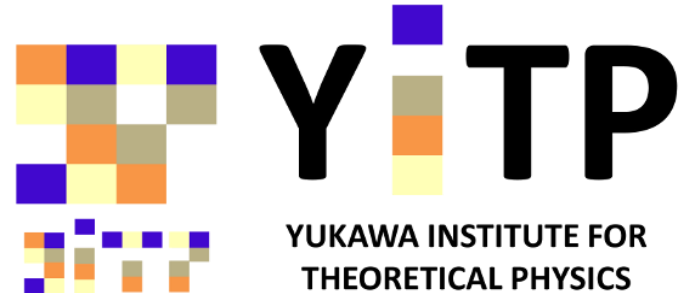


素粒子とは？

京都大学
基礎物理学研究所

菅野 颯人



今から話すこと

素粒子とは？

ざっくりいうと、

この世界は何から作られているんだろう？

っていうお話です。

始めに、自己紹介 (1)

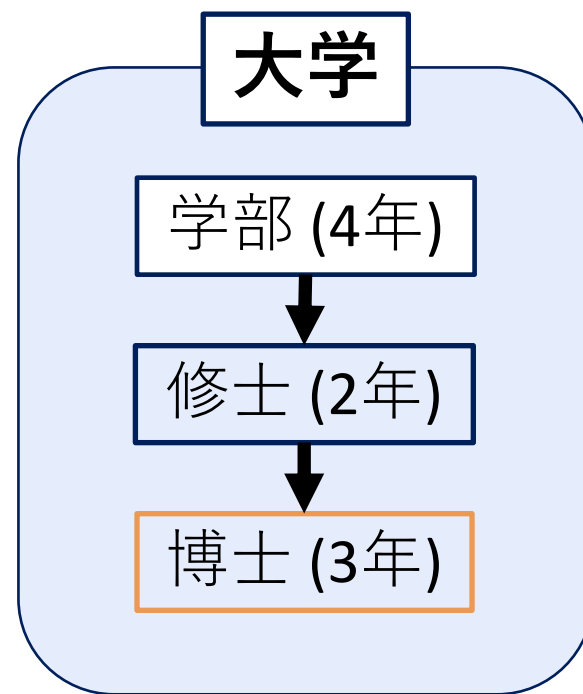
菅野 颯人 (かんの はやと)

- 1996年生まれ (24歳)
- 京都大学 理学研究科 博士1年
- 「基礎物理学研究所」というところで研究してます
- 専門：素粒子論

はじめに、自己紹介 (1)

菅野 颯人 (かんの はやと)

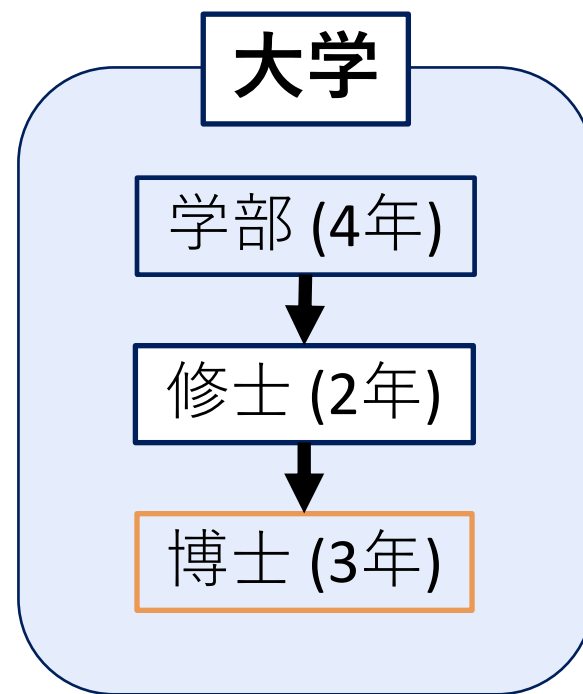
- 1996年生まれ (24歳)
 - 京都大学 理学研究科 博士1年
 - 「基礎物理学研究所」というところで研究してます
 - 専門：素粒子論
-
- 出身：茨城県
 - 高校：茨城県立 水戸第一高校
 - 学部：九州大学 理学部物理学科
 - 修士：京都大学 理学研究科



始めに、自己紹介 (1)

菅野 颯人 (かんの はやと)

