

# 現代物理の歩み～

量子力学の始まりから2008年ノーベル賞まで

琉球大学 理学部物質地球科学科  
物理系

前野昌弘  
眞榮平孝裕  
與儀 護

協力：琉球大学極低温センター

# 今日のお話

それは20世紀の初めのこと、

それまでの物理学を「古典物理学」にしてしまう、  
革新的な物理が生まれました。

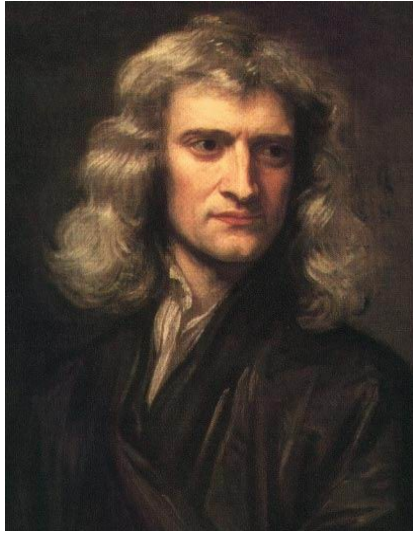
高校物理の  
ほとんどは、  
残念ながら  
古典物理学です。

現代物理の要である「量子力学」です。  
と~~~~~っても、常識外れの学問です。

今日は量子力学の不思議な世界を体験してもらいつつ、  
20世紀の始まりから、南部・小林・益川のノーベル賞まで、  
現代の物理学がどのように発展してきたかを  
話したいと思います。



# 光は波か、粒子か？



V S



ニュートン(1642-1727)イギリス

ホイヘンス(1629-1695)オランダ

力学  
微積分  
万有引力の法則  
色の分解

土星の輪を発見  
光の波動説  
エーテル仮説

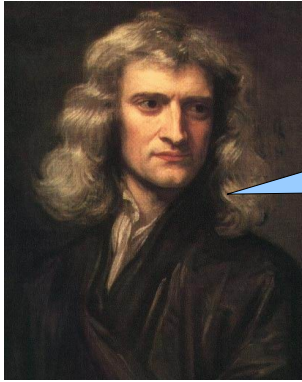
この論争に決着をつけたのは、  
みんなもよく知っているかもしれない  
あの実験です。

答はここをクリック

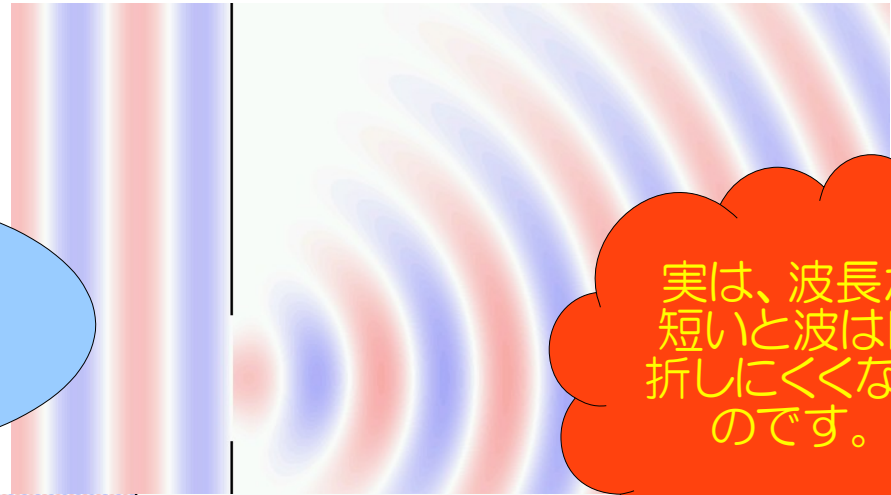


# ニュートンはなぜ間違ったのか？

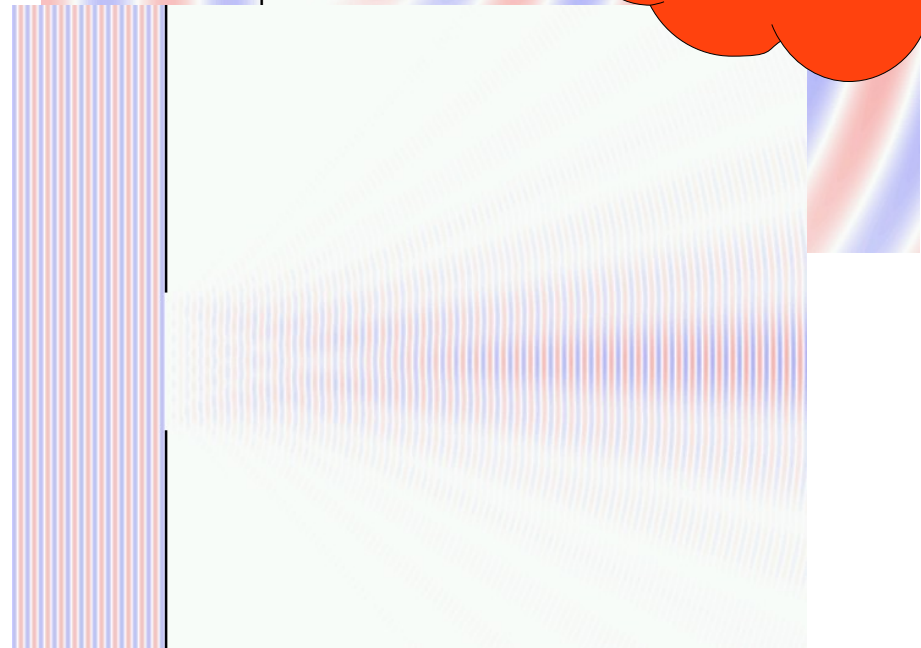
ホイヘンスの原理でわかるように、  
波は広がる(回折)



光は広がらない  
じゃないか！！



実は、波長が  
短いと波は回  
折しにくくなる  
のです。



# ここで、光と音の波長を調べてみると

可視光の波長は 300nm~800nm。  
(1nmは、10億分の1メートル)

さすがのニュートン  
さんも、こんなに光  
の波長が短いとは思  
わなかった！！

一方、音の波長は 数cm~数メートル

だから音はよく  
回折する！

実は、波長が数cm~数mの「光」も  
あります。ただし、それは眼に見え  
ないので、「光」とは別の名前と呼  
ばれています。

「電波」です。

携帯電話の電波は波長15cmくら  
い。だから回折して、建物の中  
に入ってくる事ができるのです。

一般に波は、

波長が短いほど回折しにくくなり、  
直進性がよくなります。

(こうもりが普通の音よりも  
波長が短い**超音波**を使うのはこのため)

光と音は、「波である」という点では同じなのに、波長の違いのせいでずいぶん違う現象を  
起こします。スケールが違えば物理現象が違ってくるのです。



# と、ここまでは19世紀のお話

20世紀に入ると、思いもかけない形で「光は粒子だ」という説が再浮上しました！



プランク(1858~1947)ドイツ

学生の時、「物理なんてもう終わりだからやめとけば？」と指導教官に“指導”されたと言う。その人が20世紀の物理を開いた。

光は粒子だという証拠を発見して、現代物理の元を作ったのが私、プランクです。



# 光は粒子と言われても すぐには納得いかないけど、...

たとえば、水だって  
水分子でできてま  
すが、普段はそれに  
気がつきません。

水を小さく小さく分け  
ていっても、水分子にな  
るともう分けられない  
(わけたら水でなくなっ  
てしまう)

