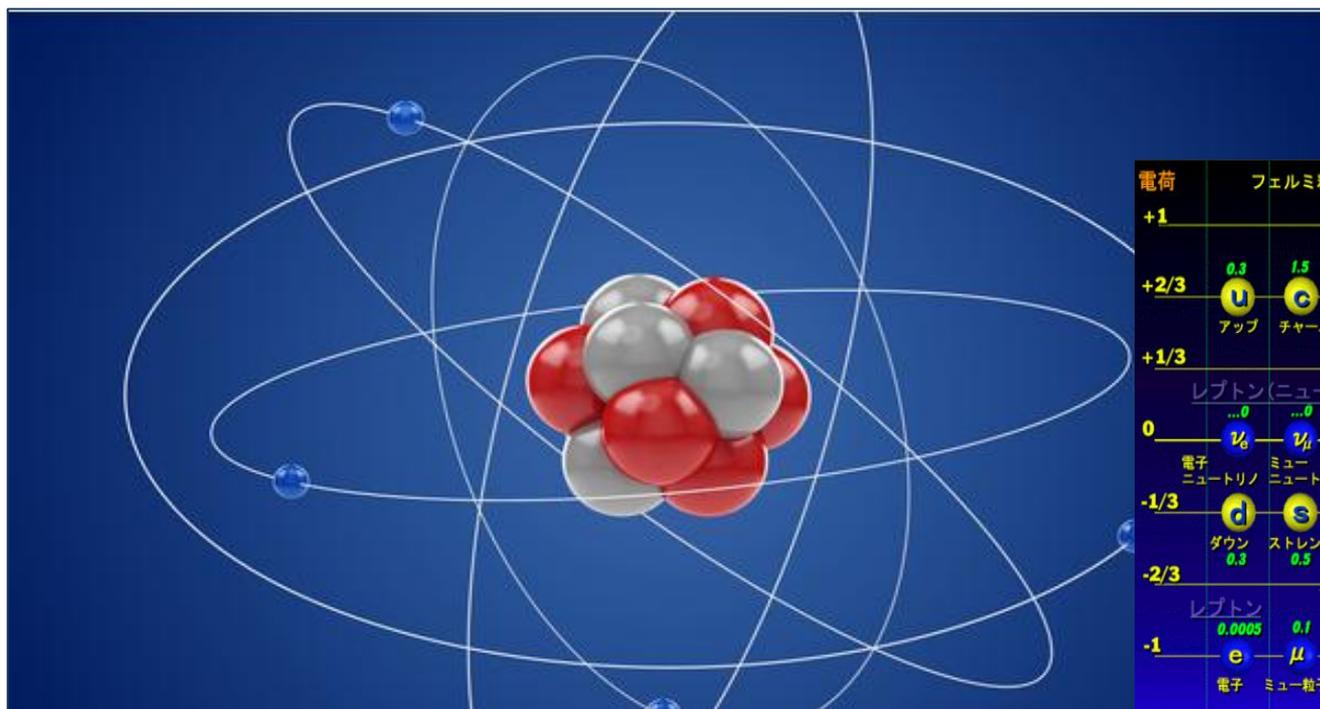


超ひも理論(素粒子とは?)

物質は何でできているのか?
力の種類は? 統一できるのか?

2021年1月9日
中村



電荷	フェルミ粒子			ゲージ粒子					
+1				クォーク	H ⁺	W ⁺			
+2/3	0.3 u アップ	1.5 c チャーム	? t トップ		ヒッグス 粒子 ?	W ⁺ 粒子 81			質量 [GeV]
+1/3									
	レプトン(ニュートリノ)								
0	...0 ν _e 電子 ニュートリノ	...0 ν _μ ミュー ニュートリノ	...0 ν _τ タウ ニュートリノ		H ⁰	Z ⁰	強い力 g	弱い力 γ	万有引力 G
-1/3	d ダウ 0.3	s スト 0.5	b ボト 5.0		ヒッグス 粒子	Z ⁰ 粒子	グルーオン	フォトン	グラビトン
-2/3									
	レプトン								
-1	0.0005 e 電子	0.1 μ ミュー 粒子	1.8 τ タウ 粒子		H ⁰	W ⁻			
					ヒッグス 粒子	W ⁻ 粒子			