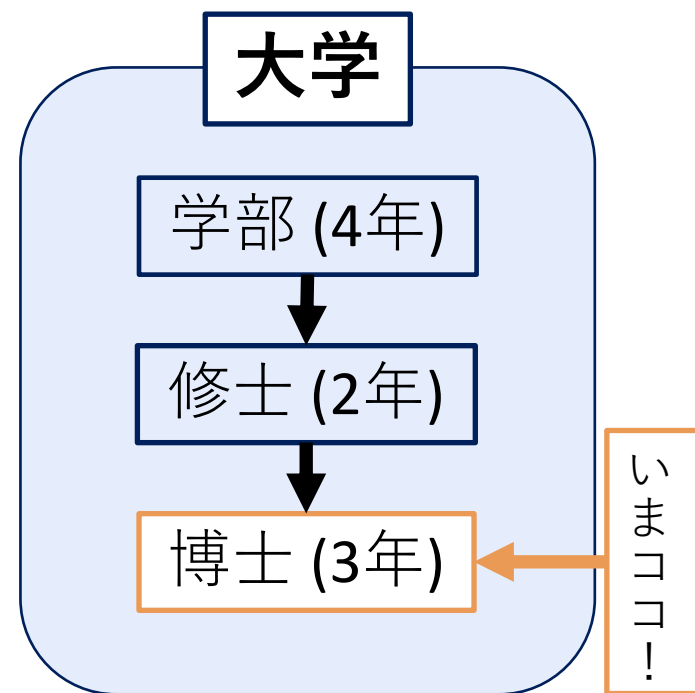
- 1996年生まれ (24歳)
- 京都大学 理学研究科 博士1年
- 「基礎物理学研究所」というところで研究してます
- 専門：素粒子論
- 出身：茨城県
- 高校：茨城県立 水戸第一高校
- 学部：九州大学 理学部物理学科
- 修士：京都大学 理学研究科



始めに、自己紹介 (1)

菅野 颯人 (かんの はやと)

- 1996年生まれ (24歳)
 - 京都大学 理学研究科 博士1年
 - 「基礎物理学研究所」というところで研究してます
 - 専門：素粒子論
-
- 出身：茨城県
 - 高校：茨城県立 水戸第一高校
 - 学部：九州大学 理学部物理学科
 - 修士：京都大学 理学研究科



始めに、自己紹介 (2)

基礎物理学研究所

Webページ：<https://www.yukawa.kyoto-u.ac.jp/>

- 京大の附置研究所の1つ
- 国内の主要な理論物理学の研究拠点
- 英語名：Yukawa Institute for Theoretical Physics



目次

1. はじめに

- 自己紹介

2. 導入 (3)

- 何を考えたいのか?

3. 理論 (6)

- どんな素粒子があるの?

4. 実験 (4)

- 実験で素粒子に迫る!

5. まとめ (4)

- 結局、素粒子って何だったの?

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる
 - 顕微鏡で見してみる?

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる
 - 顕微鏡で見してみる?
 - セルロース： $-\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5-$

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる
 - 顕微鏡で見してみる?
 - セルロース： $-\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5-$
 - CHO

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる
 - 顕微鏡で見してみる?
 - セルロース： $-\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5-$
 - CHO
 - 原子?

突然ですが、問題

目の前にある「モノ」を小さくしていくと...?

- 例：「紙」
 - 取り敢えず小さくしてみよう
 - ちぎる?ハサミで切る?
 - 更に小さくしてみる
 - 顕微鏡で見してみる?
 - セルロース： $-\text{[C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5\text{]}-$
 - CHO
 - 原子?
- この世界にあるものは全て「原子」からできている

原子?

