

高校物理への現代物理の 組み入れ・扱い方について

令和3年度 九州高等学校理科教育研究大会 物理分科会
意見発表資料(2021. 7. 29)

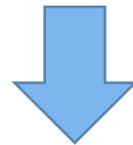
鹿児島実業高等学校
教諭 御領 悟志

現代物理とは

- **古典物理学** (人間の感覚を基に構築したモデル)
- 量子化されていない物理学。
- マクロな世界で、近似的に成り立つ。ミクロな世界を扱えない。
- ニュートン力学・電磁気学……
- ★相対論
(量子化されていない。一応古典物理に分類)
- **現代物理学** (量子力学は数学モデルが出发点)
- 微視的(ミクロ)な世界を正確に記述できる、量子化された理論。
量子力学…直感的に理解しがたい。

現代物理学の発展

- **ヒッグス粒子**の発見(2012年) → **標準理論の完成**
 - ★**重力波**の観測 → 一般相対論の検証・新しい観測手段
 - ★**重力レンズ**の宇宙観測への活用
 - 量子コンピュータ**の実用化に向けての進歩
- (量子もつれ・暗号化)



現代物理学の成果はますます**身近なもの**に
(加速中)

標準理論に登場する粒子

- 素粒子とは
- これ以上分けることの出
来ない細かな究極の粒子

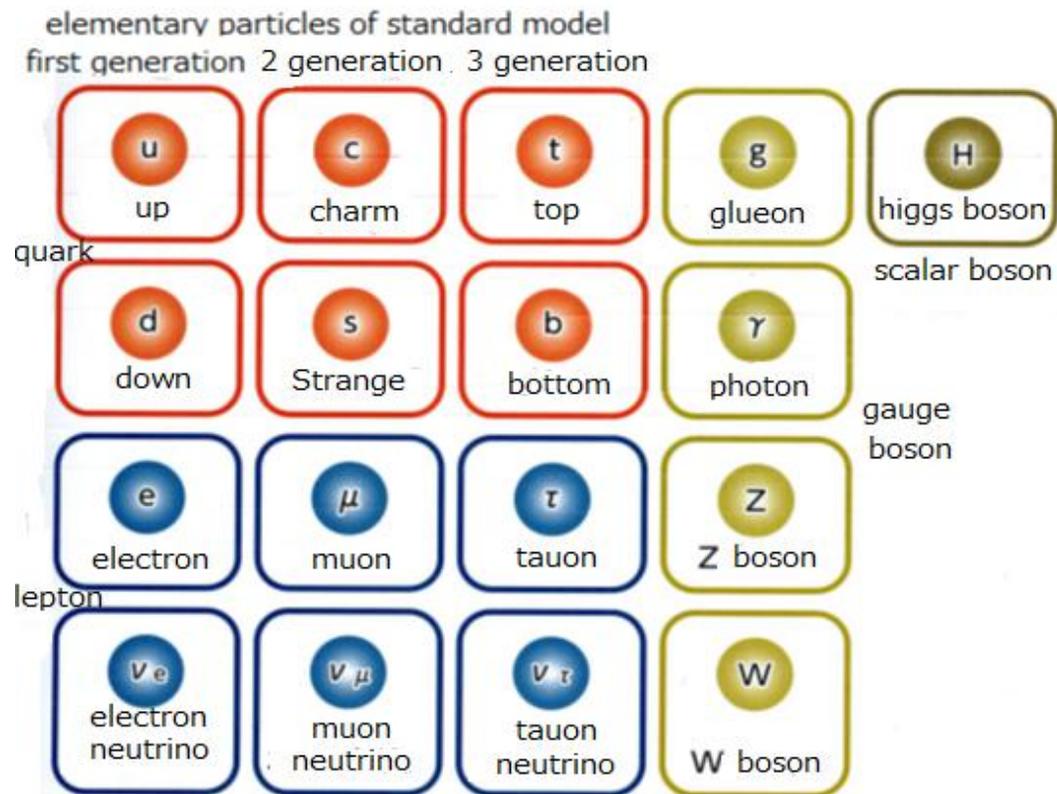
現在17種類

6種類の **クォーク**

6種類の **レプトン**

力を媒介する **グルーオン、W粒子、Z粒子、光子**

ヒッグス粒子 → 物質に質量を与える粒子



生物学では

- 遺伝に関することは、かつてメンデルの法則程度のことしかわかっていなかった。
- しかし、現在は**染色体にDNAが存在することを既定の事実**として、高校段階での生物学習は進められている。