目次

1. 物質は何で出来ているのか？
物質をどんどん細かくするとどうなるのか？
2. 力の種類は？
 2. 1 力はどうして働くのか？
 2. 2 力の統一
3. 素粒子の種類
4. 超ひも理論(超弦理論)
 4. 1 超ひも理論とは？
 4. 2 次元
 4. 3 ひもの種類
 4. 4 ひもの特徴
 4. 5 問題点
5. その他
 5. 1 宇宙の構成
 5. 2 影の世界
 5. 3 放射線

“物質”は何で出来ているのか？

「世の中の一見複雑に見える物事は、実はごくシンプルな要素の組み合わせでできているはずだ」
これを知りたいため物理学者たちは命を捧げてきた。→物質、力の正体はなんだ！
物をどんどん細かくするとどうなるのか？（物質の素は何か？）

古代ギリシャの4元説: 全ての物質は“火、水、土、風”からできていると考えられていた。

中国の5行説
木、火、土、金、水+陽(日)、陰(月)

科学が進んだ

物質→分子→原子→陽子、中性子、電子
物質は全て3つで出来ているんだ！ シンプル！

更に科学が進んだ

更に素粒子(17種類)で出来ていることが分かった。
17種類もあつてはシンプルではない！！ もっとシンプルになるはずだ！！

中性子: アップ(クォーク)2個+ダウン(クォーク)1個
陽子 : アップ(クォーク)1個+ダウン(クォーク)2個
電子 : 電子1個

アインシュタインも人生の後半20年はこの問題にひたすら取り組んだが
解くことが出来なかった。

ひも理論:

万物の根源である素粒子は極小のひも(エネルギーのひも)で出来ている。
開いた1本の線のようなひもだったり、輪ゴムのように閉じたひもだったりして、そのひもが振動したり回転したりして粒子になっている。

1種類のひもの振動の仕方によっていろいろな素粒子に見える！

超ひも理論: ひもに超対称性を付加させた理論。現在主流の研究対象となっています。

力の種類

物理学では、力というのは4種類あるといわれている。それは;

1. **電磁気力**: 原子核と電子や、原子同士を結び付け原子や分子を作る力のこと。電気と磁気の力。
2. **重力**: 物質同士が引かれ合う力のこと。他の3つの力に比べ極端に弱い。
例えば、静電気で髪の毛を逆立てられるのは、重力よりも電磁気力が圧倒的に強いため。
3. **強い力**: 原子核等を構成する素粒子(クォーク)同士を結び付け、陽子や中性子等を作る力のこと。
4. **弱い力**: 重い素粒子から軽い素粒子に崩壊する時の力のこと。

