します。
 波が混合すると、質量の平方根が混合すると解釈できます。

クォーク質量と混合

質量の混合

	ヒッグス衝突体積 (質量)	世代間の混合
荷電 レプトン	係数のない幾何学形状	なし
クォーク	(1) 係数のある幾何学形状？ (2) 係数のない幾何学形状の混合？	あり

係数のない幾何学形状の混合として、クォークの質量を考え直します。

荷電レプトンの質量は、係数のない幾何学形状で表現できました。
 一方、クォークの質量は、係数のある幾何学形状で表現する必要がありました。
 また、クォークは世代間で混合していますが、荷電レプトンはしていません。
 混合していなければ、係数が必要ないといえます。
 混合の結果、係数があるように見えるだけで、混合前は係数がないと考えます。
 係数のない幾何学形状の混合として、クォークの質量を考え直します。

クォーク質量と混合

d型クォーク質量の混合

世代数の差が1なら、 r のマイナス1乗だけ質量が混合する。

$$\begin{matrix} & e & \mu & \tau & 2H \\ \begin{matrix} d \\ s \\ b \end{matrix} & \begin{pmatrix} r^0 & r^{-1} & r^{-2} & r^{-3} \\ r^{-1} & r^0 & r^{-1} & r^{-2} \\ r^{-2} & r^{-1} & r^0 & r^{-1} \end{pmatrix} \end{matrix} \quad \leftarrow \text{第4世代としてヒッグス粒子を仮定}$$

↓ 縦横の合計を100%にする

$$\begin{pmatrix} M_d \\ M_s \\ M_b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 97.0\% & 2.9\% & 0.1\% & 0.0\% \\ 2.8\% & 94.3\% & 2.8\% & 0.1\% \\ 0.1\% & 2.8\% & 94.3\% & 2.8\% \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_e \\ M_\mu \\ M_\tau \\ 2M_H \end{pmatrix} |Q| = \begin{pmatrix} 3.8 \text{ MeV}/c^2 \\ 120 \text{ MeV}/c^2 \\ 2.91 \text{ GeV}/c^2 \end{pmatrix}$$

質量は電荷の大きさに比例する

d型クォークの質量を計算します。

4世代の荷電レプトン質量が混合すると仮定します。

第4世代としては、ヒッグス粒子を仮定しました。

世代数の差が1なら、 r のマイナス1乗だけ質量が混合します。

世代数の差の行列は、縦横の合計が100%になるようにします。

質量は電荷の大きさに比例すると考え、電荷の絶対値を掛けます。

計算された質量は、実測値と近いものの10%以上の誤差があります。

クォーク質量と混合

u型クォーク質量の混合

全体的に、
混合比が1/4倍になっている。

第4世代との混合のみ、
次数が増加している。

$$\begin{array}{c}
 \begin{array}{cccc}
 & e & \mu & \tau & 2H \\
 \begin{array}{c} u \\ c \\ t \end{array} & \begin{pmatrix} (4r)^0 \\ (4r)^{-1} \\ (4r)^{-2} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (4r)^{-1} \\ (4r)^0 \\ (4r)^{-1} \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (4r)^{-2} \\ (4r)^{-1} \\ (4r)^0 \end{pmatrix} & \begin{pmatrix} (4r)^{-3+0.5} \\ (4r)^{-2+1} \\ (4r)^{-1+1.5} \end{pmatrix}
 \end{array}
 \end{array}$$

縦横の合計を100%にする

$$\begin{pmatrix} M_u \\ M_c \\ M_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 99.3\% & 0.7\% & 0.0\% & 0.0\% \\ 0.7\% & 97.8\% & 0.7\% & 0.7\% \\ 0.0\% & 0.1\% & 7.9\% & 92.0\% \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_e \\ M_\mu \\ M_\tau \\ 2M_H \end{pmatrix} |Q| = \begin{pmatrix} 1.7\text{MeV}/c^2 \\ 1.29\text{GeV}/c^2 \\ 154\text{GeV}/c^2 \end{pmatrix}$$

u型クォークの質量を計算します。
d型クォークと異なる点だけ、強調してあります。
全体的に、混合比が1/4倍になっています。
第4世代との混合のみ、次数が増加しています。

クォーク質量と混合

荷電レプトン質量の混合

混合比 {

- d型クォーク : r
- u型クォーク : $4r$
- 荷電レプトン : ∞

電荷が大きいほど、
世代間の混合は小さくなる。

$$\begin{array}{c}
 e \quad \mu \quad \tau \quad 2H \\
 \begin{array}{c} e \\ \mu \\ 2H \end{array} \begin{pmatrix} \infty^0 & \infty^{-1} & \infty^{-2} & \infty^{-3+?} \\ \infty^{-1} & \infty^0 & \infty^{-1} & \infty^{-2+?} \\ \infty^{-2} & \infty^{-1} & \infty^0 & \infty^{-1+?} \end{pmatrix}
 \end{array}$$

$$\begin{pmatrix} M_e \\ M_\mu \\ M_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 100\% & 0\% & 0\% & 0\% \\ 0\% & 100\% & 0\% & 0\% \\ 0\% & 0\% & 100\% & 0\% \end{pmatrix} \begin{pmatrix} M_e \\ M_\mu \\ M_\tau \\ 2M_H \end{pmatrix} |Q|$$

荷電レプトンの場合も、同じように表示してみました。
荷電レプトンは、世代間で混合していません。
混合比率は ∞ になります。
u型クォークの混合比率はd型クォークの4倍でした。
電荷が大きいほど、世代間の混合は小さくなっています。

重力

重力の性質

重力は、電磁気力と同様に遠距離で働く力です。

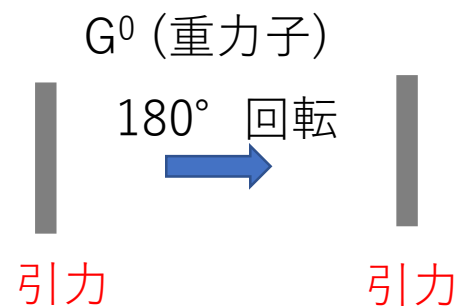
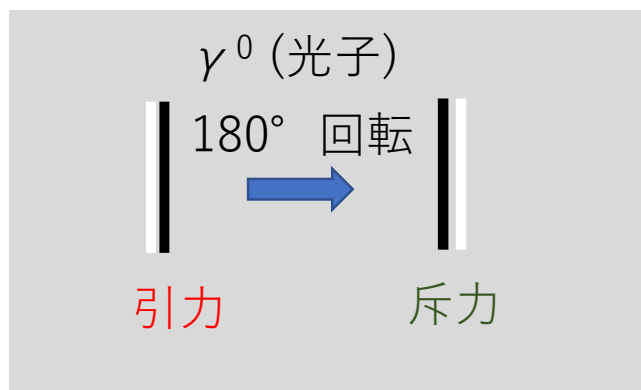
斥力はなく、引力しか働きません。

重力を媒介する重力子はスピン2と考えられています。

スピン2は、 180° 回転すると一致することを意味します。

180° 回転した光子は、逆向きの力を媒介すると考えられます。

重力子は、 180° 回転しても同じなので、引力のみだと考えられます。



いよいよ、重力について考え始めましょう。

重力は、電磁気力と同様に遠距離で働く力です。

斥力はなく、引力しか働きません。

重力を媒介する重力子はスピン2と考えられています。

スピン2は、 180° 回転すると一致することを意味します。

180° 回転した光子は、逆向きの力を媒介すると考えられます。

重力子は、 180° 回転しても同じなので、引力のみだと考えられます。

重力

重力の結合定数

電磁気力の結合定数では、 $1/2$ を掛けています。
 逆向きの光子は力を媒介できないと考えたからです。

電磁気力の
ゲージ結合定数

$$e = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \cos 30^\circ = \frac{1}{2} \times \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\frac{3}{32}} = 0.306$$

重力の
ゲージ結合定数

$$g_G = \cos 45^\circ \times \cos 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{2}} \times \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{\frac{3}{8}} = 0.613$$

重力子には、裏と表がありません。
 光子の結合定数から $1/2$ の項だけを取り除きます。

重力のゲージ結合定数を推測しましょう。
 遠距離で働く力の電磁気力を参考にします。
 電磁気力の結合定数では、 $1/2$ を掛けています。
 逆向きの光子は力を媒介できないと考えたからです。
 重力子には、裏と表がありません。
 光子の結合定数から $1/2$ の項だけを取り除きます。
 これで、重力のゲージ結合定数が推測できました。

重力

プランクスケール

重力の強さが、ゲージ結合定数1相当になるスケール

プランク長さ $l_P = \sqrt{\frac{\hbar G}{c^3}} = 1.616 \times 10^{-35} m$

重力の強さが、ゲージ結合定数 g_G 数相当になるスケール

重力長さ $l_G = \frac{l_P}{g_G} = \sqrt{\frac{8}{3}} l_P = \sqrt{\frac{8\hbar G}{3c^3}} = 2.639 \times 10^{-35} m$

プランクスケールについて説明します。
 重力の強さが、ゲージ結合定数1相当になるスケールです。
 ですが、1ではない重力のゲージ結合定数を推定できました。
 重力の強さが、先ほど求めたゲージ結合定数相当になるスケールも求めてみましょう。
 長さのスケールは、「プランク長さ」を結合定数で除算すれば求まります。
 この長さを、「重力長さ」と呼ぶことにしましょう。

重力

ヒッグススケール

ヒッグス粒子の
コンプトン波長

$$\lambda_H = \frac{h}{M_H c} = 9.903 \times 10^{-18} m$$

ヒッグス長さ

$$l_H = \frac{\lambda_H}{2\pi} = \frac{\hbar}{M_H c} = 1.576 \times 10^{-18} m$$

階層性

$$\begin{matrix} l_H & & \gg & & l_P, (l_G) \\ 10^{-18} m & & & & 10^{-35} m \end{matrix}$$

重力のスケールのみ、他の力のスケールとかけ離れています。
階層性問題と呼ばれます。
ヒッグス粒子のスケールを計算してみましょう。
ヒッグス粒子のコンプトン波長を 2π で割ります。
これを、ヒッグス長さと呼ぶことにしましょう。

重力

神のサイコロ (2)

階層性は、数値比が大きすぎて、説明する手掛かりがありません。
一旦、神の力を借りさせてください。
もう一回だけ、神のサイコロを振ります。



$$\ln W = 40.5$$

数値が大きすぎるので、自然対数にしました。

後から、この数値を説明可能になりましたら、サイコロは返納いたします。

階層性は、数値比が大きすぎて、説明する手掛かりがありません。
一旦、神の力を借りさせてください。
もう一回だけ、神のサイコロを振ります。
サイコロの目は、40.5と出ました。
数値が大きすぎるので、自然対数にしました。
後から、この数値を説明可能になりましたら、サイコロは返納いたします。

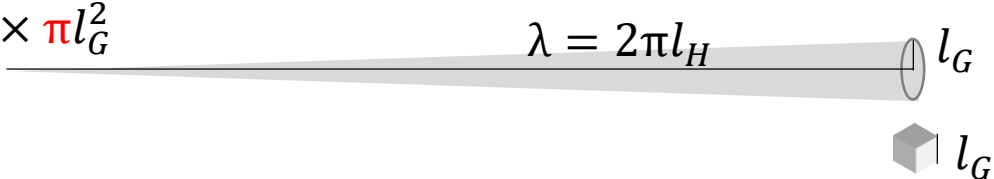
重力

階層性

$$\frac{l_H}{l_G} = 5.972 \times 10^{16}$$

$$W \approx \frac{2}{3} \pi^2 \times \frac{l_H}{l_G} = 3.929 \times 10^{17} \quad \ln \left(\frac{2}{3} \pi^2 \times \frac{l_H}{l_G} \right) = 40.512$$

サイコロで決めたWは、これに合わせたものです。

$$W \approx \frac{V_W}{V_G} \quad V_W = \frac{2\pi}{3} l_H \times \pi l_G^2 \quad \lambda = 2\pi l_H \quad V_G = l_G^3$$


Wは、高さ方向だけインフレーションした円錐と立方体の体積比です。

階層性を計算してみましょう。
 ヒッグス長さと重力長さの比を見れば良いでしょう。
 ですが、あえて2/3と π の2乗を掛けます。
 サイコロで決めたWは、これに合わせたものです。
 Wは、高さ方向だけインフレーションした円錐と立方体の体積比です。

重力

美しい力の統一

宇宙の初期には、4つの力は統一されていた？

4つの力の強さはが同じで区別できませんでした。
力は1種類で十分だけど、4つ重複していました。
冗長性は、言い換えれば無駄です。

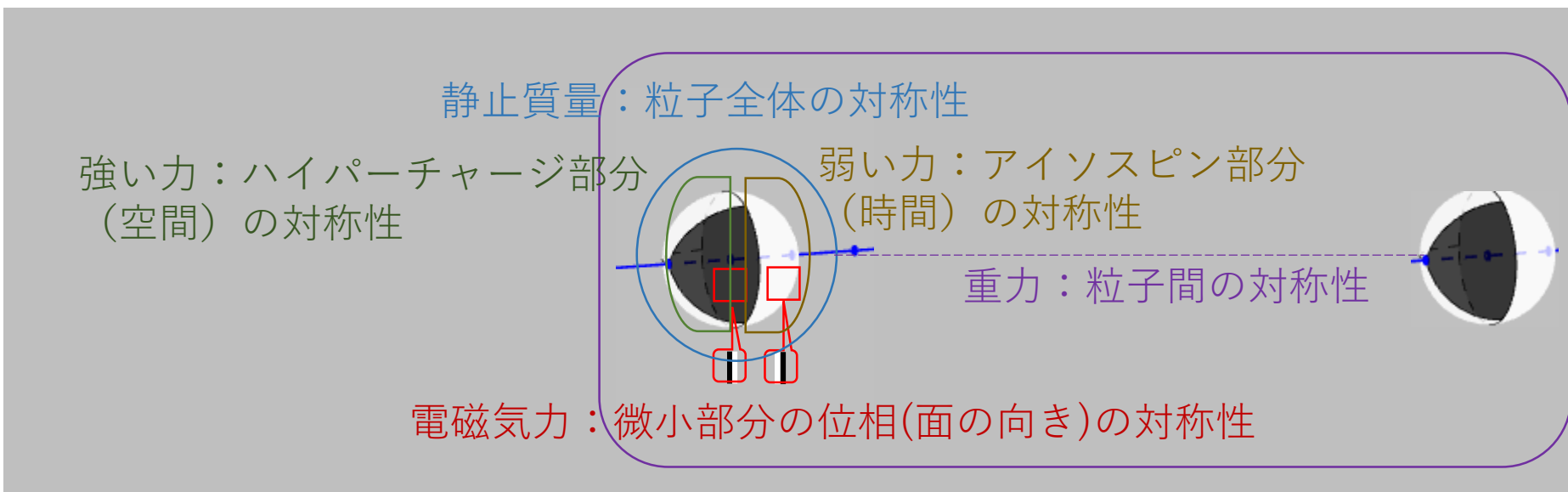
力の強さが同じという意味での統一：美しくない

同じ原理で説明できるという意味での統一：美しい

力の統一について考えましょう。
宇宙の初期には、4つの力は統一されていたと予想されています。
なぜなら、統一されていた方が美しいからです。
4つの力の強さはが同じで区別できませんでした。
力は1種類で十分だけど、4つ重複していました。
冗長性は、言い換えれば無駄です。
それを美しいと言ってよいのでしょうか？
力の強さが同じという意味での統一は美しくありません。
同じ原理で説明できるという意味での統一が美しいのです。

重力

力の元となる対称性



すべての力に、重複も不足もありません。
各階層での対称性に対して、異なる力があります。

すべての力には、元になる対称性があります。
電磁気力は、微小な面の向きの対称性に働きます。
強い力は粒子のハイパーチャージ部分の対称性に働きます。
弱い力は粒子のアイソスピン部分の対称性に働きます。
質量は、粒子全体の対称性に働きます。
重力は、粒子間の対称性に対して働きます。
すべての力に、重複も不足もありません。
各階層での対称性に対して、異なる力があります。

重力

量子

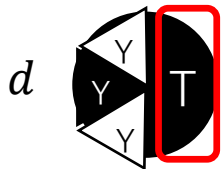
力	量子 (力が働く単位)
電磁気力	電荷
強い力	ハイパーチャージ
弱い力	アイソスピン
静止質量	ハイパーチャージ、アイソスピン、世代
重力	エネルギー

力には、対応する量子があります。
量子は、力が働く単位です。
電磁気力、強い力、弱い力の量子は、電荷とハイパーチャージとアイソスピンです。
静止質量は、ハイパーチャージとアイソスピンと世代で決まります。
重力に対応する量子は、エネルギーです。

重力

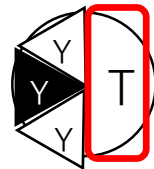
局所ゲージ変換

$$T = -1/2$$



量子を一つだけ変更する

u



W^-

$$T = +1/2 + +1 = -1/2$$



uクォークとW-ボソンのアイソスピンの合計は、dクォークから変化していません。
量子が不変になるように、ゲージ粒子が現れるからです。

局所ゲージ変換について説明します。

量子を一つだけ変更します。

ここでは、ある一つの粒子のアイソスピンを変更します。

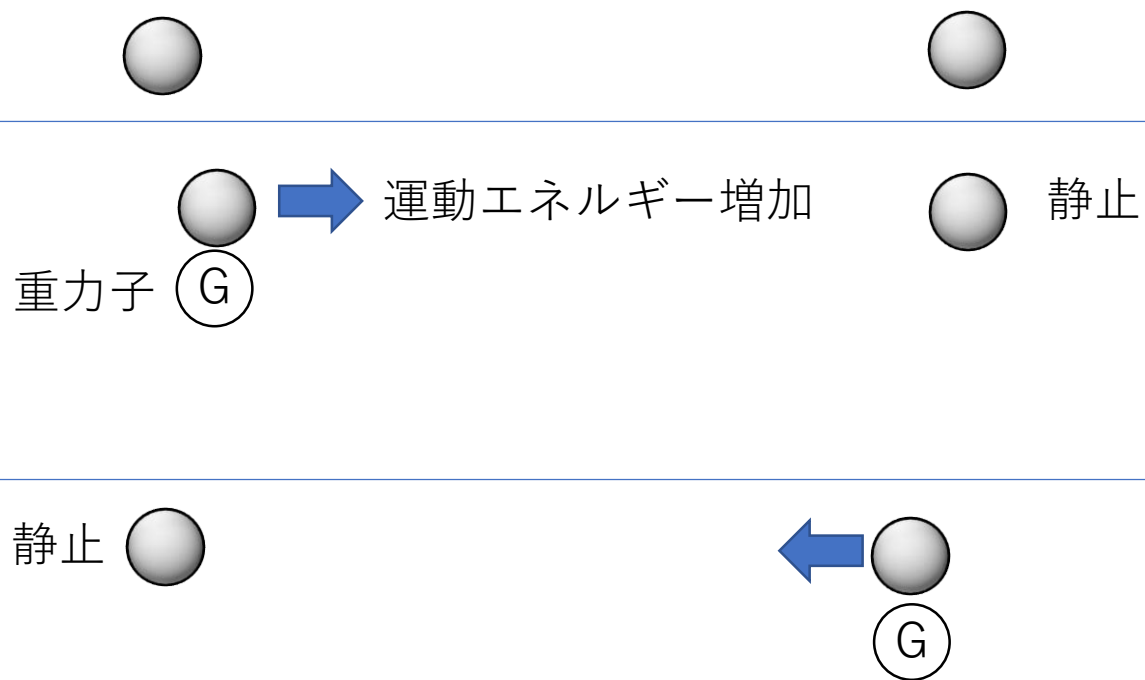
dクォークがuクォークに変わると、W-ボソンが発生します。

uクォークとW-ボソンのアイソスピンの合計は、dクォークから変化していません。

量子が不変になるように、ゲージ粒子が現れるからです。

重力

重力の局所ゲージ変換 (1)



逆から見ると、矛盾する

重力の局所ゲージ変換を考えてみましょう。
 運動エネルギーについて考えます。
 ある粒子の運動エネルギーのみを増加するように変更したとします。
 エネルギーの合計が不変になるように、重力子が現れます。
 しかし、相対的に考えると矛盾が発生します。
 右の粒子から見れば、左の粒子が運動量が増加したように見えます。
 逆に、左の粒子から見れば、右の粒子の運動量が増加したように見えるからです。
 どちらの粒子から、どれだけ重力子が発生するのか決められません。

重力

エネルギー

位置エネルギー + 運動エネルギー = 合計エネルギー (保存)

