

電子・原子分子・原子核のイメージ —量子の世界の不思議—

目次

- 0. 人間は何をありえないことと思うか
 - 1. 原子の発見—あらゆる物質は原子でできている
 - 2. 電子の発見
 - 3. 原子核の発見
 - 4. 遠くて近いミクロの世界(量子の世界)
 - 5. 物質の階段(自然の階層構造)
 - 6. 2008年度ノーベル物理学賞とその周辺
- 参考文献

Made by R. Okamoto (Kyushu Institute of Technology)
filename=電子原子核イメージ091006c.ppt

0. 人間は何をあり得ない/不思議と思うか

直観がおよぶ領域

われわれの眼は、(自然淘汰により)、
長い電波を一端とし、短いX線を他端とする電磁波スペクトル
のどこか中間にある狭い周波数領域(可視光と呼ぶ)に対応して作られている。

われわれの脳も狭い範囲の大きさや時間に対応して作られている。
1-2メートルというわれわれの体の大きさが、想像できる大きさの
ほぼ中間にあたるということは、たぶん意味があるだろう。

リチャード・ドーキンス「ブラインド・ウオッチメイカーー自然淘汰は偶然か?ー」
(早川書房, 1994年), PP. 262-263

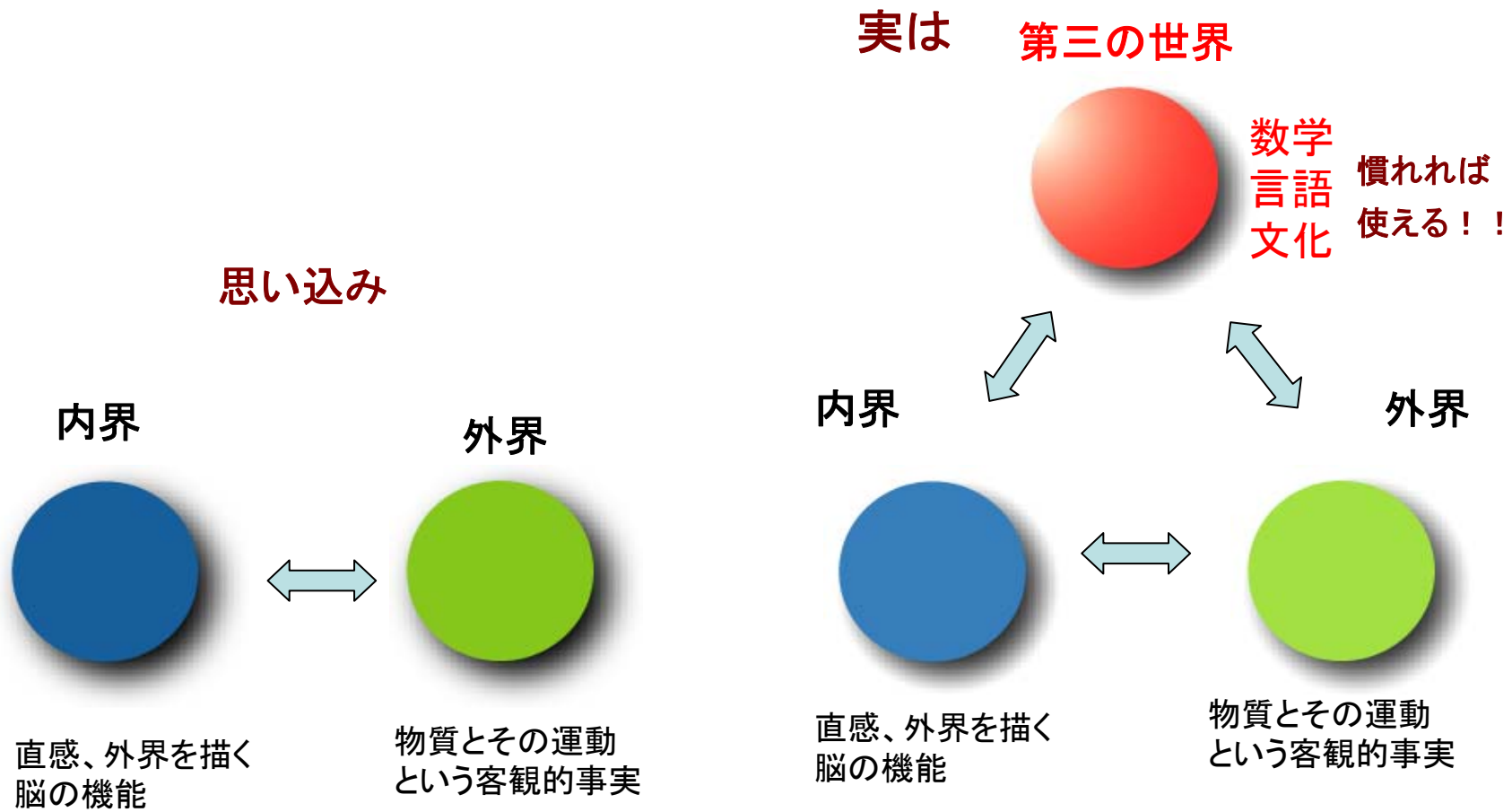
それ以外の(直観がおよばない)領域は

関心がないとするか、

不思議なこととして興味関心をもつか

2009/10/6 **という選択枝がある。**

ものごとを理解するには、「内界」、「外界」と「第三の世界」が必要
わからなくても使える！



言葉と思考と数式の間

人間は、通常、言葉(母語)で、考え、理解する(と思う)。
物理学の理論は数式で表される。それにより数理的厳密さ、普遍性、客観性が保証される。一方、このために物理学は抽象的で、分かりにくいという印象を持たれることも多い。

人間は言葉の奴隷

池谷祐二「進化しすぎた脳」講談社ブルーバックス、2007年

「新しい外国語ともいえる量子力学の言葉を理解するには、まず母国語(日本語)ともいえる、なじみ深い古典物理学との類推で理解せざるをえないという矛盾がある。」、原康夫「量子の不思議」、中公新書、p.76

ミクロの世界、超ミクロの世界は直接見ることも触ることもできない。
知力によってのみ認識しうる、機器で検出される実在(量的実在)への頭の切り替えが必要である。 [パーゼル84],p.11