周期\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 Hydrogen 1.00798																	2 He ヘリウム Helium 4.0026
2	3 Li リチウム Lithium 6.968	4 Be ベリリウム Beryllium 9.01218											5 B 硼(ホウ)素 Boron 10.814	6 C 炭素 Carbon 12.0106	7 N 窒素 Nitrogen 14.0069	8 O 酸素 Oxygen 15.9994	9 F フ(フッ)素 Fluorine 18.9984	10 Ne ネオン Neon 20.1797
3	11 Na ナトリウム Sodium 22.9898	12 Mg マグネシウム Magnesium 24.306											13 Al アルミニウム Aluminum 26.9815	14 Si 珪(ケイ)素 Silicon 28.085	15 P 燐(リン) Phosphorus 30.9738	16 S 硫黄 Sulfur 32.068	17 Cl 塩素 Chlorine 35.452	18 Ar アルゴン Argon 39.948
4	19 K カリウム Potassium 39.0983	20 Ca カルシウム Calcium 40.078	21 Sc スカンジウム Scandium 44.9559	22 Ti チタン Titanium 47.867	23 V バナジウム Vanadium 50.9415	24 Cr クロム Chromium 51.9961	25 Mn マンガン Manganese 54.938	26 Fe 鉄 Iron 55.845	27 Co コバルト Cobalt 58.9332	28 Ni ニッケル Nickel 58.6934	29 Cu 銅 Copper 63.546	30 Zn 亜鉛 Zinc 65.38	31 Ga ガリウム Gallium 69.723	32 Ge ゲルマニウム Germanium 72.630	33 As 砒(ヒ)素 Arsenic 74.9216	34 Se セレン Selenium 78.971	35 Br 臭素 Bromine 79.904	36 Kr クリプトン Krypton 83.798
5	37 Rb ルビジウム Rubidium 85.4678	38 Sr ストロンチウム Strontium 87.62	39 Y イットリウム Yttrium 88.9058	40 Zr ジルコニウム Zirconium 91.224	41 Nb ニオブ Niobium 92.9064	42 Mo モリブデン Molybdenum 95.95	43 Tc テクネチウム Technetium [99]	44 Ru ルテチウム Ruthenium 101.07	45 Rh ロジウム Rhodium 102.906	46 Pd パラジウム Palladium 106.42	47 Ag 銀 Silver 107.868	48 Cd カドミウム Cadmium 112.414	49 In インジウム Indium 114.818	50 Sn 錫(スズ) Tin 118.710	51 Sb アンチモン Antimony 121.760	52 Te テルル Tellurium 127.60	53 I ヨ(ヨウ)素 Iodine 126.904	54 Xe キセノン Xenon 131.293
6	55 Cs セシウム Cesium 132.905	56 Ba バリウム Barium 137.327	※1	72 Hf ハフニウム Hafnium 178.49	73 Ta タンタル Tantalum 180.948	74 W タングステン Tungsten 183.84	75 Re レニウム Rhenium 186.207	76 Os オスミウム Osmium 190.23	77 Ir イリジウム Iridium 192.217	78 Pt 白金(プラチナ) Platinum 195.084	79 Au 金 Gold 196.967	80 Hg 水銀 Mercury 200.592	81 Tl タリウム Thallium 204.384	82 Pb 鉛 Lead 207.2	83 Bi ビスマス Bismuth 208.980	84 Po ポロニウム Polonium [210]	85 At アスタチン Astatine [210]	86 Rn ラドン Radon [222]
7	87 Fr フランシウム Francium [223]	88 Ra ラジウム Radium [226]	※2	104 Rf ラザホージウム Rutherfordium [267]	105 Db ドブニウム Dubnium [268]	106 Sg シーボーギウム Seaborgium [271]	107 Bh ボーリウム Bohrium [272]	108 Hs ハッシウム Hassium [277]	109 Mt マイトネリウム Meitnerium [276]	110 Ds ダームスタチウム Darmstadtium [281]	111 Rg レントゲニウム Roentgenium [280]	112 Cn コペルニシウム Copernicium [285]	113 Nh ニホニウム Nihonium [278]	114 Fl フレロビウム Flerovium [289]	115 Mc モスコビウム Moscovium [289]	116 Lv リバモリウム Livermorium [293]	117 Ts テネシン Tennessine [293]	118 Og オガネソン Oganesson [294]

※1 ランタノイド系	57 La ランタン Lanthanum 138.905	58 Ce セリウム Cerium 140.116	59 Pr プラセオジウム Praseodymium 140.908	60 Nd ネオジウム Neodymium 144.242	61 Pm プロメチウム Promethium [145]	62 Sm サマリウム Samarium 150.36	63 Eu ユウロビウム Europium 151.964	64 Gd ガドリニウム Gadolinium 157.25	65 Tb テルビウム Terbium 158.925	66 Dy ジスプロシウム Dysprosium 162.500	67 Ho ホルミウム Holmium 164.930	68 Er エルビウム Erbium 167.259	69 Tm ツリウム Thulium 168.934	70 Yb イットルビウム Ytterbium 173.045	71 Lu ルテチウム Lutetium 174.967
※2 アクチノイド系	89 Ac アクチニウム Actinium [227]	90 Th トリウム Thorium 232.038	91 Pa プロトアクチニウム Protactinium 231.036	92 U ウラン Uranium 238.029	93 Np ネプツニウム Neptunium [237]	94 Pu プルトニウム Plutonium [239]	95 Am アメリシウム Americium [243]	96 Cm キュリウム Curium [247]	97 Bk バークリウム Berkelium [247]	98 Cf カリホルニウム Californium [252]	99 Es アインスタイニウム Einsteinium [252]	100 Fm フェルミウム Fermium [257]	101 Md メンデレヴィウム Mendelevium [258]	102 No ノーベリウム Nobelium [259]	103 Lr ローレンシウム Lawrencium [262]

Wikipediaより引用

原子って何からできてるの?

- 原子核 (+)、電子 (-)
- 原子核 = 陽子 + 中性子

はじめに (3)

導入 (2/3)

理論 (6)

実験 (4)

まとめ (4)

素粒子!

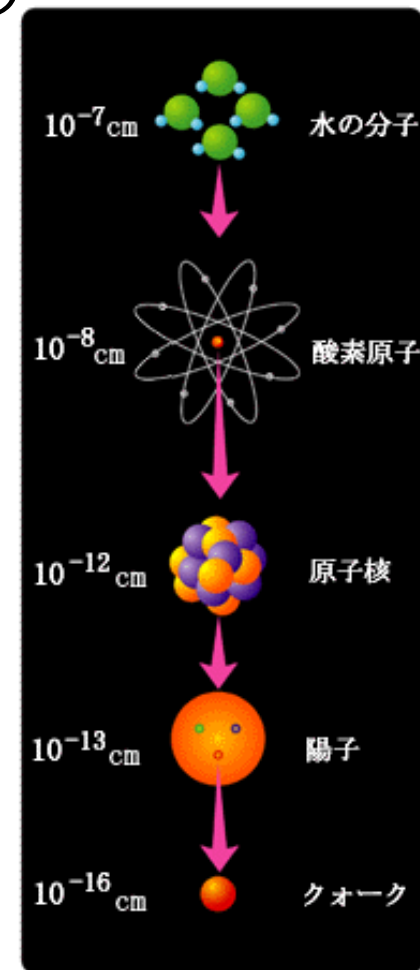
素粒子：これ以上細かくできないもの

- 陽子 = 「クォーク」の集まり
- 電子は素粒子

素粒子!