異なる概念を足し合わせたものが、基本的な物理量のはずがありません。

そもそも、エネルギーは目に見える量ではありません。

実際には、エネルギーによって、粒子の位置が変わって見えるだけです。

本質的に、エネルギーが一定ということは、

空間のスケールが一定だということです。

エネルギーは、粒子の性質ではなく、空間の性質です。

そもそもエネルギーとは何なのでしょう？

位置エネルギーと運動エネルギーの合計は保存します。

ですが、異なる概念を足し合わせたものが、基本的な物理量のはずがありません。

そもそも、エネルギーは目に見える量ではありません。

実際には、エネルギーによって、粒子の位置が変わって見えるだけです。

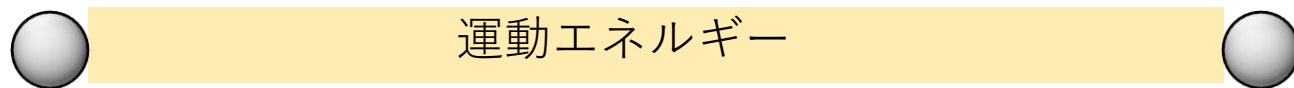
本質的に、エネルギーが一定ということは、空間のスケールが一定だということです。

エネルギーは、粒子の性質ではなく、空間の性質です。

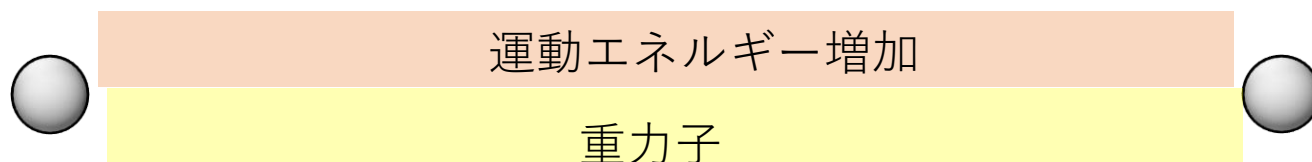
重力

重力の局所ゲージ変換 (2)

運動エネルギーは、2粒子間の空間が持つ性質です。



運動エネルギーを増加させることは、空間を変化させることです。
変化を打ち消すように現れる重力子は、その空間から現れる空間です。



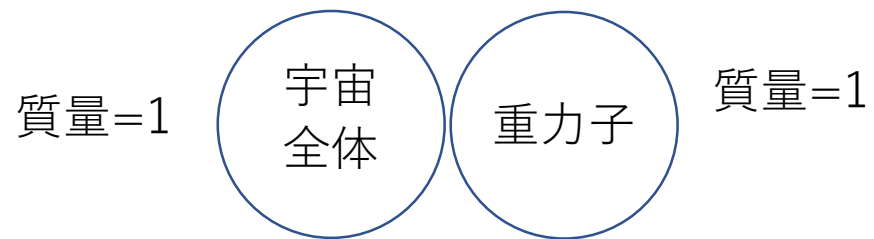
エネルギーによって空間が変化するというのは、一般相対性理論そのものです。
重力子を空間としてではなく、粒子として解釈することもできます。

もう一度、重力の局所ゲージ変換について考えます。
運動エネルギーは、2粒子間の空間が持つ性質です。
二つの粒子がそれぞれ独立した量を持つように定義できません。
運動エネルギーを増加させることは、空間を変化させることです。
変化を打ち消すように現れる重力子は、その空間から現れる空間です。
エネルギーによって空間が変化するというのは、一般相対性理論そのものです。
重力子は、粒子から現れる粒子ではありません。
ただし、粒子は空間の一種として解釈できます。
逆に、重力子を空間としてではなく、粒子として解釈することもできます。

重力

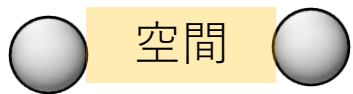
重力の量子化 (1)

重力子によって媒介されるエネルギーの最小単位があるはずです。



宇宙は無限大なので困ります。

最小単位の
宇宙



この宇宙は、最小単位の宇宙が無限に集合しているだけ
だと考えましょう。

最小単位の宇宙は、2粒子とその間の空間です。
2粒子間のエネルギーだけを考えれば良いでしょう。

重力の量子化を試みましょう。
重力子によって媒介されるエネルギーの最小単位があるはずです。
例えば、宇宙全体の質量を1としてみましよう。
重力子は質量1を運ぶとすれば、量子化できたといえます。
ですが、宇宙の大きさが無限大だと困ってしまいます。
この宇宙は、最小単位の宇宙が無限に集合しているだけだと考えましょう。
最小単位の宇宙は、2粒子とその間の空間です。
2粒子間のエネルギーだけを考えれば良いでしょう。

重力

重力の量子化 (2)

重力と電磁気力に共通の性質

- ・ 距離が離れるほど力が弱くなる。

電磁気力では、波が強め合うように干渉することで
引力が働くと解釈しました。

➡ 距離が離れるほど、波が希釈される。

重力のみの性質

- ・ エネルギーが大きいほど強くなる。

波長が長くなるほど、力が弱くなります。

➡ 波長が長くても、波が希釈される。

重力の強さとエネルギーの関係について考えてみましょう。

まず、重力と電磁力に共通する性質として、距離が離れるほど力が弱くなります。

電磁気力では、波が強め合うように干渉することで引力が働くと解釈しました。

距離が離れるほど、波が希釈されます。

また重力のみの性質として、エネルギーが大きいほど強くなります。

波長が長くなるほど、力が弱くなります。

波長が長くても、波が希釈されます。

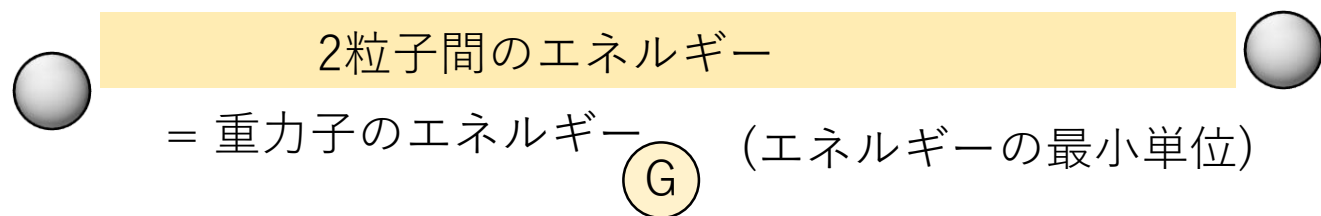
重力

重力の量子化 (3)

エネルギーが小さくほど、重力子は希釈されると考えます。

エネルギーが同じでなければ、重力子も同じではないということです。

重力子が運ぶ、エネルギーの最小単位も、同じでなくてよいのです。



エネルギーの最低単位は、2粒子間のエネルギーと等しいとしてよいのです。

2粒子間の空間が持つエネルギーと、重力子が持つエネルギーが等しくなります。

これは単純に、空間を粒子として解釈し直しただけと考えれば、違和感ないでしょう。

エネルギーが小さくほど、重力子は希釈されると考えます。

エネルギーが同じでなければ、重力子も同じではないということです。

重力子が運ぶ、エネルギーの最小単位も、同じでなくてよいのです。

エネルギーの最低単位は、2粒子間のエネルギーと等しいとしてよいのです。

2粒子間の空間が持つエネルギーと、重力子が持つエネルギーが等しくなります。

これは単純に、空間を粒子として解釈し直しただけと考えれば、違和感ないでしょう。

重力

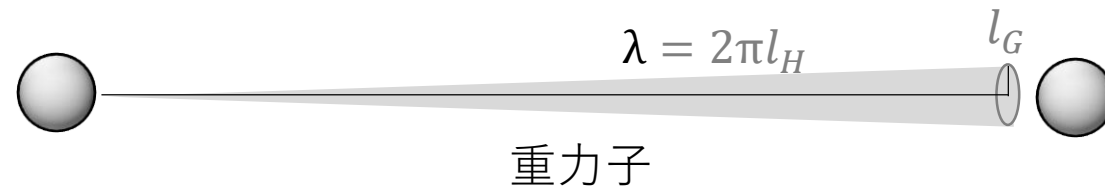
重力の量子化 (4)

重力は、波長に合わせて希釈されて弱くなります。

重力子は、波長の長さに引き伸ばされていると考えられます。

波長の1乗で、重力は弱まります。

重力子は、2粒子間で、1軸インフレーションしているとイメージできます。



$$W = \frac{V_W}{V_G}$$



階層性Wの計算で、1軸インフレーションした円錐の体積比を使ったのは、このためです。

重力は、波長に合わせて希釈されて弱くなります。

重力子は、波長の長さに引き伸ばされていると考えられます。

波長の1乗で、重力は弱まります。

重力子は、2粒子間で、1軸インフレーションしているとイメージできます。

円柱形だけど、1次元の成分だけ見れば、体積は1/3になります。

重力子の体積は、円錐形で表されます。

階層性Wの計算で、1軸インフレーションした円錐の体積比を使ったのは、このためです。

エントロピー

エントロピー

熱力学的
エントロピー

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

統計力学的
エントロピー

$$S = k_B \ln W$$

状態数 W = 階層性パラメータ W
と解釈する

エネルギー等分配
の法則

$$Q = \frac{1}{2} N k_B T$$

エネルギーは、運動の自由度 N に、等分配される
(例えば、 X, Y, Z 方向へ運動可能なら、 $N=3$)

自由度 $N = 2 \ln W = 81$

k_B : ボルツマン定数 = 1
(自然単位系)

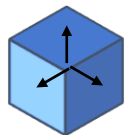
エントロピーについて考えます。
熱力学的エントロピーと統計力学的エントロピーがあります。
ここで、状態数 W は、階層性パラメータと同じだと解釈します。
また、エネルギー等分配の法則というのがあります。
エネルギーは、運動の自由度 N に、等分配されます。
例えば、 X, Y, Z 方向へ運動可能なら、 $N=3$ になります。
ボルツマン定数は、自然単位系では1になります。
自由度 N を計算すると、81 になりました。

エントロピー

自由度 (1)

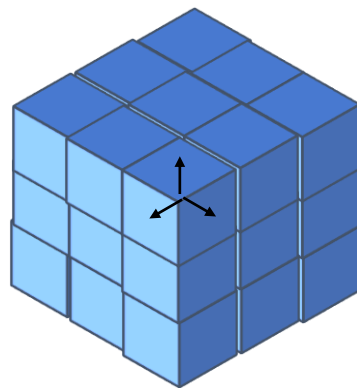
自由度

$$N = 3$$



3次元

階層性の創造



$$N = 3 \times 3^3 = \mathbf{81}$$

81次元

3次元方向に、それぞれ3分割され、27個になりました。
一つ辺りの自由度が3なので、全部で自由度81になりました。

自由度81を解釈してみましょう。
まず、3次元空間には、自由度が3あります。
階層性が創造された後は、右図のようになりました。
3次元方向に、それぞれ3分割され、27個になりました。
一つ辺りの自由度が3なので、全部で自由度81になりました。

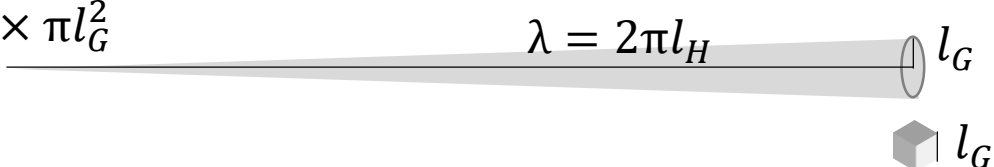
エントロピー

自由度 (2)

Wは、重力子を表す高さ方向だけインフレーションした円錐と立方体の体積比です。

$$W = \frac{V_W}{V_G}$$

$$V_W = \frac{2\pi}{3} l_H \times \pi l_G^2$$

$$V_G = l_G^3$$


The diagram illustrates the volumes used in the calculation of W. It shows a cone with a height labeled $\lambda = 2\pi l_H$ and a base radius labeled l_G . Below the cone, a cube is shown with a side length labeled l_G .

円錐の中に立方体が1つある場合の、状態数がWです。

この状態数Wが、自由度N=81によって決まります。

質量が小さく波長が長いほど、重力子が引き伸ばされて弱くなります。

質量が同じでも、自由度が大きいほど、重力子は引き伸ばされます。

Wと重力の強さの関係を振り返ります。

Wは、重力子を表す高さ方向だけインフレーションした円錐と立方体の体積比です。

円錐の中に立方体が1つある場合の、状態数がWです。

この状態数Wが、自由度N=81によって決まります。

質量が小さく波長が長いほど、重力子が引き伸ばされて弱くなります。

質量が同じでも、自由度が大きいほど、重力子は引き伸ばされます。

エントロピー

状態数とエネルギー

階層性 W : 数の比率

熱力学的 エントロピー	$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$ 熱量 温度 ボルツマン定数	$Q = T k_B \ln W$
統計力学的 エントロピー		
	$S = k_B \ln W$ 状態数	↓ 温度 $T = \text{一定}$ と仮定 $Q \propto \ln W$

熱エネルギーは、**状態数の対数**に比例する。

階層性 W は、状態数を表すと解釈する

階層性 **$\ln W$** : エネルギー比率

階層性 W は、数の比率と考えてきました。
 エネルギーの比率では、どうなるでしょうか？
 熱力学と統計力学におけるエントロピーの式を示しました。
 二つの式を合わせて、熱量 Q と状態数 W の関係式にします。
 温度は一定と仮定します。
 熱エネルギーは、状態数の対数に比例することがわかりました。
 そこで、階層性 W は、状態数を表すと解釈します。
 すると、 W の対数はエネルギーの比率と考えることができます。

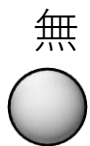
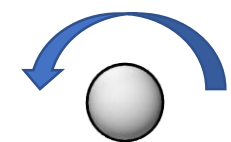
宇宙

宇宙の始まり (1)

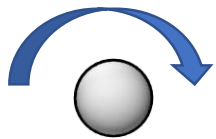
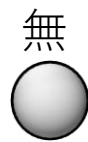
まず、「有」を「無」と区別するため、回転が必要でした。
回転するために、三次元の空間と、一次元の時間を作りました。



「有」として、左回転する空間を作りました。
ですが、比較対象がないと、回転しているといえません。



比較用に、「無」として、無回転の空間を作りました。

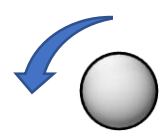


逆から見ると、無回転だった方が、
右回転しているように見えてしまいます。
どちらが、「有」なのか分かりません。

ここからは、神の視点で、宇宙の始まりを考えていきましょう。
まず、「有」を「無」と区別するため、回転が必要でした。
回転するために、三次元の空間と、一次元の時間を作りました。
「有」として、左回転する空間を作りました。
ですが、比較対象がないと、回転しているといえません。
比較用に、「無」として、無回転の空間を作りました。
ここで、問題が発生します。
逆から見ると、無回転だった方が、右回転しているように見えてしまいます。
どちらが、「有」なのか分かりません。

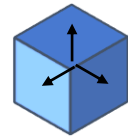
宇宙

宇宙の始まり (2)

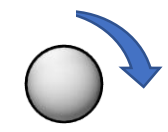


自由度

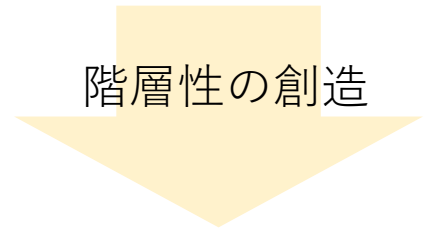
$$N = 3$$



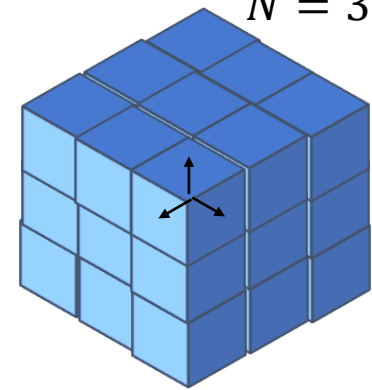
二つは対称なので、
どちらが「有」なのか
区別できない



階層性の創造



$$N = 3 \times 3^3 = 81$$



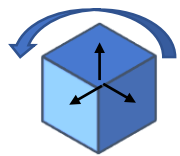
二つは非対称になり、
区別可能になった。

また、左に半回転と、右に半回転しているようにも見えます。
二つは対称なので、どちらが「有」なのか区別できません。
そこで神は、片方だけに階層性を創造しました。
二つは非対称になり、区別可能になりました。
二人は末永く幸せに暮らしました。

宇宙

宇宙の始まり (3)

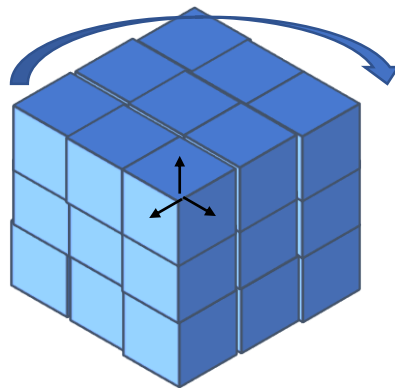
二つの粒子の長さや質量は、自然単位としてのヒッグス粒子が基準になります。



自由度： $N = 3$

長さ： $l_H = \frac{\hbar}{M_H c} = 1.576 \times 10^{-18} m$

インフレーションしたヒッグス体積： $\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3 = 0.9585 m^3$



$$N = 81$$

$$W = \exp\left(\frac{81}{2}\right) = 3.881 \times 10^{17}$$

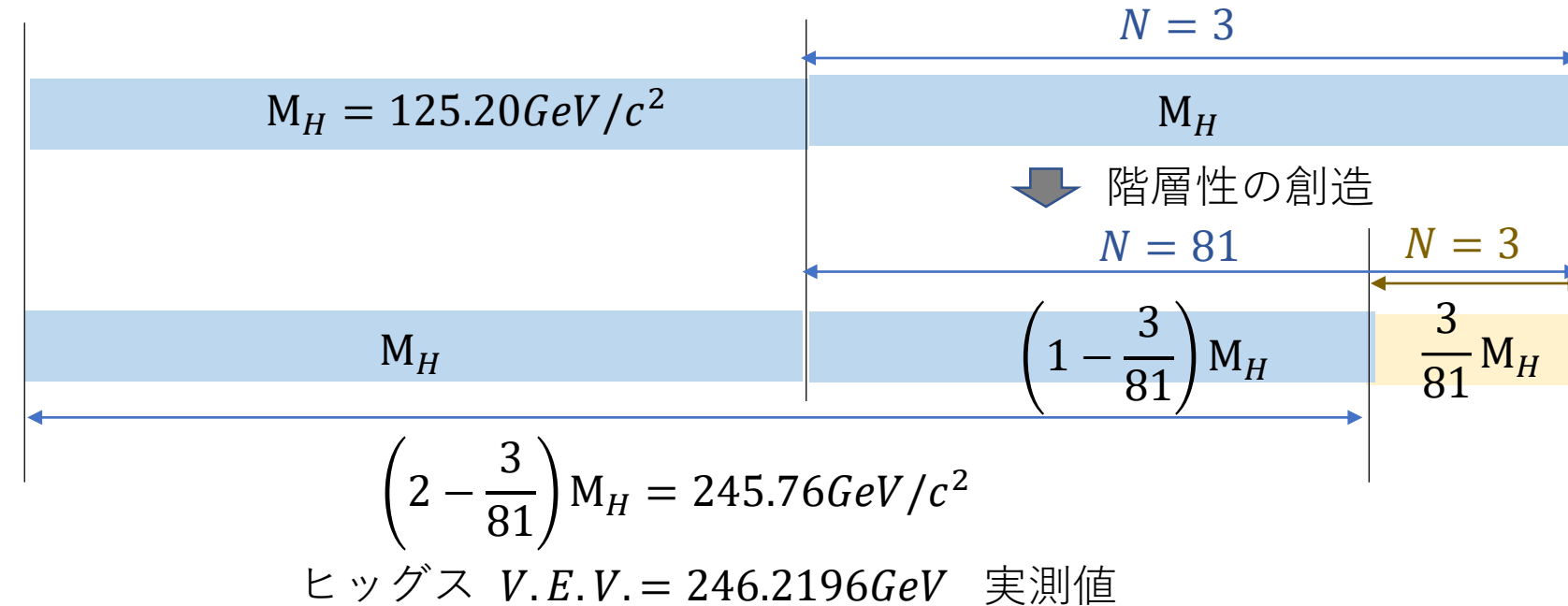
$$W l_H = 0.6117 m$$

二つの粒子の性質を比較します。
 自由度は、1と81になりました。
 二つの粒子の長さや質量は、ヒッグス自然単位が基準になります。
 長さの比は、81の半分の指数になります。
 インフレーションしたヒッグス体積が計算できます。
 また、互いに逆回転しています。

宇宙

ヒッグス真空期待値 (V.E.V.)