- 物理・化学の知見も取り入れ、**博物学的な学問からの大きな脱皮**を遂げ、急速な医学の進歩の原動力となっている。
- **量子生物学**も現在発展途上にある。

ゲノム創薬～遺伝情報を基に病気との関連性を解析し、論理的科学的に新たな医薬品を創る

生物に比べ物理のわくわく感が足りなくなっているのでは？

高校物理の学習事項

古典物理

大学入試の主要範囲

- ①力と運動
- ②熱と気体
- ③波
- ④電気と磁気

現代物理

殆ど出題されなかった時期もある

- ⑤原子
 - 光の粒子性・光量子仮説・光電効果
 - X線の発生・コンプトン効果
 - 粒子の波動性・物質波・不確定性原理
 - ラザフォードの原子模型・ボーア理論
 - 原子核・核反応・核反応式
 - 質量とエネルギーの等価性・質量欠損
 - 核エネルギー・核分裂・核融合
 - 素粒子・クォーク模型・4つの力

物理基礎では現代物理を扱わない。
したがって文系生徒は全くふれない。

①慣性質量(授業にて)

• 運動の法則 $\rightarrow m \vec{a} = \vec{F} \rightarrow \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$

古典力学では \rightarrow **加速のしにくさ**が**質量mの意味**
物質はなぜ質量を持つのかにはふれていない。



標準理論が確定(常識になっていく)した現在
質量の起源に定性的に言及してもいいのでは？
厳密な理解は無理としても

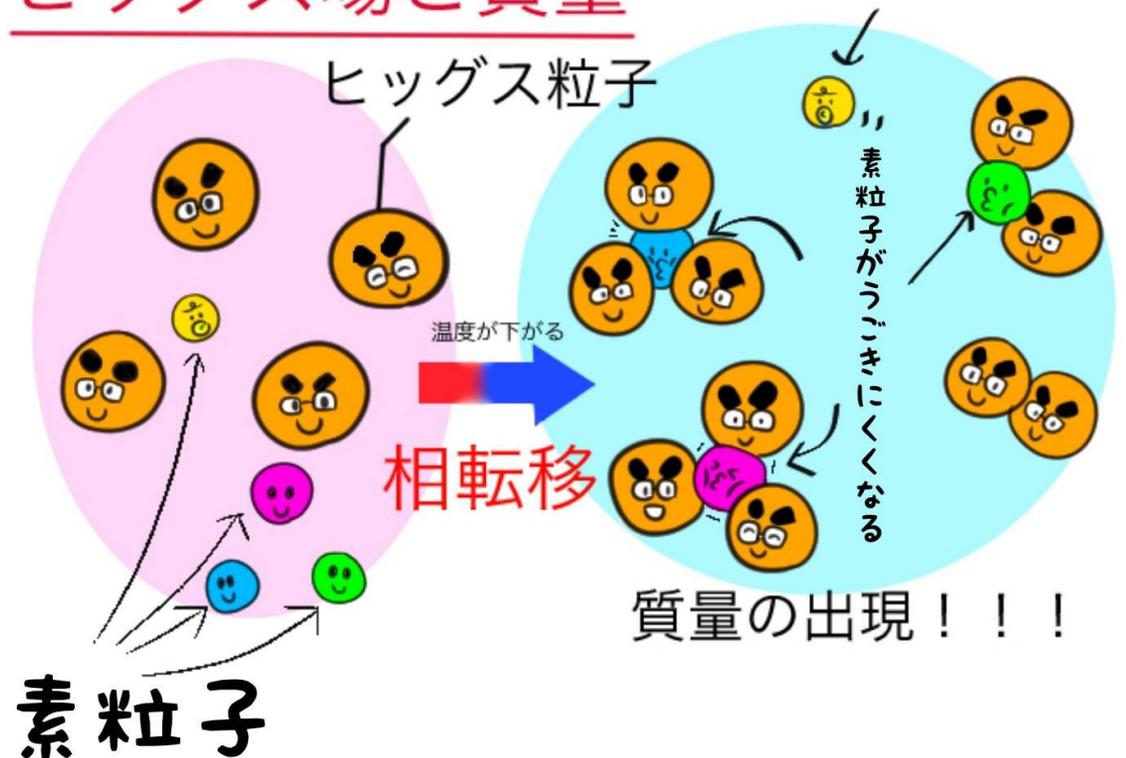
①ヒッグス機構(授業にて)