1, 2: 日常生活で見かける力。

アインシュタインの活躍している時代は力はこの2つしかないと考えられていた。

しかし、クォークの発見、放射線崩壊の発見などでこのほかにも

「強い力」と「弱い力」があることがわかった。

3: 「強い力」はクォーク間にのみ働く力で4つの力では最強です。

4: 「弱い力」は放射線崩壊の際に関係し、ニュートリノをつなぎ止めたりする。

粒子間に働く力、というより核子の崩壊(中性子 \leftrightarrow 陽子)を促す力

この力は「クォーク」「レプトン」「ニュートリノ」などほとんどすべての物質に対して働く。

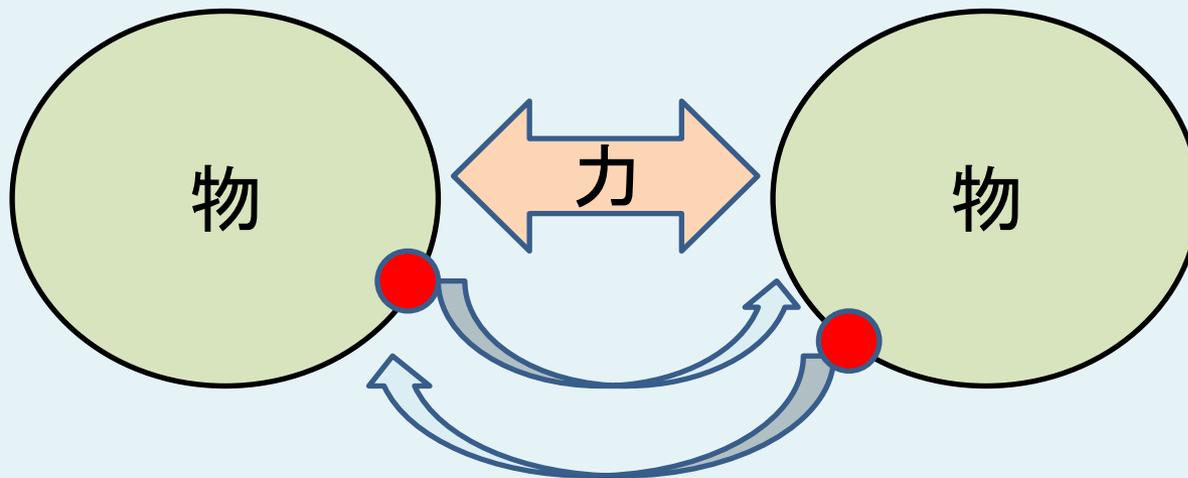
4つもあってはシンプルでない！！

この4つの力を統一しよう



超ひも理論

力はどうして働くのか？



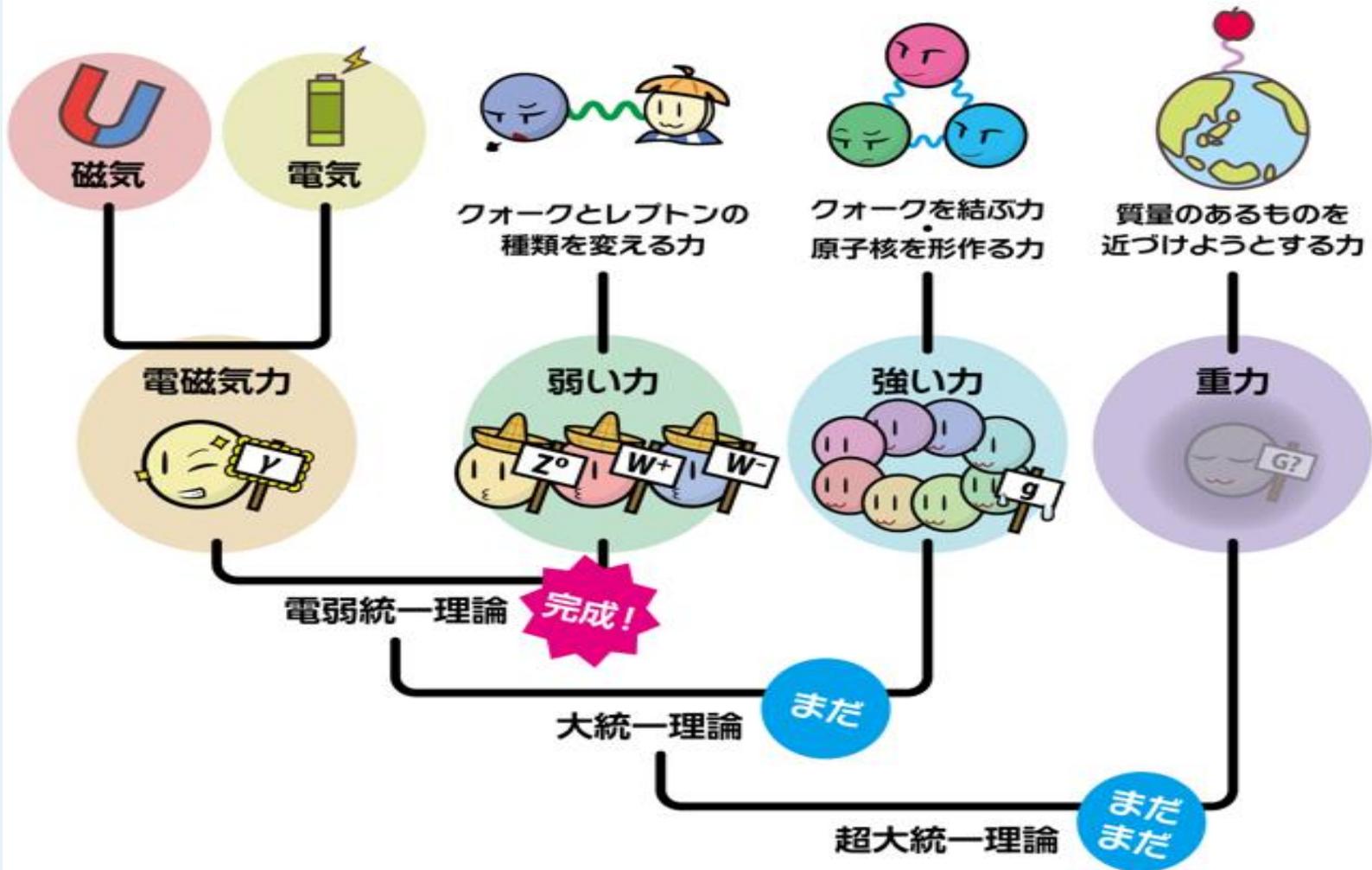
力は粒子をキャッチボールすることによって発生する。

● : 粒子

・電磁気力: 光子

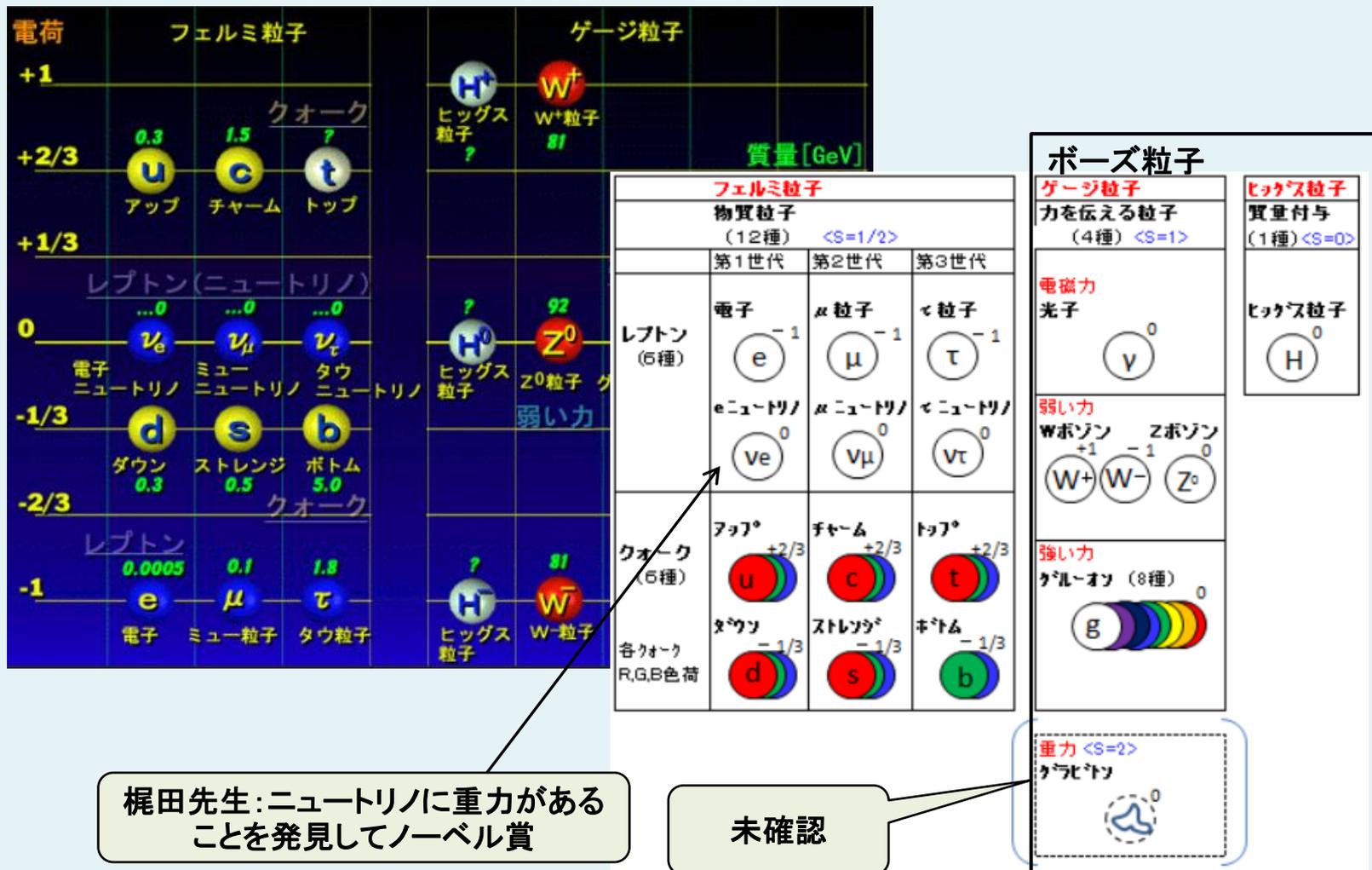
・重力 : 重力子

力の統一



素粒子の種類(1)

参考: [【物理学喫茶室】\(cimarosa39.com\)](http://cimarosa39.com)