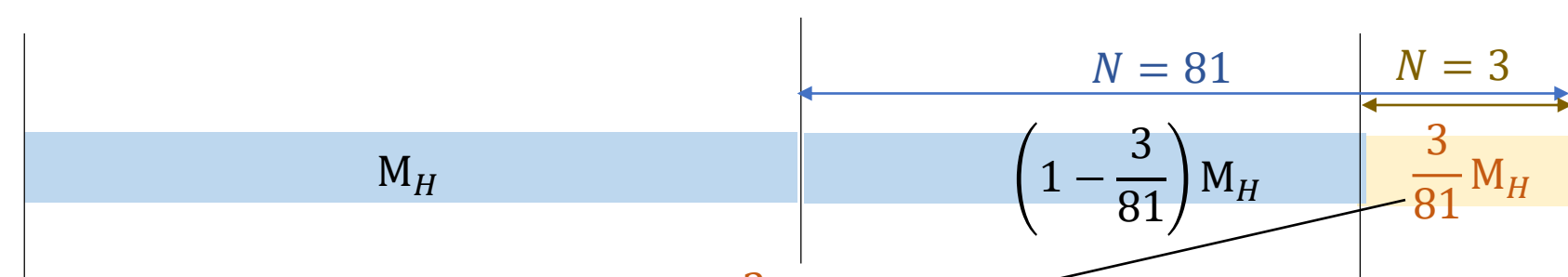
初めに、真空にはヒッグス粒子2つ分のエネルギーがあったとします。



宇宙創造時にヒッグス粒子がどうなったのか考えていきます。
 初めに、真空にはヒッグス粒子2つ分のエネルギーがあったとします。
 片方のみインフレーションして、階層性が創造されました。
 自由度が3から81に増加しました。
 自由度3に相当するエネルギーは、真空ではないものに変化しました。
 残りの部分は、真空として残りました。
 その残った真空のエネルギーが、ヒッグス真空期待値と呼ばれるものになりました。
 実測値でも、ヒッグス粒子2つ分より、僅かに小さいエネルギーになっています。

宇宙

臨界密度



標準臨界密度

$$\rho_s = \frac{\frac{3}{81} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3} = 8.62 \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

インフレーションしたヒッグス体積

$$\rho_{crit} = \frac{3H_0^2}{8\pi G} = 8.53(13) \text{ or } 10.01(28) \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

臨界密度

$$H_0 = 67.4(6) \text{ or } 73.0(10) \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

ハッブル定数

実測値

現在の臨界密度は、基準臨界密度に近いようです。

真空から変化したものがどうなったのか考えましょう。

真空から変化した分の質量をインフレーションしたヒッグス体積で割ったものを、基準臨界密度とします。

現在の臨界密度の実測値は2つあります。

それは、ハッブル定数の実測値が、測定方法によって2つに割れているからです。

現在の臨界密度は、基準臨界密度に近いようです。

宇宙

宇宙のインフレーション

ヒッグス粒子



宇宙のインフレーション



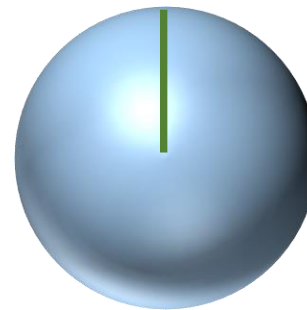
$$l_H = \frac{\hbar}{M_H c} = 1.576 \times 10^{-18} m$$

$$t_H = \frac{l_H}{c} = 5.257 \times 10^{-27} s$$

$$M_H = 125.2 GeV/c^2$$

$$t_H \times M_H c^2 = \hbar$$

$$t \leq t_H$$



$$\exp\left(\frac{81}{2}\right) l_H = 0.6117 m$$

インフレーション後の大きさは、典型的なインフレーション模型と同じくらいです。

不確定性原理によって、真空の揺らぎからエネルギーを借りて、ヒッグス粒子は存在しました。

言い換えると、この宇宙は仮想粒子です。

宇宙のインフレーションについて説明します。

初めにヒッグス粒子がありました。

ヒッグス時間は、ヒッグス長さを光速で割ったものです。

ヒッグス時間とヒッグスエネルギーを掛けると換算プランク定数になります。

つまり、不確定性原理によって、真空の揺らぎからエネルギーを借りて、ヒッグス粒子は存在しました。

言い換えると、この宇宙は仮想粒子です。

宇宙のインフレーションにいて、ヒッグス長さが大きくなりました。

インフレーション後の大きさは、典型的なインフレーション模型と同じくらいです。

宇宙

宇宙の終わり

宇宙は、真空から借りたエネルギーで存在してることを思い出してください。
 借りたものは、必ず返さなければなりません。
 返済が終われば、宇宙は無に還ります。

真空のゆらぎ

標準ハッブル時間 $H_s^{-1} = \frac{\hbar}{\frac{80\pi^2}{729W^{2.5}} M_H c^2} = 1.44 \times 10^{10} \text{year}$
 返済期限

インフレーションで減額された、借用エネルギー $1.38 \times 10^{10} \text{year}$
 現在の宇宙年齢

そろそろ、借りた真空のエネルギー返して！

エネルギー保存則があるので、返済できません

気が進みませんが、宇宙の終わりについて考えなければなりません。
 宇宙は、真空から借りたエネルギーで存在してることを思い出してください。
 借りたものは、必ず返さなければなりません。
 返済が終われば、宇宙は無に還ります。
 ハッブル時間は、プランク定数を、借りたエネルギーで割った値です。
 その144億年が、返済期限です。
 今は138億年なので、そろそろ返済しなければなりません。
 ですが、エネルギー保存則があるので、返済できません。

宇宙

宇宙の膨張



真空のエネルギーを返済してくれないなら、
物価をインフレーションさせて、
エネルギーの価値を下げます！

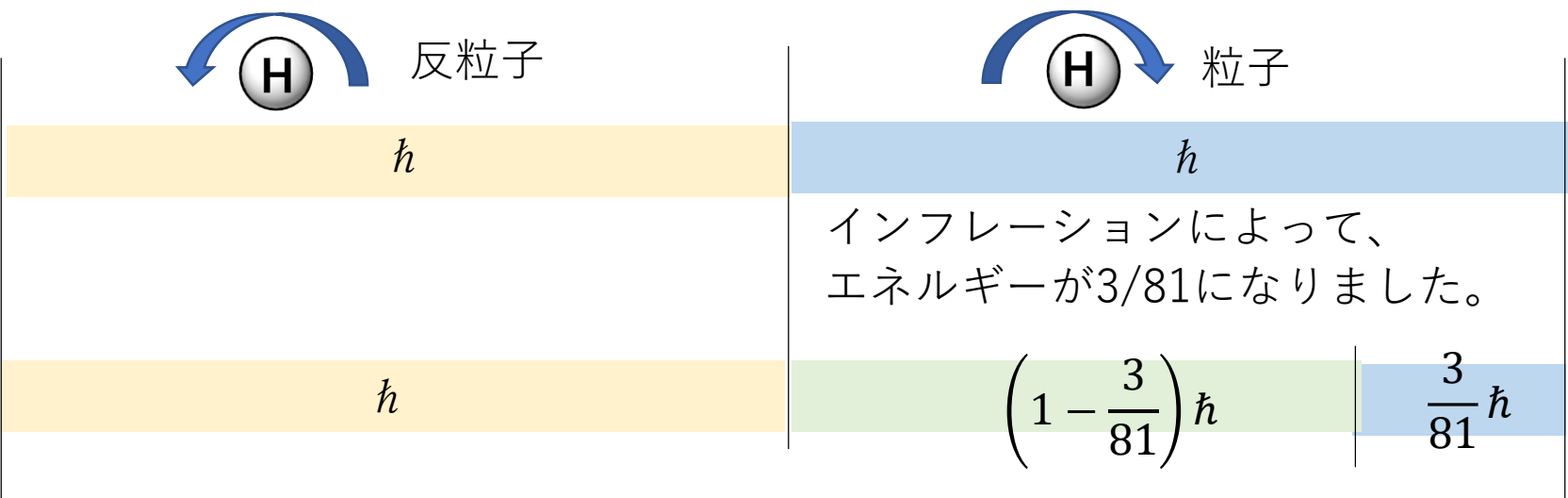
宇宙を膨張させれば、光の波長が伸びてエネルギーが減ります。
また、遠くに行くのが大変になり、実質的にエネルギーが価値が下がります。
粒子間距離が無限大になれば、エネルギーの価値は0になり、膨張も0になります。

宇宙が平坦になるように膨張しているのは、
ピッタリ返済するように調節されているからです。

神は考えました。
真空のエネルギーを返済してくれないなら、物価をインフレーションさせて、エネルギーの価値を下げます！
宇宙を膨張させれば、光の波長が伸びてエネルギーが減ります。
また、遠くに行くのが大変になり、実質的にエネルギーが価値が下がります。
粒子間距離が無限大になれば、エネルギーの価値は0になり、膨張も0になります。
宇宙が平坦になるように膨張しているのは、ピッタリ返済するように調節されているからです。

真空のエネルギーの減少

真空のゆらぎから、
エネルギーを借りました。

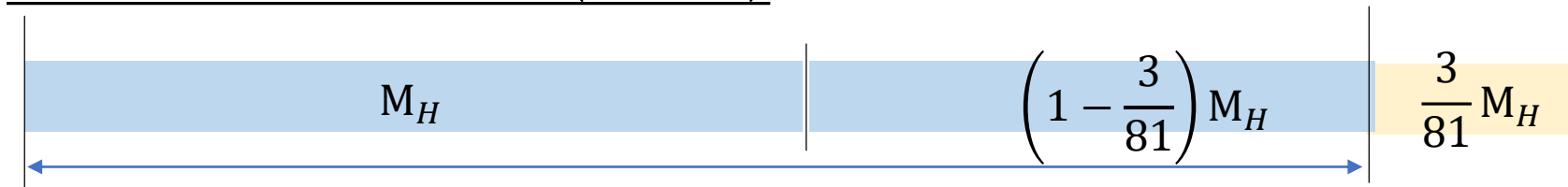


3/81のエネルギーが借りっぱなしになっているので、
新たに真空から借りられるエネルギーが減りました。

なぜ、ヒッグス真空期待値が小さくなったのか説明します。
インフレーションを起こした粒子は、真空のゆらぎから、エネルギーを借りました。
インフレーションによって、エネルギーが3/81になりました。
3/81のエネルギーが借りっぱなしになっているので、新たに真空から借りられるエネルギーが減りました。

宇宙

ヒッグス真空期待値 (V.E.V.)



$245.76 \text{ GeV}/c^2$ 理論値

$246.22 \text{ GeV}/c^2$ 実測値

ヒッグス V.E.V.の実測値は、理論値より、やや小さくなっています。
部分的に真空エネルギーの返済が完了したためと考えられます。

$$\text{ヒッグス } V.E.V. = \left(2 - \gamma \frac{3}{81} \right) \times 125.20(\pm 0.11) \text{ GeV} = 246.2196 \text{ GeV} \quad \text{実測値}$$

$$\text{借金率 } \gamma = 90.2(\pm 4.7)\%$$

ヒッグス真空期待値について、もう一度見てみましょう。
ヒッグス V.E.V.の実測値は、理論値より、やや小さくなっています。
部分的に真空エネルギーの返済が完了したためと考えられます。
借金率 β というパラメータを導入します。
実測値から、現在の借金率 γ を計算します。
現在、約90%の借金が残っているようです。

宇宙

ハッブルテンション

ハッブル定数は宇宙の膨張速度ですが、実測値が二つに対立しています。

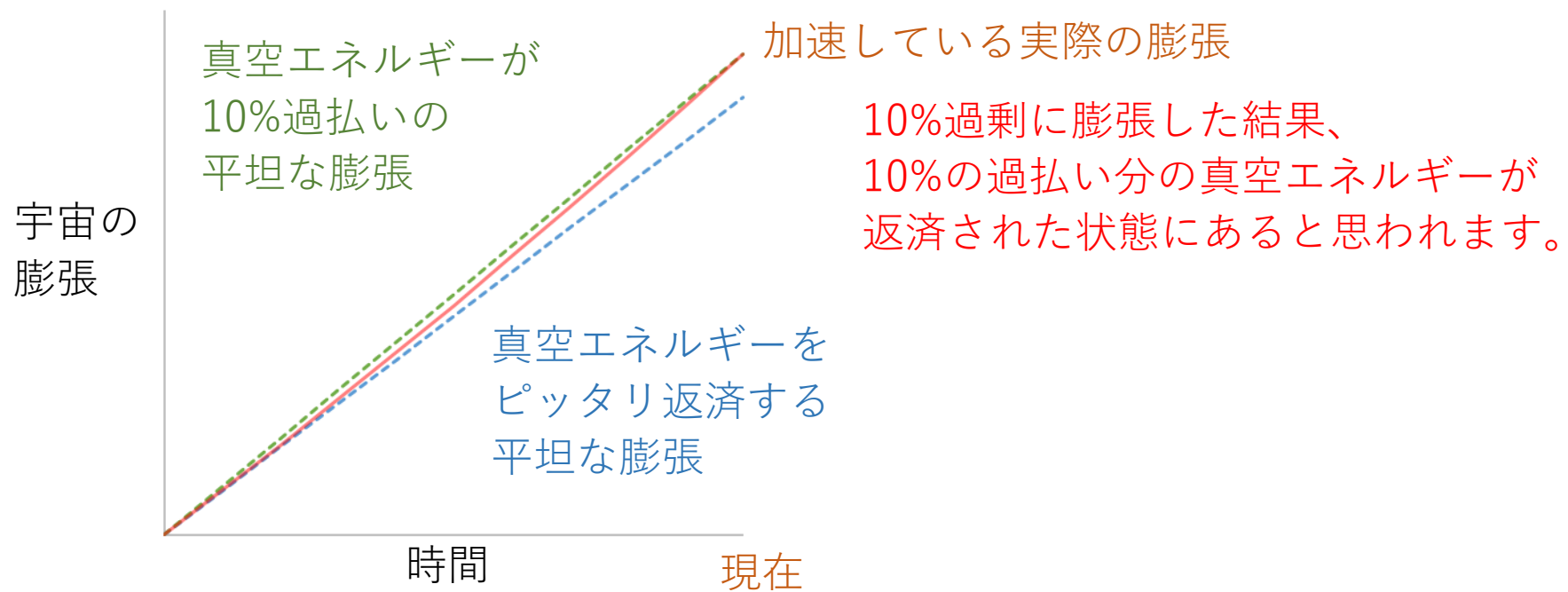
$$\frac{\begin{array}{c} \text{初期宇宙} \\ 67.4 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{後期宇宙} \\ 73.0 \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1} \end{array}} = \frac{\begin{array}{c} \text{後期宇宙} \\ 1.339 \times 10^{10} \text{ year} \end{array}}{\begin{array}{c} \text{初期宇宙} \\ 1.451 \times 10^{10} \text{ year} \end{array}} = \textcolor{red}{92.3\%}$$

初期ダークエネルギーといって、
初期のみ存在するダークエネルギーがあったとする仮説があります。
初期ダークエネルギーの量が10%程度だと、実測と合うようです。
これは、借金率 γ の10%と関係がありそうです。

ハッブルテンションについて説明します。
ハッブル定数は宇宙の膨張速度ですが、実測値が二つに対立しています。
それぞれ、初期宇宙と後期宇宙を元に計算されています。
ハッブル時間の比としても表現できます。
後期宇宙のハッブル時間は、初期宇宙の約92%です。
測定誤差ではなく、実際に何かが変化していると考えられます。
初期ダークエネルギーといって、初期のみ存在するダークエネルギーがあったとする仮説があります。
初期ダークエネルギーの量が10%程度だと、実測と合うようです。
これは、借金率 γ の10%と関係がありそうです。

宇宙

過剰な膨張 (1)



宇宙の膨張をグラフで表しました。
横軸が時間で、縦軸は宇宙の膨張です。
真空エネルギーをピッタリ返済する平坦な膨張は、直線になります。
実際の宇宙の膨張は加速しているようです。
現在では、真空エネルギーが10%過払いの場合の膨張に近くなっていると思われます。

宇宙

微細構造定数

真空エネルギーの減少により、相互作用も弱くなると考えられます。

ゲージ結合
定数

$$e = \left(1 - \gamma \frac{1}{81}\right) \times \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \cos 30^\circ$$

微細構造
定数

$$\alpha^{-1} = \frac{4\pi}{e^2} = 137.05999177(21) \quad \text{実測値}$$

借金率 $\gamma = 88.9954699(6)\%$

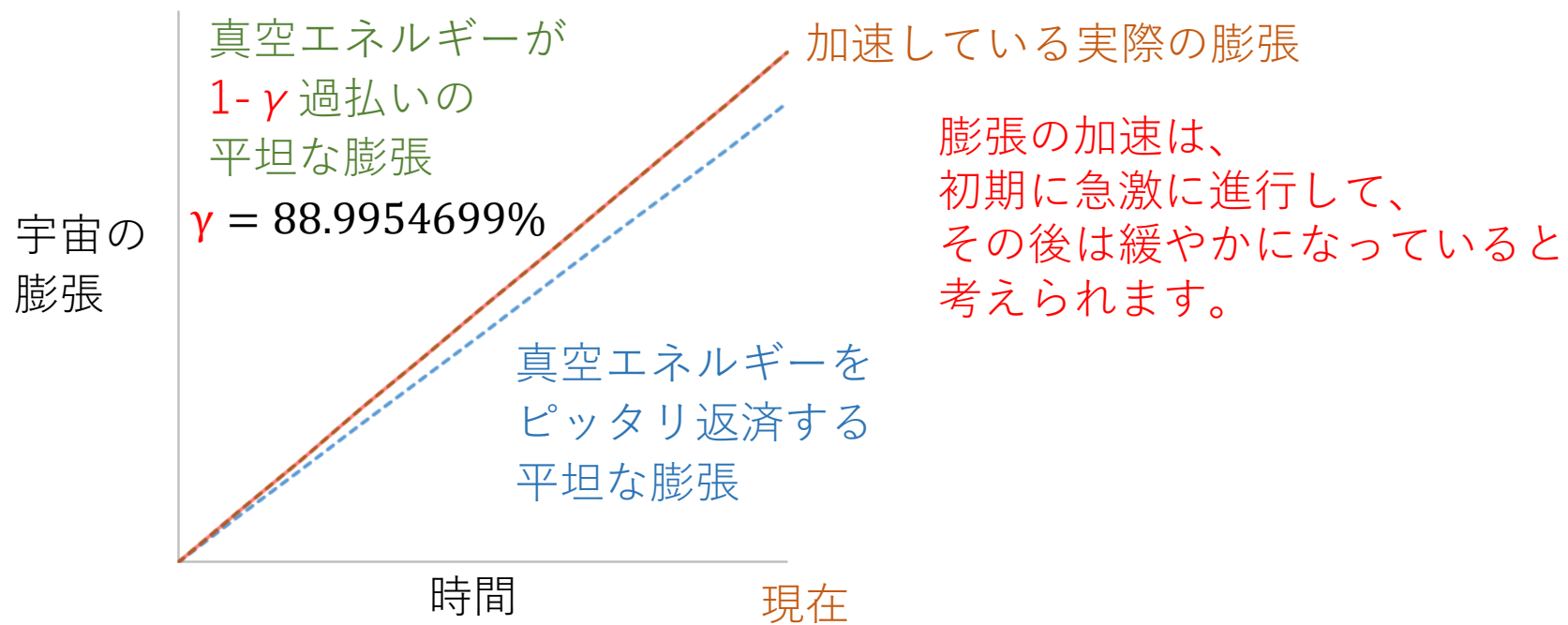
微細構造定数は、借金率によって変わる変数です。

微細構造定数について考えます。
真空エネルギーの減少により、相互作用も弱くなると考えられます。
微細構造定数の実測値から、借金率を計算しました。
借金率は、約89%で、高精度な数値が得られました。
微細構造定数は、借金率によって変わる変数です。

宇宙

過剰な膨張 (2)

観測によると、微細構造定数はほとんど変化していないようです。



宇宙の膨張のグラフを修正します。
 観測によると、微細構造定数はほとんど変化していないようです。
 膨張の加速は、初期に急激に進行して、その後は緩やかになっていると考えられます。
 後期宇宙では、ほぼ直線になり、微細構造定数もほぼ一定になっていると思われます。
 現在どれだけ過剰に膨張しているのかは、微細構造定数から精密に予測できます。

宇宙

第二次インフレーション

ヒッグス V.E.V.

$$\frac{M_H + \left\{1 - \frac{3}{81}\right\} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}$$

標準臨界密度

$$\frac{\frac{3}{81} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}$$

借金率 γ

↓ 第二次インフレーション

$$\frac{M_H + \left\{1 - \gamma \frac{3}{81}\right\} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}$$

$$\frac{\gamma \frac{3}{81} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3} = \frac{\frac{3}{81} M_H}{\gamma \frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}$$

初期ダークエネルギーが、
ヒッグスV.E.V.へ返済された。

宇宙の体積が増加、
または質量が減少した。

エネルギーの収支をグラフにしました。
ここでは、第二次インフレーションを仮定しました。
第二次インフレーションによって、宇宙の体積が増加、または質量が減少しました。
変化した分が、初期ダークエネルギーに相当します。
初期ダークエネルギーが、ヒッグスV.E.V.へ返済されました。

宇宙

ヒッグス質量

フェルミ
結合定数

$$G_F = 11663788(6) \times 10^{-5} GeV^{-2} \quad \text{実測値}$$

ヒッグス

$$V.E.V = \frac{1}{\sqrt{\sqrt{2}G_F}} = 246.2196(4) GeV$$

ヒッグス
質量

$$M_H = \frac{V.E.V.}{2 - \frac{3}{81}\gamma} = 125.172747(23) GeV/c^2 \quad \text{理論値}$$

125.20(11) 実測値

ここで、ヒッグス質量の理論値を計算します。
 まず、フェルミ結合定数には、高精度の実測値があります。
 フェルミ結合定数からヒッグスV.E.V.が得られます。
 V.E.V.と借金率 γ から、ヒッグス質量が求まります。
 実測値と一致しています。

宇宙

重力定数

ゲージ結合
定数

$$g_G = \left(1 - \gamma \frac{1}{81}\right) \times \cos 45^\circ \times \cos 30^\circ$$

借金率 $\gamma = 1$

重力
定数

$$G = \left(\frac{2}{3}\pi^2\right)^2 \frac{g_G^2 \hbar c}{W^2 M_H^2} = \left(\frac{80}{81}\right)^2 \frac{\pi^4 \hbar c}{6W^2 M_H^2}$$

$$= 6.674325(24) \times 10^{-11} m^3 kg^{-1} s^{-2} \quad \text{理論値}$$

$$6.67430(15) \times 10^{-11} \quad \text{実測値}$$

重力の場合は借金率を1として計算します。
相互作用の種類によって、借金の影響は異なるようです。

重力定数についても、微細構造定数と同様に考えます。
ただし、重力の場合は借金率を1として計算します。
理論値と実測値は一致しています。
実測値より高い精度で理論値を求められました。
相互作用の種類によって、借金の影響は異なるようです。