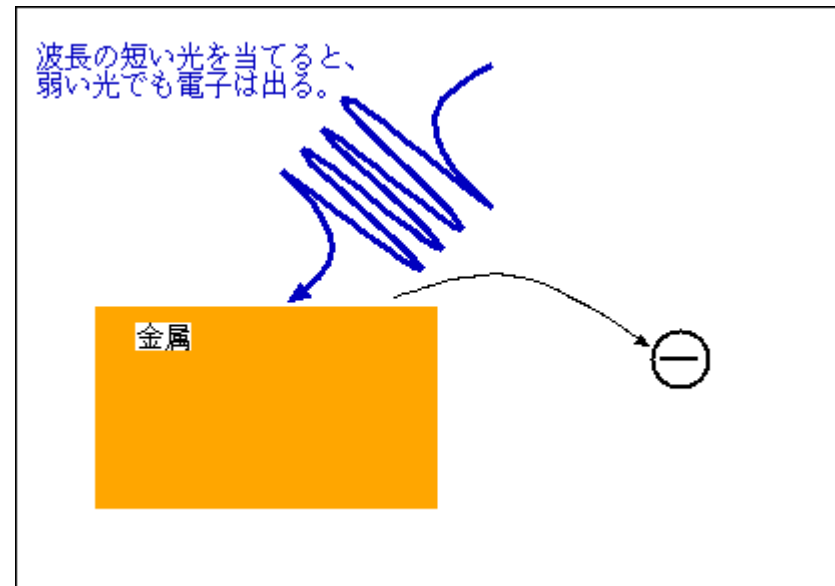
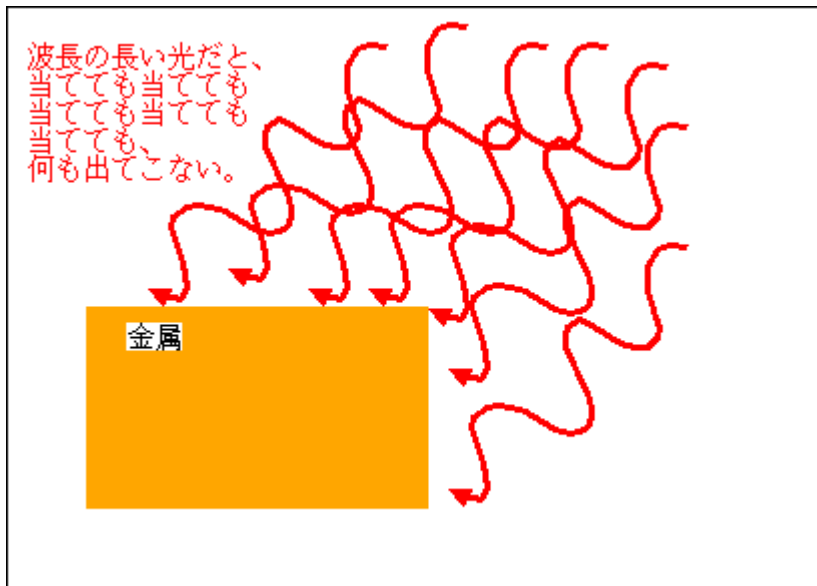
同様に、光もこれ以上  
分けられない  
一粒の塊(粒子)  
があるのです!!!





# 光電効果の謎

プランクは黒体輻射という現象を見て光のエネルギーの不連続性に気づきました。黒体輻射の話はちょっとややこしいので、もう一つの光が粒子である証拠、光電効果について話しましょう。



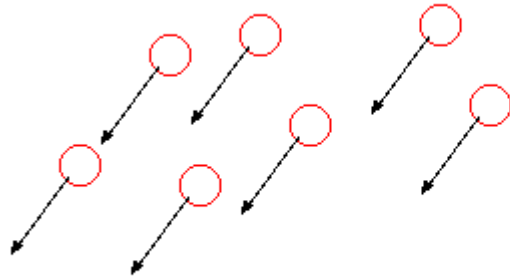
なぜ波長の短い光は特別なのか??? (謎)



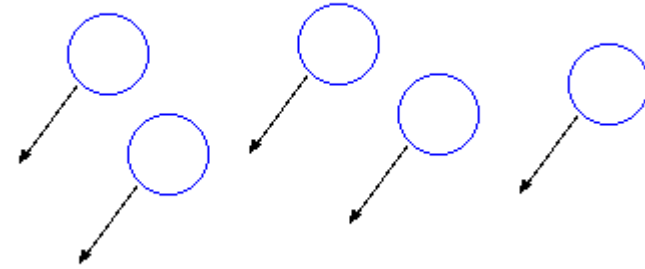


# 光量子仮説

振動数の低い（赤い）光は、一粒のエネルギーが小さい粒子



振動数の高い（青い）光は、一粒のエネルギーが大きい粒子



注意：実際の光子には大きさはありません。上の図で大きさを変えているのは、「エネルギーが大きいぞ」というイメージを表現しました。

この仮説を唱えたのは、1905年のアインシュタイン(これでノーベル賞もらいました)



# 光が粒子でなかったら

光電効果だ黒体輻射だと言われても、「そんなのあまり生活に関係ないし」とか思ってませんか???

光電効果同様に、波長の短い光(紫外線)でしか起きない生物現象があります。何かわかりますか???

光が粒であることは、**日焼け、紫外線の殺菌効果**にも関係ある

そもそも眼が見えるのだから、「太陽の光が人間の眼の中に化学反応を起こさせるのにちょうどいい大きさのエネルギー」を粒の形で運んでくれるから!

可視光のエネルギーがちょうど化学反応が起こるのにいいエネルギーであることは、地球上のある生命現象に大きく関係している!!  
(なんだかわかりますか?)

**光合成**

太陽系の惑星である地球に生物が生まれたのは、太陽の光がちょうどいいエネルギーを運んでくる粒子であったおかげである!



# で、結局波なの粒子なの??

どうやら光さんは、

誰ともぶつかっていない間は波でいて、

壁とか金属とかにぶつくと粒子になる

という不思議で天の邪鬼な存在らしいです。

ずいぶん悩んだ当時の物理学者は、

光は波ですか？  
粒子ですか？

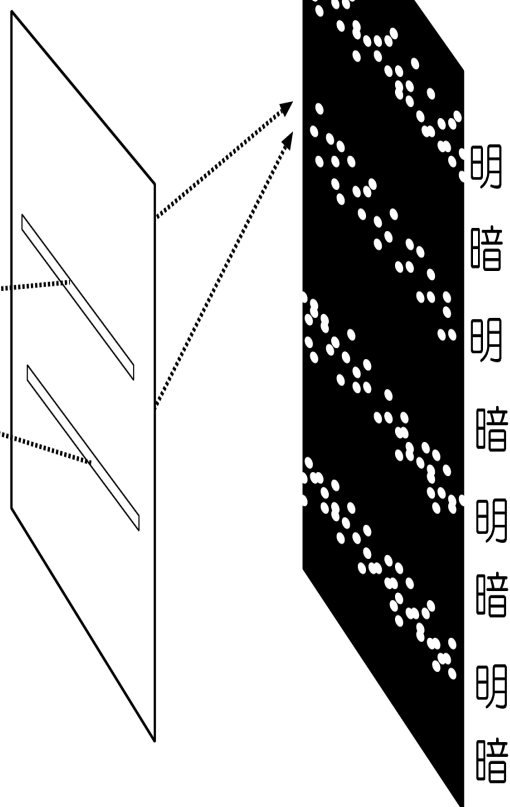
と聞かれて、...

月水金は波で、  
火木土は粒子だ!

と答えたそうです。

日曜日はお休みです。教会に行って神の  
教えを乞います。

光源

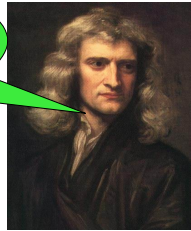


# 波か粒子か論争、その流れ

18世紀

光は波だ！

光は粒子だ！



19世紀

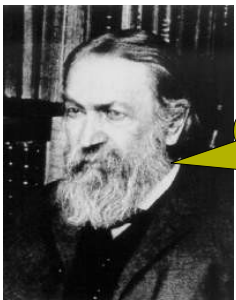
光は波だ！



一方で、...

物質は原子でできている！

原子の証拠なんて、どこにもない！！



20世紀


光は粒子だ！

光は波だ！

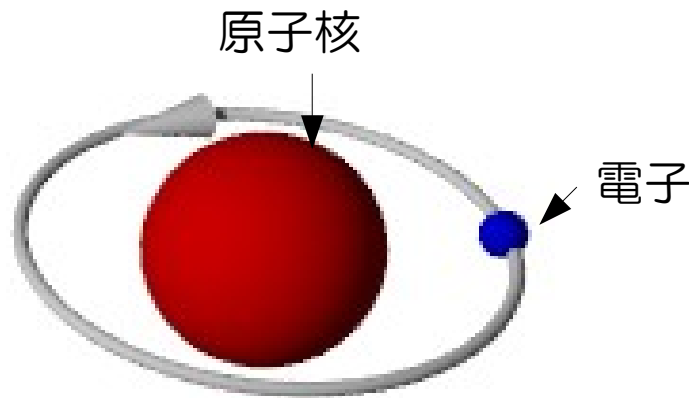
もうどっちだか、わかんない〜い

原子や電子の発見！！

物質は粒子だ！！

しかし、これも、わかんなくなってしまう。。。 

# 原子に関する数々の疑問



どうして電子はずっと回っているの??  
(原子核と引き合うのに、どうして落ちないでいられるの??)

原子核と電子は、よく太陽と地球に例えられます。どちらも

「中心にある大きい物の周りを小さい物が回っている」

というところは同じですが、地球の軌道は(長い年月の間には)変化しているし、別の恒星の周りを回る惑星は、地球とは違うところを回ります。

どうしてどの原子でも、電子は同じところを回っているの?  
(どうして原子には個性がないの?)

何が電子の回る場所を決めているの??

太陽系には個性があるが、原子には個性がない!!