素粒子：これ以上細かくできないもの

- 陽子 = 「クォーク」の集まり
- 電子は素粒子



KEK HPより引用

素粒子!

素粒子：これ以上細かくできないもの

- 陽子 = 「クォーク」の集まり
- 電子は素粒子

他には?

- クォーク、レプトン
- ゲージボソン (フォトン、W、Z、グルーオン)
- ヒッグスボソン

全部で**17**種類

素粒子!

物質粒子

	第1世代	第2世代	第3世代
クォーク	 アップ	 チャーム	 トップ
	 ダウン	 ストレンジ	 ボトム
レプトン	 ニュートリノ	 ニュートリノ	 ニュートリノ
	 電子	 ミューオン	 タウ

力を伝える粒子

強い力  グルーオン
電磁力  光子
弱い力  Wボゾン Zボゾン

ヒッグス場に伴う粒子


ヒッグス粒子

KEK HPより引用

3. 理論

フェルミオン・ボソン

素粒子は「モノ」だけじゃない

- 「力を伝える粒子」
- 例：フォトン (光)

KEK HPより引用

フェルミオン

- 「モノ」を作る
- クォーク、電子

ボソン

- 力を伝える
- 質量を与える

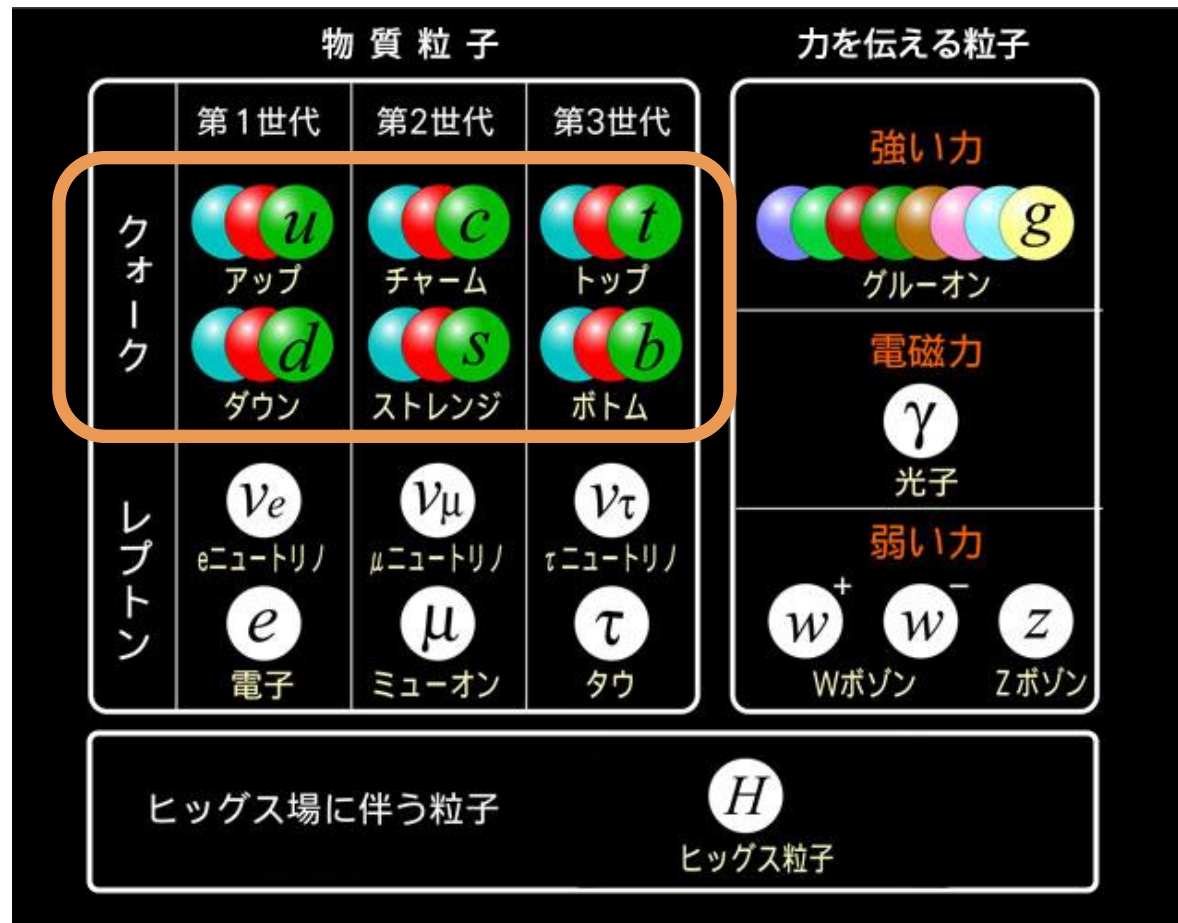