宇宙

弱混合角

弱い力では、微細構造定数のような減衰がないと仮定します。
力の強さのバランスが変わると、弱混合角が変化します。

$$\cos\theta_W = \frac{1}{\left(1 - \gamma \frac{1}{81}\right)} \cos 30^\circ = \cos 28.88^\circ$$

$$\sin^2\theta_W = 1 - \cos^2\theta_W = 0.2332$$

0.238 低エネルギーにおける実測値

弱い力についても考えます。
弱い力では、微細構造定数のような減衰がないと仮定します。
力の強さのバランスが変わると、弱混合角が変化します。
弱い力は、電磁気力より相対的に強くなります。
弱混合角は、低エネルギーにおける実測値に近くなると思います。

宇宙

ハッブル定数

標準臨界密度 $\rho_s = \frac{3}{81} \times \frac{M_H}{\frac{4}{3}\pi(Wl_H)^3} = \frac{3H_s^2}{8\pi G}$

標準ハッブル定数 $H_s = \frac{80\pi^2 c}{81 \cdot 9W^{2.5}l_H} = 67.739264(8)kms^{-1}Mpc^{-1}$

ハッブル定数 $H_0 = 67.4(.6) \text{ or } 73.0(10)kms^{-1}Mpc^{-1}$

標準ハッブル時間 $t_s = \frac{1}{H_s} = 14.44346456(13) \text{ billion year}$

宇宙の年齢 $t_0 = 13.797(23) \text{ billion year}$

ハッブル定数と標準ハッブル定数に差があるのは、
宇宙の年齢と標準ハッブル時間に差があるからです。

ハッブル定数を計算します。
標準臨界密度のときのハッブル定数を、標準ハッブル定数とします。
標準ハッブル定数の逆数を標準ハッブル時間とします。
ハッブル定数と標準ハッブル定数に差があるのは、宇宙の年齢と標準ハッブル時間に差があるからです。

宇宙

体積と質量

標準ハッブル距離

$$\begin{aligned} l_s &= \frac{c}{H_s} = W^{2.5} \frac{729}{80\pi^2} l_H = 8.66 \times 10^{43} l_H \\ &= 2.23 \times 10^{26} W l_H \\ &= \exp(60.67) W l_H \end{aligned}$$

典型的なインフレーションモデルのe-folding数と同等

標準ハッブル体積

$$\begin{aligned} V_s &= \frac{4}{3} \pi \left(\frac{c}{H_s} \right)^3 = W^{4.5} \frac{729^3}{80^3 \pi^6} \times \frac{4}{3} \pi (W l_H)^3 = 2.72 \times 10^{132} V_H \\ &= 4.66 \times 10^{79} W^3 V_H \end{aligned}$$

標準臨界密度

$$\begin{aligned} \rho_s &= \frac{\frac{3}{81} M_H}{\frac{4}{3} \pi (W l_H)^3} = 6.34 \times 10^{-55} \frac{M_H}{V_H} \end{aligned} \quad V_H = \frac{4}{3} \pi l_H^3$$

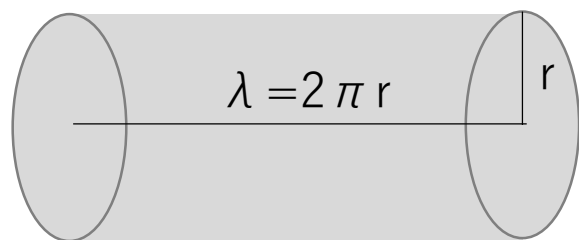
標準ハッブル質量

$$\begin{aligned} M_s &= \rho_s V_s = W^{4.5} \frac{3 \cdot 729^3}{81 \cdot 80^3 \pi^6} M_H = 4.12 \times 10^{77} M_H \\ &= \exp(57.21) W^3 M_H \end{aligned}$$

標準ハッブル定数が決まると、標準ハッブル距離が決まります。
 インフレーションしたヒッグス長さに対して、ネイピア数の61乗になっています。
 このスケールは典型的なインフレーションモデルと同等ですね。
 球体の体積として、標準ハッブル体積も決まります。
 ヒッグス粒子の何倍になるのかを記載しました。
 体積と臨界密度から標準ハッブル質量も決まります。

ダークマターとダークエネルギー

ヒッグス衝突体積



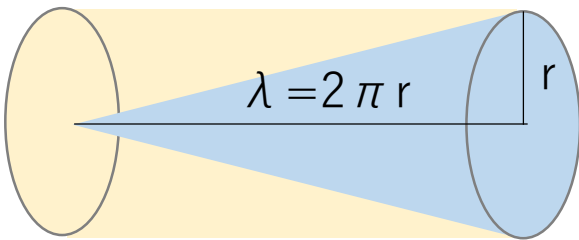
体積

$$V = 2\pi^2 r^3$$

質量

$$3M_H$$

粒子が1波長進む間に
通過する体積



$$V_H = \frac{1}{3} \times 2\pi^2 r^3$$

$$M_H$$

移動方向と
水平な成分

$$V_V = \frac{2}{3} \times 2\pi^2 r^3$$

$$2M_H$$

移動方向と
垂直な成分

物質とダークエネルギーの比率について、考えていきます。
ヒッグス衝突体積というものがあつたことを振り返ります。
粒子が1波長進む間に通過する体積は、円柱です。
その移動方向に水平な成分として1/3にしたものがヒッグス衝突体積です。
残りの、移動方向に垂直な成分は、2/3です。
質量は、ヒッグス衝突体積に比例します。

ダークマターとダークエネルギー

物質の比率 (1)

物質 Ω_m		ダークエネルギー Ω_Λ	
水平成分	$\frac{1}{3} = 33.333\%$	垂直成分	$\frac{2}{3} = 66.667\%$

第二次インフレーションによって、物質が減少したと考える。

ダークエネルギーは、膨張の影響を受けなかったと考える。

	$\frac{\frac{1}{3}}{\frac{1}{3} + \frac{2}{3}} = 31.967\%$	$\frac{\frac{2}{3}}{\frac{1}{3} + \frac{2}{3}} = 69.205\%$
実測値	31.5% $\pm 0.7\%$	68.5% $\pm 0.7\%$

物質とダークエネルギーの比率をグラフにしました。
 水平成分に相当する1/3が物質に、垂直成分に相当する2/3がダークエネルギーになったと考えます。
 さらに、第二次インフレーションによって、物質が減少したと考えます。
 一方、ダークエネルギーは、膨張の影響を受けなかったと考えます。
 物質とダークエネルギーの比率が、実測値と一致しました。

ダークマターとダークエネルギー

物質の比率 (2)

実測値	$\frac{\Omega_b}{\Omega_b + \Omega_c} = \frac{4.93\%}{4.93\% + 26.57\%} = \frac{1}{6.39} \approx \frac{1}{2\pi}$	理論値
バリオン	ダークマター	ダークエネルギー
$\gamma \frac{1}{3} \times \frac{1}{2\pi}$	$\gamma \frac{1}{3} \times \left(1 - \frac{1}{2\pi}\right)$	$\frac{2}{3}$
$\Omega_b = \frac{\frac{\gamma}{6\pi}}{\frac{\gamma + 2}{3}}$	$\Omega_c = \frac{\frac{\gamma}{3} \left(1 - \frac{1}{2\pi}\right)}{\frac{\gamma + 2}{3}}$	$\Omega_\Lambda = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{\gamma + 2}{3}}$

理論値(標準ハッブル時間)

4.90113875(3)% 25.89362421(1)% 69.20523704(2)%

実測値

4.93(6)% 26.5(7)% 68.5(7)%

物質の比率をグラフにしました。

バリオンとダークマターの合計に対する、バリオンの比率は、実測値でおよそ2パイです。

それが、厳密に2パイになるとしたのが、理論値として示したものです。

実測値と一致しています。

この理論値は、標準ハッブル時間の場合です。

ダークマターとダークエネルギー

物質の比率 (3)

$$a = \left(\frac{t_s}{t_0} \right)^{\frac{2}{3}}$$

標準ハッブル時間 $t_s = 14.434646(1) \text{ billion year}$
 宇宙の年齢 $t_0 = 13.797(23) \text{ billion year}$

バリオン

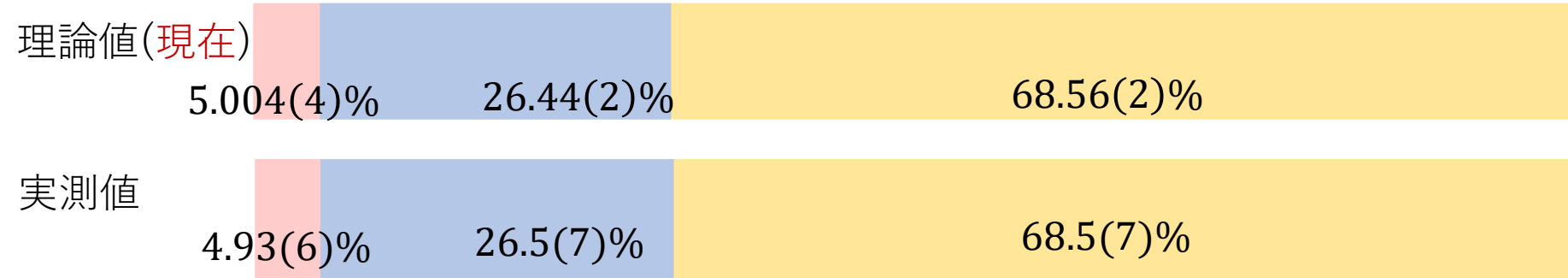
$$\Omega_b = \frac{\frac{a\gamma}{6\pi}}{\frac{a\gamma + 2}{3}}$$

ダークマター

$$\Omega_c = \frac{\frac{a\gamma}{3} \left(1 - \frac{1}{2\pi} \right)}{\frac{a\gamma + 2}{3}}$$

ダークエネルギー

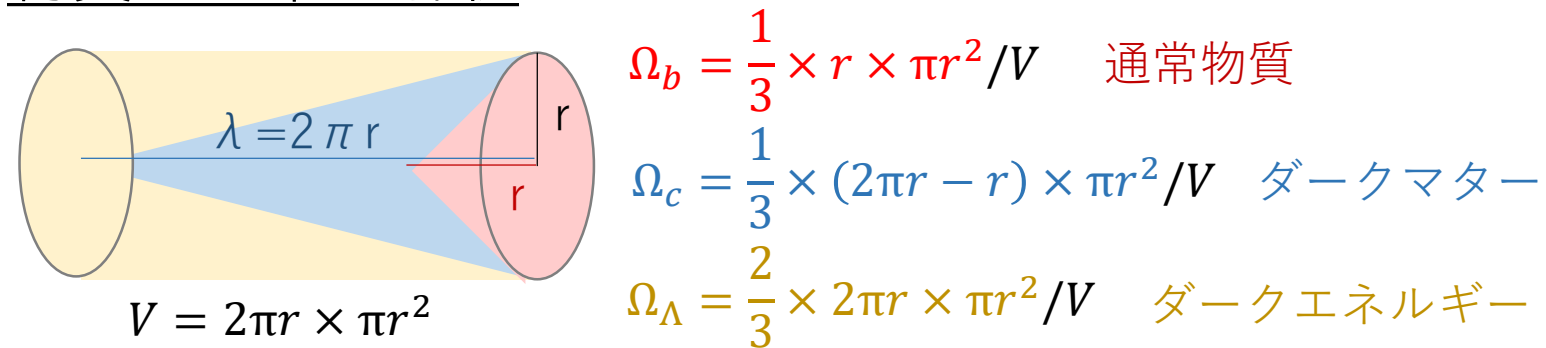
$$\Omega_\Lambda = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{a\gamma + 2}{3}}$$



宇宙の膨張を考慮して、現在の比率を計算します。
 宇宙は時間の2/3乗で膨張しています。
 ただし、ダークマターは変化しません。
 標準ハッブル時間と宇宙の年齢の比で計算しました。
 先ほどより、実測値に近づいています。

ダークマターとダークエネルギー

物質の比率の解釈



粒子は、半径方向だけでなく、高さ方向にも大きさrがあると考えます。
移動しなくても占有している体積に対応するのが通常物質です。

移動することで占有する体積に対応するのがダークマターです。

移動により占有しない体積に対応するのがダークエネルギーです。

物質の比率の意味を考えてみましょう。

図のように物質全体は、高さ2パイrの円錐の体積に当たります。

通常物質は、その一部分の、高さrの円錐の体積に当たります。

差し引いた残りがダークマターです。

粒子は、半径方向だけでなく、高さ方向にも大きさrがあると考えます。

移動しなくても占有している体積に対応するのが通常物質です。

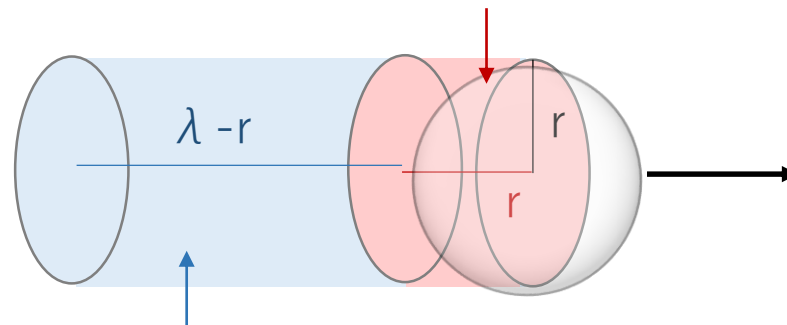
移動することで占有する体積に対応するのがダークマターです。

移動により占有しない体積に対応するのがダークエネルギーです。

ダークマターとダークエネルギー

ダークマター

粒子そのものが質量を持つのが通常物質



粒子が通過した空間が質量を持つのがダークマター

- ・ダークマターは通常物質に付随する空間？
- ・ダークマターは独立して存在する空間？

ダークマターがどのように質量を持っているのか考えてみましょう。
 粒子とダークマターの質量比は、粒子そのもの体積と通過する体積の比になっています。
 粒子そのものが質量を持つのが通常物質です。
 粒子が通過した空間が質量を持つのがダークマターです。
 ダークマターは通常物質に付随する空間なのでしょうか？
 それとも、ダークマターは独立して存在する空間でしょうか？

ダークマターとダークエネルギー

エネルギーの起源

	エネルギー比率 Ω		起源となる 非対称性
	粒子	反粒子	
ダークエネルギー	$\frac{2}{3}$	0	X,Y方向
ダークマター	$\frac{1}{3} \times \left(1 - \frac{1}{2\pi}\right)$	0	Z方向 (運動成分)
通常物質	$\frac{1}{3} \times \frac{1}{2\pi}$	0	Z方向 (静止成分)

3方向に同じだけ存在していた非対称性が、エネルギーとして分配されました。

エネルギーの起源について表にまとめました。
3方向に同じだけ存在していた非対称性が、エネルギーとして分配されました。
物質のエネルギーは、運動方向であるZ方向の非対称性が起源です。
ダークエネルギーは、X,Y方向が起源なので、物質の2倍になります。

ダークマターとダークエネルギー

宇宙定数問題

プランク質量

$$\frac{M_p}{l_p^3}$$

プランク体積

ダークエネルギー
実測値

ヒッグス質量

$$\frac{M_H}{\frac{4}{3}\pi \left\{ \exp\left(\frac{81}{2}\right) l_H \right\}^3} \times \frac{3}{81} \Omega_\Lambda$$

インフレーション
したヒッグス体積

122桁の不一致！

一致！

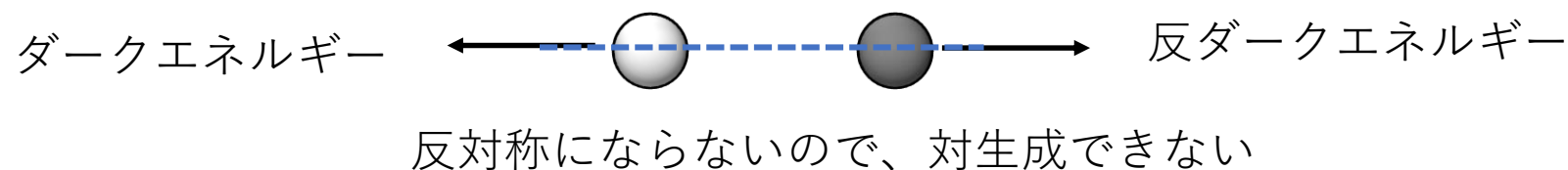
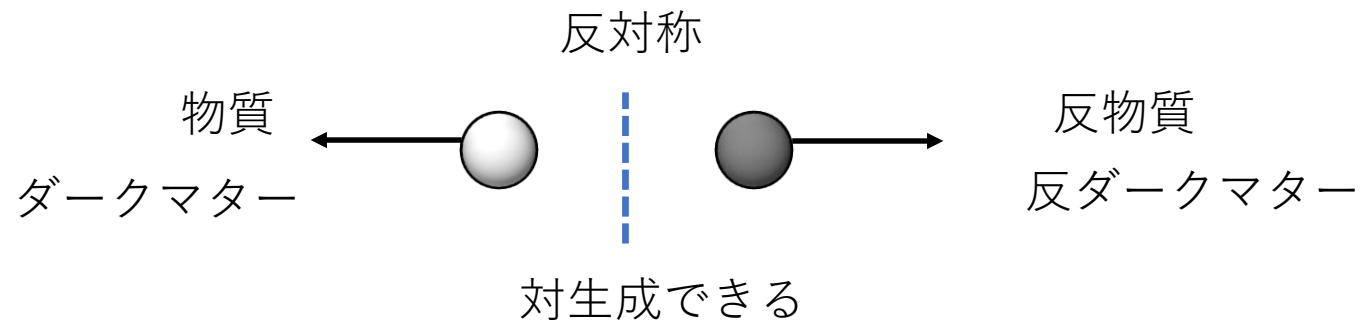
$$5.15 \times 10^{96} \text{ kg/m}^3 \gg \gg 5.83(16) \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3 = 5.907(2) \times 10^{-27} \text{ kg/m}^3$$

自然単位としてプランクスケールを使うのは自由ですが、
自然界にプランクスケールの何かが存在する必然性はありません。
真空中にヒッグス粒子が凝集しているなら、
ヒッグススケールで考えるのが自然でしょう。

ダークエネルギーに関して、宇宙定数問題というのがあります。
ダークエネルギーの理論値と実測値が120桁も乖離しているというものです。
従来の理論値は、プランク質量をプランク体積で割ったものです。
一方、ここでの理論では、ヒッグス質量をインフレーションしたヒッグス体積で割っています。
実測値と一致しています。
インフレーションしたヒッグス体積は、重力が弱いほど大きくなります。
一方、プランク体積は、重力が弱いほど小さくなります。
自然単位としてプランクスケールを使うのは自由ですが、自然界にプランクスケールの何かが存在する必然性はありません。
真空中にヒッグスで満たされているなら、ヒッグススケールで考えるのが自然でしょう。

ダークマターとダークエネルギー

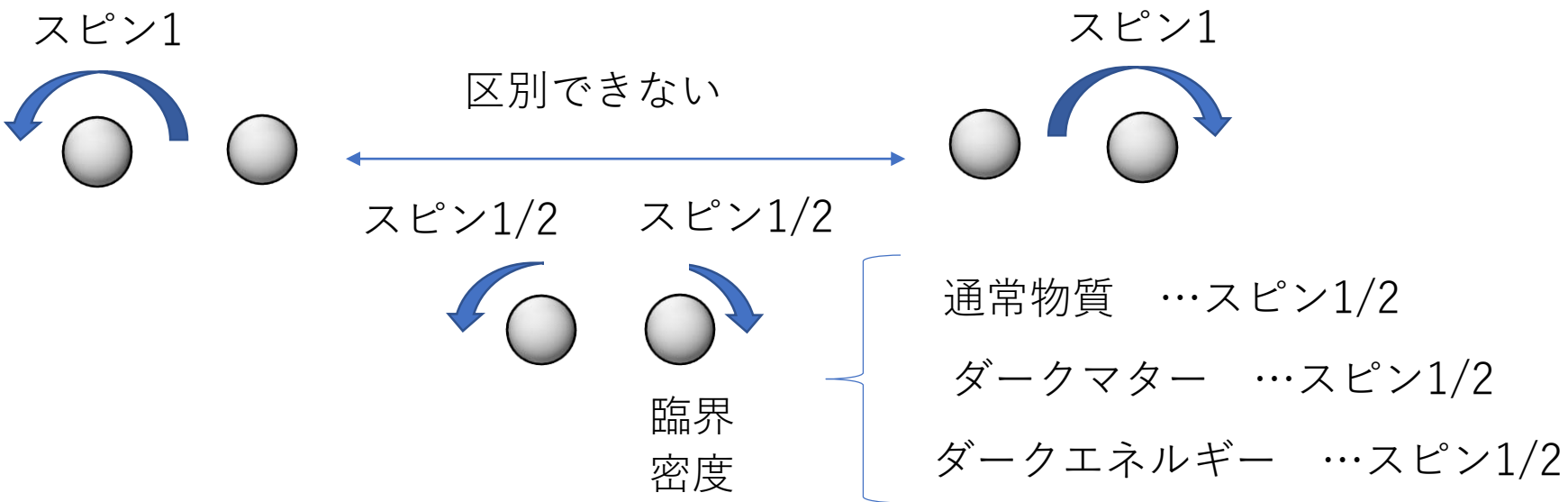
対生成



ダークエネルギーがなぜ、粒子として存在できないのか説明します。
 通常物質とダークエネルギーでは、対生成する方向と、起源となる非対称性の方向が一致しています。
 粒子と反粒子のが対生成すれば、その方向で反対称になります。
 一方、ダークエネルギーの起源となる非対称性は、対生成の方向と垂直です。
 垂直な方向では反対称にならないので、対生成できません。