# 大胆な発想で、この謎を解く

波だとばかり思っていた光が、実は粒子でもあった。

ならば、粒子だとばかり思っていた電子が、実は波だった、  
てなこともあるかもしれない。

逆転の発想って奴ですよ。

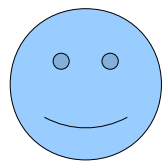
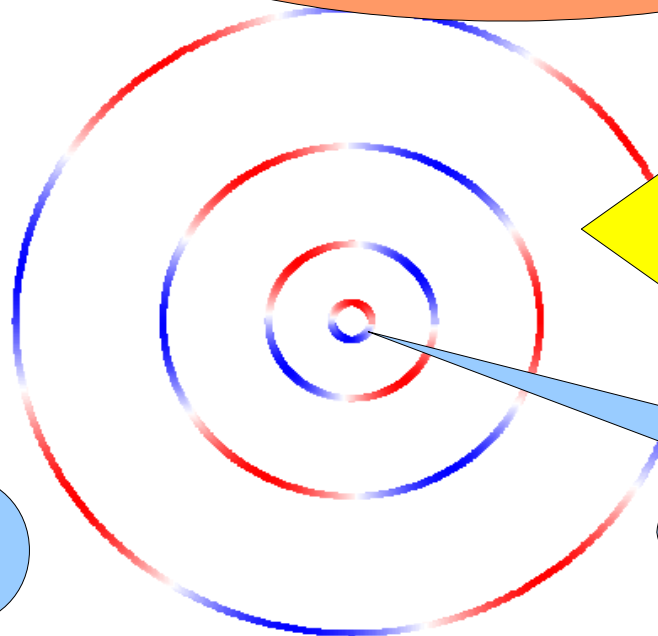


ド・ブROI  
(1892-1987)

電子が波ならば、  
決まったところにしか  
存在できない！

ここより低い場所は回  
れない！！  
(波が存在できない)

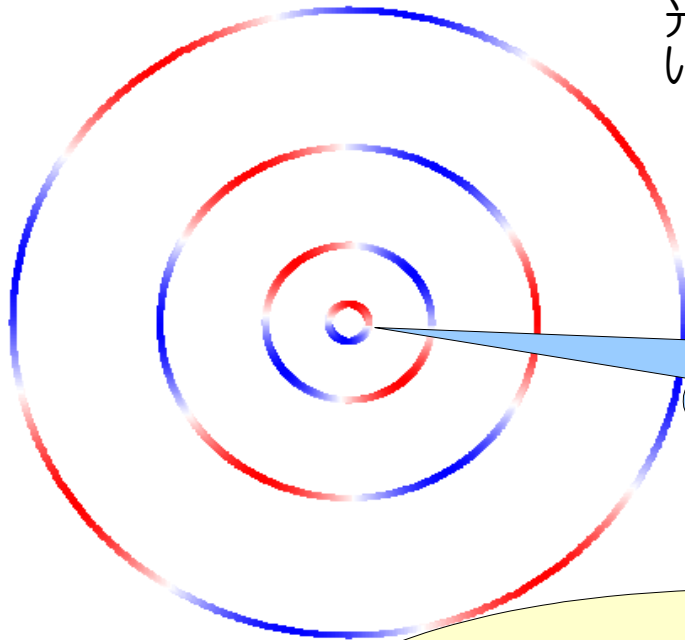
エネルギー最低の  
状態でも、  
動いている！！



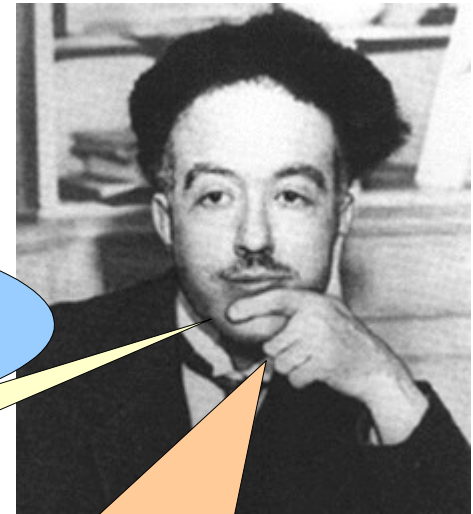
# どうして波だと永久に動き続ける？

ド・ブROIさんは考えました。

光がそうだったように、電子の波も、波長が短いほど運動エネルギーが高いに違いない。



つまり、この方が運動エネルギーが高い。その代わりに、位置エネルギーは低い。



ここより原子核に近いところを回るためには、波の波長はもっと短くならなくては行けない。それでは、運動エネルギーが大きくなりすぎる！！

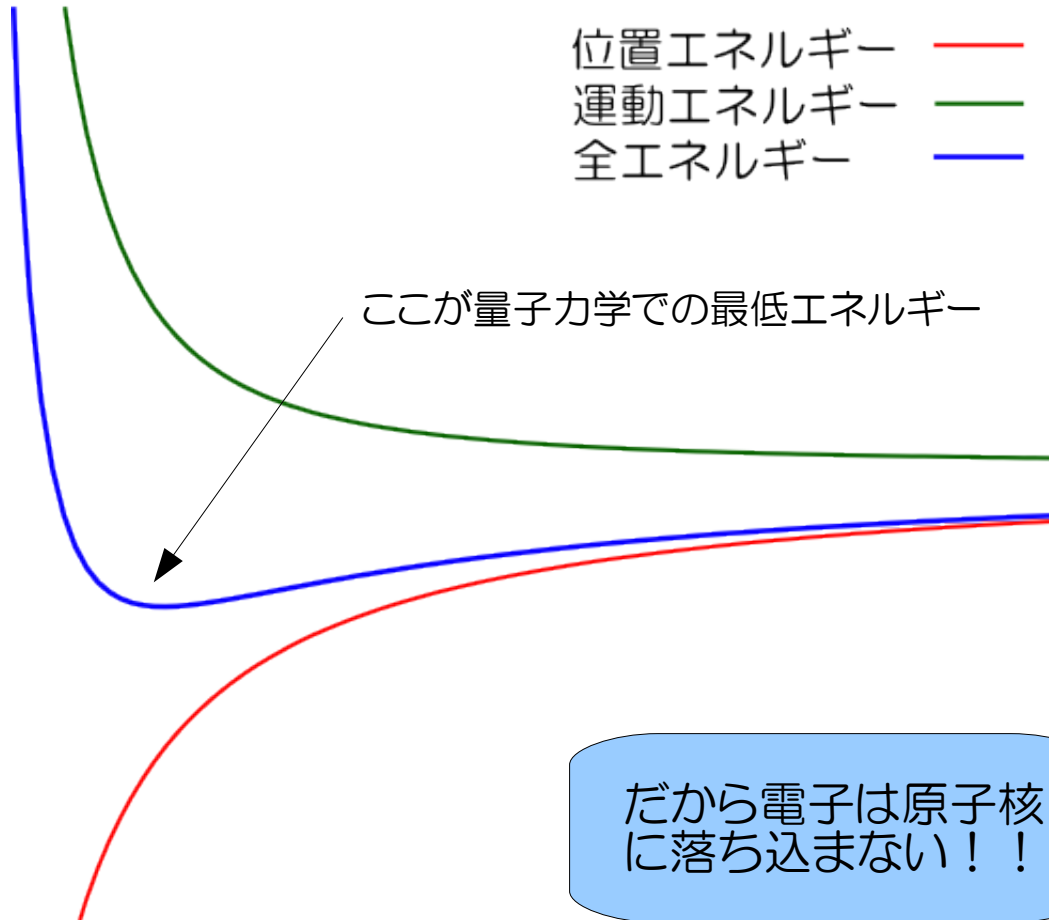
低いところを回ると位置エネルギーが下がるが、逆に運動エネルギーが上がってしまう。どこかに全エネルギーが一番小さくなる場所があるはずだ。





# 古典力学と量子力学の違い

だから、地球が太陽に落ちることも、物理的には、有り得る（ほんとに落ちたら困るけど）



古典力学では、物体の運動エネルギーには何の制約もない。

量子力学では、物体は波の性質を持っているので、波の

「狭いところに閉じ込めると波長が短くなる」

という性質と

「波長が短いとエネルギーが大きくなる」

という性質のおかげで、狭いところに閉じ込めるとかえってエネルギーが大きくなってしまふ。

だから電子は原子核に落ち込まない！！

古典力学での最低エネルギーは、ずっとずっと下の方↓

粒子は止まれるが、波は止まれない！！  
(これが量子力学の新しいところ)

# でも、量子力学って原子の中だけの話で、目に見えないんでしょ？

## とんでもない！！

**とんでもないその2：**  
ミクロな世界の法則である量子力学が、目に見える物理現象を起こすことは、けっこうあるのです！！

物質の中で起こっている「永久運動」が目に見えるようになる実験を、今からお見せしましょう！！

量子力学の一つの特徴に、原子の中の電子の運動のような「永久運動」が起こることがあります。

**とんでもないその1：**  
トランジスタやICなどの電子部品は、量子力学を使って作られたものです。量子力学がなかったら、現代の科学文明はありません！！

注意：永久運動といっても、エネルギー一定のまま動き続けるので、永久機関とは違います！

## それが「超伝導」です！



# 超伝導の 実験タイム

# 2008ノーベル賞 について

南部・小林・益川は、  
何をやったのか？



## The Nobel Prize in Physics 2008

“for the discovery of the mechanism of spontaneous broken symmetry in subatomic physics”