成人を単純に小さくしても受精卵にはならない！

科学と言葉の深層まで踏み込んで最適の表現を探さなくてはならない。
その決め手は類推やメタファー(暗喩)である。

2009/10/6

スティーブ・ピンカー「思考する言語(上,中,下)」(NHK出版、2009年) 4

ニュートン力学： 空っぽの空間を粒子が軌道を描いて運動する

時間と空間は相互に独立である。

物体(粒子)の運動と時間・空間は独立である。

粒子の情報はある時刻におけるその位置と運動量(速度)である。

「万有引力(重力)は瞬時に(=無限大の速度で)伝わる」とニュートンは考えた。

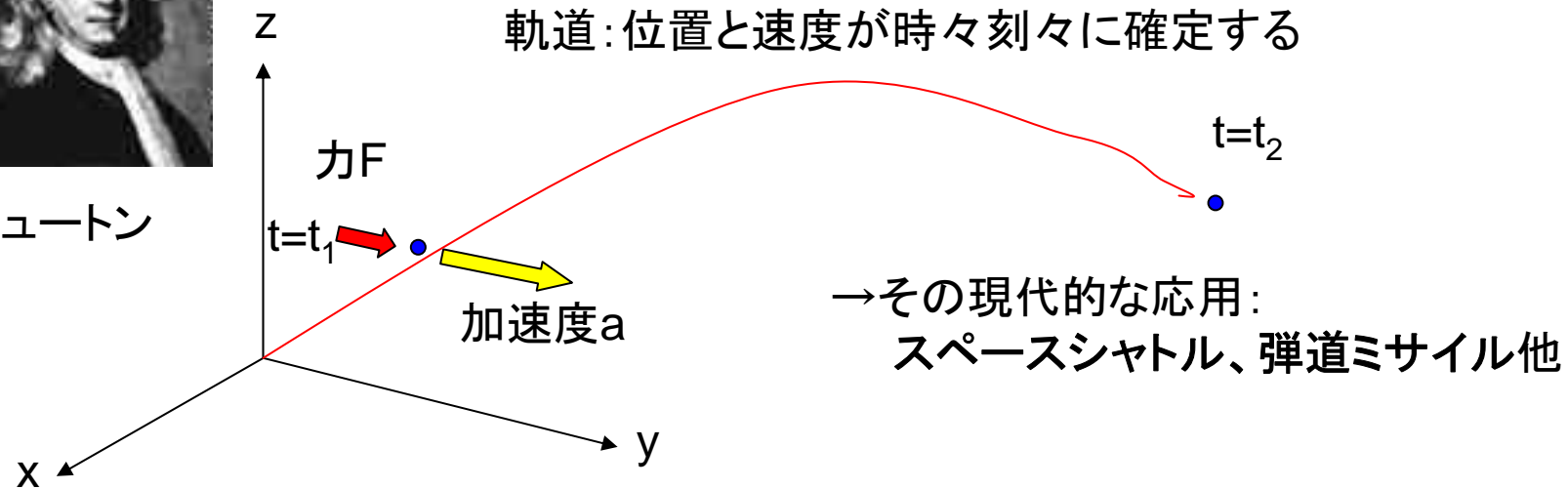
粒子が主役で、時間や空間は等質無限の媒介変数や舞台(または容器)



ニュートン

粒子は空間的に局在し、(容易には)分割しない

軌道：位置と速度が時々刻々に確定する



→現代まで引きずるニュートンの遺産(「粒子」概念=質量をもつ幾何学的延長、空間的局在性)

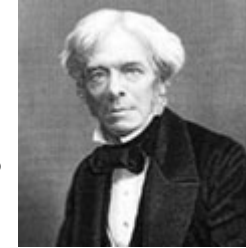
電荷は電磁場をつくり、その変動が電磁波＝光である

電磁気学(19世紀一)

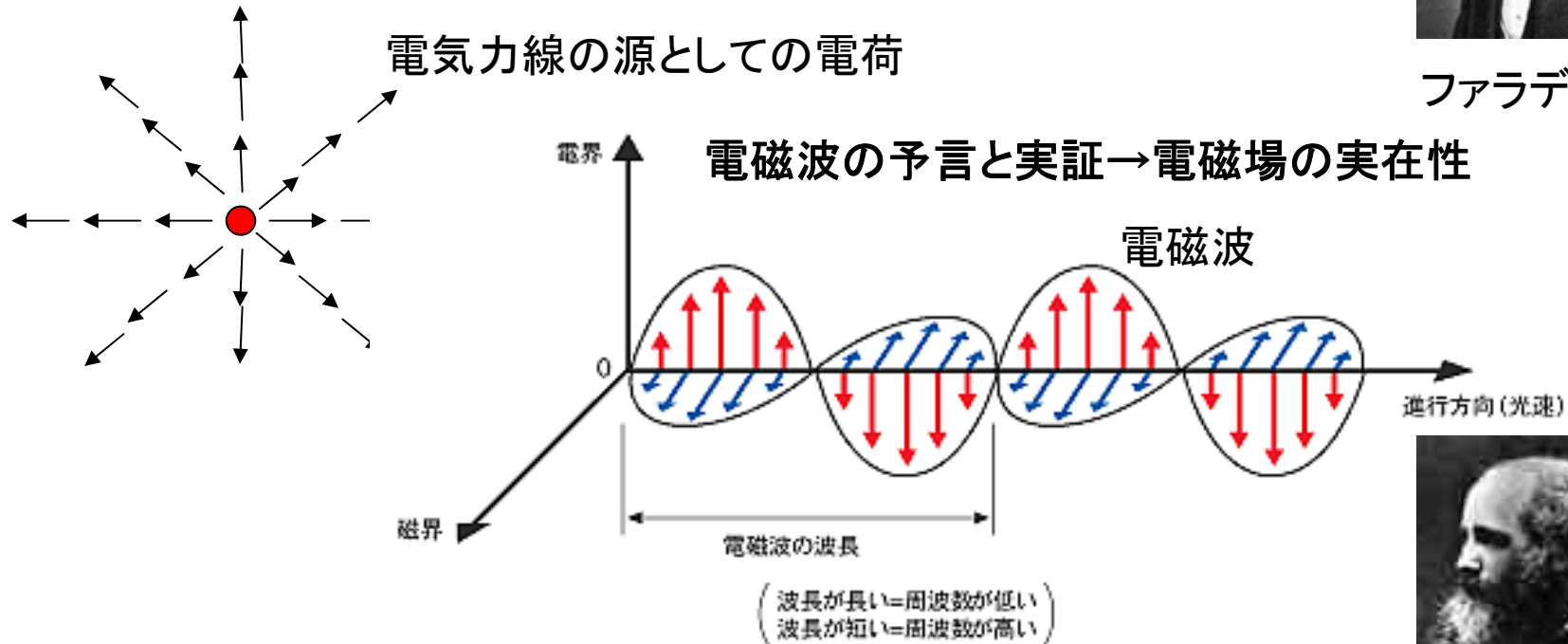
荷電粒子は場から力を受け、荷電粒子は場(電磁場)を作る。

場の情報は連続的な座標全体である。

場の変動を媒介として電磁的な力が有限の速度(光速)で伝わる。



ファラデー



→現代的な応用;モーター、電灯、電磁(IH)調理器、携帯電話など



マックスウェル

2009/10/6(古典的な)場の概念は、古典的原子論、「粒子」概念の対極である

2-1

2. 原子の発見—あらゆる物質は原子でできている

ダルトン(Dalton): イギリスの化学者。

原子論(1803年)で古代ギリシャの哲学者デモクリトス、レウキッポスの原子仮説(原子は物質を構成する最小単位であるという)をそのまま復活させ、すべての物質は、原子(微粒子atom)からなり、化学現象は原子の結合、分離によって起こり、それ以上分解できないものだけを原子とよぶことにした。