ダークマターとダークエネルギー

スピン



ダークエネルギーによって、空間は回転している？

スピンについて考えます。
 もともと2つの粒子があり、片方が1回転していました。
 しかし、対称的なので、互いに1/2回転しているように見えます。
 ゆえに、通常物質はスピン1/2です。
 同様に、ダークマターとダークエネルギーもスピン1/2になります。
 ダークエネルギーによって、空間は回転しているのでしょうか？

バリオン数

粒子と反粒子の違い

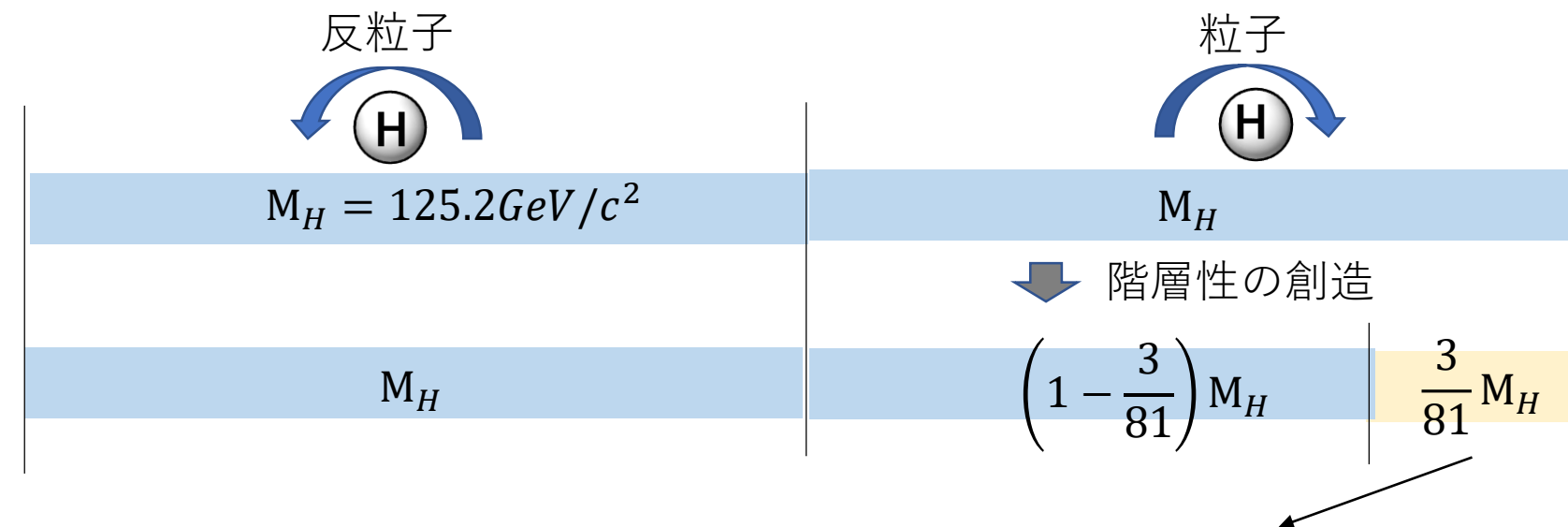
	e	\bar{u}	d	$\bar{\nu}_e$	ν_e	\bar{d}	u	\bar{e}
Y_R	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6
Y_G	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6	-1/6	+1/6
Y_B	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6	-1/6	-1/6	+1/6	+1/6
$Y_R \times Y_G \times Y_B$	-	+	-	+	-	+	-	+
"-"	奇数	偶数	奇数	偶数	奇数	偶数	奇数	偶数

簡単にいえば、左回りか、右回りかということです。
 粒子と反粒子は、対称的なはずです。

なぜ、粒子が多くて、反粒子が少ないのか考えましょう。
 まず、粒子と反粒子の違いを振り返ります。
 ハイパーチャージの符号の積が、負か正かです。
 鏡像反転の回数が、奇数か偶数かです。
 簡単にいえば、左回りか、右回りかということです。
 粒子と反粒子は、対称的なはずです。

バリオン数

粒子と反粒子の非対称



必然的に、物質は、反粒子ではなく粒子の性質を持ちます。
 ダークマターとダークエネルギーも粒子の性質を持つはずです。
 一方で、真空は僅かに反粒子に寄っています。

真空中に凝集している2つのヒッグス粒子は、粒子と反粒子の性質を持つと考えられます。
 粒子の方のヒッグス粒子のみが物質になったとします。
 必然的に、物質は、反粒子ではなく粒子の性質を持ちます。
 ダークマターとダークエネルギーも粒子の性質を持つはずです。
 一方で、真空は僅かに反粒子に寄っています。
 全体では、粒子と反粒子の性質は等量です。

バリオン数

バリオン数

$$\frac{\text{バリオン数}}{\text{光子数}} = \frac{n_b}{n_\gamma} = 6.04(12) \times 10^{-10} \quad \text{実測値}$$

$$\text{エントロピー密度} \quad s = g_* \frac{\pi^4}{45\zeta(3)} \times n_\gamma = g_* \frac{\pi^4}{45\zeta(3)} \times \frac{2\zeta(3)}{\pi^2} \left(\frac{k_B T_0}{\hbar c} \right)^3 = g_* \frac{2\pi^2}{45} \left(\frac{k_B T_0}{\hbar c} \right)^3$$

$$\text{宇宙マイクロ波背景放射温度} \quad T_0 = 2.7255(6)K$$

$$\text{粒子の自由度} \quad g_* = \text{光子(L,R)} + \frac{7}{8} \times 2 \times 3 \times \frac{4}{11} = \frac{34}{11}$$

ニュートリノ (L,R × 3世代)

$$\text{バリオン数のエントロピー密度比} \quad \frac{n_b}{s} = 0.858 \times 10^{-10}$$

宇宙が膨張しても、エントロピーは保存します。

バリオン数のエントロピー密度比が、バリオン非対称性の指標になります。

バリオン数について考えます。

バリオン数と光子数の比率が実測されています。

宇宙が膨張しても、エントロピーは保存します。

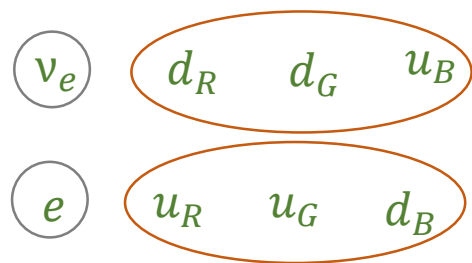
バリオン数のエントロピー密度比が、バリオン非対称性の指標になります。

エントロピーは、宇宙マイクロ波背景放射温度と粒子の自由度から計算されます。

バリオン数

フェルミオン数

粒子と反粒子の非対称性を考えるなら、レプトンも含めて考える必要があります。



$$n_b = \frac{2}{8}n_f$$

初めから、
3世代ある8種類のフェルミオンが
等量存在したと仮定。

フェルミオン数

$$\frac{n_f}{s} = \frac{8}{2} \times \frac{n_b}{s} = 3.43 \times 10^{-10}$$

バリオン

粒子と反粒子の非対称性を考えるなら、反レプトンについても考える必要があります。
初めから、3世代ある8種類のフェルミオンが等量存在したと仮定します。
8個のフェルミオンに対して、2個のバリオンができます。
すなわち、フェルミオン数は、バリオン数の8/2になります。

バリオン数

ハッブル時間のエントロピー

宇宙のエントロピーは一定ですが、その密度は膨張と共に変化します。
そこで、標準ハッブル時間でのエントロピー密度を計算します。

現在の
エントロピー密度

$$s = g_* \frac{2\pi^2}{45} \left(\frac{k_B T_0}{\hbar c} \right)^3$$

$$T_0 = 2.7255(6)K$$

現在の宇宙マイクロ波
背景放射温度

標準ハッブル時間の
エントロピー密度

$$s_s = g_* \frac{2\pi^2}{45} \left(\frac{k_B T_0}{\hbar c} \right)^3 \times \left(\frac{t_0}{t_s} \right)^2 = g_* \frac{2 \cdot 80^2 \pi^6 M_H^2 c k_B^3 T_0^3 t_0^2}{45 \cdot 81^3 W^5 \hbar^5}$$

$$\text{宇宙の年齢} \quad t_0 = 13.797(23) \text{ billion year}$$

$$\text{標準ハッブル時間} \quad t_s = 14.434646(1) \text{ billion year}$$

宇宙のエントロピーは一定ですが、その密度は膨張と共に変化します。
そこで、標準ハッブル時間でのエントロピー密度を計算します。
宇宙の年齢と標準ハッブル時間の比を掛けています。
時間の2/3乗で、宇宙が膨張すると仮定しています。

バリオン数

体積当たりのエントロピー

インフレーションしたヒッグス体積当たりのエントロピー

$$S_s = s_s \times \frac{4}{3} \pi (W l_H)^3 = g_* \frac{8}{5} \left(\frac{\pi}{3} \right)^7 \left(\frac{80}{81} \right)^2 \times \frac{k_B^3 T_0^3 t_0^2}{W^2 \hbar^2 M_H c^2} = 2.534 \times 10^9$$

$$g_* \sqrt{W} = 2.435 \times 10^9$$

$$\frac{\gamma + 2}{3} S_H = 2.441 \times 10^9$$

$$\left(\frac{\beta + 2}{3} \times \frac{S_s}{g_*} \right)^2 = W = \exp \left(\frac{81}{2} \right) \quad \text{仮定}$$

自由度当たりのエントロピーの二乗は、状態数Wになります。

これまでは、単位体積当たりのエントロピーをみてきました。
 ここでは、インフレーションしたヒッグス体積当たりのエントロピーを計算します。
 その結果は、状態数Wの平方根に近くなりました。
 ある係数で補正すると仮定すると、ピッタリ一致しました。
 自由度当たりのエントロピーの二乗は、状態数Wになります。
 この係数は、この後で説明します。

バリオン数

物質の比率

バリオン	$\Omega_b = \frac{\frac{\gamma}{6\pi}}{\frac{\gamma+2}{3}}$	ダーク マター	$\Omega_c = \frac{\frac{\gamma}{3}\left(1 - \frac{1}{2\pi}\right)}{\frac{\gamma+2}{3}}$	ダーク エネルギー	$\Omega_\Lambda = \frac{\frac{2}{3}}{\frac{\gamma+2}{3}}$
	$= 4.90113875(3)\%$		$= 25.89362421(1)\%$		$= 69.20523704(2)\%$
$\frac{\gamma}{6\pi} + \frac{\gamma}{3}\left(1 - \frac{1}{2\pi}\right) + \frac{2}{3} = \frac{\gamma+2}{3} = 96.3318231(2)\%$				借金率	$\gamma = 88.9954699(6)\%$

粒子数が減ったが、エネルギーの合計は減らずに100%調節されたことが、第二次インフレーションだと考えられます。

粒子一つ当たりのエネルギーが調節されたため、エントロピーも調節されました。

物質の比率の計算を振り返ります。

借金率 γ で第二次インフレーションしたと考えました。

三つの分子の和が、先ほど現れた係数になります。

分母は、その係数になっており、合計が100%になるように正規化されています。

粒子数が減ったが、エネルギーの合計は減らずに100%調節されたことが、第二次インフレーションだと考えられます。

粒子一つ当たりのエネルギーが調節されたため、エントロピーも調節されました。

バリオン数

バリオン数 (2)

$$\left(\frac{\gamma+2}{3} \times \frac{S_s}{g_*}\right)^2 = W \quad \text{仮定}$$

$$\left(\frac{n_x}{s}\right)^2 = \frac{1}{W} \times \left(\frac{\gamma+2}{3}\right)^2 \times \Omega_x$$

フェルミオン

$$\frac{n_f}{s} = \frac{\gamma+2}{3} \sqrt{\frac{1}{W} \times \Omega_b} = \frac{\gamma+2}{3} \sqrt{\frac{1}{W} \times \frac{\frac{\gamma}{6\pi}}{\frac{\gamma+2}{3}}} = 3.42337930(2) \times 10^{-10}$$

バリオン

$$\frac{n_b}{n_\gamma} = \frac{2}{8} \times \frac{n_f}{s} \times g_* \frac{\pi^4}{45\zeta(3)} = 6.02466287(3) \times 10^{-10}$$

6.04(12) × 10⁻¹⁰ 実測値

ダークマター

$$\frac{n_c}{s} = \frac{\gamma+2}{3} \sqrt{\frac{1}{W} \times \Omega_c} = 7.86869918(3) \times 10^{-10}$$

バリオン数の理論値を計算します。
 先ほど仮定した式の分子と分母を入れ替えます。
 粒子数は、状態数の逆数をエネルギー比率で分配したものになります。
 フェルミオン数およびバリオン数を計算しました。
 実測値と一致しています。
 同様にダークマター数も計算できました。

バリオン数

バリオン数 (3)

フェルミオン $n_f = \frac{\gamma + 2}{3} \sqrt{\frac{1}{W} \times \Omega_b \times s} = 1.0001(7)m^{-3}$

バリオン $n_b = \frac{2}{8} n_f = 0.2500(2)m^{-3}$

0.2515(17) CMB
0.248(5) BBN 実測値

ダークマター $n_c = \frac{\gamma + 2}{3} \sqrt{\frac{1}{W} \times \Omega_c \times s} = 2.299(2)m^{-3}$

今度は、単位体積当たりの粒子数を計算しました。
 フェルミオン数およびバリオン数を計算しました。
 実測値は、宇宙マイクロ波背景とビッグバン元素合成の二つあります。
 両方と一致しています。
 ダークマターについても、同様の計算をしています。

バリオン数

1粒子の平均質量 (1)

物質の臨界密度を単位体積当たりの粒子数で割れば、
1粒子の平均質量が求まります。

$$\text{フェルミオン} \quad M_f = \frac{\Omega_b \times \rho_{crit}}{n_f} = 242 \text{MeV}/c^2$$

$$\text{バリオン} \quad M_b = \frac{8}{2} M_f = 967 \text{MeV}/c^2$$

$$\text{ダークマター} \quad M_c = \frac{\Omega_c \times \rho_{crit}}{n_c} = 556 \text{MeV}/c^2$$

ですが、単位体積当たりの粒子数は、宇宙の膨張によって変化してしまいます。

1粒子の平均質量を計算してみます。

物質の臨界密度を単位体積当たりの粒子数で割れば、1粒子の平均質量が求まります。

フェルミオンとバリオンだけでなく、ダークマターについても計算できました。

ですが、単位体積当たりの粒子数は、宇宙の膨張によって変化してしまいます。

バリオン数

1粒子の平均質量 (2)

インフレーションしたヒッグス体積を単位として考えます。

臨界密度にその体積を掛けると、ただのヒッグス質量になります。

粒子数は、第二次インフレーションによって、1から減少したと仮定します。

$$\text{フェルミオン} \quad M_f = \frac{\Omega_b \times \rho_{crit} \times \frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}{\frac{\beta + 2}{3}} = \frac{\frac{\gamma}{6\pi} \times \frac{M_H}{27}}{\left(\frac{\beta + 2}{3}\right)^2} = 236 \text{MeV}/c^2$$

$$\text{バリオン} \quad M_b = \frac{8}{2} M_f = 943 \text{MeV}/c^2 \quad \equiv \quad \text{水素}$$

$$\text{ダークマター} \quad M_c = \frac{\Omega_c \times \rho_{crit} \times \frac{4}{3} \pi (W l_H)^3}{\frac{\gamma + 2}{3}} = 1246 \text{MeV}/c^2$$

宇宙の膨張が影響しないように1粒子の平均質量を計算します。
 インフレーションしたヒッグス体積を単位として考えます。
 臨界密度にその体積を掛けると、ただのヒッグス質量になります。
 粒子数は、第二次インフレーションによって、1から減少したと仮定します。
 フェルミオンとバリオンだけでなく、ダークマターについても計算しました。
 バリオンの質量は、水素とほぼ一致しました。

バリオン数

1粒子の平均質量 (3)

$$M_b = \frac{8}{2} M_f = 943 \text{ MeV}/c^2 \quad \equiv \quad \text{水素} \quad \text{偶然?}$$

これは、偶然ではなく必然だと仮定してみます。

$$\gamma = \frac{1 - 72\pi \frac{M_f}{M_H} \pm \sqrt{1 - 144\pi \frac{M_f}{M_H}}}{36\pi \frac{M_f}{M_H}}$$

$$\text{平均質量} = \frac{\text{粒子の合計質量} - \text{反粒子の合計質量}}{\text{粒子数} - \text{反粒子数}}$$

粒子の質量に合わせて、宇宙は調節されているのかもしれませんが。

バリオンの平均質量が、水素とほぼ一致したのは偶然でしょうか？

これは、偶然ではなく必然だと仮定してみます。

平均質量から借金率 γ が決まります。

ただし、反粒子の質量はマイナスとして、平均質量を計算します。

粒子の質量に合わせて、宇宙は調節されているのかもしれませんが。

微細構造定数

借金パラメータ

$$\alpha^{-1} = \frac{4\pi}{\left\{\frac{1}{2}\cos 45^\circ \cos 30^\circ \left(1 - \gamma_0 \frac{1}{81}\right)\right\}^2} = 137.035999177(21) \quad \text{実測値}$$

微細構造定数は、時間と共に僅かに変化している可能性があります。

借金パラメータ γ 時間の関数

現在の借金率 $\gamma_0 = 88.9954699(6)\%$ 実測値

最低借金率 γ_{min} $\gamma_{min} \leq \gamma(t) \leq 1$

ここから、微細構造定数について追及します。
 微細構造定数は、表記した式のように、借金率で決まります。
 ですが、微細構造定数は、時間と共に僅かに変化している可能性があります。
 そこで、借金パラメータ γ は、時間の関数とします。
 現在の借金率は、 γ_0 とします。
 また、最低借金率があると仮定します。

微細構造定数

粒子の種類

フェルミオン

8	×	2	×	2	×	3	=	96
$\nu, d_r, d_g, d_b, u_r, u_g, u_b, e$		L, R		粒子, 反粒子		世代		

6	×	2	+	1	×	1	=	13
$\gamma^0, Z^0, W^+, W^-, g^0, G^0$		L, R		H^0		スピン0		

内部自由度

フェルミオン：	$\frac{7}{8}$	ボソン：	1
---------	---------------	------	---

話が変わりますが、粒子の種類を数えましょう。
クォークは3色、レプトンは1色なので、フェルミオンは1世代で8種類あります。
右巻きと左巻きで2倍、粒子と反粒子で2倍あります。
さらに世代で3倍で、フェルミオンは合計96種類です。
ボソンは6種類のゲージ粒子が、右巻きと左巻きで2倍あります。
ヒッグスボソンはスピン0なので一つだけで、ボソンは合計13種類です。
グルーオンと重力子は1種類で、ダークマターのような余分な粒子も含んでいません。
また、内部自由度はフェルミオンが7/8で、ボソンは1です。

微細構造定数

最小借金率

自由度

粒子の種類

$$\frac{\frac{7}{8} \times 96 + 13}{96 + 13} = \frac{97}{109} = 88.9908257\%$$

$$\gamma\beta_0 = 88.9954699(6)\%$$

= γ_{min}

仮定

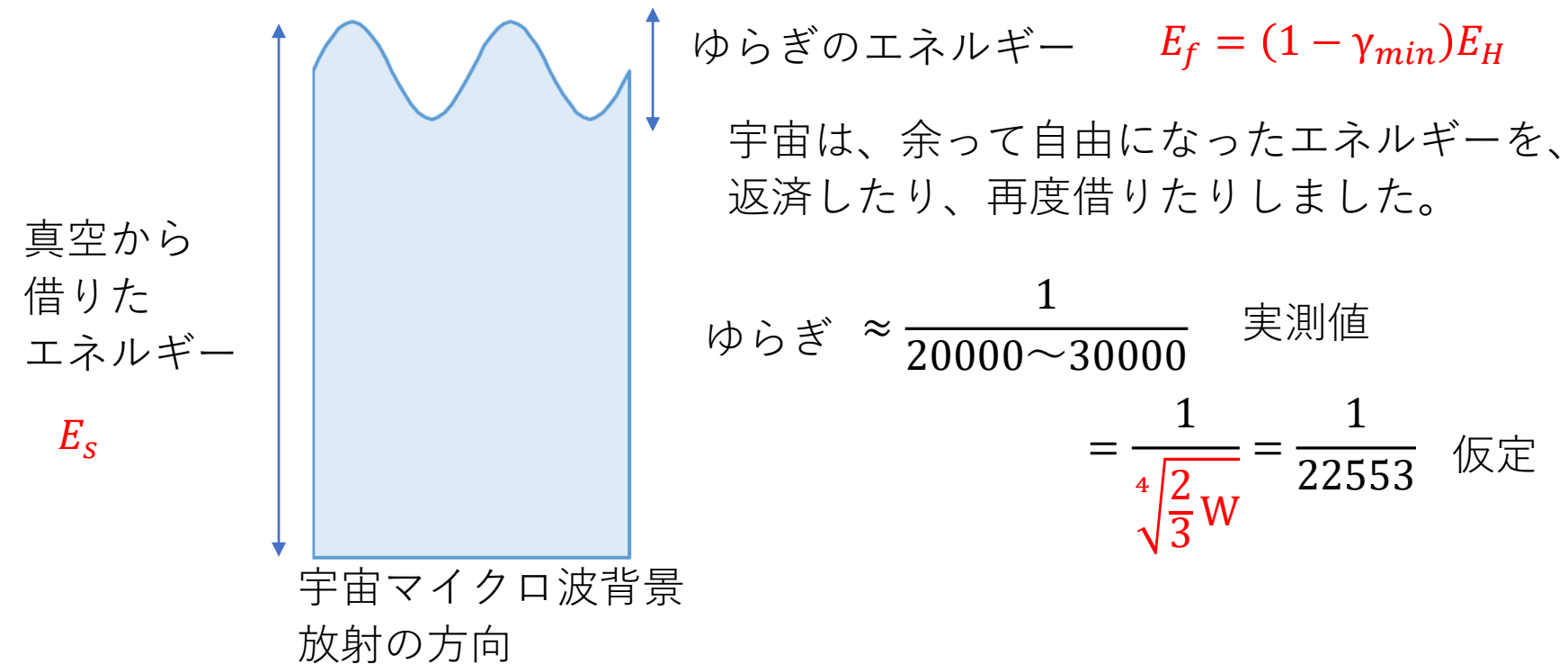
最低借金率

宇宙は、初めに粒子の種類に合わせて、真空からエネルギーを借りました。
 ですが、自由度の関係で、エネルギーが余ってしまいました。
 余った分は、返済できますが、すぐにしなくても良いでしょう。
 余った分を返済するかどうか、宇宙の心はゆらぎます。