ビッグバンの後、宇宙が膨張し冷え、相転移を起こした後、自発的対称性の破れにより、ヒッグス場はヒッグス粒子で満たされる。



相転移後、質量を持たない素粒子は**ヒッグス粒子にまとわりつかれ運動しにくくなる**。ヒッグス粒子にまとわりつかれやすさが「質量」の起源

ヒッグス場と質量



②時計の遅れ(授業にて)

- タイムマシンは作れるのか?(よくある話)
- (答え)超高速で移動すればよい。未来にはいけるが過去には戻れない。

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} dt = (\text{一定})$$

$d\tau$ = (固有時) = 高速移動体内での経過時間

dt = 地上での経過時間

光速の半分の速さで移動した場合

$$d\tau = \sqrt{1 - \frac{(c/2)^2}{c^2}} dt = \sqrt{1 - \frac{1}{4}} dt = \sqrt{\frac{3}{4}} dt = \frac{\sqrt{3}}{2} dt = 0.865dt$$

$$dt = 100\text{分} \quad \longrightarrow \quad d\tau = 86.5\text{分}$$

高速移動体内で86.5分経過したとき、地上では100分経過。
地上に降りたときに13.5分だけ未来に行ったことになる。

生徒たちの持つ知識・興味関心

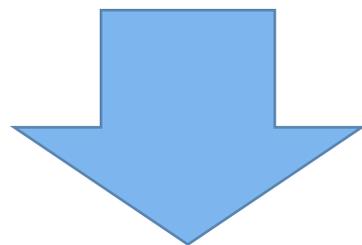
- **宇宙の話は好き。**
- **ビッグバンで宇宙が始まった**ことは、知っている。
- **ブラックホール**も知っている。
- 我々のいる空間は、時空間(t, x, y, z)四次元として扱われる。→ あまりびっくりしない。関心なし。
- **原子核(陽子・中性子)は知っている**が、それより基本粒子であるクォークについてはあまり知らない。
- **アインシュタイン**は**知っている**。
- **湯川秀樹**は**知らない**。(日本初のノーベル賞も過去のこと)

提言その1

- 中学・高校・大学・大学院等に至る物理の**指導事項及び順序**の見直しもそろそろ必要なときなのでは？
- 古典物理と現代物理の**指導項目の精選整理**
- 現代物理に基礎を置く科学技術が身の回りにあふれ出した現在、現代物理の知識なしには私たちの生活基盤について正確な判断もしかねる状況では？
- 高校理科が科学教育最終段階の生徒には？

大学(学部段階)での学習事項

- 名古屋大学理学部物理学科
- 立教大学理学部物理学科



かつて大学院で指導していたと思われる事項を学部段階でも、積極的に取り扱おうとする動きなのか？

私が、学部生の頃は知りもしませんでした。私だけか？

標準理論が確定した現在、大学院まで待つ必要はないとも思う。

名古屋大学理学部物理学科

- 3年前期 実験の先生による素粒子物理学I
- 4年前期 理論の先生による素粒子物理学II

素粒子物理学は、大学2年後期までに履修する量子力学、解析力学、特殊相対論を学習していれば、量子電磁気学は問題なく学習できる。したがって大学3年からでも十分対応できると思うので、決して前倒しにしているわけではない。ゲージ理論に関しては、専門にしているLHC実験で解析しているヒッグス粒子や電弱統一理論の話学部生にも伝えたいと思い、それにはゲージ理論が不可欠となるため教えている。

名古屋大学 戸本 誠 先生(1)