ジャン・ペラン(Jean Baptiste Perrin): フランスの物理学者。

樹脂の微粒子を液体に分散させその微粒子の運動(ブラウン運動)を顕微鏡で観察し、数々の実験からアボガドロ定数(1 mol中に含まれる粒子の個数(6.02×10^{23} 個/mol)のこと)を決定したのです。
それをLes Atomesとして1913年に出版して、物質が不連続な粒子(分子と原子の存在)からなることを実験的に証明しました。

アトモスからアトム、そして鉄腕アトムへ

古代原子論

紀元6世紀頃のギリシャ: 哲学者デモクリトス。

物質を無限にはこまかくできないと考えて、物質は形、大きさ、質量などをもっている硬い粒子からできていると主張し、これらの粒子をアトモスとなすけた。
(ギリシャ語)アトモス=(それ以上は)分割できない。

The name atom comes from the Greek $\alpha\tau\omicron\mu\omicron\varsigma$ /átomos, $\alpha-\tau\varepsilon\mu\nu\omega$, which means uncuttable, something that cannot be divided further.

The concept of an atom as an indivisible component of matter was first proposed by early Indian and Greek philosophers

アトモス: 物質構成の究極の要素

決して変化せず、消滅しない存在

→それが運動する場所として、「空虚(ケノン)」の存在も提唱

近代的な原子論

ドルトン: atom (原子)を初めて使用。

(化学反応における)
質量保存の法則と定比例の法則とが矛盾しないよう説明するため原子説を提唱。

1. 同じ元素の原子は、同じ大きさ、質量、性質を持つ。
2. 化合物は、異なる原子が一定の割合で結合してできる。
3. 化学反応は、原子と原子の結合の仕方が変化するだけで、新たに原子が生成したり、消滅することはない。

原子の要素性、同じ種類の原子の同一性(画一性)



ジョン・ドルトン
(John Dalton, 1766- 1844)
イギリスの化学者、物理学者
ならびに気象学者。

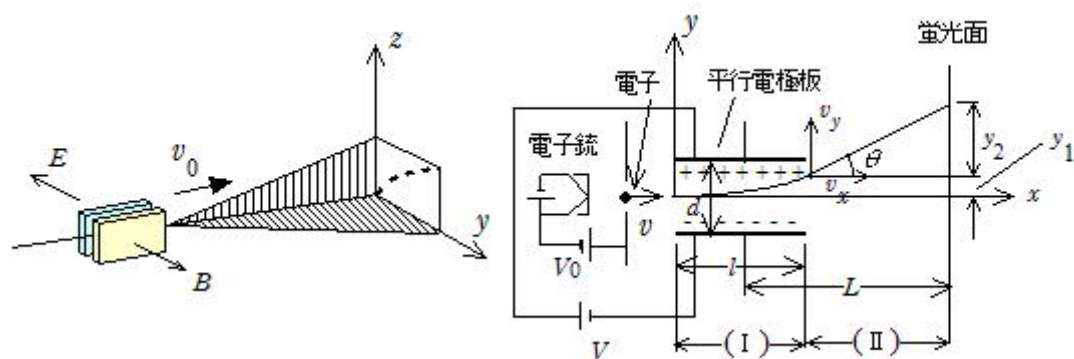
3. 電子の発見

J. W. Hittorf (1824 – 1914), ドイツ物理学者

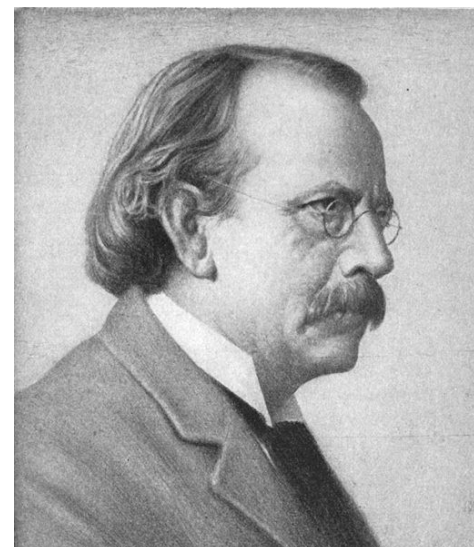
陰極線管(ガイスラー管、クルックス管)などの放電現象における陰極線の発見
(=電子の流れ)

トムソンの実験; 電子の電荷と質量比の決定

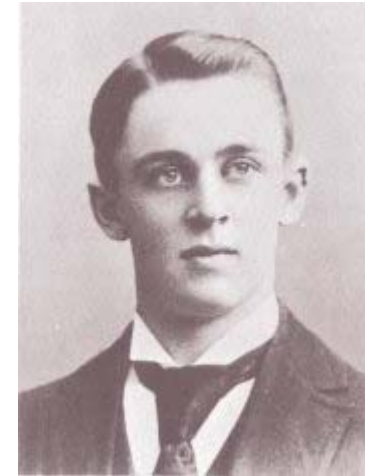
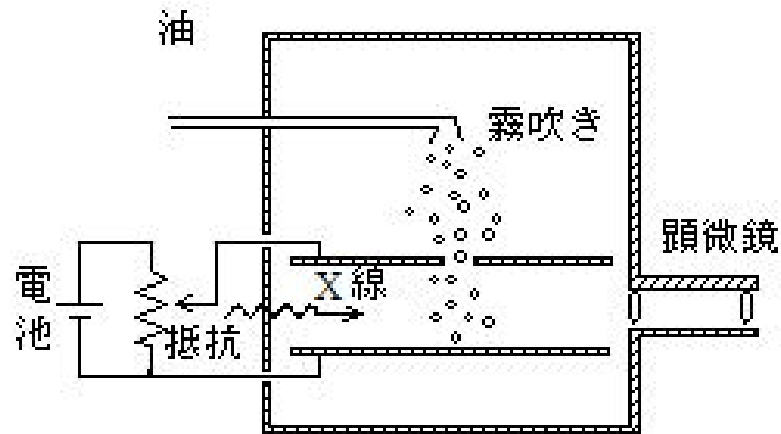
サー・ジョゼフ・ジョン・トムソン (Sir Joseph John Thomson, 1856-1940) は、イギリスの物理学者。しばしば「J.J.トムソン」と呼ばれる。1906年ノーベル物理学賞受賞。



$$\frac{e}{m_e} (\text{Thomson}) \approx 1.3 \times 10^{11} \text{ C/kg} \Leftrightarrow \frac{e}{m_e} = 1.76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$$