“for the discovery of the origin of the broken symmetry which predicts the existence of at least three families of quarks in nature”



Photo: University of Chicago

**Yoichiro Nambu**

🕒 1/2 of the prize

USA

Enrico Fermi Institute,  
University of Chicago  
Chicago, IL, USA

b. 1921  
(in Tokyo, Japan)



Photo: KEK

**Makoto Kobayashi**

🕒 1/4 of the prize

Japan

High Energy Accelerator  
Research Organization (KEK)  
Tsukuba, Japan

b. 1944



Photo: Kyoto University

**Toshihide Maskawa**

🕒 1/4 of the prize

Japan

Kyoto Sangyo University;  
Yukawa Institute for  
Theoretical Physics (YITP),  
Kyoto University  
Kyoto, Japan

b. 1940

↑ ノーベル財団ホームページより引用



# キーワードは「対称性」

## 物理における対称性

小林・益川は  
こっちの話

### 不連続な対称性

- P** パリティ変換(鏡像変換)
- C** 電荷変換(粒子 $\leftrightarrow$ 反粒子)
- T** 時間反転

この二つを  
まとめたのがCP変換

南部先生は  
こっちの話

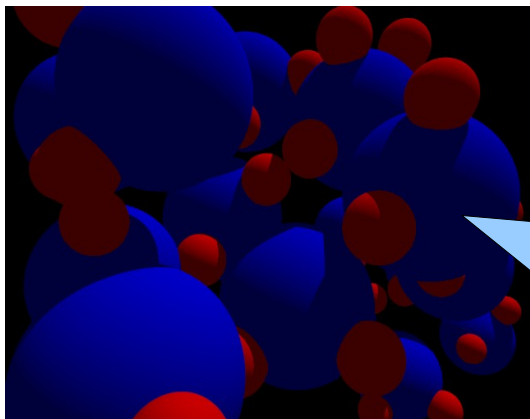
### 連続的な対称性

- 空間並進
- 時間並進
- 空間回転
- ローレンツ変換
- 位相変換(電磁気)
- SU(2)変換(弱い相互作用)
- SU(3)変換(強い相互作用)
- 一般座標変換(重力)

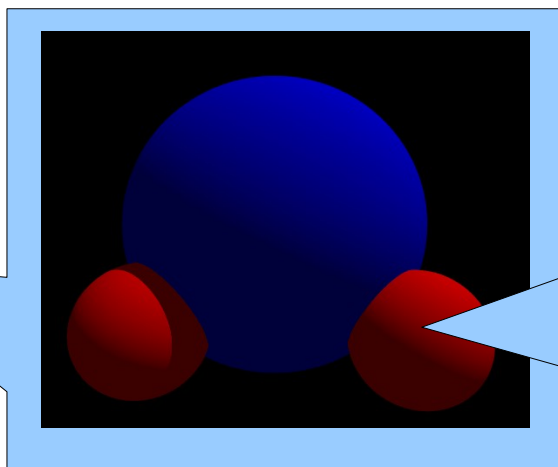
この世界には、破れている対称性と破れていない対称性がある。  
破れている対称性はいかにして破れたのか、その理由を探るというのが、  
今回ノーベル賞を与えられた研究の共通点。



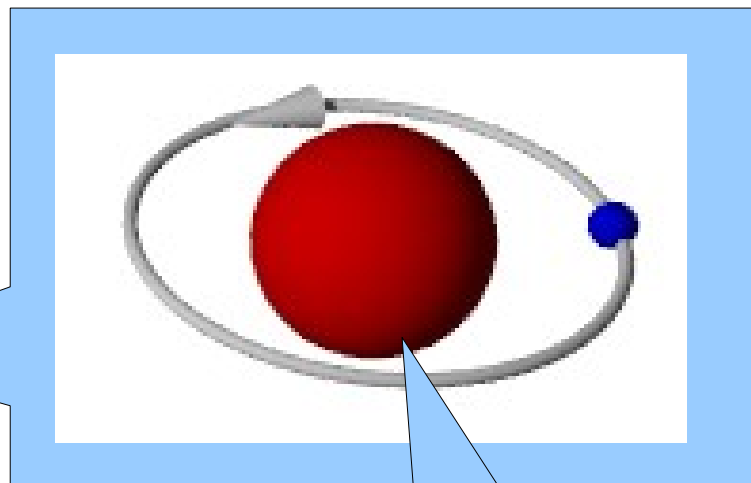
# そもそも素粒子物理って何??



水の中には、..



水分子があって、..

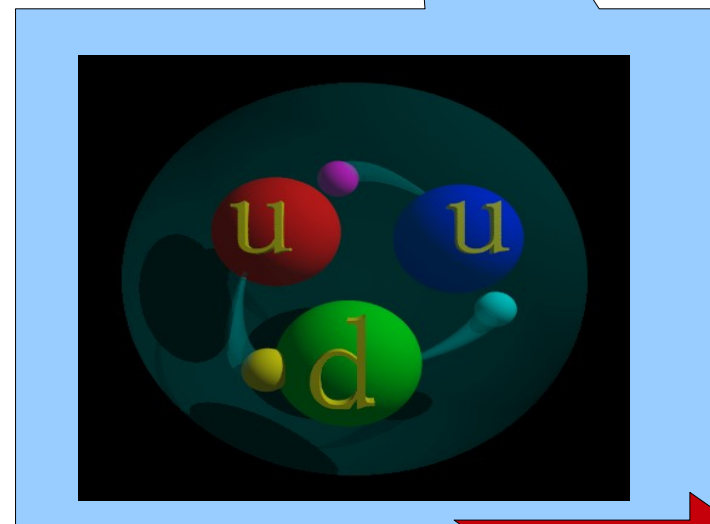


水素原子があって、..

分子・原子を作っている  
粒子の「素」になる  
粒子の「相互作用」を  
考える物理です。

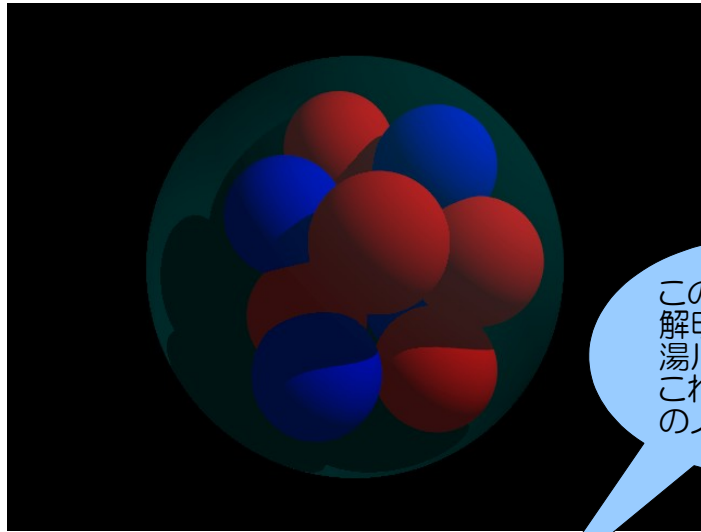
陽子があって、  
その中には  
クォークがある

こんなふうに、より小さい  
ところ、より基本的なところ  
へと、考えていきます。



# 原子核に見える対称性

陽子の質量  $1.67262158 \times 10^{-27} \text{kg}$   
中性子の質量  $1.67492616 \times 10^{-27} \text{kg}$



この力の謎を  
解明したのが  
湯川秀樹で、  
これが日本初  
のノーベル賞

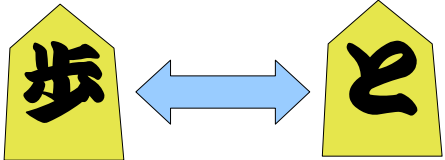
原子核内に働く「核力」という力を調べてみると、

陽子と陽子の間に働く核力  
中性子と中性子の間に働く核力  
は、ほぼ同じである。

ここにも何らかの  
対称性がある。

陽子と中性子はよく似  
ている。違いは電荷が  
あるかないかと、少しだ  
け中性子が重いこと。

これはあたかも、陽子と中性  
子が元々同じ粒子の「表」と  
「裏」であるかのようだ。。。。



似ているのに、  
ちょっとだけ違う。  
なぜえ???