物理学



小学生や中学生からやっている力学や電磁気であっても、完全に理解できることはなく、その時々で理解で新しい発見のある学問

物理教育での留意点



- 1.力学や電磁気、量子力学、統計力学などの基礎は、ずっと徹底的に勉強する。
- 2.基礎をある程度履修した段階で、それらを使えば理解できる先端物理学も積極的に勉強する。

その上で、**1と2を一生(物理学に携わる限り)反復学習**して、その時々で理解で物理を楽しむと、サイエンスがますます面白くなる。

名古屋大学 戸本 誠 先生(2)

- 大学の学部生でも高校でも、**力学などの基礎から物理の普遍的な概念を徹底的に学習することは決して疎かにするべきではない。**
- しかし、先人達がすでに確立した**基礎の反復学習だけでは、高校などで学習する基礎的で、普遍的な物理概念(バネの単振動、保存則など)がなぜ必要かが分からず、物理がつまらなく感じてしまう。**
- したがって同じ物理概念が最先端の研究でもなされていることを伝えるという観点から、現代物理学を入れることは必要に感じる。

九州工業大学 鎌田 裕之 先生(1)

- 新しい科学技術は、「**絶対に正しくためになる**」のであれば、知識として取り入れたほうが良い。しかし、それを誰が保証する？
- むしろ、「**正しいだろう**」・「**ためになるだろう**」を決めるのは、**本人**であるので、**決めることのできる能力こそが、大切**である。
- この能力は、**高校以上の教育で育つもの**だと考えるが、**難しいのは、自発的、啓発的な行動から育つもの**だから、**教育者側からの無理知恵はむしろ弊害**になる。
- 従って、「**ヒッグス粒子の確認(標準理論の完成)、重力波の確認、量子コンピュータ等々の現代物理学**」の知識は、高校レベルでは、「**無理知恵**」に**近くなりほしくないかと危惧**する。
- それを理解するための基礎学力養成に時間を割いて欲しい。

九州工業大学 鎌田 裕之 先生(2)

- 現代の科学は目覚ましい。
- 中学生は、いかかもしれません。「先生、それでは、その量子力学というのは、どんなに重要ですか？正しいの？」
- 教師は「それは、君たちがいつも使っているスマホの産みの親なんだよ。」と答えるかもしれません。でも、なぜ産みの親なのかは、中学の先生では、説明できない。高校の先生でも難しいと思う。
- 科学・技術を教育することは、この例を見ても、いくつもの知識・知恵のギャップがあって、なかなか納得するまでにはたどり着かないものです。
- しかし、そんな困難が待ち構えていても、果敢に立ち向かう勇気が若者にはほしい。クラーク博士の「Boys, Be ambitious!」です。

京都大学 宮寺隆之 先生(1)

- 高校教育における現代物理の位置づけというのは、面白い話題。
- 確かに、基礎から応用まで近年いろいろな発展があるにもかかわらず、**ほとんど高校物理の内容が変わらないというのも不思議**な話だとは思う。
- 教育の目的の一つが興味喚起ならば、高校物理で習うことが、最新科学につながるという道を示すことは有益。
- ただ、その**導入の方法は難しい**。
- 例えば**量子論の形式を抜きにして量子コンピュータを「理解する」ということは不可能**であり、ただ事実の羅列を紹介するものになってしまう危険性がある。「たった一つの数式(法則)から世の中が理解できる」という**物理の醍醐味とも反する**。
- また、それが入試に直結するようなものになると、ただ単に暗記すべき事柄を増やし、高校生にとっては負担増。

京都大学 宮寺 隆之 先生(2)

- そのために、**大学で習う数学を取り入れることは非現実的。**
- そこで、**たくみな話者が必要**だと思う。
- 私自身も**京大のELCASという事業**で高校生に量子論の講義をした経験がある。そのときは高校生でも知っている数学でなるべく仮定を導入せず、どのようにしたら量子論の不思議さをわかってもらえるだろうかと考えた。(成功したか?)
- **[高校物理についての印象]**
- 高校物理一般についても、かなり数学と物理がアンバランスだった記憶がある。少し数学を知っていれば、もっと簡単になったのに・・・と大学時代に思った。
- また、残念ながら高校まで物理が得意だった人が大学でもそうかというところでもない気がします。