ミリカンの実験:電子の電荷の量子性(電荷の素量性)



$$e(\text{Milikan}) \approx 1.59 \times 10^{-19} \text{ C} \leftrightarrow e = 1.60217733 \times 10^{-19} \text{ C}$$

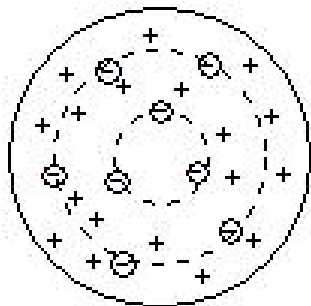
$$m_e = 0.91093897 \times 10^{-30} \text{ kg}$$

電荷の最少単位である。(基本粒子の1つである、クォークでは $e/3$ などの単位であるが。)

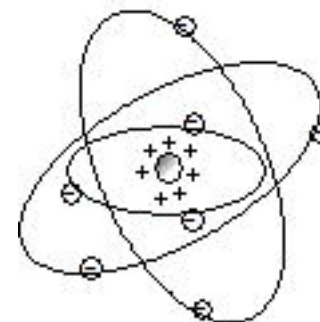
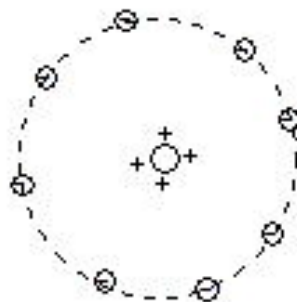
4-1

3. 原子核の発見

トムソンの原子モデル

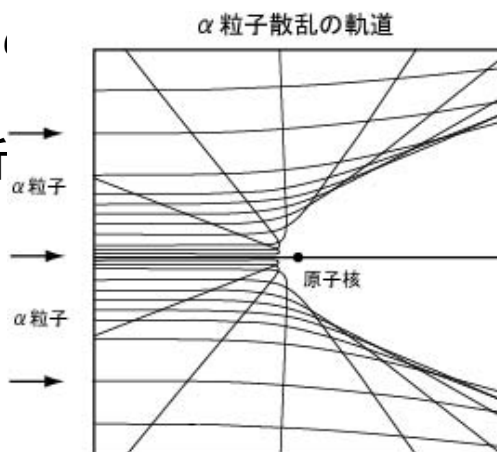


長岡半太郎の原子モデル



ガイガー・マースデンの

ラザフォードによる分析



原子の「大きさ」= 10^{-10}m
⇔ 原子核の「大きさ」= 10^{-14}m

(原子核から見ると) 原子は「大きい」、原子はかさばっている！

原子核のイメージ

1. 原子を直径「1m」のボールとすれば、原子核は「0.1mm」の芥子粒程度の「大きさ」
2. 原子の質量の99.9%が原子核に集中している。
3. 原子核には正電荷が集中し、電子の負電荷を相殺している、
4. 原子核は超超高密度である。

原子核の密度は1立方センチ当たり、数十億トン

→核爆発: 超高密度の原子核のエネルギーの解放

→超高密度の原子核の崩壊(壊変)があると、放射能。

5. 原子の安定性の根拠は原子核の安定性にある。
原子核が不安定(放射性)であれば、原子は不安定

5. 遠くて近いミクロの世界

Q.なぜ原子は小さいか？

Q' なぜ細胞には多数の原子が含まれているか

Q.眼の驚くべき仕組み

Q.夜空の星はなぜ見えるか？

Q.&A. 物体の固さ(剛性)のミクロな原因はパウリ原理にある

Q.毎日食べる理由は何か？

A.身体構成元素の動的平衡

Q.脳細胞は3才以後は変化しない？

Q&A.水素原子がつぶれない理由は不確定性関係である。

Q. 人間の身体は、原子に比べて、なぜ大きいのか？

A1. 不精密度の量的目安(\sqrt{N} 法則)

ある体積内の分子数 N

→ 誤差の大きさ \sqrt{N}

→ 相対誤差 (誤差率) $= \frac{\sqrt{N}}{N} = \frac{1}{\sqrt{N}}$

$N = 10^{12} \rightarrow \frac{1}{\sqrt{N}} = \frac{1}{100万} \Leftrightarrow$ 突然変異の発生率

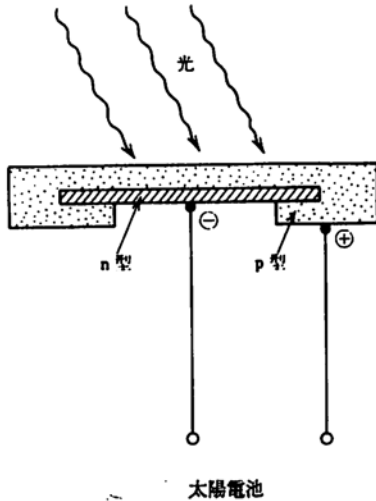
E.シュレーディンガー「生命とは何か」、岩波文庫、2,008年。Pp.36-37.

A2. 不確定性関係の影響低減化

巨大分子→質量が大きいほど、不確定性関係の影響が無視できる

太陽電池 —光電効果の応用—

遠くて近い量子の世界



太陽電池は図に示すように二種類の半導体を張り合わせたもので、太陽の光があたると、ここから電子が飛び出すことを利用する。太陽からの光の振動数を ν とすると、その光子のエネルギーは $h\nu$ である。ここに h はプランクの定数である。半導体中の電子は、この光子のエネルギーをもらって、外部に飛び出してくる。しかし飛び出すためには、 ϕ というエネルギー障壁を飛び超えなければならない（半導体中の電子も負のエネルギーの世界にあるわけである）。

したがって、飛び出した電子のエネルギーは、エネルギー保存法則によって、

$$K = h\nu - \phi$$

となる。太陽電池に流れる電流は、この電子によるものであるから、あたる光の振動数が大きいほど電流は大きくなるわけである。

地球のまわりの空気層は、紫外線のような振動数の大きな光を吸収してしまう。したがって、太陽電池は、大気圏外で使用すると効率が良い。このため、はやくから、人工衛星の電源として使われてきたのである。