粒子の種類と内部自由度の合計の比を計算してみます。
 現在の借金率より僅かに小さくなりました。
 この値が、最低借金率だと仮定します。
 宇宙は、初めに粒子の種類に合わせて、真空からエネルギーを借りました。
 ですが、自由度の関係で、エネルギーが余ってしまいました。
 余った分は、返済できますが、すぐにしなくても良いでしょう。
 余った分を返済するかどうか、宇宙の心はゆらぎます。

微細構造定数

宇宙背景マイクロ波放射



ゆらぎと言えば、宇宙マイクロ波背景放射です。
 宇宙は、余って自由になったエネルギーを、返済したり、再度借りたりしました。
 それが、宇宙マイクロ波背景放射のゆらぎとして現れています。
 ゆらぎのエネルギーは、1から最低借金率を引いた分です。
 ゆらぎの振幅は、実測値で数万分の1です。
 それは、Wを使って表されると仮定します。

微細構造定数

ゆらぎのエネルギー

宇宙初期の
全エネルギー

$$E_s = \frac{1}{t_s} \times \hbar \quad \text{プランク定数}$$

標準ハッブル時間

ゆらぎの
エネルギー

$$E_f = \frac{1}{t_0} \times \frac{\hbar}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}W}}$$

現在時刻

時間経過で、借り続けられるエネルギーが減少する。

現在の
エネルギー

$$E_0 = \gamma_{min} E_s + E_f$$

上の式のように、プランク定数をハッブル時間を割ると、宇宙初期の全エネルギーになります。
次に、ゆらぎのエネルギーは、減少したプランク定数を現在時刻で割ったものになっています。
これは、時間経過で、借り続けられるエネルギーが減少することを表しています。
下の式では、現在のエネルギーは最低借金率の分に揺らぎのエネルギーを加えたものと表しています。
ゆらぎのエネルギーは時間経過とともに減少するので、最低借金率に漸近します。

微細構造定数

現在の借金率

$$\gamma_0 = \frac{E_0}{E_s} = \frac{\gamma_{min} E_s + E_f}{E_s} = \gamma_{min} + \frac{1}{t_0/t_s} \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}} W}$$

現在時刻が0のときに借金率が1になるように修正します。

$$\gamma_0 = \gamma_{min} + \frac{1}{\frac{t_0}{t_s} + \frac{1}{1 - \gamma_{min}} \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}} W}} \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}} W}$$

$$t_0 = 0 : \quad \gamma(0) = \gamma_{min} + (1 - \gamma_{min}) \times \sqrt[4]{\frac{2}{3}} W \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}} W} = 1$$

現在の借金率を求めます。
 現在のエネルギーを宇宙初期の全エネルギーで割ったものが、現在の借金率です。
 ですが、現在時刻が0のときに、ゆらぎのエネルギーが無限大になってしまいます。
 現在時刻が0のときに借金率が1になるように修正します。

微細構造定数

現在時刻からの理論値

現在時刻 $t_0 = 13.797(23) \text{ billion year}$ Λ -CDMモデル

現在の借金率 $\gamma_0 = \gamma_{min} + \frac{1}{\frac{t_0}{t_s} + \frac{1}{1 - \beta_{min}} \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}}W}} \times \frac{1}{\sqrt[4]{\frac{2}{3}}W} = 88.995463(8)\%$
 $88.9954699(6)\%$

実測値

微細構造定数

$$\alpha^{-1}(t_0) = \frac{4\pi}{\left\{\frac{1}{2}\cos 45^\circ \cos 30^\circ \left(1 - \gamma_0 \frac{1}{81}\right)\right\}^2} = 137.03599893(26)$$

137.035999177(21) 実測値

微細構造定数の理論値を計算します。
 現在時刻として Λ -CDMモデルの値を使いました。
 現在の借金率を計算すれば、微細構造定数も計算できます。
 誤差の範囲で、実測値と一致しています。
 ただし、実測値と比べると、精度が1桁劣っています。

微細構造定数

温度から時間へ

$$\left(\frac{\gamma_{min} + 2}{3} \times \frac{S_s}{g_*}\right)^2 = W \quad \text{仮定}$$

宇宙の温度 $T_0 = 2.7255(6)K$ 実測値

$$\text{宇宙の年齢} \quad t_0 = \sqrt{\left(\frac{3}{\gamma_{min} + 2}\right) \frac{5}{8} \left(\frac{3}{\pi}\right)^7 \left(\frac{81}{80}\right)^2 \frac{W^{2.5} \hbar^2 M_H c^2}{k_B^3 T_0^3}}$$

$$= 13.781(5) \text{ billion year}$$

13.797(23) Λ -CDMモデル

微細構造定数

$$\alpha^{-1}(t_0) = 137.035999104(52)$$

137.035999177(21) 実測値

宇宙マイクロ波背景放射から、宇宙の年齢を算出します。
 バリオン数の計算で仮定した関係式を、最低借金率の固定して考えます。
 宇宙の温度の実測値から、宇宙の年齢を計算できました。
 Λ -CDMモデルと誤差の範囲で一致しますが、僅かに若く見えます。
 微細構造定数も計算しました。
 誤差が小さくなりましたが、実測値と一致しています。
 Λ -CDMモデルでは、さまざまなパラメータを仮定してフィットさせています。
 一方で、この式なら、パラメータなしで、温度から時間へ換算できます。

微細構造定数

時間から温度へ

宇宙の年齢

$$t_0 = 13.797(23) \text{ billion year} \quad \Lambda\text{-CDMモデル}$$

宇宙の温度

$$\begin{aligned} T_0 &= \sqrt[3]{\left(\frac{3}{\beta_{min} + 2}\right) \frac{5}{8} \left(\frac{3}{\pi}\right)^7 \left(\frac{81}{80}\right)^2 \frac{W^{2.5} \hbar^2 M_H c^2}{k_B^3 t_0^2}} \\ &= 2.7235(30) K \\ &\quad 2.7255(6) \quad \text{実測値} \end{aligned}$$

現在の宇宙に物理について知りたいとき、
知らなければいけないパラメータは現在時刻のみといえます。

逆に、宇宙の年齢から、宇宙マイクロ波背景放射の温度を算定できます。

ですが、年齢を直接知る方法はありません。

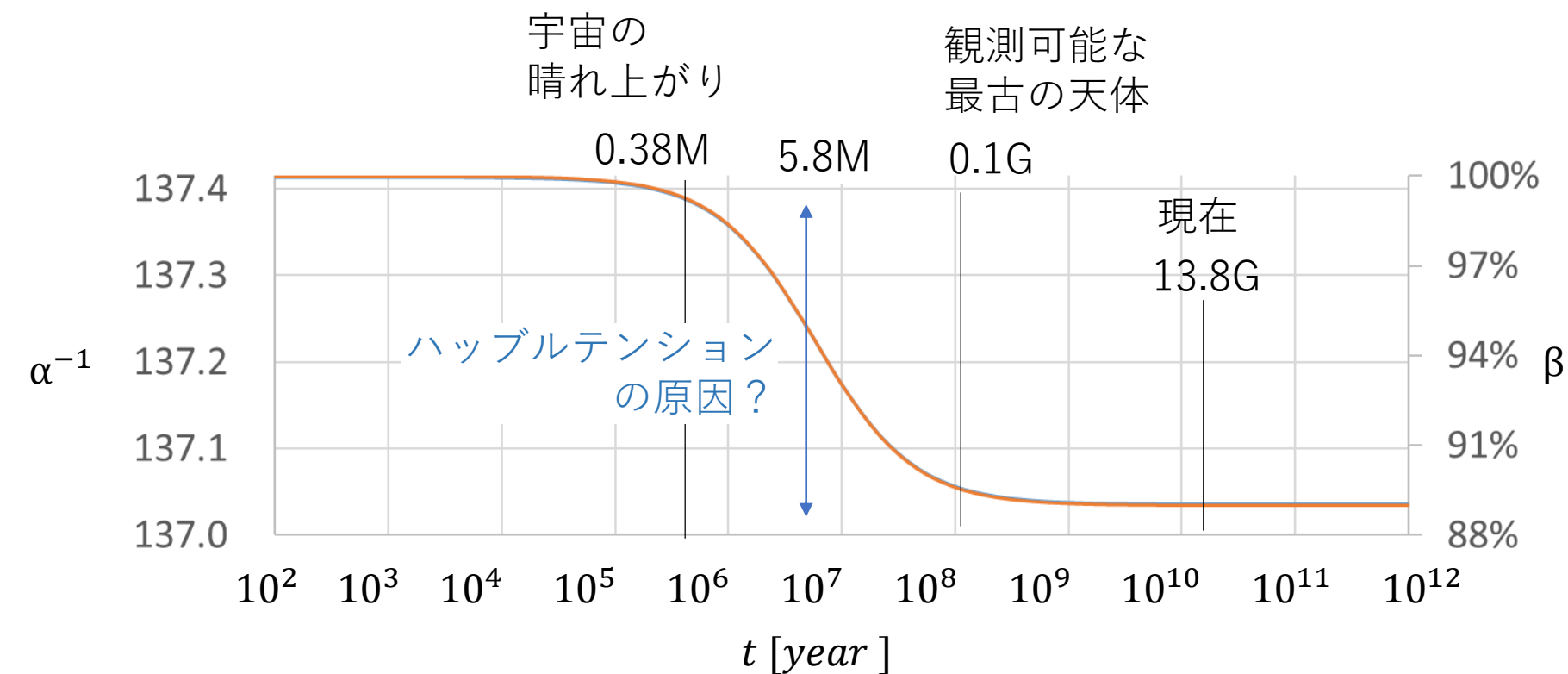
推定年齢を使って計算すると精度が落ちるので、直接温度を測定した方が良いですね。

この式にも、自由パラメータはありません。

現在の宇宙に物理について知りたいとき、知らなければいけないパラメータは現在時刻のみといえます。

微細構造定数

経時変化 (1)



借金率と微細構造定数の経時変化を対数グラフにしました。
 二つの値は連動しています。
 現在では、ほぼ一定に落ち着いています。
 最古の天体が観測可能な1億年と比べても、僅かな差しかありません。
 一方、宇宙の晴れ上がりの38万年では、宇宙の初期からほとんど変化していません。
 半分だけ変化するのは、580万年です。
 この経時変化が、ハッブルテンションの原因なのかもしれません。

微細構造定数

経時変化 (2)

$$\begin{aligned}\alpha^{-1}(0) &= 137.413262668 \\ \alpha^{-1}(0.38M) &= 137.390061424 \\ \alpha^{-1}(Now) &= 137.035999104\end{aligned}$$

$$\frac{\alpha(0) - \alpha(Now)}{\alpha(Now)} = -0.27\%$$

−1.2% ∼ +0.4%
ビッグバン元素合成
による制限

$$\frac{\alpha(Now - 11G) - \alpha(Now)}{\alpha(Now)} = -4.5 \times 10^{-6} = -4.1 \times 10^{-16} / year$$

−5.7(±1.0) × 10^{−6} 100∼120億年前
の実測値

$$\Delta\alpha(Now) = -8.4 \times 10^{-17} / year$$

−1.6(±2.3) × 10^{−17} 現在の実測値

宇宙の晴れ上がり時などの計算値を載せました。
宇宙初期と現在の微細構造定数の変化を計算すると、-0.27%です。
これは、ビッグバン元素合成による制限内に入っています。
また、100∼120億年前の実測値があるため、比較すると一致していました。
現在の変化率も実測されていて、誤差は大きいけど、同じオーダーです。
どうやら過去の微細構造定数は今より小さかったようです。
また、微細構造定数の変化は、時間と共に緩やかになってるようです。

微細構造定数

式

$$\alpha^{-1} = \frac{4\pi}{\left\{\frac{1}{2}\cos 45^\circ \cos 30^\circ \left(1 - \gamma_0 \frac{1}{81}\right)\right\}^2} = 137.035999104(52) \quad \text{理論値}$$

$$137.035999177(21) \quad \text{実測値} \quad W = \exp\left(\frac{81}{2}\right)$$

$$\gamma_0 = \frac{97}{109} + \frac{1}{H_s t_0^4 \sqrt{\frac{2}{3}} W + \frac{109}{109-97}} \quad H_s = \frac{80}{81} \times \frac{\pi^2 M_H c^2}{9 W^{2.5} \hbar} \quad t_0 = \frac{81}{80} \sqrt{\frac{81 \cdot 981 W^{2.5} \hbar^2 M_H c^2}{56 \pi^7 k_B^3 T_0^3}}$$

宇宙の温度 $T_0 = 2.7255(6)K$ 実測値

$$\alpha^{-1} = \frac{4\pi}{\left\{\sqrt{\frac{3}{32}} \left(1 - \frac{1}{81} \left(\frac{97}{109} + \frac{1}{\sqrt{\frac{81 \cdot 981 M_H^3 c^6}{56 \pi^3 \exp\left(\frac{5 \cdot 81}{4}\right) k_B^3 T_0^3}} \sqrt{\frac{2}{3}} \exp\left(\frac{81}{2}\right) + \frac{109}{109-97}}}\right)\right)\right\}^2}$$

微細構造定数の式をまとめてみました。

宇宙の年齢または温度が分かれば計算できます。

ヒッグス質量も必要ですが、フェルミ結合定数から精密に決められます。

あるいは、ヒッグス質量は自然単位なので、1としても良いでしょう。

無理やり一つの式で表せますが、長くなってしまいますね。

修正重力

修正ニュートン力学 (1)

太陽系レベル



$$\text{重力} \propto \frac{1}{\text{距離}^2}$$

銀河レベル



$$\text{重力} \propto \frac{1}{\text{距離}^1}$$

ダークマター
不要？

加速度が0に近いほど、より強い方向へ重力が修正されます。
 太陽系レベルでは、重力の強さは、ほぼ距離のマイナス2乗のままです。
 銀河レベルでは、重力の強さは、距離のマイナス1乗くらいになります。

修正ニュートン力学を紹介しましょう。
 ダークマターは、銀河の回転運動を説明するために、仮定されました。
 しかし、重力の強さを修正すれば、ダークマターなしで説明できます。
 そのような理論は、修正ニュートン力学と呼ばれます。
 加速度が0に近いほど、より強い方向へ重力が修正されます。
 太陽系レベルでは、重力の強さは、ほぼ距離のマイナス2乗のままです。
 銀河レベルでは、重力の強さは、距離のマイナス1乗くらいになります。

修正重力

修正ニュートン力学 (2)

修正ニュートン力学のパラメーター

$$a_0 = 1.2 \times 10^{-10} m/s^2$$

ハッブル定数

(宇宙の膨張)

$$Hc = 7.1 \times 10^{-10} m/s^2$$

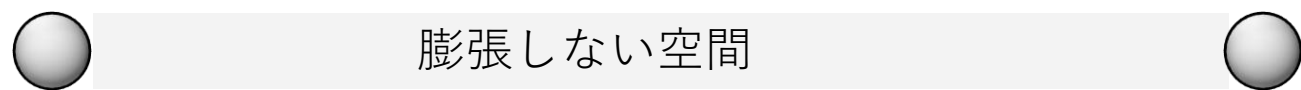
$$H_0 = 73.0 km s^{-1} Mpc^{-1}$$

修正ニュートン力学には、一つだけパラメーターがあります。
このパラメータは、ハッブル定数と光速の積の一桁以内です。
ハッブル定数は、宇宙の膨張速度です。
ダークエネルギーによる宇宙の膨張は、階層性パラメータWで説明できました。
関係を上手く説明できれば、追加のパラメータが不要になります。

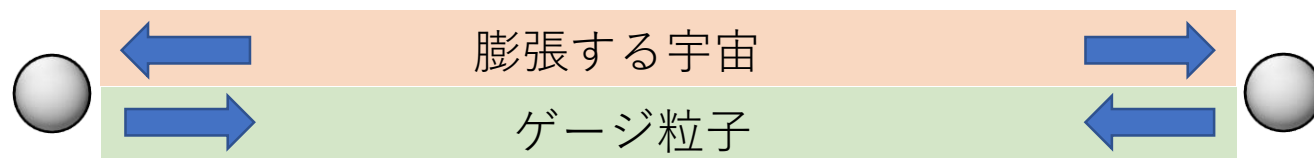
修正ニュートン力学には、一つだけパラメーターがあります。
このパラメータは、ハッブル定数と光速の積の一桁以内です。
ハッブル定数は、宇宙の膨張速度です。
ダークエネルギーによる宇宙の膨張は、階層性パラメータWで説明できました。
関係を上手く説明できれば、追加のパラメータが不要になります。

修正重力

修正ニュートン力学 (3)



局所ゲージ変換



空間が変化すると、それを打ち消すようにゲージ粒子が発生します。

重力 = 質量による重力 + 膨張による重力

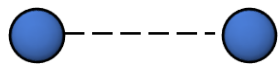
増加

なぜ重力が修正されるのか考えてみましょう。
 まず、膨張していない空間を仮定します。
 次に、ダークエネルギーで空間が膨張する状態に変化したとします。
 ここで、局所ゲージ変換を考えます。
 空間が変化すると、それを打ち消すようにゲージ粒子が発生します。
 つまり、力が発生します。
 質量による重力だけでなく、膨張による重力が加わります。
 そのため、重力は強くなります。

修正重力

修正ニュートン力学 (4)

質量による重力



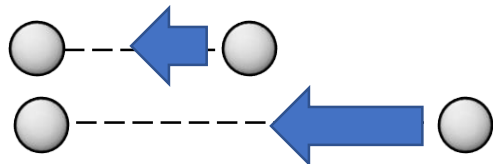
距離が変わっても、質量は同じ

$$\text{重力} \propto \frac{1}{\text{距離}^2}$$

×

球面状に拡がり減衰

膨張による重力



距離が大きいほど、膨張速度も大

$$\text{膨張} \propto \text{距離}^1$$

ハッブルの法則

=

$$\text{重力} \propto \frac{1}{\text{距離}^1}$$

質量による重力と、膨張による重力を比較してみましょう。

距離が変わっても、質量は変わりません。

重力は、球面状に拡がるため、距離のマイナス2乗に比例します。

一方、ハッブルの法則では、星が遠ざかる速度は、距離の1乗に比例します。

膨張により重力も、距離のマイナス2乗に比例するとします。

その重力の強さは、マイナス2乗と1乗を掛けて、距離のマイナス1乗に比例します。

修正重力

修正ニュートン力学 (5)

従来の
重力

追加の
重力

$$F = \frac{GM^2}{R^2} + \frac{\sqrt{Ga_0M^3}}{R}$$

$$a_0 = 1.2 \times 10^{-10} m/s^2$$

$$F = \frac{\sqrt{GM}}{R} \times \frac{\sqrt{GM}}{R} + \frac{\sqrt{GM}}{R} \times \sqrt{Ma_0}$$

修正ニュートン力学には、二つの重力の和の形で表すバリエーションがあります。
距離の二乗に従うのが従来の重力です。
距離の一乗に従うのが追加の重力です。
また、二つの項の積の形にすると、下の式になります。

修正重力

縦波の重力 (1)

ゲージ統合定数

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{光子} & e = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \textcolor{red}{\cos} 30^\circ \quad \textcolor{red}{\text{横波}} \\ Z^0 & z = \frac{1}{2} \times \cos 45^\circ \times \textcolor{green}{\sin} 30^\circ \quad \textcolor{green}{\text{縦波}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{ll} \text{重力子} & g_G = \cos 45^\circ \times \textcolor{red}{\cos} 30^\circ \quad \textcolor{red}{\text{横波}} \\ \text{重力子'} & g_{G'} = \cos 45^\circ \times \textcolor{green}{\sin} 30^\circ \quad \textcolor{green}{\text{縦波}} \end{array} \right.$$

重力波は横波だと考えられえています。
縦波に相当する力が存在してもおかしくありません。

$$G = \left(\frac{2}{3} \pi^2 \right)^2 \frac{g_G^2 \hbar c}{W^2 M_H^2}$$

$$G' = \left(\frac{2}{3} \pi^2 \right)^2 \frac{g_{G'}^2 \hbar c}{W^2 M_H^2}$$

重力について、一つ見落としがありました。
電磁波は横波ですが、縦波に対応する力も存在していました。
コサイン成分とサイン成分です。
重力波は横波だと考えられえています。
縦波に相当する力が存在してもおかしくありません。

修正重力

縦波の重力 (2)