素粒子の種類(2)

1. ボソン(ボース統計に従う粒子)

1. 1ゲージ粒子

素粒子間の相互作用(力)を伝え運ぶ粒子。それぞれの相互作用に応じて以下の種類がある。

- 1) 光子(フォトン) - 電磁相互作用を媒介する。 γ で表されることが多い。
- 2) ウィークボソン - 弱い相互作用を媒介する。質量を持つ。
 - ・Wボソン - 電荷 ± 1 をもつ。 W^+ , W^- で表され、互いに反粒子の関係にある。
 - ・Zボソン - 電荷をもたない。 Z^0 と書かれることもある。
- 3) グルーオン - 強い相互作用を媒介する。カラーSU(3)の下で八種類存在する。
- 4) 重力子(グラビトン) - 重力を媒介する(未発見)。標準模型には含まれないが、素粒子論で取り扱う素粒子のため掲載。

1. 2ヒッグス粒子

素粒子に質量を与える。

2. フェルミオン(フェルミ統計に従う粒子)

フェルミオン: 物質を構成する粒子。

クォークとレプトンに大きく分けられる。更にそれぞれが二系列に分けられ、三世代ずつの計6種類が発見されている。

傾向として、世代数が大きいほど質量が大きいとされている。

2. 1クォーク - 強い相互作用をする。ハドロンの構成要素とされる。

- 1) 上系列クォーク - 電荷 $+2/3$ を持ち、それぞれに反粒子が存在する。
 - ・アップクォーク (u)
 - ・チャームクォーク (c)
 - ・トップクォーク (t)
- 2) 下系列クォーク - 電荷 $-1/3$ を持ち、それぞれに反粒子が存在する。
 - ・ダウンクォーク (d)
 - ・ストレンジクォーク (s)
 - ・ボトムクォーク (b)

2. 2レプトン - 強い相互作用をしない。

- 1) ニュートリノ - 電荷を持たない。標準模型の範囲では反粒子の存在が必然ではない。
 - ・電子ニュートリノ (ν_e)
 - ・ミューニュートリノ (ν_μ)
 - ・タウニュートリノ (ν_τ)
- 2) 荷電レプトン - 電荷 -1 を持ち、それぞれに反粒子が存在する。
 - ・電子 (e) - 原子の構成要素として一般によく知られる。電子の反粒子は陽電子と呼ばれる。
 - ・ミュー粒子 (μ)
 - ・タウ粒子 (τ)

[素粒子 - Wikipedia](#)

超ひも理論(超弦理論)

本当に理解し研究できるのは一握りの選ばれた天才達だけである。

理科好きの少年たちのすべての夢が“超ひも理論”にある。

- ・超ひも理論とは物質の究極の要素は「粒子」ではなく「ひも」であるというものです。
 - ・超ひもの大きさは 10^{-35} [m] といわれ、原子の大きさの 10^{-10} [m]と比べてもとてつもなく小さいものです。
 - ・ひもが振動するとき振動数の異なる波が生じるがこの1つ1つが素粒子(質量・電荷を決める)に対応するというものである。
 - ・このようなひもが真空中に詰まっている。
- ・超ひも理論の発端なる「ひも」モデルを初めて考案したのは日本人である。
その人の名は南部陽一郎。米国国籍の理論物理学者。2008年にノーベル物理学賞を受賞。

超対称性理論

既知のすべての素粒子に未発見のパートナーが存在すると考える。それらは超対称性粒子と総称される。

(出典:「崖っぷちの超対称性理論」日経サイエンス)

量子力学を拡張する際に持ち上がる様々な問題を超対称性理論によって解決できるため、多くの物理学者はこれを強く支持している。

正体不明の宇宙の暗黒物質の謎も解ける可能性がある。

粒子にはボーズ粒子とフェルミ粒子という2種類がある。ここでそれぞれのボーズ粒子に全く同じ量子数を持つフェルミ粒子の相棒があると、互いの真空のエネルギーが打ち消しあっては完全にゼロになり問題を避けることが出来る。これが超対称性です。

超ひも理論(次元)

次元

- ・超ひもの世界は10次元です。(含む+1次元(時空))
- ・超ひもはこの10次元という超空間を振動するひもです。3次元では振動のパターンが少なく全素粒子を説明できない。→10次元必要。
いろいろ研究がされ5つのひも理論が出てきた。