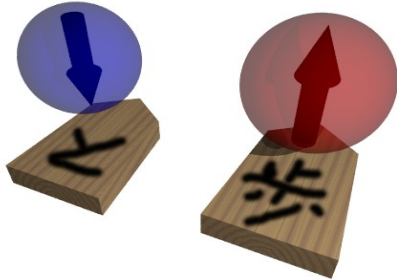
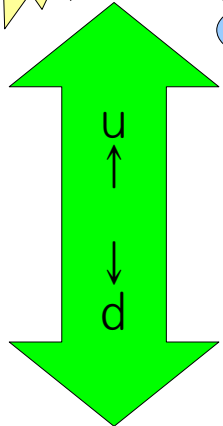




# 「架空の世界」の上下対称性

大胆な  
考え

架空の空間の中で、  
↑を向いているのが陽子、  
↓を向いているのが中性子  
…なんじゃないかな？



あくまでも  
数学的な  
「架空の空間」  
です。

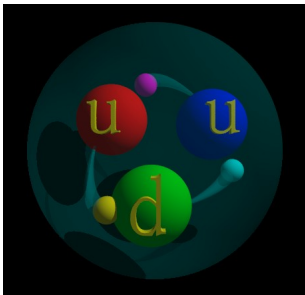
陽子と中性子が  
似ているけど違う問題

クォーク理論  
でも問題は  
解決しない。

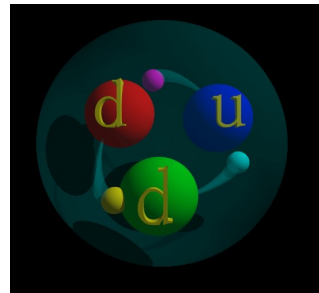
UpクォークとDownクォークが  
似ているけど違う問題

この考え方は、その後たくさん見つかっていった粒子を分類する時、とても役に立った。

後に、陽子と中性子は3つのクォークでできていることがわかったが、この「上向き」「下向き」という考え方は、クォークの名前に残っている。



陽子。up,up,downの  
3つのクォークででき  
ている。



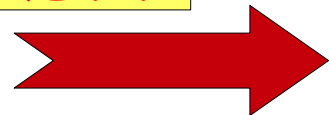
中性子。up,down,downの  
3つのクォークででき  
ている。

【謎】

UpクォークとDownクォークには  
対称性がある。  
しかし、その対称性は破れている

最初から対称性がなければ  
悩まなくて済むし、  
逆に対称性が保たれたままなら  
不思議なこともないのだが、..

どうしてこうなるのか？  
この謎を解きたいのだ！！



# 南部先生は何をしたのか？

## 対称性の自発的破れ

### 素粒子物理

一個～数個の粒子の反応、  
相互作用を考える

### 物性物理

たくさんの粒子  
が集まって物質を作った時の  
物理を考える

物性物理(名前の通り、物質の性質を考える物理)の世界で起こっている超伝導現象が、「対称性の自発的破れ」として出現しているという考え方を示し、さらに「対称性の自発的破れ」という現象は素粒子物理でも起こり得ると考えた

後の素粒子物理の中で、まさに対称性の自発的破れによって起こっていると思われる現象が次々と見つかった。

カイラル対称性の破れ  
ワインバーグ・サラムの電弱統一理論  
大統一理論  
万物理論？

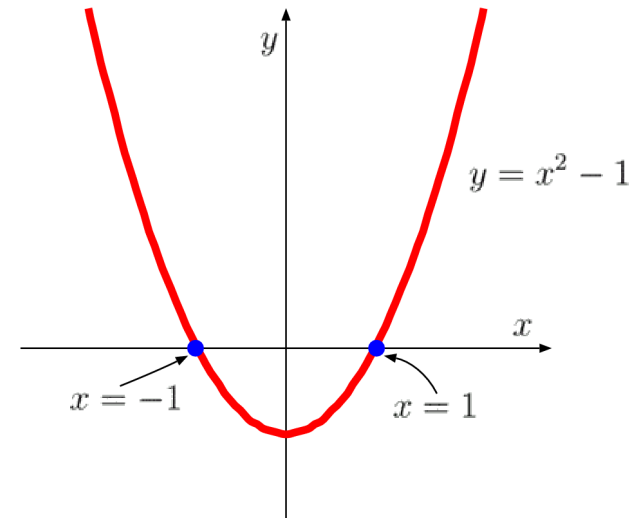
この理論が  
素粒子の対称性の  
破れの謎を解く  
ことになりました。



# 「自発的に破れる」とは？

$x^2 = 1$  という方程式は  $x \rightarrow -x$  という変換(いわばグラフの鏡像変換)に対して対称である。しかし、その二つの解

$$x = 1 \quad \text{と} \quad x = -1$$



それぞれは、左右対称ではない。

これが、  
自発的破れ

方程式を作った時点では対称性があったのに、解を一つ選んだことで、対称性がなくなってしまった。

対称性が自発的に破れた時は、方程式の対称性は残っている。

対称性の名残を残しつつ、破ることができるのである。



# 物理の世界で、 対称性が「自発的に」破れる、とは？

素粒子物理では、  
素粒子の運動方程式を  
立てて、その方程式から  
まず、  
「最低エネルギー状態」  
を探します。

運動方程式に対応する  
「場の方程式」は対称性を破っていないとしても、  
真空（最低エネルギー状態）が対称性を破ってい  
るということもある。  
それが「自発的な破れ」です。

(昔の) 素粒子  
物理屋の常識

真空は「何もない」状態なのだ  
から、対称性がいいはずだ！！

しかし物性理論では、  
エネルギーが低い状態が  
対称性を破ることも  
知られていたんだよ。。。

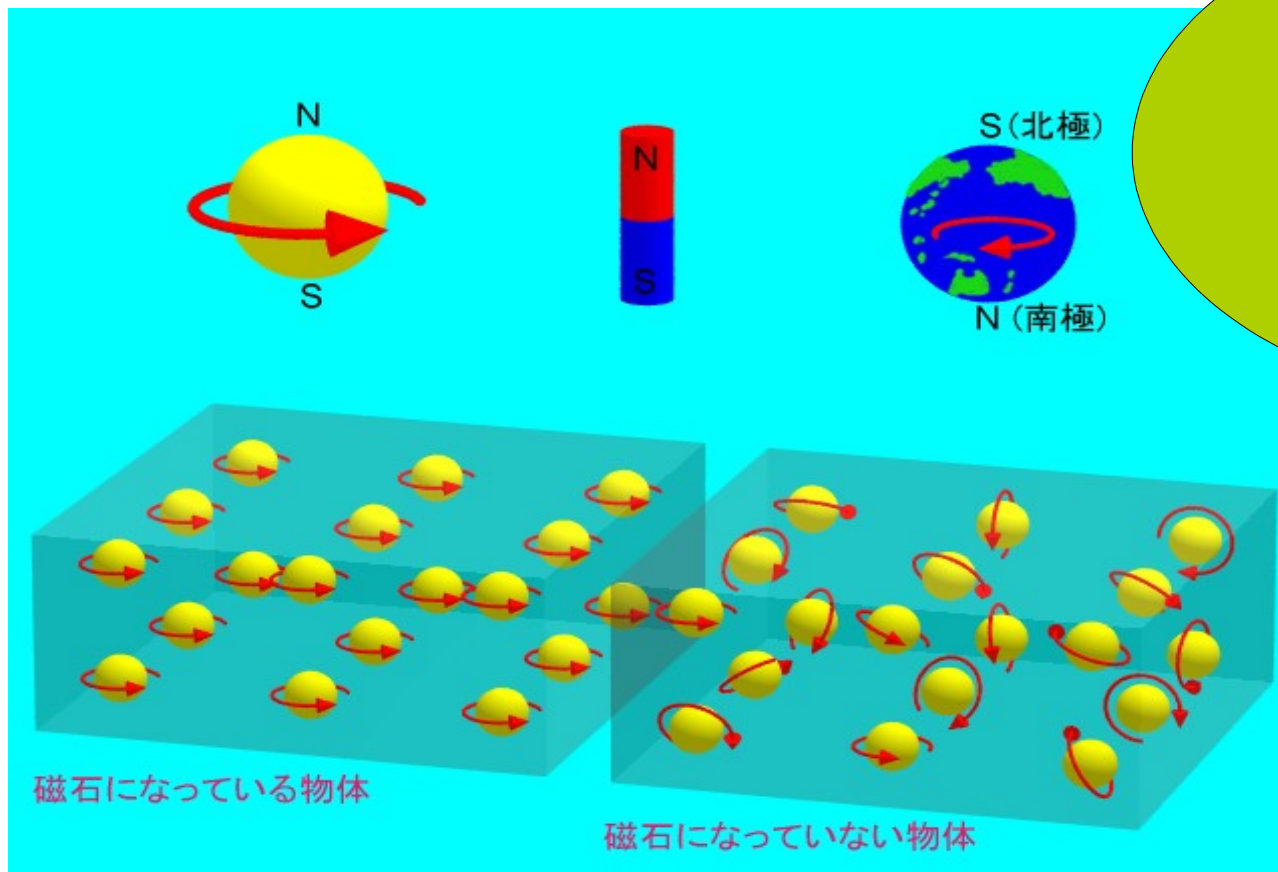


# 物性における対称性の自発的破れ(1)

最低エネルギーの状態に対称性がなし | 例.....  
(割とその辺で目にする例です)

強磁性  
(例：鉄が磁石になること)

鉄はなぜ磁石になるのか??????