半導体を作るのには、結晶を高温にすることが必要で、このための燃料費は高くつき、太陽電池

天国のアインシュタインの言葉(?)
「太陽電池の会社の株を買っておくべきだった」

夜空の星はなぜ見えるか？

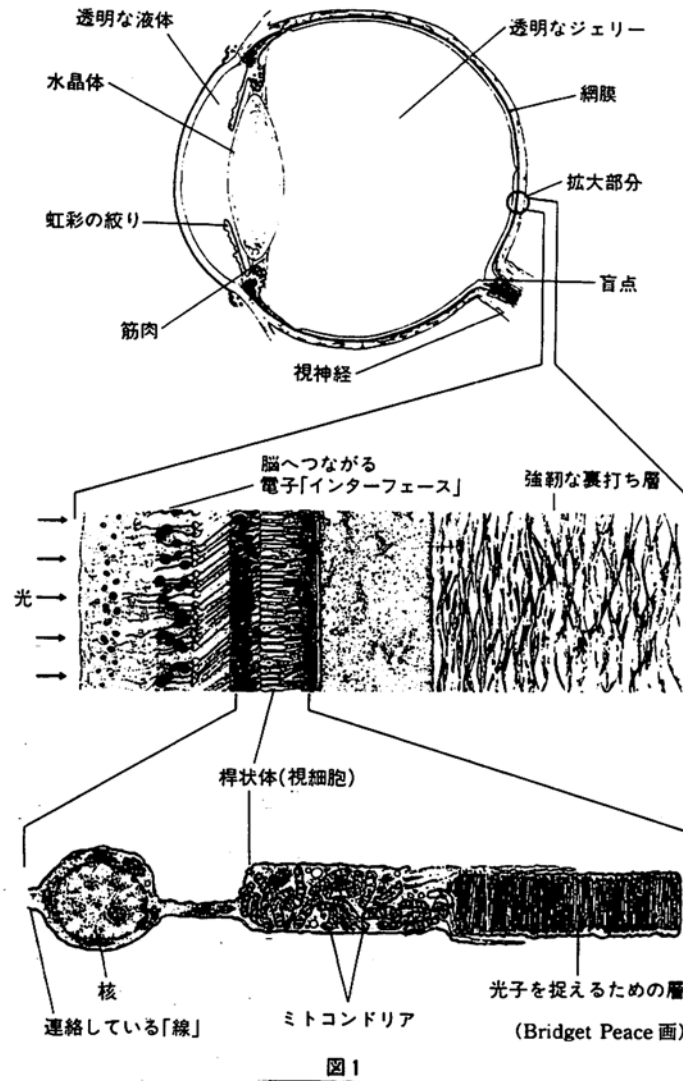
Ans. 「みつこ」(光子)さんのおかげです！

光が波動の性質しかもたないとすれば、遠い星から
膨大な距離をあらゆる方向に伝播する

際に拡散し、瞳に到達する際、視神経を物理的に
刺激するのに十分なエネルギーを得るには相当な時間
がかかるはず！

まとまったエネルギーを持つ量子的粒子(光子)として
眼に入り、視神経を刺激するので、
直ちに、夜空の星が見える！

眼球の中の光子を捉える層



光子を捉える
ための層

同種の原子、分子の画一性と生物

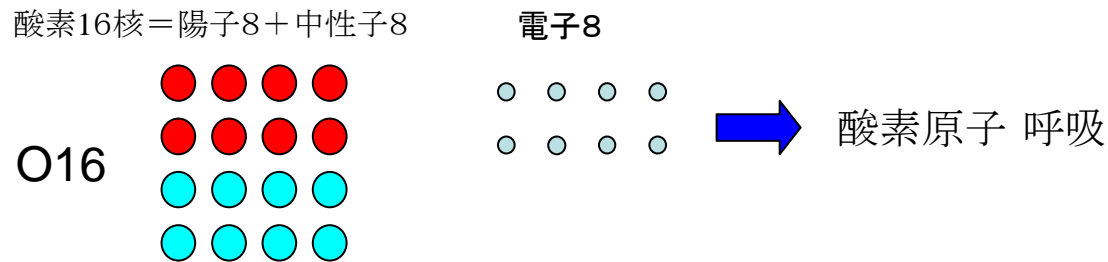
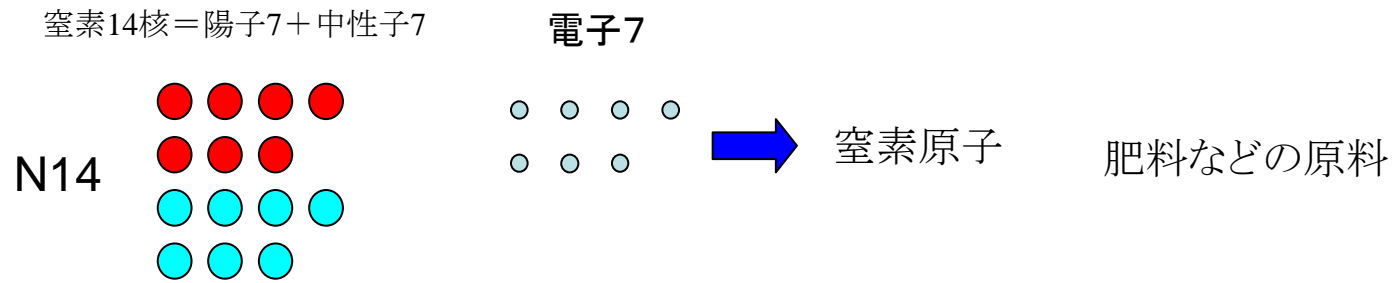
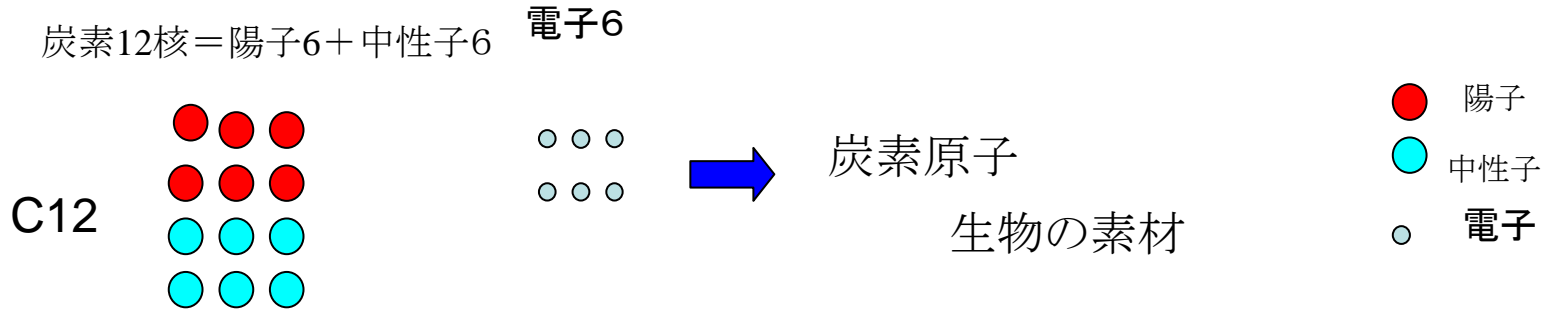
生物種の多様性:豊富な種類の生物が存在し、同じ種類の生物でも個体ごとにどこか違うという事実
←炭素、水素、酸素、窒素などの原子から多様な巨大分子が作られることの反映。

同種生物の類似性(遺伝の問題): 量子の世界(原子、分子など)の同種の量子的粒子の画一性に基いている。

遺伝現象を司る材料DNAは、人間の場合、長さ2メートルほどの長さの二重らせんの巨大分子であるが、それが生物の内部で、自分自身の正確なコピーを作っていることに基づく。