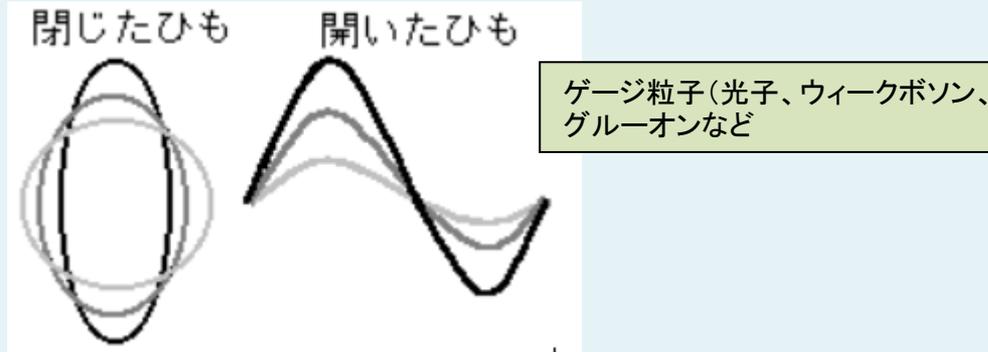


統一するM理論が提唱された。(これは11次元+1次元)

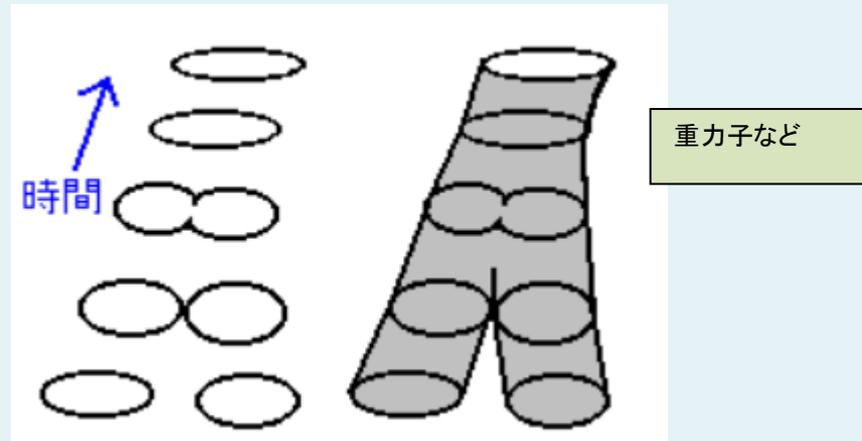
- ・残り7次元はとてつもなく小さく顕微鏡でも見えないので気が付かない。
日常の世界では3次元で、これに運動する物体など時間に依存するものを加えると4次元の時空になる。では残りの7次元は？というこれは「コンパクト化」されてしまっていて見えなくなっている。
通常、現在の4次元空間は直線上になっていますが、残りの7次元は丸くなっていて閉じてしまっています(→ コンパクト化)。
このため観測できない。
10次元という数字は光より速い粒子「タキオン」や負の確率になってしまう「粒子ゴースト」を存在しないようにする数字である。

超ひも理論(ひもの種類)

・ひもには次の2種類があります。



そしてひも同士は相互作用があります。
たとえば2つのひもが重なって1つのひもになることがある。これは、次のようになる。

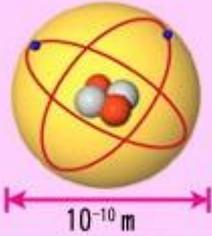


左は2つのひもが1つになっていく様子です。
これを4次元的に描いたのが右です。このようにズボンのような形をしている。
ほかにもひもの相互作用のパターンがあるが数種類しかない。

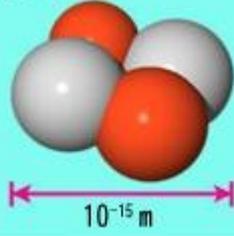
ひもの大きさ

ひもの大きさは？

原子

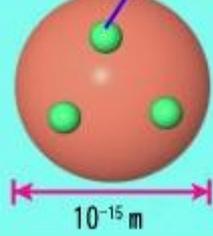


原子核



陽子

クォーク

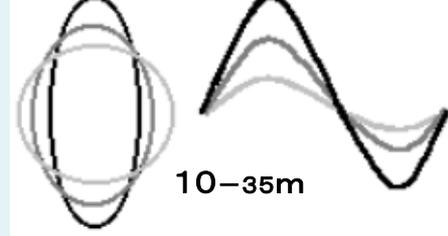


クォーク



閉じたひも

開いたひも



銀河系
(天の川銀河)