クォーク

原子核を作る

- 全部で6種類
- 陽子 = uud
- 中性子 = udd
- 電荷 : $+\frac{2}{3}, -\frac{1}{3}$

KEK HPより引用

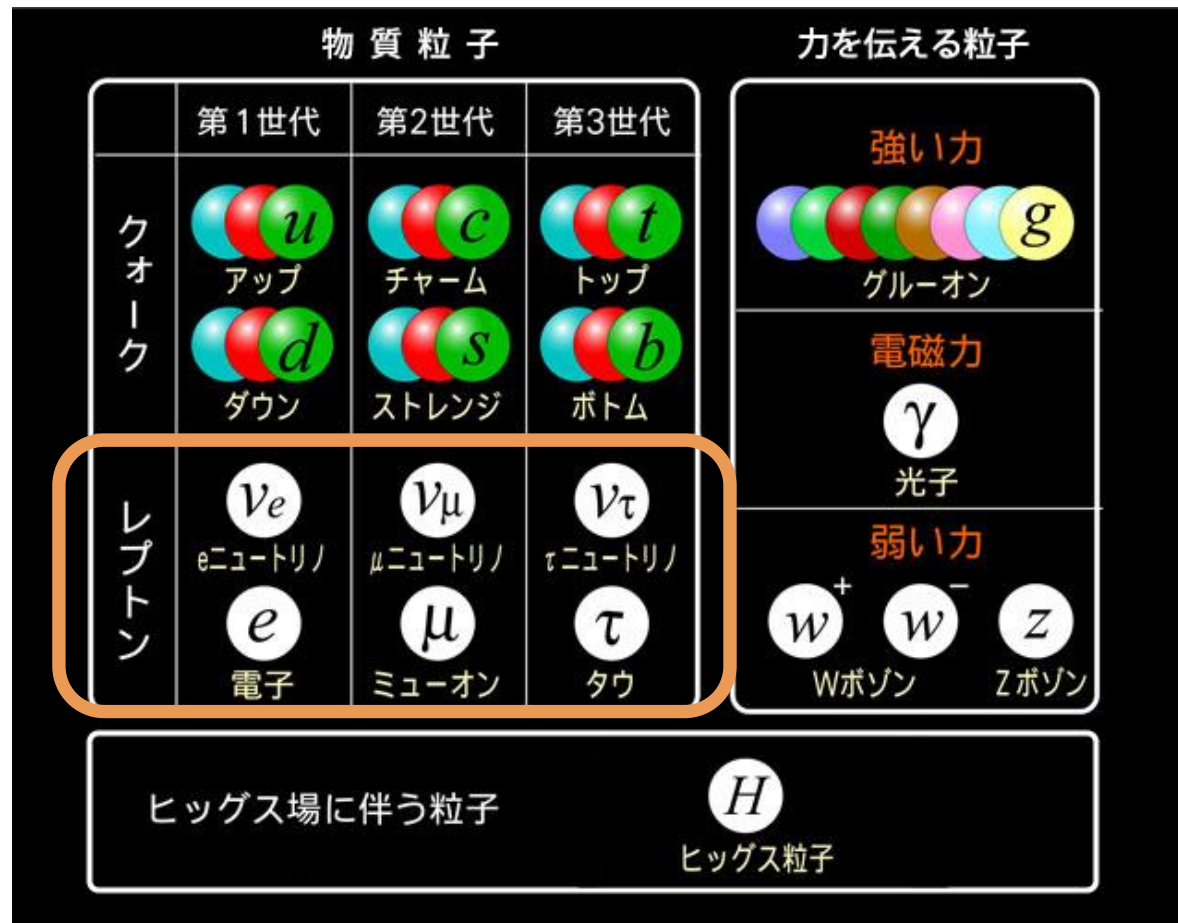


レプトン

電子の仲間

- 全部で6種類
- 電子の仲間：3種類
- ニュートリノ
- 電荷：0, -1

KEK HPより引用

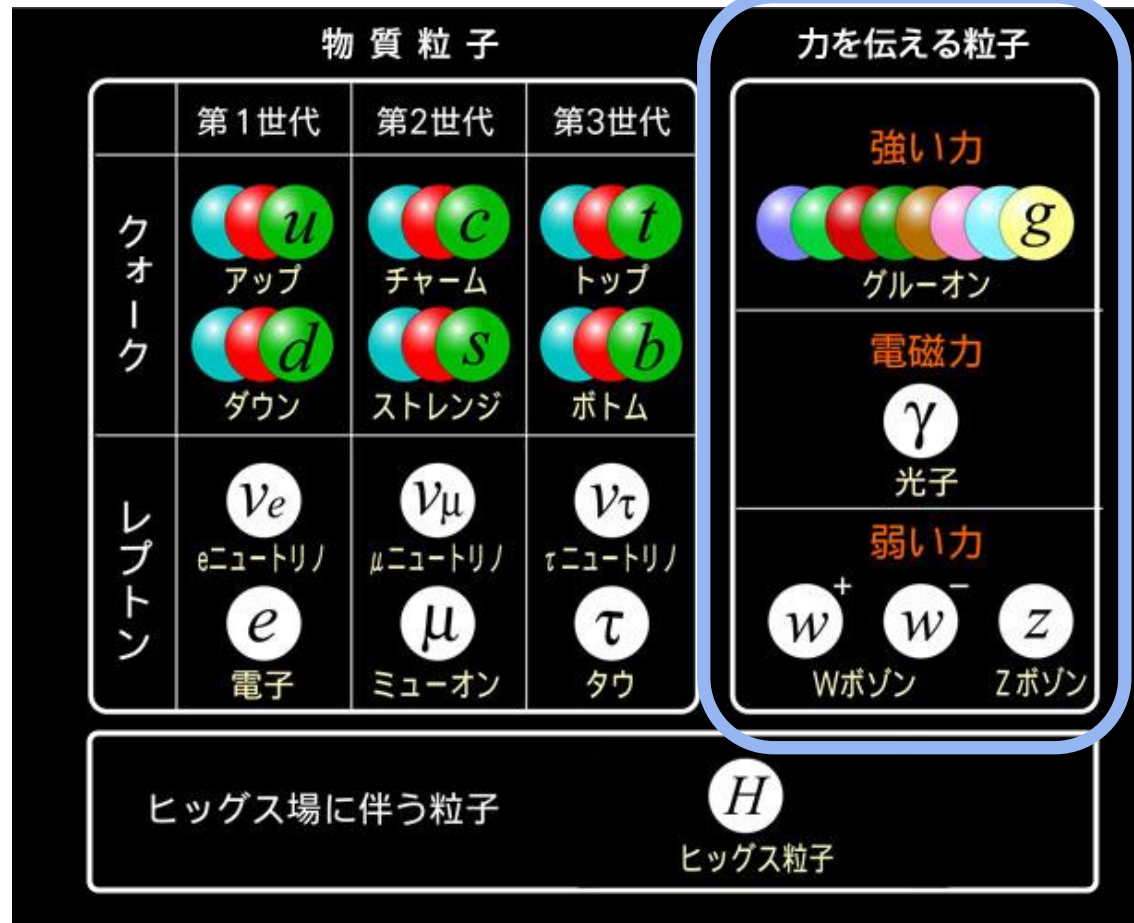


ゲージボソン

力を伝える

- 力は3種類
- 強い力：原子核内
- 電磁気力
- 弱い力
- 粒子の「キャッチボール」で力が伝わる

KEK HPより引用



ヒッグスボソン

質量を与える

- 2012年に発見
- 一番新しい
- 他の粒子に質量を与える役割

KEK HPより引用



標準模型

素粒子を記述する理論

- ここまで紹介してきた素粒子は、「**標準模型** (Standard Model, SM)」と呼ばれる理論で記述される
 - 2012年にヒッグスボソンが発見されて一応完成した
 - 「場の量子論」(または単に「場の理論」)と呼ばれる理論を使っている
 - 量子力学 + 相対性理論
 - $6+6+4+1=17$ 種類の粒子が含まれる
- 場の理論の性質は未だ十分に分かっていない
 - 例えば、原子核内部に働く「強い力」はとても難しい
 - 現在も、場の理論の性質を解明するための研究が進められている

4. 実験

どうやって素粒子を見つけたの？

- 電子、u、d以外の素粒子はどうやって見つけたの？

どうやって素粒子を見つけたの？

- 電子、u、d以外の素粒子はどうやって見つけたの？

頑張って探す！

どうやって素粒子を見つけたの？

- 電子、 u 、 d 以外の素粒子はどうやって見つけたの？

頑張って探す！

実験!!

どうやって素粒子を見つけたの？

- 電子、u、d以外の素粒子はどうやって見つけたの？

頑張って探す！

実験!!

- 質量が大きい → エネルギーが大きい
 - $E = mc^2$
 - エネルギーが大きい → 実験が大変

どうやって素粒子を見つけたの？

- 電子、u、d以外の素粒子はどうやって見つけたの？

頑張って探す！

実験!!