学習指導要領より

- (ウ)物理が築く未来
- 物理学の成果が様々な分野で利用され、未来を築く**新しい科学技術の基礎**となっていることを理解すること。

※物理学の発展と科学技術の進展に対する興味を喚起するような成果を取り上げること。

指導計画の作成に当たって、次の事項に配慮するものとする。

(7)各科目の指導に当たっては、**大学や研究機関、博物館や科学学習センター**などと**積極的に連携、協力**を図るようにすること。

提言その2

- 中学・高校・大学等の校種間を超えた物理担当教員の交流と情報の交換・共有
- その実現に向けて学習拠点の構築
- 初等力学から現代物理まで滑らかにつながる教材等の開発など

作成済み(作成中)教材リスト

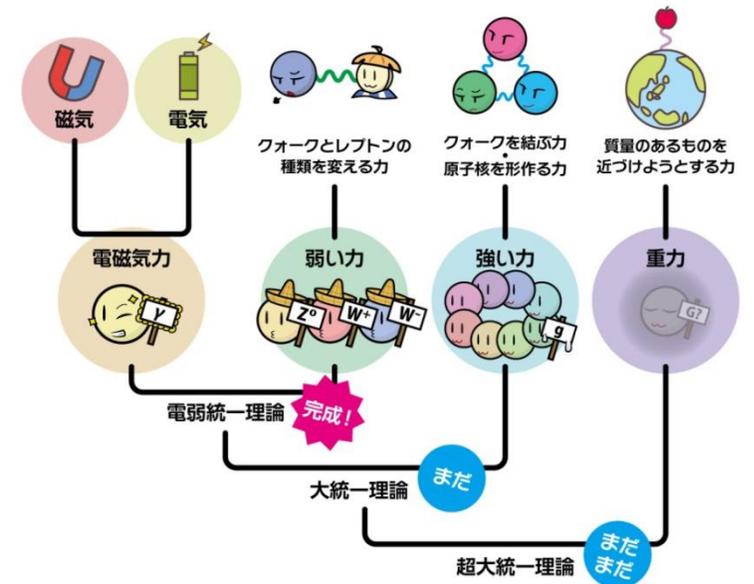
- ベクトル入門
- 量子力学
- 特殊相対論
- 相対論的量子力学
- 物理と対称性
- ゲージ理論入門(途中)
- グリーン関数
- 角運動量演算子の扱い方
- 神の数式への道のり
- 計量テンソル入門(途中)
- 量子コンピュータ入門(途中)

鹿児島での取り組み

- 『先端的現代物理講座～素粒子物理学から現代宇宙論まで～』と題した県民大学講座
- 平成31年4月から令和元年8月にかけて、月一回(計5回)かごしま県民交流センターにて実施。
- 理論物理学(素粒子物理学)が目指している宇宙のすべてを説明できる「究極理論」の探求過程とその最有力理論が導く現代の宇宙像について解説。

理論物理学の究極目標とは?

宇宙の統一理論とは?



講義風景

- 講師
第一工科大学
教授 古川 靖 氏

日本大学大学院理工学研究科
博士課程物理学専攻 博士(理学)

素粒子論の研究。特に、場の量子論に「くりこみ群」を応用することで、大きさ(またはエネルギー)のスケールを変えたときの物理法則の変化や、相転移における臨界現象について研究した。《キーワード》素粒子論、ゲージ場の量子論、くりこみ群、臨界現象、統一場理論。



回	各回のテーマ	開講日	内容
1	場の量子論とくりこみ可能性	4月27日(土)	特殊相対論と量子論の融合と課題
2	一般相対性理論と量子化の困難	5月25日(土)	くりこみ可能にならない重力理論
3	ゲージ理論と素粒子の統一理論	6月22日(土)	すべてを統一的に記述するために
4	量子重力理論の必要性和超弦理論	7月27日(土)	くりこみ可能な統一理論を求めて
5	マルチバース宇宙論と人間原理	8月24日(土)	最先端理論が予言する宇宙像