太陽系

蟻

ひもの特徴

- ・ひもは伸びたり、縮んだりする。
- ・ひもは切れたり、くっついたりする。
 - 素粒子の放出や吸収に対応する。(例:電子から光子が放出される。)
 - このように素粒子のふるまいを説明可能
- ・ひもには“閉じたひも”と“開いたひも”の2種類がある。
 - 開いたひも:発見済みの16種類の素粒子
 - 閉じたひも:重力子(まだ発見されていない)
- ・ひもは超高速で振動している。
 - バイオリン:660回/秒　ひも:10の42乗回以上/秒
 - ひもの振動が激しいほど重い(質量の大きい)素粒子になる。
- ・ひも自体には質量がない。
 - 振動するエネルギーが質量を与える。(相対性理論:エネルギー=質量)

問題点

問題点

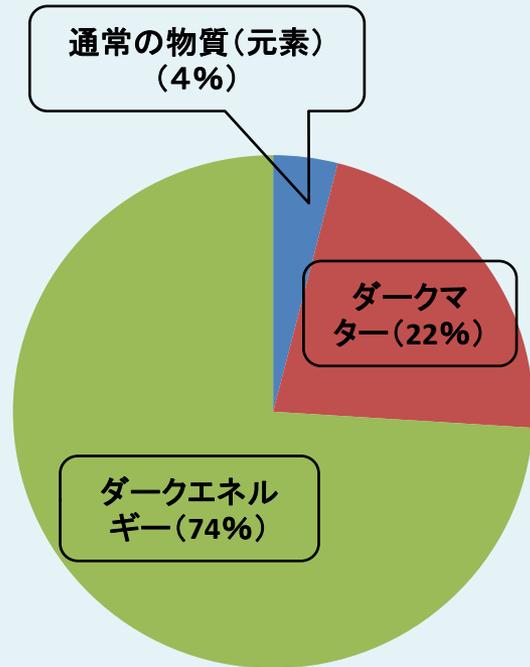
超ひも理論には実験で確認できない問題が多いため推測の域を出ず、反対派も存在する。たとえば、余剰次元の確認方法や超対称性粒子の発見の見通しは立っていない。現に超ひも理論の業績でノーベル賞を受賞した人物は出ていない。

しかし現在のところ理論に大きな破綻はなく研究が進められている分野で、超対称性粒子の一部は宇宙に存在するとされる未発見の粒子(暗黒物質,ダークマターは目に見えず、触れることもできないが周囲に重量を及ぼしている物質である。さまざまな天文観測から宇宙に広く存在することは確実である。)の候補として期待され、重力が極端に弱い理由も説明できる可能性を秘めている。

ひも理論の証明方法

理論から予測される重さの素粒子を発見すること。(重い素粒子を発見すること)
加速器で高速に加速した粒子を衝突させて重い粒子を作ること。

宇宙の構成



◇通常物質(元素)

☑現時点で知られている物質は実質的にはすべて元素(陽子と中性子)からなる

◇ダークマター

- ☑・銀河・銀河団は星の総和から予想される値の10倍以上の質量☑
- ・未知の素粒子が正体？

◇ダークエネルギー

- ☑・万有斥力(負の圧力)
- ・☑アインシュタインの宇宙定数？
- ・☑宇宙空間を一様に満たしている
- ・☑ダークマターとは異なり空間的に局在しないが、宇宙の主成分

影の世界

超ひも理論を解いてみると非日常的なことが導かれる。

◇「影の世界」というのはその一つです。

今現在の我々の世界と「実」とします。

「実」と「影」との相互作用は重力を除いてありません。

そのため、あなたの隣に「影の人間」がいたとしてもさわることができないし
(電磁気力の相互作用がないため)

見ることもできません。(影の光子が実の人間には見れないため)

影響は重力のみですが人間が1m離れていたとしても 1.7×10^{-7} [N]