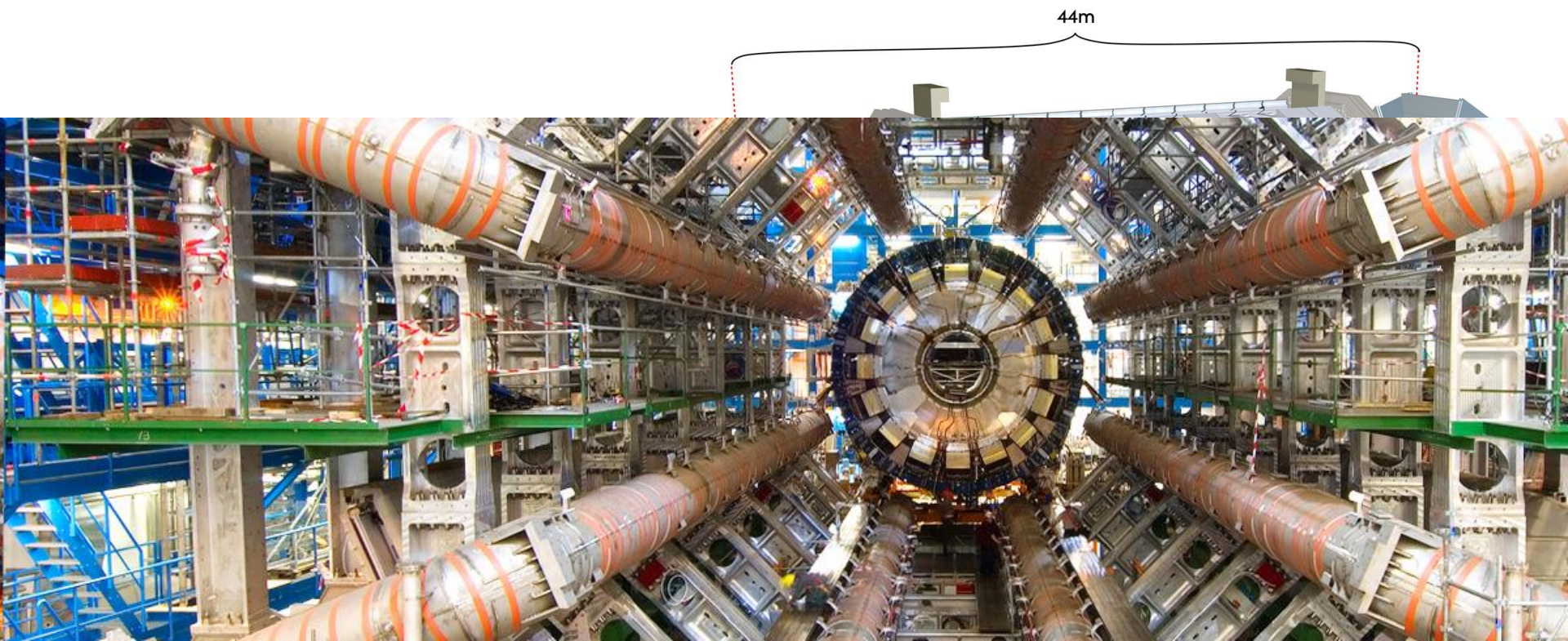
- 質量が大きい → エネルギーが大きい
 - $E = mc^2$
 - エネルギーが大きい → 実験が大変
- 加速器
 - 高いエネルギーを作るため、粒子を光速近くまで加速する
 - 加速した粒子を衝突させて新たな粒子を作る

加速器実験

LHC (Large Hadron Collider) @CERN (スイス)

- 世界最大、最高エネルギー
- ヒッグスもここで発見された

ATLAS実験 HPより引用



はじめに (3)

導入 (3)

理論 (6)

実験 (2/4)

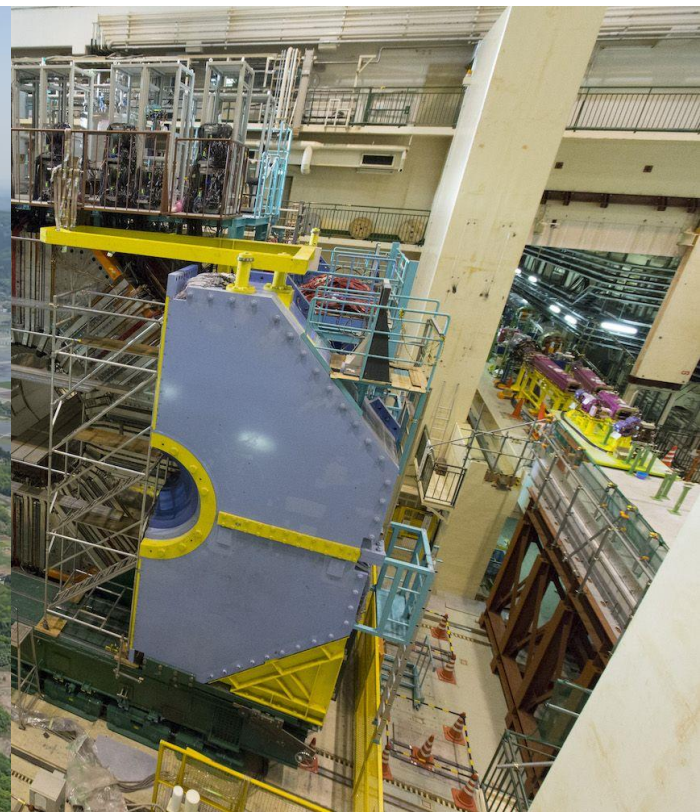
まとめ (4)