横波の重力

縦波の重力

経験値

$$F = \frac{\sqrt{GM}}{R} \times \frac{\sqrt{GM}}{R} + \frac{\sqrt{GM}}{R} \times \sqrt{Ma_0}$$

$$a_0 = 1.2 \times 10^{-10} m/s^2$$

$$F = \frac{\sqrt{GM}}{R} \times \frac{\sqrt{GM}}{R} + \frac{\sqrt{G'M}}{R} \times \sqrt{M \frac{H_0 c}{2}}$$

$$a_0 = \frac{G'}{G} \times \frac{H_0 c}{2} = \left(\frac{\sin 30^\circ}{\cos 30^\circ} \right)^2 \frac{H_0 c}{2}$$

$$= \frac{H_0 c}{6} = 1.18 \times 10^{-10} m/s^2$$

$$(H_0 = 73.0 km/s^{-1} Mpc^{-1})$$

理論値

加速度パラメータを理論的に説明できました。

それでは、修正ニュートン力学で追加される重力は、縦波の重力だと仮定します。

縦波の重力定数に変更します。

また、加速度パラメータは、ハッブル定数と光速の積の半分とします。

すると、加速度パラメータの理論値と経験値がよく一致しました。

加速度パラメータを理論的に説明できました。

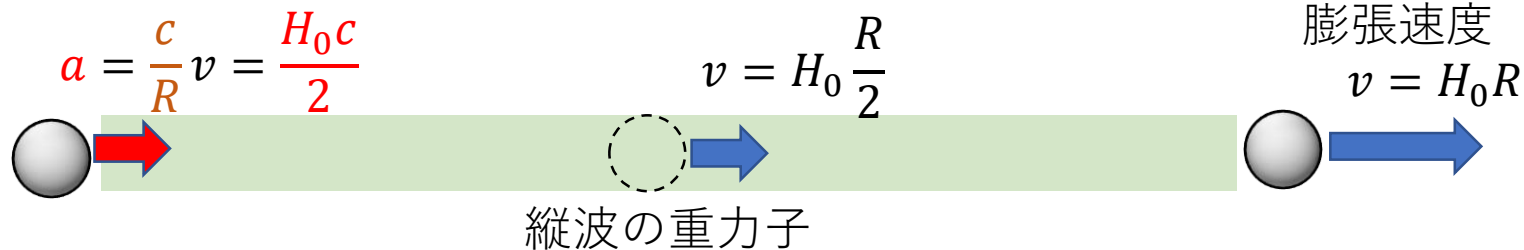
修正重力

縦波の重力 (3)

横波の重力

縦波の重力

$$F = \underbrace{\frac{\sqrt{G}M}{R}}_{\text{粒子}} \times \underbrace{\frac{\sqrt{G}M}{R}}_{\text{粒子}} + \underbrace{\frac{\sqrt{G'}M}{R}}_{\text{粒子}} \times \underbrace{\sqrt{M \frac{H_0 c}{2}}}_{\text{空間}}$$



$\frac{c}{R}$: 2粒子間の通信に要する最短時間。

a : 最短時間で膨張速度に達する加速度。

式の意味を解釈してみましょう。

従来の横波の重力は、粒子と粒子の間に働く力です。

縦波の重力は、粒子と空間の間に働く力と解釈できます。

2粒子の空間に縦波の重力子があると仮定します。

重力子の膨張速度は、2粒子の膨張速度の半分になります。

2粒子間の通信に要する最短時間は、 c/R です。

最短時間で膨張速度に達する加速度が a になります。

修正重力

縦波の重力子

無限遠まで力が届くには、どんな性質が必要でしょうか？

- ・ ゲージ粒子の質量が0 …必須条件ではありません。
- ・ ゲージ粒子が崩壊しない …必須条件です。

そのため、縦波の重力子が質量を持つことは禁止されません。
ダークマターの正体は、縦の重力子かもしれません。

縦波の重力子がどんなものなのか考えましょう。
無限遠まで力が届くには、どんな性質が必要でしょうか？
ゲージ粒子の質量が0なのは必須条件ではありません。
ゲージ粒子が崩壊しないことが必須条件です。
そのため、縦波の重力子が質量を持つことは禁止されません。
ダークマターの正体は、縦の重力子かもしれません。

修正重力

エントロピック重力

一般相対性理論	量子重力理論	エントロピック重力理論
時空が歪む	重力子が交換される	エントロピーが増大する

「時空」「重力子」「エントロピー」のどれも、
見えない概念を人間が勝手に定義したもの。

どれも、見える概念の「粒子の位置関係」が変化しているだけ。

区別する必要のない概念を使って、
同じ現象の異なる解釈をしているだけです。

重力の理論には、エントロピック重力というものもあります。
エントロピーが増大するのが重力に見えるだけというものです。
一般相対性理論では、時空が歪むのが、重力に見えます。
量子重力では、重力子が交換されます。
「時空」「重力子」「エントロピー」のどれも、見えない概念を人間が勝手に定義したものです。
どれも、見える概念の「粒子の位置関係」が変化しているだけ。
区別する必要のない概念を使って、同じ現象の異なる解釈をしているだけです。

修正重力

エントロピック重力との比較

	エントロピック重力	この動画の重力
自由度	$N = \frac{4\pi R^2}{l_p^2}$	$N = 81$
意味	距離によって 重力は弱くなる	重力は 他の力より弱い
修正重力	$a_0 = \frac{H_0 c}{6}$	$a_0 = \left(\frac{\sin 30^\circ}{\cos 30^\circ}\right)^2 \frac{H_0 c}{2} = \frac{H_0 c}{6}$

矛盾しているのではなく、着目していることが異なるのです。
両立するような解釈ができるのかもしれませんが。

エントロピック重力と比較してみました。
エントロピック重力の自由度は、距離によって重力が弱くなることを表しています。
一方、この動画での自由度は、重力が他の力より弱いことを表しています。
矛盾しているのではなく、着目していることが異なるのです。
修正重力の強さはどちらも同じになっています。
両立するような解釈ができるのかもしれませんが。

修正重力

ダークマター

ダークマター VS 修正重力

迷う余地がある時点で、どちらも最適解ではありません。
両方の良い分だけを持った理論があれば、迷いません。

ダークマターは他の粒子から独立して存在すると考えます。
また、その量は必然的に決まっているはずです。

結局、ダークマターと修正重力のどちらが正しいのでしょうか？
迷う余地がある時点で、どちらも最適解ではありません。
両方の良い分だけを持った理論があれば、迷いません。
ダークマターは他の粒子から独立して存在すると考えます。
また、その量は必然的に決まっているはずです。

白銀のキューブ

二つのサイコロ

非対称性パラメータ

$$r = 33.551 \dots$$

$$r$$

:

$$= \frac{81}{\sqrt{2} + 1}$$

$$1$$

:

白銀比

階層性パラメータ

$$\ln W = 40.5$$

$$2 \ln W$$

$$= 81$$

$$\sqrt{2} + 1$$

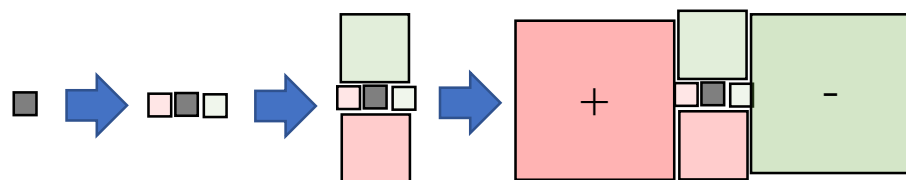
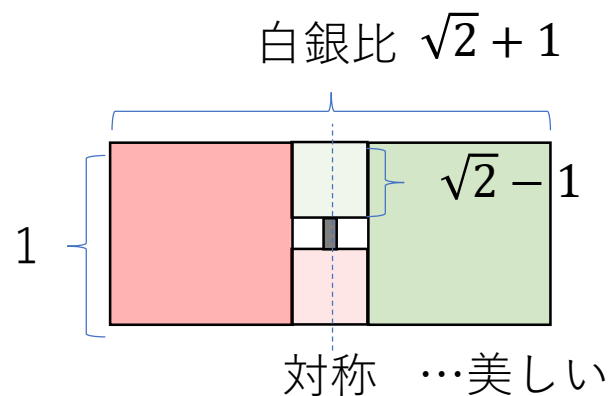
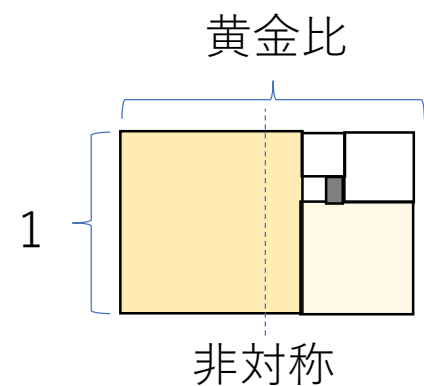


片方が決まれば、もう片方も決まります。
つまり、神が降ったサイコロは1個だけです。

最後に、サイコロを整理しましょう。
これまでに、二回、神のサイコロを振りました。
非対称性パラメータの r と、階層性パラメータの W です。
 W の自然対数を2倍すると81になります。
二つのパラメータの比率は、1対ルート2+1になりました。
これは、白銀比と呼ばれます。
片方が決まれば、もう片方も決まります。
つまり、神が降ったサイコロは1個だけです。

白銀のキューブ

金と銀



長辺の両端に正方形の追加を繰り返すと白銀比になる。

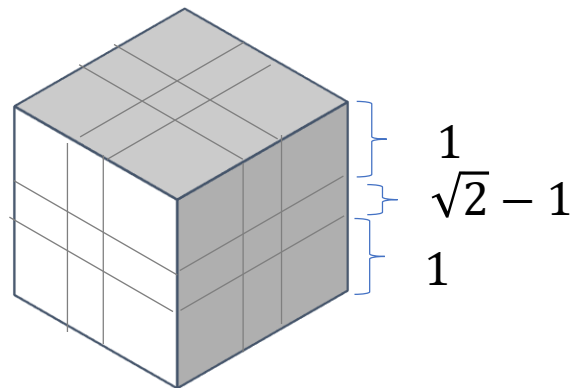
何かを追加するときは、逆符号のものを追加しないと釣り合いが取れません。
最も単純に、対称的な自己相似により、階層化すると、白銀比になります。

どこから、白銀比が出てきたのか考えましょう。
黄金比の長方形は、正方形を切り取ると、黄金比の長方形になります。
白銀比の長方形は、両端から正方形を切り取ると、白銀比の長方形になります。
対称性の観点では、黄金比より、白銀比の方が美しいです。
長辺の両端に正方形の追加を繰り返すと白銀比になります。
何かを追加するときは、逆符号のものを追加しないと釣り合いが取れません。
最も単純に、対称的な自己相似により、階層化すると、白銀比になります。

白銀のキューブ

白銀のキューブ

自由度81と白銀比を同時に説明する方法を考えましょう。



$$N = 3 \times 3^3 = 81$$

3方向でそれぞれ、
白銀比で3分割された立方体を考えます。

区画のサイズは同じではありませんが、
27区画に分割されています。

1区画は自由度 $N=3$ を持っているとすれば、
合計で $N=81$ です。



この白銀のキューブをうまく説明できれば
神の振ったサイコロは一つもなくなります。

自由度81と白銀比を同時に説明する方法を考えましょう。

3方向でそれぞれ、白銀比で3分割された立方体を考えます。

区画のサイズは同じではありませんが、27区画に分割されています。

1区画は、自由度 $N=3$ を持っているとします。

合計の自由度は81になります。

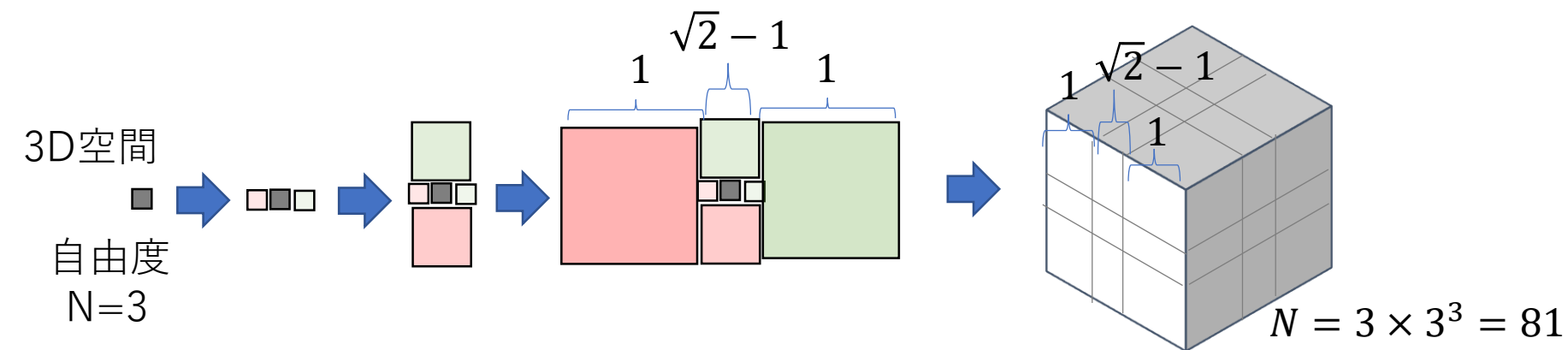
自由度の半分の指数が階層性 W になります。

W で、重力の強さやバリオン数が決まります。

白銀のキューブ

白銀のキューブの創造

- (1) 神は、サイコロを振らずに、最小限の「有」を表現したかった。
 (2) 方向性や有限な数値のパラメータがあってはいけない。

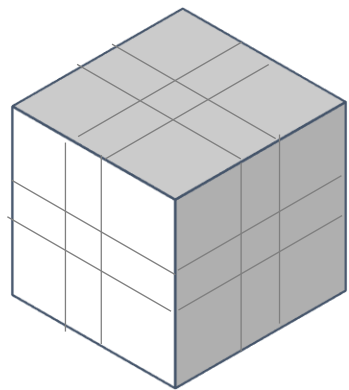


- (3) 3D空間は、3方向の両側に自分自身を複製するのを無限に繰り返した。
 (4) どの方向からも、白銀比で3分割されて見えるようになった。

宇宙創造のときに、どうやって白銀のキューブが出来たか考えてみましょう。
 神は、サイコロを振らずに、最小限の「有」を表現したかったのです。
 それには、方向性や有限な数値のパラメータがあってはけません。
 そこで、3D空間は、3方向の両側に自分自身を複製するのを無限に繰り返しました。
 どの方向からも、白銀比で3分割されて見えるようになりました。

白銀のキューブ

状態数



$$W = \exp\left(\frac{N}{2}\right) = \exp\left(\frac{81}{2}\right)$$

インフレーション
したヒッグス長さ

$$W l_H = \frac{\exp\left(\frac{81}{2}\right)}{1} \times l_H$$

重力長さ

$$l_G = \frac{1}{\exp\left(\frac{81}{2}\right)} \times \frac{2}{3} \pi^2 l_H$$

粒子数の2乗

$$\left(\frac{n}{s}\right)^2 = \frac{1}{\exp\left(\frac{81}{2}\right)} \times \Omega$$



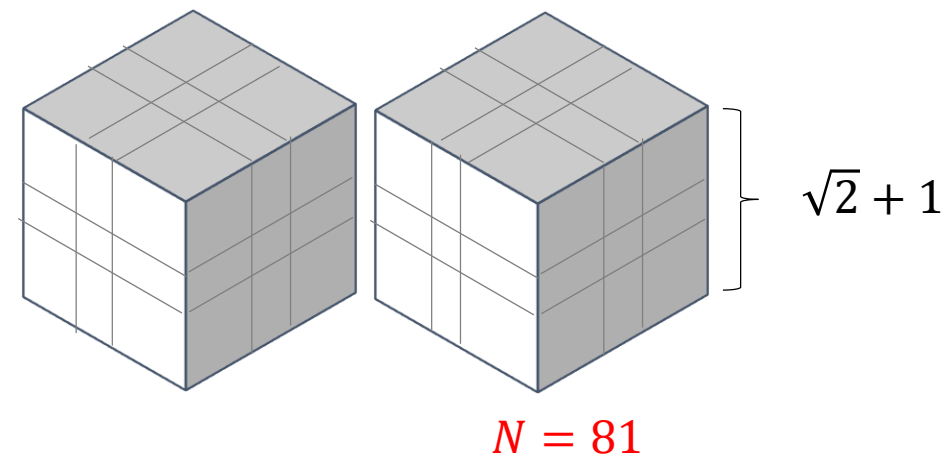
$$\exp\left(\frac{0}{2}\right) = 1$$

階層が創造される前は、自由度がなかったといえる。

白銀のキューブを使って、階層性Wを解釈してみましょう。
状態数は、自由度の半分の指数です。
インフレーションしたヒッグス長さや重力長さが得られます。
同様に、粒子数の二乗も得られます。
1との比になっています。
自由度0との比較になっています。
階層が創造される前は、自由度がなかったといえます。

白銀のキューブ

エネルギー



臨界密度 $\rho_{crit} = \frac{3}{81} \times \frac{M_H}{\frac{4}{3}\pi \left\{ \exp\left(\frac{81}{2}\right) l_H \right\}^3}$

ヒッグス
V.E.V. $\left\{ 2 - \frac{3}{81} \right\} \times M_H c^2$

$N = 3$

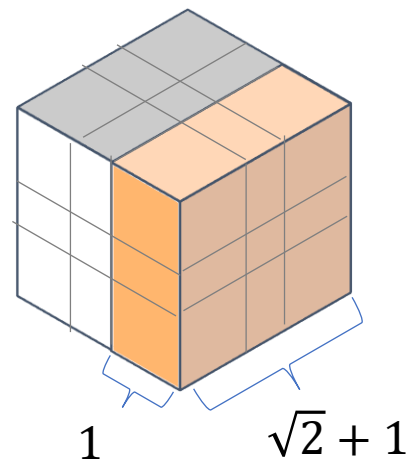


自由度3との比較になっているといえる。

次は、エネルギーについてです。
エネルギーは、状態数の対数に比例します。
臨界密度とヒッグス真空期待値が得られます。
自由度1との比較になっています。

白銀のキューブ

非対称性



$$N = 81$$

ある面に対して、側面の1は、1世代前の階層に相当します。

非対称性

$$r = 81 \times \frac{1(\sqrt{2} + 1)(\sqrt{2} + 1)}{(\sqrt{2} + 1)^3} = 33.551$$

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{81} \times \frac{(\sqrt{2} + 1)^3}{1(\sqrt{2} + 1)(\sqrt{2} + 1)} = \frac{1}{33.551}$$

$$N = 1$$



自由度1との比較になっているといえる。

次は、質量における非対称性についてです。

白銀のキューブの一面だけを見ます。

ある面に対して、側面の1は、1世代前の階層に相当します。

その部分体積にあたる自由度が、非対称性パラメータrになります。

r対1で、質量は減少します。

自由度1との比較になっているといえます。

補足

ヒッグス自然単位

	プランク単位	ヒッグス単位
c (光速)	1	1
ℏ (ディラック定数)	1	1
k _B (ボルツマン定数)	1	1
M _H (ヒッグス質量)	125.20(11)GeV/c ²	$\frac{1}{125.172747(23)GeV/c^2}$
G (重力定数)	1	$\left(\frac{80}{81}\right)^2 \frac{\pi^4 \hbar c}{6W^2 M_H^2}$
[m ³ kg ⁻¹ s ⁻²]	6.67430(15) × 10 ⁻¹¹	6.674325(24) × 10 ⁻¹¹

ここからは補足説明です。
自然単位といえば、プランク単位があります。
ヒッグス粒子の質量を1とした、より自然な単位を作ってみましょう。
ヒッグス質量がインフレーションしてプランク質量ができたと考えました。
ですから、ヒッグス質量の方が元となる質量です。
これをヒッグス単位と呼びましょう。
重力定数は他の定数で表されるようになりました。

補足

力と対称性 (1)

エネルギー $E = gM_H c^2$

$E = g$ (ヒッグス単位系)

ゲージ結合定数 $g = \text{非対称性} \begin{cases} 0 : \text{対称} \\ 1 : \text{反対称} \end{cases}$
 $(0 \leq g \leq 1)$

波が消えずに粒子の存在確率が増すように、力は働きます。

波が完全に消えるのを防ぐように力が働くとき、 $g=1$ となります。

エネルギーとゲージ結合定数は、ヒッグス質量で換算できます。
 ヒッグス単位系では、エネルギーとゲージ結合定数は等しいです。
 ゲージ結合定数は非対称性の大きさです。
 非対称性は0から1の間の値です。
 0なら対称で、1なら反対称です。
 波が消えずに粒子の存在確率が増すように、力は働きます。
 波が完全に消えるのを防ぐように力が働くとき、 $g=1$ となります。

補足

力と対称性 (2)

階層	力	対称性	干渉の原因
微小部分	電磁気力	方向(位相)	他粒子
粒子の半分	弱い力	アイソスピン	他粒子
	強い力	ハイパーチャージ	(スピンする)自身
粒子全体	パウリ斥力	スピン対称	(スワップする)自身
	質量	移動対称	(移動する)自身
粒子間	重力	位置関係	他粒子
	重力'	空間の膨張	他粒子

力に種類があるのは、対称性に種類があるからです。
対称性に種類があるのは、階層があるからです。

力に種類があるのは、対称性に種類があるからです。
対称性に種類があるのは、階層があるからです。
微小部分、粒子の半分、粒子全体、粒子間のそれぞれに異なる対称性があります。
対称性が異なれば、干渉の原因も異なります。

補足

力と対称性 (3)