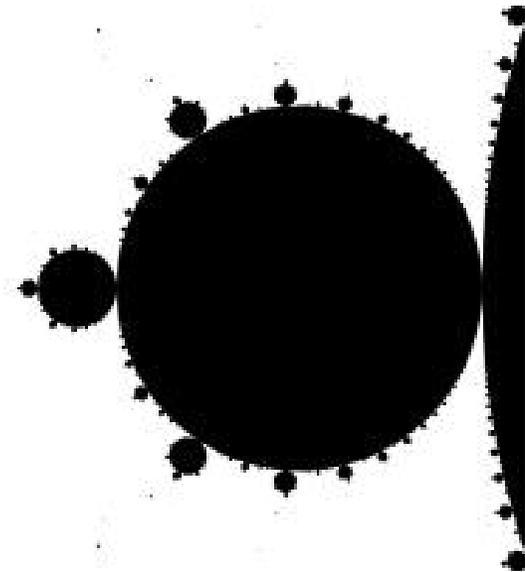
講座のポイント(繰り込み可能)

- くりこみ可能であるということは、スケール変換しても、物理法則の形は変わらないという性質。
(相互作用の強さは変わって良い)



<http://www.gakushuin.ac.jp/~881791/d/0501.html>

古川先生 講義シートより



© 2019 Stack Exchange Inc.

講座のポイント(対称性)

- 対称性
 - ①回転対称性
 - ②並進対称性
 - ③ローレンツ対称性
 - ④ゲージ対称性
- 大域的(グローバル)対称性
- 局所的(ローカル) 対称性

講座のポイント(二つの指導原理)

- 以上をまとめると、二つの指導原理によって理論のモデル(模型)は決まることになる:
 - **くりこみ可能**であるべし
 - **局所ゲージ変換の下で不変**であるべし
- 現在までに観測された粒子をすべて表現できるのは、 $SU(3) \times SU(2) \times U(1)$ ゲージ変換の下で不変な模型すなわち「標準模型」である。

他県での取り組み

- [宮崎大学教育学部](#)の出前授業（素粒子関連）
宮崎県内の中学校へ
- 中学校から依頼があり、大学としての組織的な対応をされての実施だったそうです。
- 理科の先生方が興味があっからこその実施だったと思います。
- 地元の大学が**得意な分野と不得意な分野**がある。

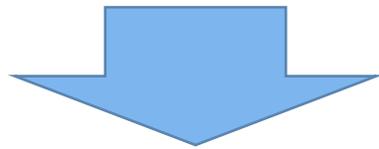
身近な取り組みから

- **鹿児島現代物理勉強会の発足**

中学・高校・高専・大学の教員間の交流及び学習研究の連携・情報の交換

- **勉強会独自のHPの開設**

古典物理から現代物理迄の学習コンテンツの充実



地方からの情報発信でもある。

設立趣旨

- 宇宙の玄関口の鹿児島ではあるが、**現代物理について学習研究する環境**には決して恵まれていない。
- 市民レベルで素粒子・原子核・宇宙についての理解を深め、鹿児島にて**学問を楽しみながら知の創造を目指す生涯学習の一拠点**とする。**(民の科学学習センターのひとつ)**

活動内容

- **★現在の活動**
- ①**学習会の実施**(基本となる活動)
- **☆将来的な活動目標(案)**
- ②**現代物理の学習に必要な教材・資料等の準備及び整備**
- 会独自の学習書籍等の作成(含コンピュータプログラム)
- アーカイブスの整備・作成
- ③**特別学習講座等の設定**
- 大学・研究機関等から特別講師を招聘
- 特別講演会・特別企画展等の企画
- ④**研究機関等の訪問・見学会の企画**
- KEK(筑波) CERN(スイス) **東大数学物理連携機構(年1回公開)**
- 種子島宇宙センター(種子島) 鹿児島大学研究施設
- ⑤**他の教育活動グループ等との連携**
- 鹿児島県高等学校理科教育研究会物理部会・物物会

まとめ

- **定性的で分かり易い**ことは、**授業でふれる**。
- 理論として確定した感のある標準理論・一般相対論あたりは、高校物理教師の**教養として身につけておくべき段階にあるのか**。
- とはいうものの**数学的に敷居が高い**。
- **定性的な理論の大枠をまずは理解**し説明が可能な所までたどり着く。
- わからないことは、**素直に各所と連携**してわかっている人達と協力し**援助を得る**。