日本の加速器 (1)

Super KEK-B

- 茨城県つくば市に「高エネルギー加速器研究機構 (KEK)」という研究所がある

KEK HPより引用



はじめに (3)

導入 (3)

理論 (6)

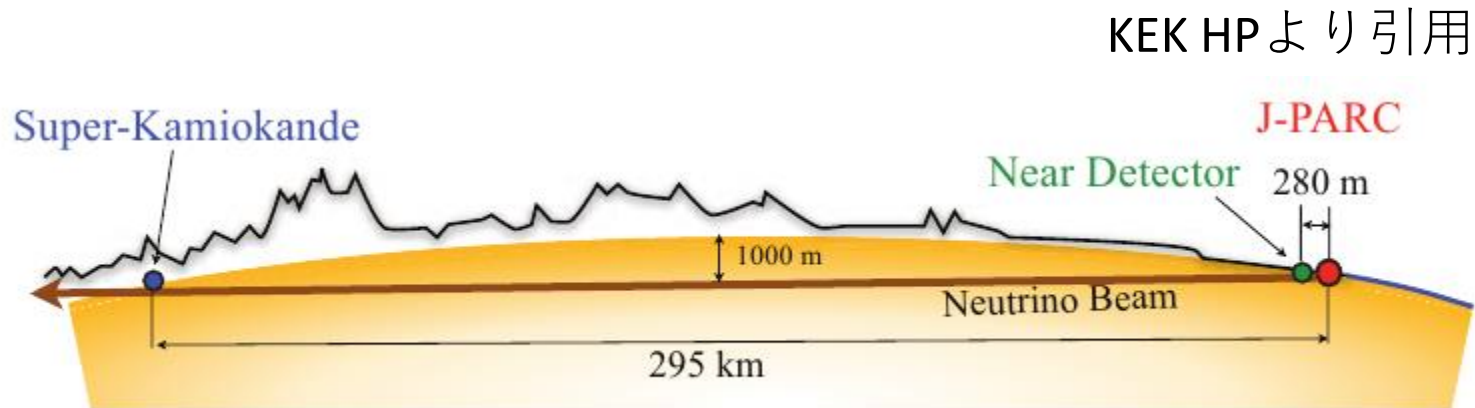
実験 (3/4)

まとめ (4)

日本の加速器 (2)

J-PARC

- 茨城県東海村に「J-PARC」という実験施設がある
- T2K実験
 - Tokai to Kamioka の略
 - 岐阜県にある「スーパーカミオカンデ」に向けてニュートリノビームを打ち出している
 - ニュートリノの性質を詳しく調べる



5. まとめ

素粒子はすごい!

ノーベル賞

- 日本人のノーベル物理学賞受賞者(日本出身者も含む)11人のうち、素粒子関係の研究者が7人
 - 湯川秀樹(日本人最初のノーベル賞)
 - 理論：5人
 - 実験：2人
 - 最近の受賞者は、梶田さん(2015年)
- 素粒子は特に日本人が多く活躍してきた分野
- 今も日本人が世界的に活躍している

素粒子は本当に素粒子？

素粒子はこれ以上小さくできないのか？

- 「今のところは素粒子だと思われる」というのが正しい
- 将来、もっと理論・実験が進展すれば、さらに細かい構造があると分かるかも？

究極の理論？ （「超弦理論って何？」の講義で紹介してます）

- 「超弦理論」
 - 「すべての素粒子は『ひも』の振動で作られる」
 - 究極的には、とても小さい「ひも」のみがいる
- もしかしたら本当の素粒子は「ひも」かも？

素粒子をもっと知るには

文献

- 講談社ブルーバックス
 - 非専門家向けに入門的な科学の話題を扱う新書シリーズ
 - 「クォーク 第2版」 南部洋一郎 著
 - その他にもいろいろ...
- 「『宇宙のすべてを支配する数式』をパパに習ってみた」
橋本幸士 著、講談社
- 雑誌「Newton」
- 他にもいろいろ、書店で探してみるといいかも

WEBページ

- ひっぐすたん (<https://higgstan.com/>)

画像引用元 (アクセス日 : 2021年6月)

- KEK webサイト : <https://www.kek.jp/ja/>
KEK イメージアーカイブ : <https://www.kek.jp/ja/publicrelations/imagearchive/>
- ATLAS実験 webサイト : <https://atlas.cern/>
- 周期表の画像 : <http://www.chiba-kc.ac.jp/user/~iseri/siryo/atom.pdf>

今日伝えたかったこと

この世界は「素粒子」でできている

- 17種類ある
- 「標準模型」という理論で書かれる

素粒子は未だ分かっていないことが沢山ある

- 理論
 - 場の量子論の研究、超弦理論
- 実験
 - 加速器実験
- 他にも沢山の研究が世界中で進められている！