原 康夫、「量子の不思議」、中公新書、1985年。

構成粒子の個数が少し変わると 物理的、化学的性質が大きく異なる



電子は人間のために働いている！

量子力学の原理は身の回りで貫徹している

材料や生物の基礎的仕組みとしての化学結合
→パウリの排他原理は化学の法則の基礎である
→ ゆえに生命の基礎である

電気や通信(エレクトロニクス)

情報処理のコンピュータ

携帯電話はハイテクの塊

←電子の波動的性質、パウリの排他原理(量子力学、量子場理論)

5. 自然の階段— 物質の階層構造と法則の階層

たまねぎ構造

物質の存在様式の階層性、
相互作用の階層性、
法則の階層性

各階層は質的結節点

(←19世紀、エンゲルス「自然の弁証法」)

ある階層の現象はより深い根拠を下層にもつ。

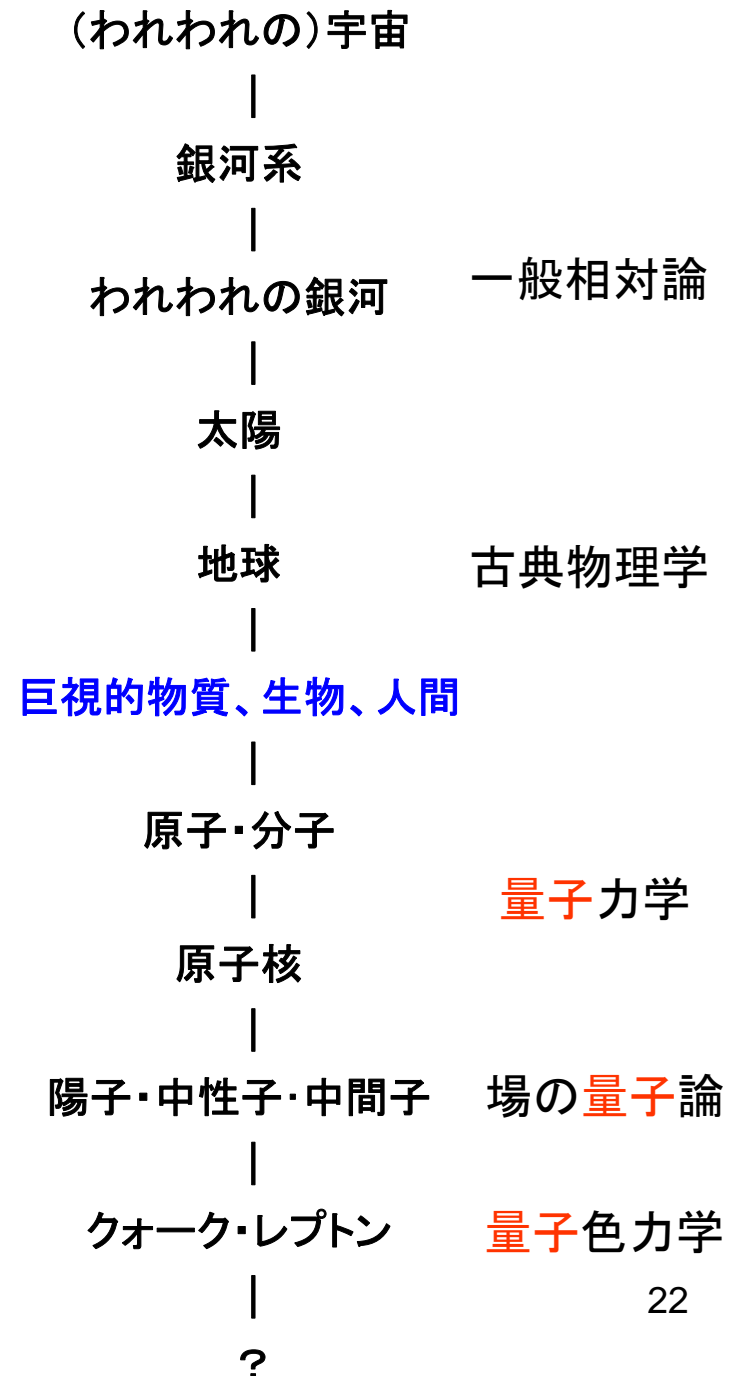
各(または複数の)階層に固有の法則がある。

要素還元主義？

実は原理還元主義？

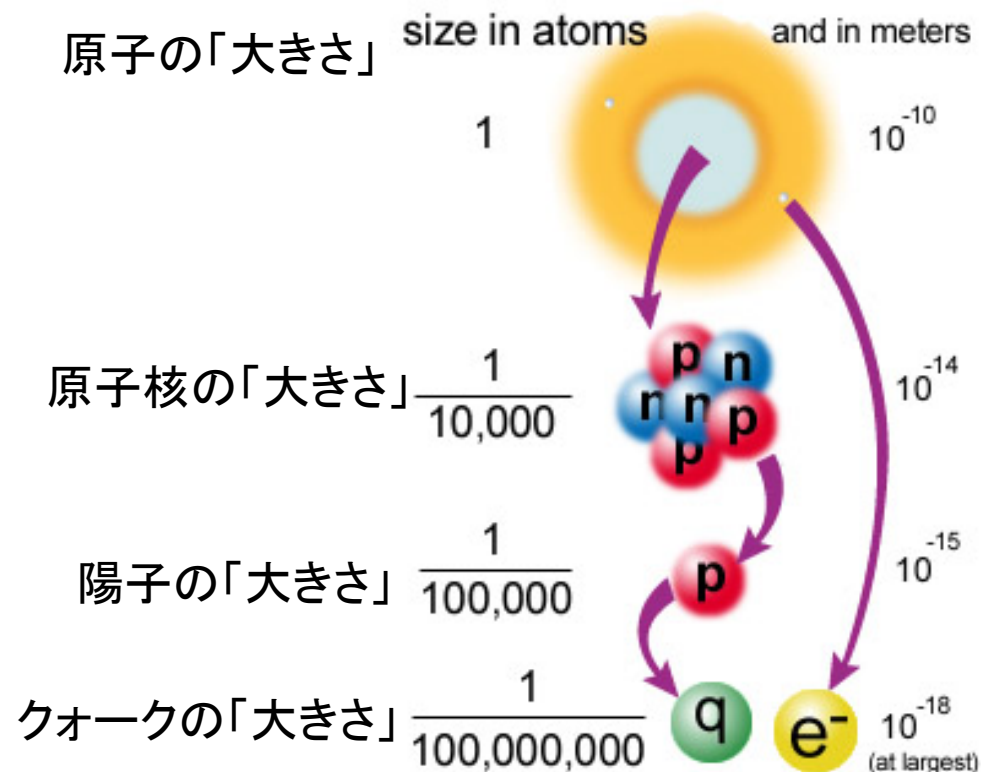
階層は無限に続くのか、否か？

2009/10/6 物質世界の最底辺の岩盤？？？



原子以下の世界の「大きさ」

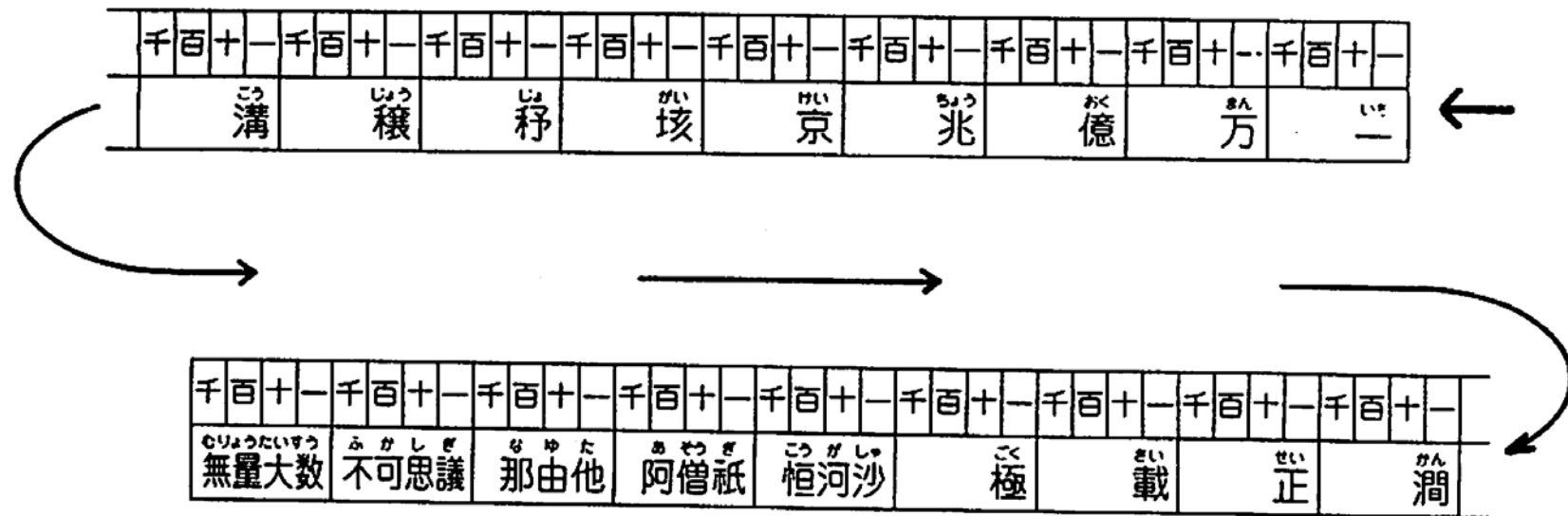
ヒトの全細胞数は約60兆個 (6×10^{13} 個)、
1個の細胞は約100億から1兆個 ($10^{10} - 10^{12}$ 個)の原子を含む



電子の「大きさ」は現在まで、
有限の値ではない。

大きな数(万進法)

9,1257,7236,1188,7453,0253,9638,0415,2370



1 よりも小さな数

	10^3	10^2	10^1	10^0	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	