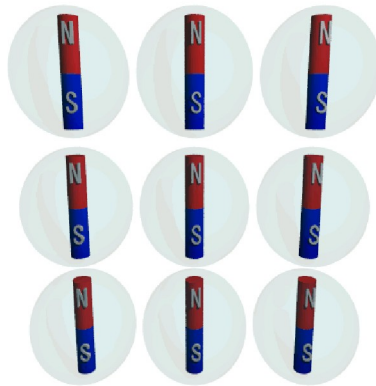
Fe原子は、原子一個一個が磁石である。しかし、その原子がきれいに整列していなければ、全体としては磁石にならない。

ちなみに、、、  
なぜ電流が流れ続けるのか？  
これも量子力学のおかげです。



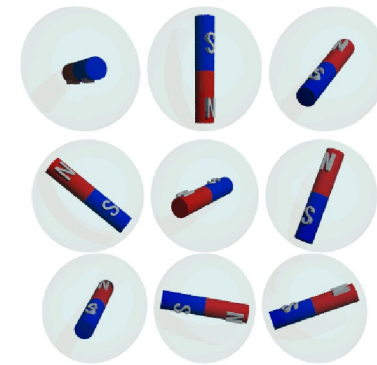
# 温度と対称性の破れ

低温



←エネルギー低い  
←乱雑性低い

高温



エネルギー高い→  
乱雑性高い→

試してみよう!

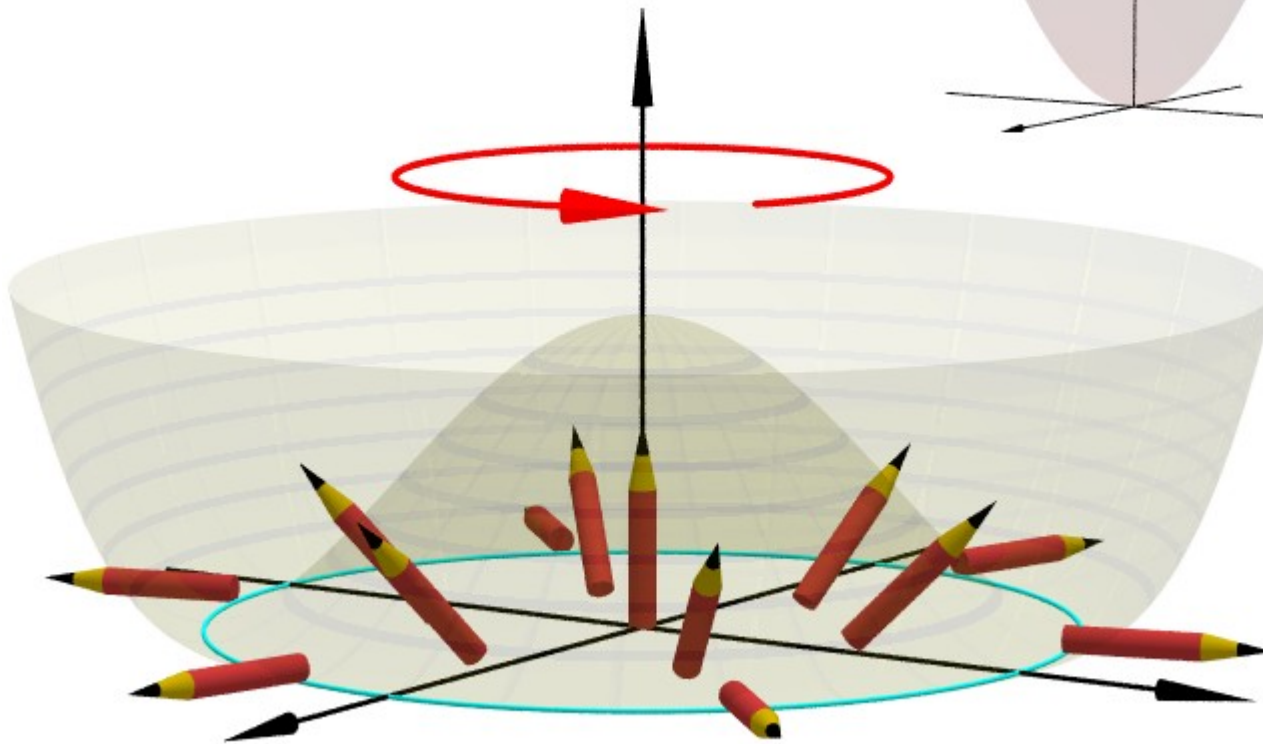
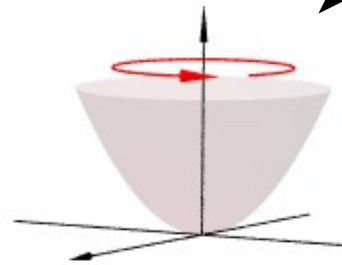
鉄が磁石になっている状態というのは、特定の方向ができていますので「回転に対する対称性が破れている」状態だと言える。つまり、対称性の低い(対称性が破れた)状態の方がエネルギーが低く、それゆえに実現するということが有り得るのだ!!





# 自発的対称性の破れのイメージ

エネルギーがこんなグラフなら、最低エネルギーは対称性がいい。



原点(突っ立った鉛筆)はz軸周りの回転に対して対称性がいい。しかし、エネルギーが高い。

倒れてしまった鉛筆は対称性が悪いが、エネルギーが低い。





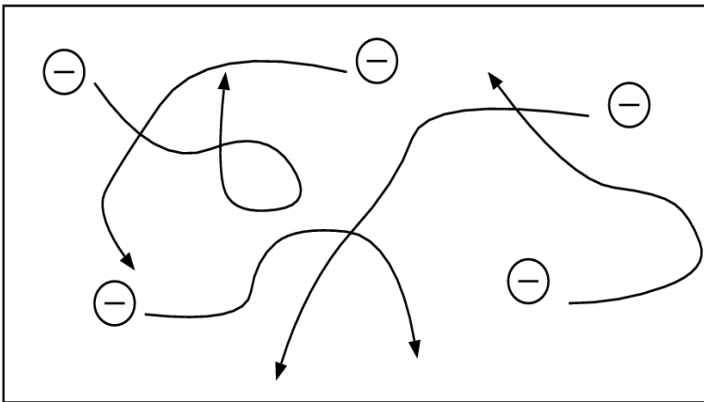
# 物性における対称性の自発的破れ(2)

## 超伝導

一部の物質は、低温にすると電気抵抗が消失するという「超伝導状態」になる。

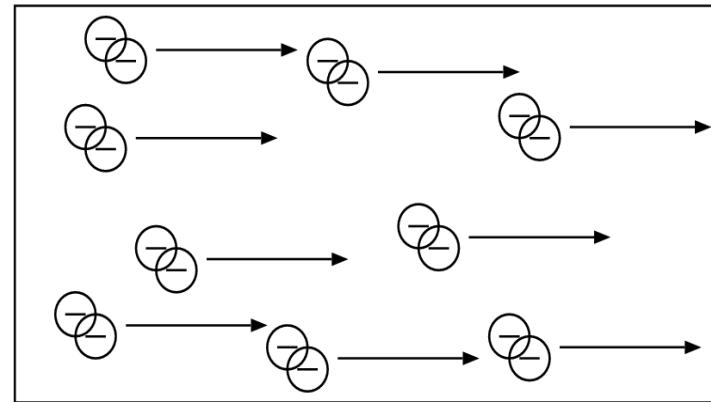
バーディーン、クーパー、シュリーファアの3人はこの現象は「クーパー対」と呼ばれる「電子2個が結合した状態」が物質内に凝縮している状況によって起こされているといういわゆるBCS理論を考えた。

通常物質



電子が互いや原子にぶつかりあいながら動いている

超伝導体の中



電子が2個くっついたもの(クーパー対)が、抵抗を受けずに集団運動している

ぎっしりつまったクーパー対は(大学で習う量子力学でわかる現象により、...)周りの原子の抵抗を受けずにいっせいに動くことができる(これが電気抵抗ゼロの理由)。



# クーパー対と対称性

常伝導状態:クーパー対がない →  $\psi = 0$

←対称性が破れていない

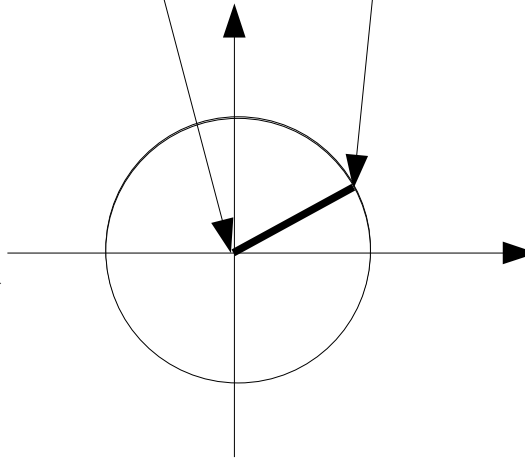
超伝導状態:クーパー対の波動関数が、ある複素数の値 $\psi$ を取る。

←対称性が破れている

クーパー対というものの存在確率のようなもの  
これが何なのかは、大学で勉強してね!