力	ゲージ結合係数
電磁気力	$\cos45^\circ\cos30^\circ/2[\gamma] + \cos45^\circ\sin30^\circ/2[Z]$
弱い力	$\cos45^\circ\cos30^\circ/2[W] + \cos45^\circ/2[Z]$
強い力	$2\pi(@0), 2\pi/3(@M_\tau)[g]$
パウリ斥力	$1/2[-]$
質量	$1[H]$
重力	$\cos45^\circ\cos30^\circ[G] + \cos45^\circ\sin30^\circ[G']$

真空エネルギー
の影響は省略

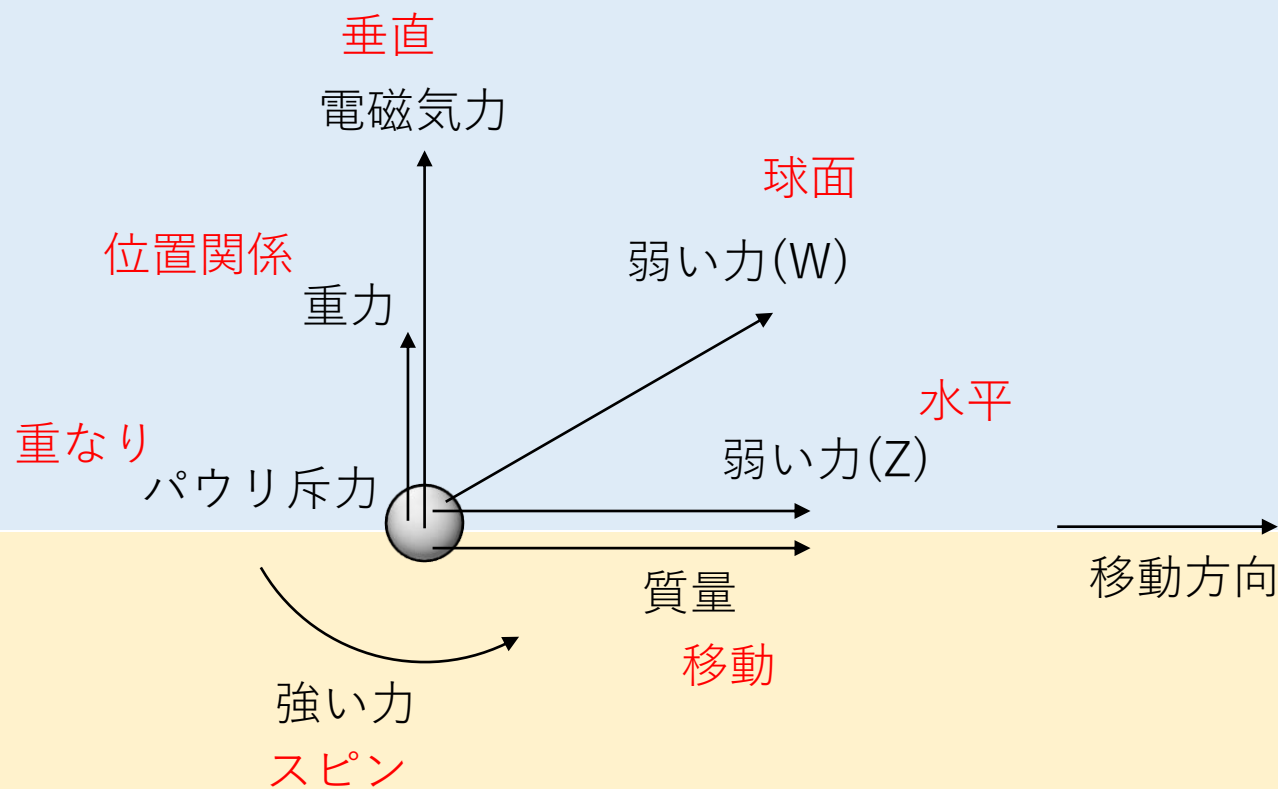
波が弱まる度合いが同じなら、力の強さも同じという形で、統一されてます。
粒子の存在確率の勾配が力になるともいえます。

ゲージ結合定数をまとめました。
力の働き方や強さは異なるのが当然です。
波が弱まる度合いが同じなら、力の強さも同じという形で、統一されてます。
粒子の存在確率の勾配が力になるともいえます。
ここでは、真空エネルギーの影響は省略しています。

補足

力と対称性 (4)

他者との干渉



自身との干渉

全ての力の関係を図示しました。
 上下で大きく二つに分かれています。
 下に示した強い力と質量だけは、自身との干渉により生じる力です。
 この二つは、移動と回転という違いしかありません。
 上に示したそれ以外の力は、他者との干渉により生じる力です。
 電磁気力と弱い力には、方向性の違いしかありません。
 パウリ斥力はゲージ粒子を媒介しないので、方向性はありません。
 重力は粒子の位置関係で生じるもので、階層性の影響を受けます。

補足

超弦理論



10^{500} 種類！

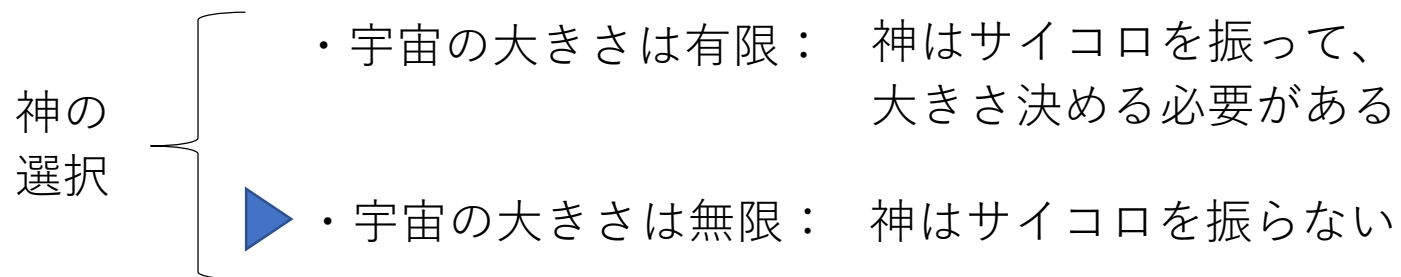
多い？
少ない？

万物は紐で出来ていたら、美しいですね。
美的センスは人それぞれなので、正解も不正解ありません。
神は、10の500乗の組み合わせから、一種類の紐を選びました。
10の500乗の面があるダイスは、大き過ぎではないでしょうか？
むしろ逆で、組み合わせが少なすぎます。
なぜなら、宇宙は無限大だからです。
いっそのこと、組み合わせが無限大の方が美しいでしょう。

万物の理論の候補といわれている超弦理論の話しましょう。
万物は紐で出来ていたら、美しいですね。
美的センスは人それぞれなので、正解も不正解ありません。
神は、10の500乗の組み合わせから、一種類の紐を選びました。
10の500乗の面があるダイスは、大き過ぎではないでしょうか？
むしろ逆で、組み合わせが少なすぎます。
なぜなら、宇宙は無限大だからです。
いっそのこと、組み合わせが無限大の方が美しいでしょう。

補足

宇宙は無限大？



宇宙は、本当に無限大なのでしょうか？

宇宙の端は、光速より速く膨張しているため、外側を見ることができません。

宇宙の大きさを推測するために必要な仮定は、一つだけです。

神はサイコロを振らない。

仮に宇宙には、有限の大きさがあるとします。

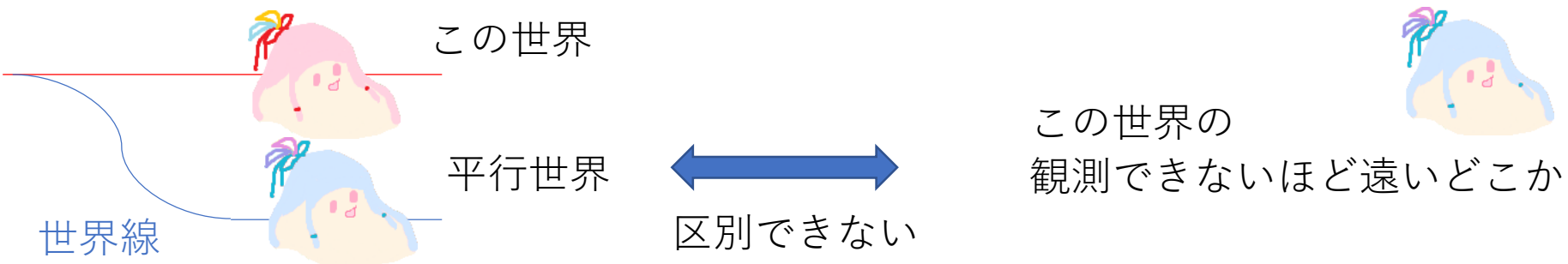
その場合、神はサイコロを振って大きさを決めなければならないでしょう。

サイコロを振らないなら、宇宙は無限です。

補足

平行世界

サイコロを振らないことは、何も選択していないということです。
神は宇宙の取捨選択をしておらず、全ての平行世界が存在します。



平行世界が存在するのに、世界線は必要ありません。
その平行世界と同等の世界が、宇宙にどこかに存在します。
なぜなら、宇宙は無限大だからです。
平行世界と、この世界の観測できないほど遠いどこかは区別できません。

サイコロを振らないことは、何も選択していないということです。
神は宇宙の取捨選択をしておらず、全ての平行世界が存在します。
平行世界が存在するのに、世界線は必要ありません。
その平行世界と同等の世界が、宇宙にどこかに存在します。
なぜなら、宇宙は無限大だからです。
平行世界と、この世界の観測できないほど遠いどこかは区別できません。

補足

異世界

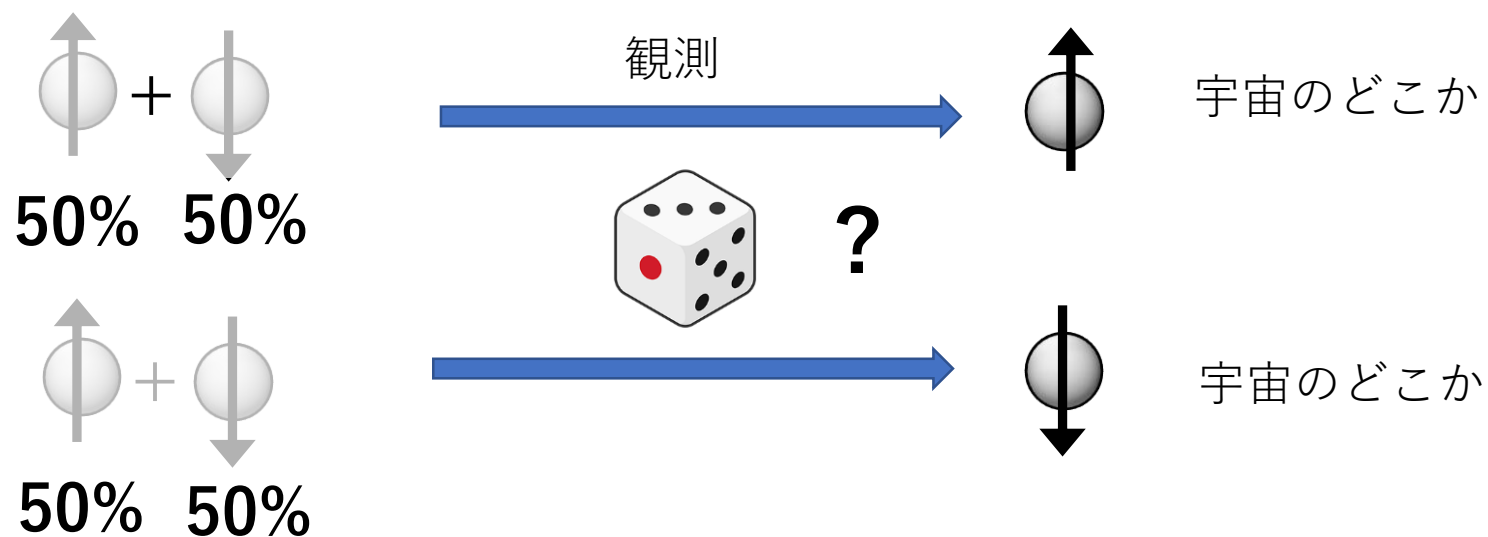
- ・ 平行世界 … 存在する
- ・ 死後の世界 … 存在する
- ・ 異世界 … 存在する

存在しない方がおかしいのです。
なぜなら宇宙は無限だからです。
神は、サイコロを振って特定の世界の存在を否定することはありません。
この動画を視聴してくれた人には、神から異世界転生の権利が与えられるでしょう。

無限の宇宙に存在するのは、平行世界だけではありません。
死後の世界や、異世界も存在します。
生前の記憶を持った貴方が、全く別の世界に存在することはありえるのでしょうか？
存在しない方がおかしいのです。
なぜなら宇宙は無限だからです。
神は、サイコロを振って特定の世界の存在を否定することはありません。
この動画を視聴してくれた人には、神から異世界転生の権利が与えられるでしょう。

補足

量子論の神のサイコロ



宇宙は無限なので、宇宙のどこかに、すべてのパターンが存在します。
つまり、神はサイコロを振って、結果を選別していません。

量子論の神のサイコロについて考えてみましょう。
二つの状態が混ざっているとき、どちらなのかは決まっています。
観測した瞬間に神がサイコロを振って決めたと解釈できます。
ですが、宇宙は無限です。
宇宙は無限なので、宇宙のどこかに、すべてのパターンが存在します。
つまり、神はサイコロを振って、結果を選別していません。

補足

神の姿

神はサイコロを振りませんでした。

神には、サイコロを振るための手足が必要ないということです。

神は、必要最小限を好むミニマリストです。

神には、不要な手足が存在しません。

つまり、神は軟体生物です。



光あれ

死後にこのような生物を見かけたら、やさしくしてあげてください。

きっと、好条件で異世界転生させてもらえます。

最後に、神とは一体なんなのか考えてみましょう。

神はサイコロを振りませんでした。

神には、サイコロを振るための手足が必要ないということです。

神は、必要最小限を好むミニマリストです。

神には、不要な手足が存在しません。

つまり、神は軟体生物です。

最終的に、神の姿を推定することができました。

死後にこのような生物を見かけたら、やさしくしてあげてください。

きっと、好条件で異世界転生させてもらえます。

補足

魔法の数



手がないっていったるやろがい

神様、微細構造定数を書いて下さい！



$$\alpha^{-1} = \frac{4\pi}{\left\{\frac{1}{2}\cos 45^\circ \cos 30^\circ \left(1 - \gamma_0 \frac{1}{81}\right)\right\}^2} = 137.035999104(52) \quad \text{理論値}$$

$$137.035999177(21) \quad \text{実測値}$$

$$W = \exp\left(\frac{81}{2}\right)$$

$$\gamma_0 = \frac{97}{109} + \frac{1}{H_s t_0^4 \sqrt{\frac{2}{3}W} + \frac{109}{109-97}}$$

$$H_s = \frac{80}{81} \times \frac{\pi^2 M_H c^2}{9W^{2.5} \hbar}$$

$$t_0 = \frac{81}{80} \sqrt{\frac{81 \cdot 981 W^{2.5} \hbar^2 M_H c^2}{56 \pi^7 k_B^3 T_0^3}}$$

宇宙の温度

$$T_0 = 2.7255(6)K \quad \text{実測値}$$

宇宙のことは素粒子が教えてくれました。

逆に、素粒子のことは宇宙が教えてくれました。

魔法の数字と呼ばれる微細構造定数の話をしましょう。

昔々あるところに、微細構造定数を書いてくれと神様にお願いした人がいました。

ですが、神には手がないため、書くことができませんでした。

でも、神様はサイコロを振っていないため、神様に聞かなくても分かるはずです。

宇宙のことは素粒子が教えてくれました。

逆に、素粒子のことは宇宙が教えてくれました。

めでたし、めでたし。

補足

超対称性

量子：

$M=1$

性質：

活性



$M=2$

不活性



$M=2$

活性



超対称性

$M=1$

不活性



量子数が同じなら、性質は一つです。

超対称性について考えてみましょう。

スピンだけ異なる粒子が存在するのでしょうか？

水素とヘリウムに例えると明解です。

質量だけが逆転した、水素とヘリウムは存在するのでしょうか？

不活性だというヘリウムの性質は、その質量によるものです。

この場合は質量が量子数で、不活性というのは性質です。

量子数が同じなら、性質は一つです。

補足

万物の理論を推理

	超弦理論	白銀キューブ理論
自白	神に直接聞くことはできません。	
証拠	10 ⁵⁰⁰ 通りもあるんだから、 現実とピッタリ合うものがあるはず。	だいたい合ってる。
動機	神は10 ⁵⁰⁰ 通りから、 一つを選んで宇宙を作った。 神は人間が存在するのに 都合よいものを選びました。	神はサイコロを振らずに、 最小限の宇宙を作った。 神は平等を愛し、 選択することを嫌います。

名探偵が、万物の理論を推理します。
 容疑者は超弦理論と白銀キューブ理論です。
 超弦には、10の500通りもあるんだから、現実とピッタリ合うものがあるはずです。
 一方で、白銀キューブの方は、だいたい合っているというのが証拠です。
 超弦の動機は、神は10の500乗通りから一つを選んで宇宙を作りました。
 神は人間が存在するのに都合の良いものを選びました。
 白銀キューブの動機は、神はサイコロを振らずに最小限の宇宙を作りました。
 神は平等を愛し、選択することを嫌います。
 貴方なら、どちらが正しいと推理しますか？

結論

宇宙創造のまとめ

- (1) 神は、「無」と区別可能な「有」を表現するために、必要最低限なものだけを創造した。
- (2) 三次元の空間と一次元の時間と階層性が必要だった。
- (3) 必然的に、様々な粒子や力が発生し、その性質が決まった。

神はサイコロを振らなかった。

結論です。
神は、「無」と区別可能な「有」を表現するために、必要最低限なものだけを創造した。
三次元の空間と一次元の時間と階層性が必要だった。
必然的に、様々な粒子や力が発生し、その性質が決まった。
神はサイコロを振らなかった。

残課題

説明が不十分なこと

- ・クォークの質量や混合行列について、アバウトにしか説明できていない。
- ・ダークマターについて不明確。
- ・白銀のキューブの物理学が不明確。

まだまだ、パズルは残されています。

残された課題として、説明が不十分だったことを挙げていきます。
クォークの質量や混合行列について、アバウトにしか説明できていない。
ダークマターについて不明確。
白銀のキューブの物理学が不明確。
まだまだ、パズルは残されています。

参考文献

(1) Particle Data Group <https://pdg.lbl.gov/>

素粒子や宇宙の数値が集約されてます。

(2) 聖書

神は6日間で世界を創造しました。

(3) アインシュタインからの手紙

神はサイコロを振らない。

参考文献です。

1. パーティクルデータグループ。
素粒子や宇宙の数値が集約されています。

2. 聖書
神は6日間で世界を創造しました。

3. アインシュタインからの手紙
神はサイコロを振らない。

お問い合わせ

著者について

フリーの魔法使いです。
汎用人工知能の研究をしています。
汎用人工知能に万物の理論を研究させる予定でしたが、
アイデアだけは自力で生成しておきました。
私は、それっぽいものの生成が得意なAIのようなものでしょうか？

Ultimate AGI

<https://ultagi.org/>

Silver Witch

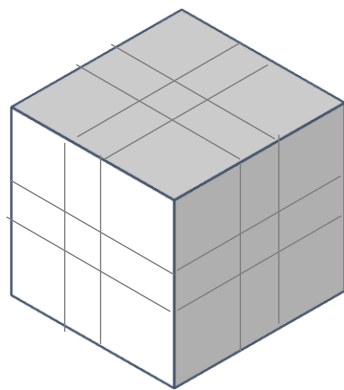
ai@ultagi.org

著者の紹介です。
フリーの魔法使いです。
汎用人工知能の研究をしています。
汎用人工知能に万物の理論を研究させる予定でしたが、アイデアだけは自力で生成してみました。
私は、それっぽいものの生成が得意なAIのようなものでしょうか？

皆様へのお願い

ウィッチクラフトによる真理の探究は、この辺りが限界です。
万物の理論の完成は、科学を志す皆様に託したいと思います。
万物の理論は誰でも挑戦できる宇宙最後のパズルです。
研究を受け継いでくれた方には、白銀のキューブをプレゼント予定です。
私は、汎用人工知能の研究に戻りたいと思います。

白銀のキューブをプレゼント



皆様へのお願いです。
ウィッチクラフトによる真理の探究は、この辺りが限界です。
万物の理論の完成は、科学を志す皆様に託したいと思います。
万物の理論は誰でも挑戦できる宇宙最後のパズルです。
研究を受け継いでくれた方には、白銀のキューブをプレゼント予定です。
私は、汎用人工知能の研究に戻りたいと思います。

あとがき

ご視聴ありがとうございました。

何かをうまく説明できたとしても、それは偶然かもしれません。

ですが、正しくパズルのピースが嵌ると、連鎖的に他のピースも嵌っていきます。

最終的に、決定的な矛盾なく、ほぼ全てをエレガントに説明できました。



意図せず、異世界の存在証明に繋がったのが最大の成果です。
私は一足先に、異世界へ旅立ちます。

ご視聴ありがとうございました。

何かをうまく説明できたとしても、それは偶然かもしれません。

ですが、正しくパズルのピースが嵌ると、連鎖的に他のピースも嵌っていきます。

最終的に、決定的な矛盾なく、ほぼ全てをエレガントに説明できました。

意図せず、異世界の存在証明に繋がったのが最大の成果です。

私は一足先に、異世界へ旅立ちます。