	千 <small>せん</small>	百 <small>ひゃく</small>	十 <small>じゅう</small>	一 <small>いち</small>	分 <small>ぶん</small>	厘 <small>りん</small>	毛 <small>もう</small>	糸 <small>いと</small>	忽 <small>とつ</small>	微 <small>ゐ</small>	織 <small>おと</small>	沙 <small>しゃ</small>	

	10^{-9}	10^{-10}	10^{-11}	10^{-12}	10^{-13}	10^{-14}	10^{-15}	10^{-16}	10^{-17}	10^{-18}	10^{-19}	10^{-20}	10^{-21}
	塵 <small>じん</small>	埃 <small>あい</small>	渺 <small>ひょう</small>	漠 <small>ばく</small>	模 <small>も</small> 糊 <small>こ</small>	逡 <small>しん</small> 巡 <small>しん</small>	須 <small>しゆ</small> 臾 <small>ゆ</small>	瞬 <small>しん</small> 息 <small>そく</small>	彈 <small>だん</small> 指 <small>し</small>	刹 <small>せつ</small> 那 <small>な</small>	六 <small>りゅう</small> 徳 <small>とく</small>	空 <small>くう</small> 虚 <small>きょ</small>	清 <small>せい</small> 浄 <small>じょう</small>

6. 2008年ノーベル物理学賞受賞者と受賞理由

東方の三博士 [伊東08]



南部陽一郎氏
(シカゴ大学教授)



小林誠氏
(日本学術振興会理事)



益川敏英氏
(京都産業大学教授)