どんな対称性かというと、

$\psi$ のグラフ→



$$\psi \rightarrow \psi e^{i\theta}$$

**位相変換**

(この辺はちょっと難しいかも。。。)

南部先生が気づいたこと:

超伝導は、クーパー対が凝縮することによる位相変換の不変性の破れと考えることができる。

対称性の高い $\psi = 0$ より、対称性が崩れた状態の方がエネルギーが低い。

ここでも、低温にしてエネルギーが低い状態で対称性が破れることに注意!!



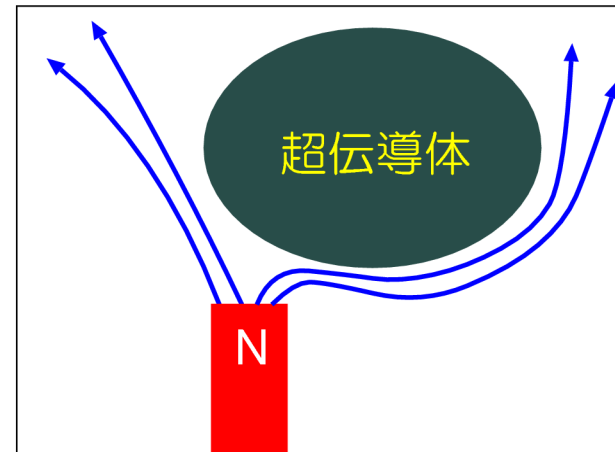
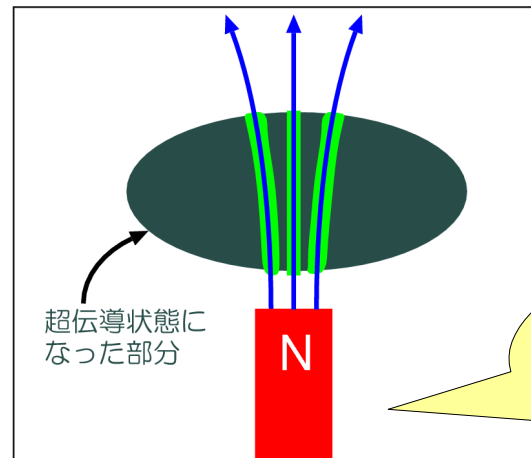
# 超伝導体で起こる現象

ごめんなさい、これはお  
おざっぱな説明です。  
ちゃんとした説明は  
大学で勉強してね。

超伝導状態で、抵抗なしに動きまわる電荷があると、その場所には磁場が侵入できない。

電磁誘導の法則で、磁場の変化を妨げるように  
“永久電流”が流れる……と思えばよい。

逆に磁場のある場所で物質を超伝導状態にすると、磁力線をその場所で動かなくすることができる(これを「ピン止め」と言う)。



常伝導体内は自由に動き回れる磁力線が、超伝導状態では動けなくなってしまう。。。

実はこの「自由に動けない」ということは、「(対応する)粒子が質量を持つ」ということと同じです。対称性の破れは粒子の質量のあるなしと関係しています。



# 超伝導状態では、「磁力線が重い」

特に！！  
超伝導状態の物質の中では、  
磁力線が自由に動けなくなってしまう

いわば、  
「磁力線が重くなってしまふ」  
のです。

超伝導体は、  
磁力線を  
捕まえてしまふ！！

超伝導現象は  
「対称性の自発的破れ」  
を実感できる現象でもあるのです。



# 超伝導と素粒子物理を比較しよう

## 超伝導状態

- ・電気抵抗が0になる
- ・位相変換不変性がない
- ・クーパー対が凝縮
- ・磁力線が動けない  
(これは光子が質量を持つということ)

←低温

## 常伝導状態

- ・電気抵抗は0ではない
- ・位相変換で不変
- ・クーパー対はいない
- ・磁力線が動ける  
(これは光子の質量が0だということ)

高温→

## 今の「真空」

- ・「 $u \leftrightarrow d$ 」の不変性がない
- ・ヒッグス粒子が凝縮
- ・W粒子、Z粒子が質量を持つ
- ・クォーク・レプトンも質量を持つ

## 宇宙初期の「真空」

- ・「 $u \leftrightarrow d$ 」の不変性がある
- ・ヒッグス粒子はいない
- ・W粒子、Z粒子の質量はゼロ
- ・クォーク、レプトンも質量はゼロ



# 「対称性の自発的破れ」という概念 がくれたもの

今の素粒子物理の世界では  
真空=何か(ヒッグス粒子)がつまった、  
対称性が破れた世界  
になった。

真空にも「状態」がある！！

今の宇宙において、  
対称性が破れてしまっている  
理由を見つけることが  
できました。

ヒッグス粒子が  
真空につまっているという  
証拠を見つけるための  
実験が、LHCという  
巨大加速器です  
(いよいよ稼働寸前)