程度の力しか及ぼさないなので影響はほとんどありません。

◇影の世界との交信

影の世界と交信するとした場合、「実の電波」は「影の受信機」では受信できません。

これは実の電波が影のアンテナと相互作用を起こさないためです。

お互いに影響があるのは重力のみなので「重力波」を使うことになります。

◇宇宙の始まり

約138億年前、物質を作る素粒子と重力子など力を伝える素粒子が混とんとしていた。

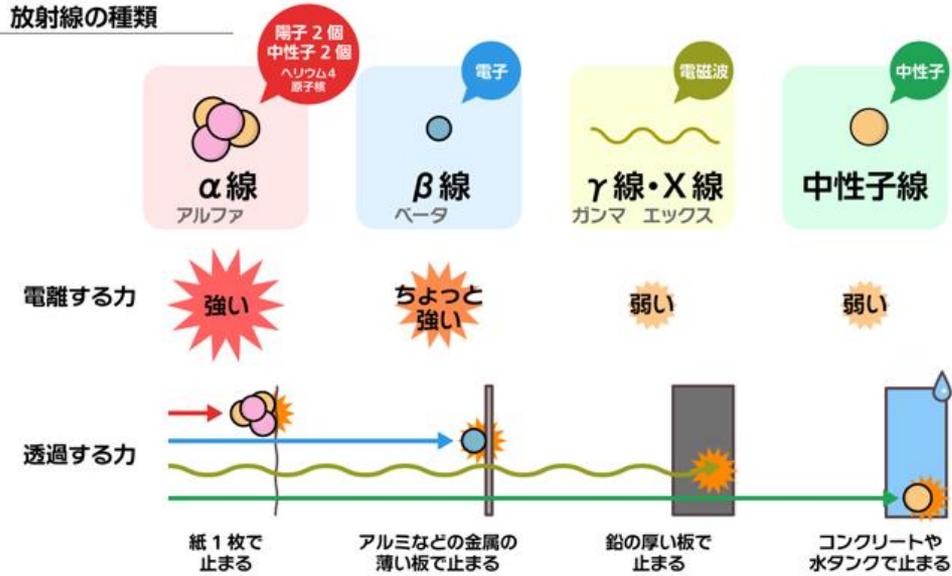
これらの素粒子がそれぞれにどのような影響を与えているかを計算できるの“ひも理論”だけである。

◇宇宙の数

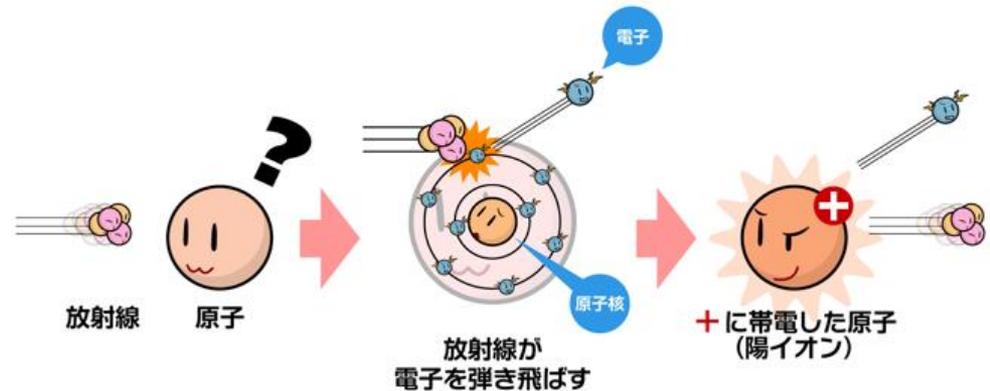
ひも理論では我々の宇宙以外にも少なくとも10の500乗の別の宇宙があると計算されています。

放射線

放射線の種類



放射線の電離作用

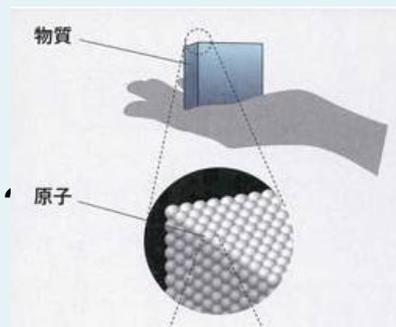


コーヒータイム

おまけ;

- ①物をどんどん細かくしていくと、どうなる？
- ②原子核には陽子、中性子が固まっている(くっついている)。
電荷+と+で非常に大きな反発力が働いているのになぜ？
なぜ存在出来るのか??
→強い核力
- ③電子は陽子の周りを回っているが電荷は+と-なのに
何故くっつかないのか？
→不確定性原理(エネルギーと位置の不確定)
- ④本当の真空状態(何もない空間)なんてあるの？
→ない！常に粒子・反粒子が誕生して消えている。
不確定性原理(エネルギーと時間の不確定)

最後は電子、アップクォークとダウンクォークの
3つの素粒子となる。



想像してみよう