受賞理由

南部陽一郎

「自発対称性の破れを原子核物理学、素粒子物理学で発見」

小林誠一益川敏英

「クォークの最少三世代の存在を予言した対称性破れの起源を発見」

素粒子の標準理論—20世紀物理学の到達点—

(1) 物質は6種類のクォークと6種類のレプトンという3世代の基本粒子からなり、ゲージ粒子を交換して3種の基本的な力(=相互作用)が引き起こされる。

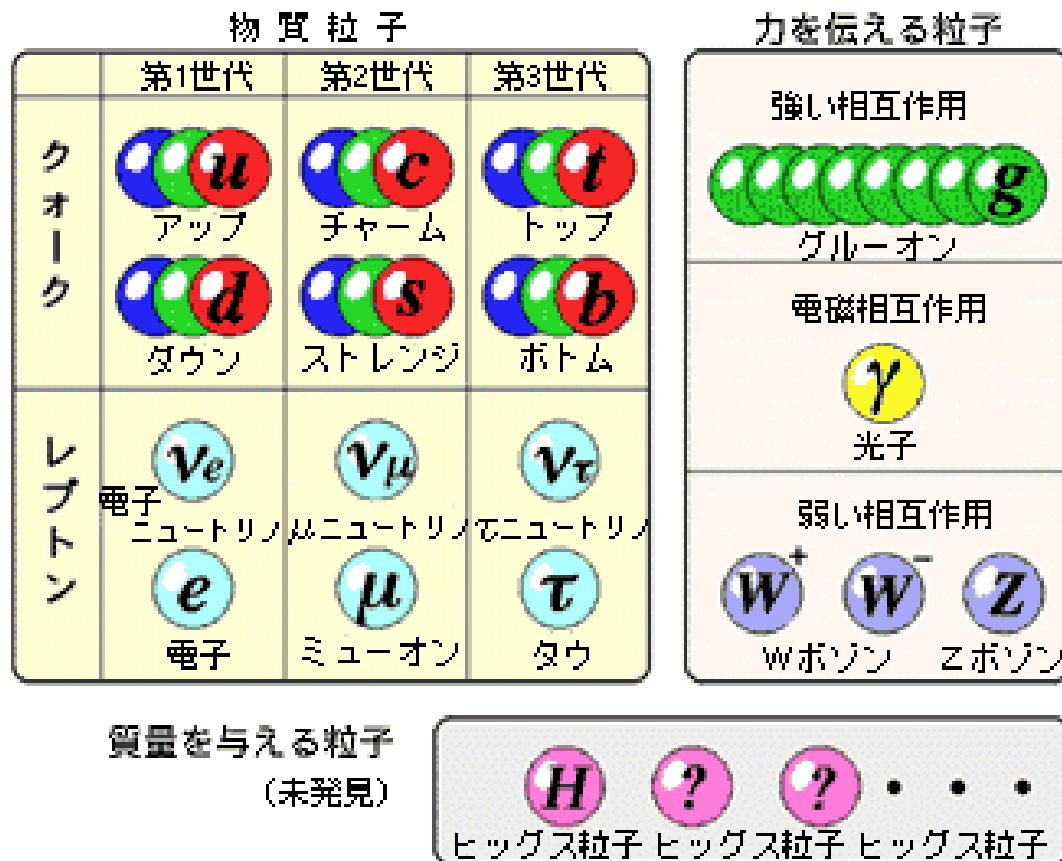


図1 現在の素粒子像「標準模型」の世界

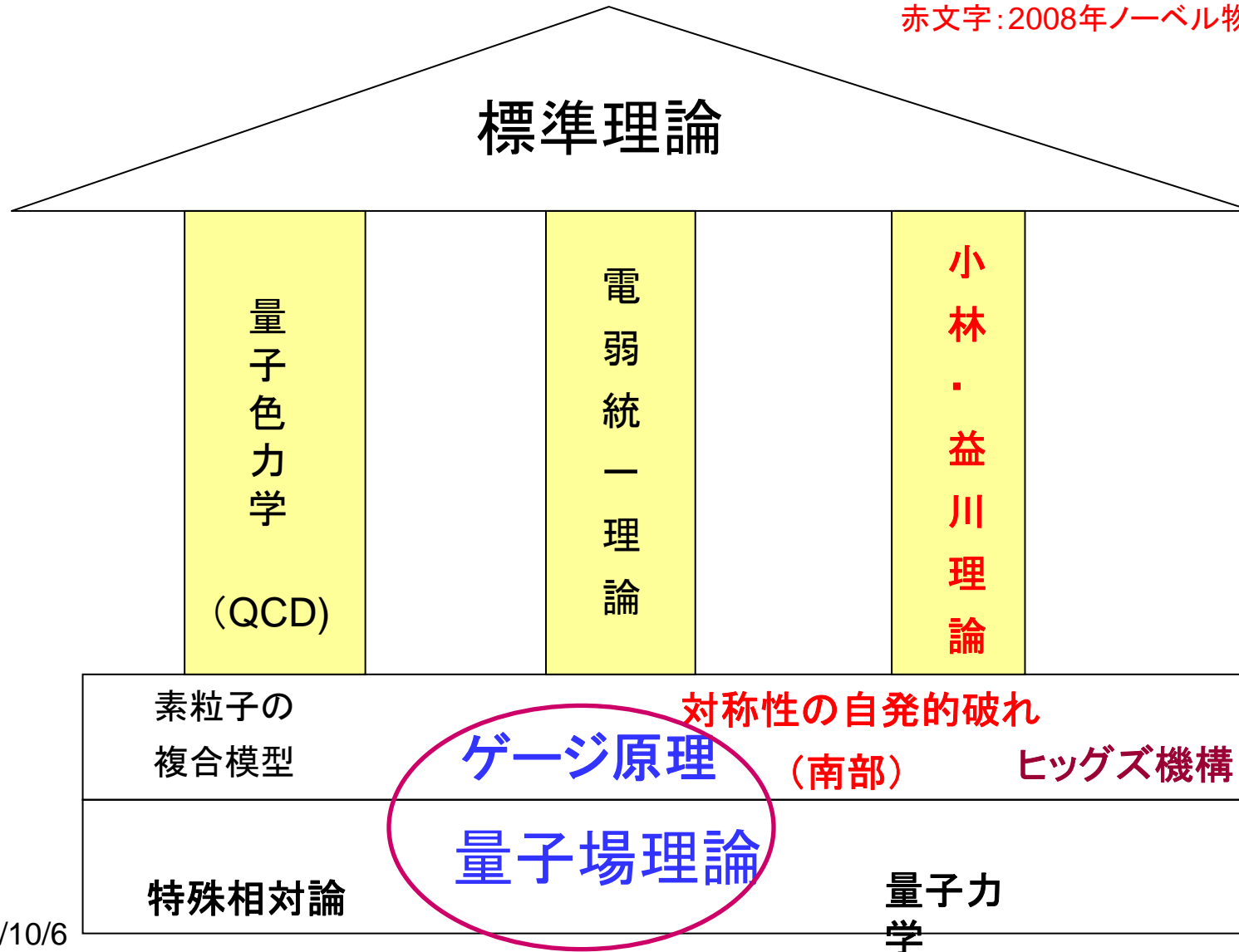
<http://www.kek.jp/kids/class/particle/class01-10.html>より

2009/10/6 (2) これらの基本粒子とそれらの相互作用は電弱ゲージ理論、

量子色力学(QCD)に従う。強い相互作用の源は「色」(カラー) color charge

素粒子の標準理論の骨格と核心

赤文字:2008年ノーベル物理学賞



2009/10/6

28

終わりに

私たちが吸う息には、

星の内部奥深くの灼熱の炉でつくりだされた原子
が含まれている。

摘む花のひとつひとつには、

太陽の十億倍も明るい閃光を発し、星が爆発したとき
に宇宙に放り出された原子
が含まれている。

読む本の一冊一冊には、

星から星へと吹く風に運ばれ、想像を絶する空間
と時間の隔たりを乗り越えて地球にやってきた
原子が含まれている。

参考文献

[高田03] 高田健次郎、「わかりやすい量子力学入門」、丸善株式会社、2003年。

[原85] 原 康夫、「量子の不思議」、中公新書、1985年。

[田中76] 田中 一、「量子の素顔」、大月書店・国民文庫、1976年。

[アドバンスド05] J.オグノーン、M.ホワイトハウス、「アドバンスド物理」、
シュプリンガーファアラーク東京、2005年。特に、6章、量子的振る舞い

[アトキンス04] P.アトキンス、「ガリレオの指」、早川書房、2004年。
特に、5章、原子一物質の還元、7章、量子一理解の単純化。

湯川・朝永生誕百年企画展委員会編

「新編 素粒子の世界を拓く—湯川・朝永から南部・小林・益川へ」、
京都大学出版会、2008年。