宇宙の始まりの超高温の  
状態で何が起こったのかを、  
考えることができる  
ようになりました。

時間がない時

ここまでが、南部先生の業績についてのお話。。。。

# では続けて小林・益川の業績について

昔、物理法則は

C反転: 粒子と反粒子をひっくりかえす変換

P反転: 鏡に映すように、左右をひっくりかえす変換

の両方で対称になっていると思われていました。

ところが、まずP反転で不変でないことがわかります。

しかし、C反転とP反転をいっしょに行うと不変だと思われてました。

ところが、CP反転で不変でない現象も見つかりました。

小林・益川理論は、CP反転に対する対称性が破れているのは、「クォークが6つ以上あるからだ」という説を唱えました。それが後に実証されるのです。。。。

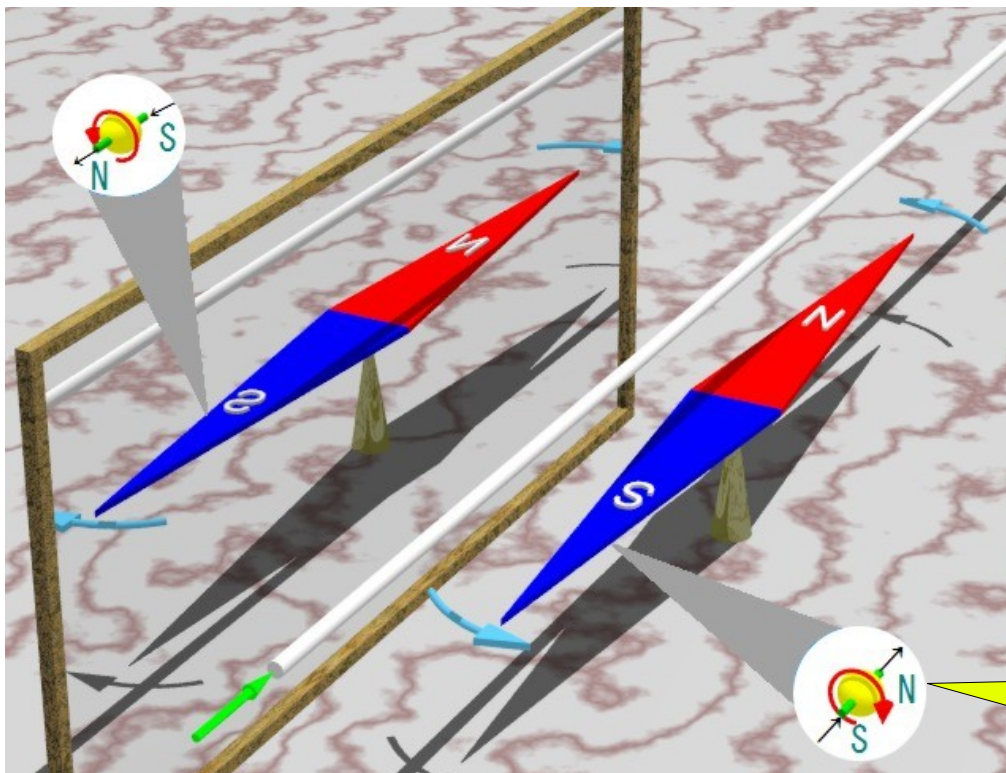
時間がない場合





# CP不変性とその破れ まずP不変性とは？

鏡の中でも、同じ物理法則が成立する。



昔アンペールは、電流と方位磁石の間の力が、鏡の中では逆になることに悩んだと言う。

しかし、実は方位磁石を方位磁石にしているのは、磁石の中の原子に流れる電流であり、鏡の中では電流も逆になる、ということを考えれば、物理法則は変更されていない。

鏡の中ではN極はS極に、S極はN極になる（それが物理的に正しい！）

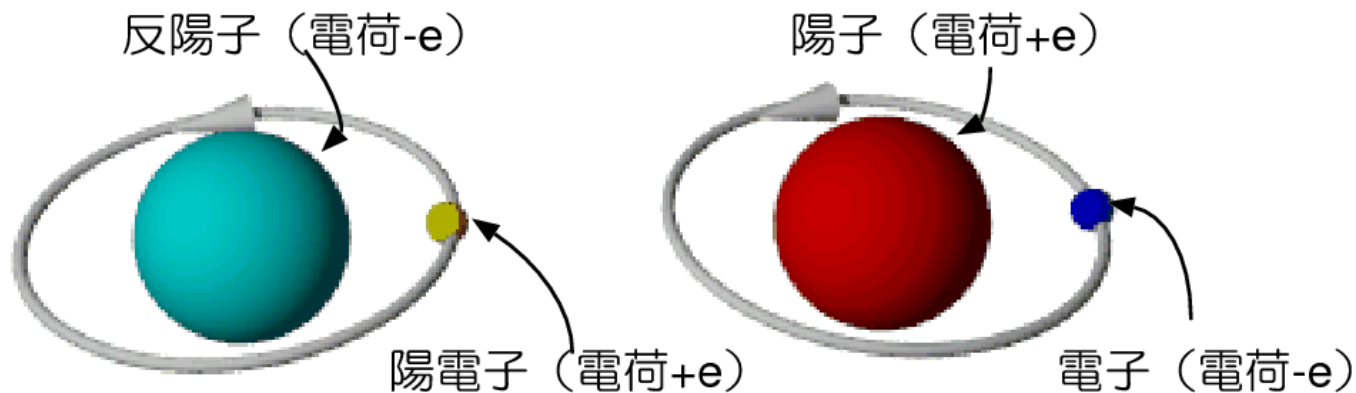


# C不変性とは？

粒子と反粒子を取り替えても、物理は同じ。

反水素

水素



同じように、酸素に対応する反酸素もあるし、反窒素も反ウラニウムも、もちろん存在可能。

だが、この世には反物質は圧倒的に少なく、物質がやたらと多いようだ。。。。



# CP不変性の破れの重要性

P反転の不変性の破れは、1957年に、ウーの実験(コバルト原子核)で発見された。

この時はCP反転の不変性はあると考えられていたが、1964年のフィッチとクローニンの実験(K中間子)でCP反転で不変でない現象が見つかってしまった。。。。

CP不変性が破れているのは、素粒子の運動方程式にCP不変でないところがあるからである。。。。  
(この破れは今のところ「自発的」なものとは考えられていない)

では、いったいどこにそれがあるのか??

CP不変性が破れている事は、この宇宙に粒子が多くて反粒子が少ないことの理由になっているのかもしれない。

**CP不変性が破れる理由を探さなくては!!!**



# CP不変性はいかにして破れるか？

小林・益川両先生が考えたこと

素粒子の運動方程式  
の中に、複素数が入れ  
ば、CPは破れる。  
これでどうだ？

しかし、  
素粒子の運動を表す関数には

$$\psi \rightarrow \psi e^{i\theta}$$

という変換しても変わらない  
という不変性もある

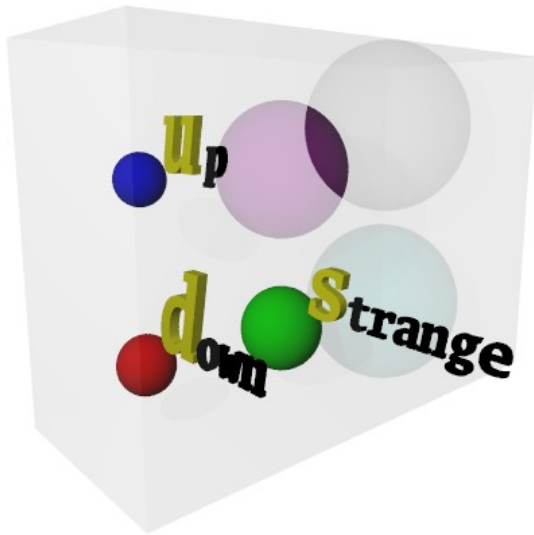
うわあ、その不変性使ったら、  
せっかくCPを破ろうとして  
入れた複素数が、全部実数に  
なっちゃった！！

せっかく入れた複素数が  
消えてしまうのは、クォークの  
数が足りないからだっ！！



# クォークが6ついる理由

クォークの運動方程式の中に、下の段の粒子を混ぜ合わせる行列が入っていた。  
(この行列はクォークの種類の変化を表す部分に入ってます)



$$\begin{pmatrix} d' \\ s' \\ c' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A & B & C \\ D & E & F \\ G & H & I \end{pmatrix} \begin{pmatrix} d \\ s \\ c \end{pmatrix}$$

2×2行列には、  
複素数が入らない

3×3行列なら、  
複素数が入る  
余地がある。

この行列を、「小林・益川行列」と言います。

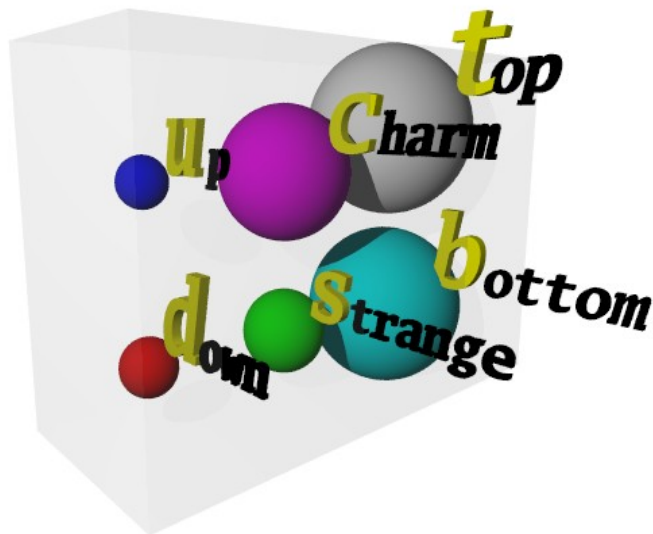
クォークが6個あると、この行列は3×3行列になり、  
複素数の入る余地が出てきた！  
(小林先生と益川先生は、いかにしてCP不変性を破るか考え続けて、ついにこの可能性に気づいたのでした)

当時発見されていたクォークは3つ。  
up,downの後にもう一個見つかった  
ので、strangeという苦しい名前をつけ  
ました。  
4つめも「あるんじゃないか？」と言  
われていました。

**当時は大胆な発想だった「クォークは6つ」だったが、その後の実験の結果は  
小林・益川の予想を裏付けるものだった。。。。。**



# その後のクォークたち



bottomクォークをbeauty  
topクォークをtruth  
と呼ぼうとしていた人もいたが、  
なぜか定着せず。

次があったら、たぶん、  
high & low  
またはhate & love??

小林・益川論文の頃。  
upとdownと、どちらでもない「変なの」が見つ  
かったので、strange。

strangeの「逆」が出てきたので  
「チャミング」ってことで、charm。

1974年発見。

さらにもう一つ見つかったが、名前の付け  
方に困って、、、bottom。

1977年発見。

bottomの反対は、もちろん、top。

見つかるにはだいぶかかりました。

1995年発見

小林・益川行列は、これらのクォークの相  
相互作用の研究に使われ、その正しさが証  
明されました。

次でまとめ



# 2008年ノーベル賞に関して

今年のノーベル賞は、素粒子物理における「対称性の破れ」に係する研究をした日本人3人に与えられました。

これらの研究は、この宇宙にどのような対称性があり、どのようにそれが破れてきたのか、を深く考えていく事で為されたものです。

いろんな現象を深く考えていくことで、思いも寄らなかつた法則が見つかることがあります。3人の日本人研究者の業績は、そのことを教えてくれます。

我らの大先輩は、とてもがんばったのです。君達も続こう！





# 全体まとめ

- 量子力学は不思議です。常識外れです。

でも、今日話したことは真実です。

量子力学は不思議だけでなく、役に立ちます。

こういう常識外れな話がほんとうだとわかるまでには、たくさんの物理学者たちの長い長い苦闘の歴史がありました。

高校でならっている物理の先には、こんなふうな不思議な世界があります。

# おしまい

大学で物理を勉強すれば、  
もっともっと現代物理に近づく  
ことができます。

興味のある人は是非来てね。

一緒に勉強しましょう！

