

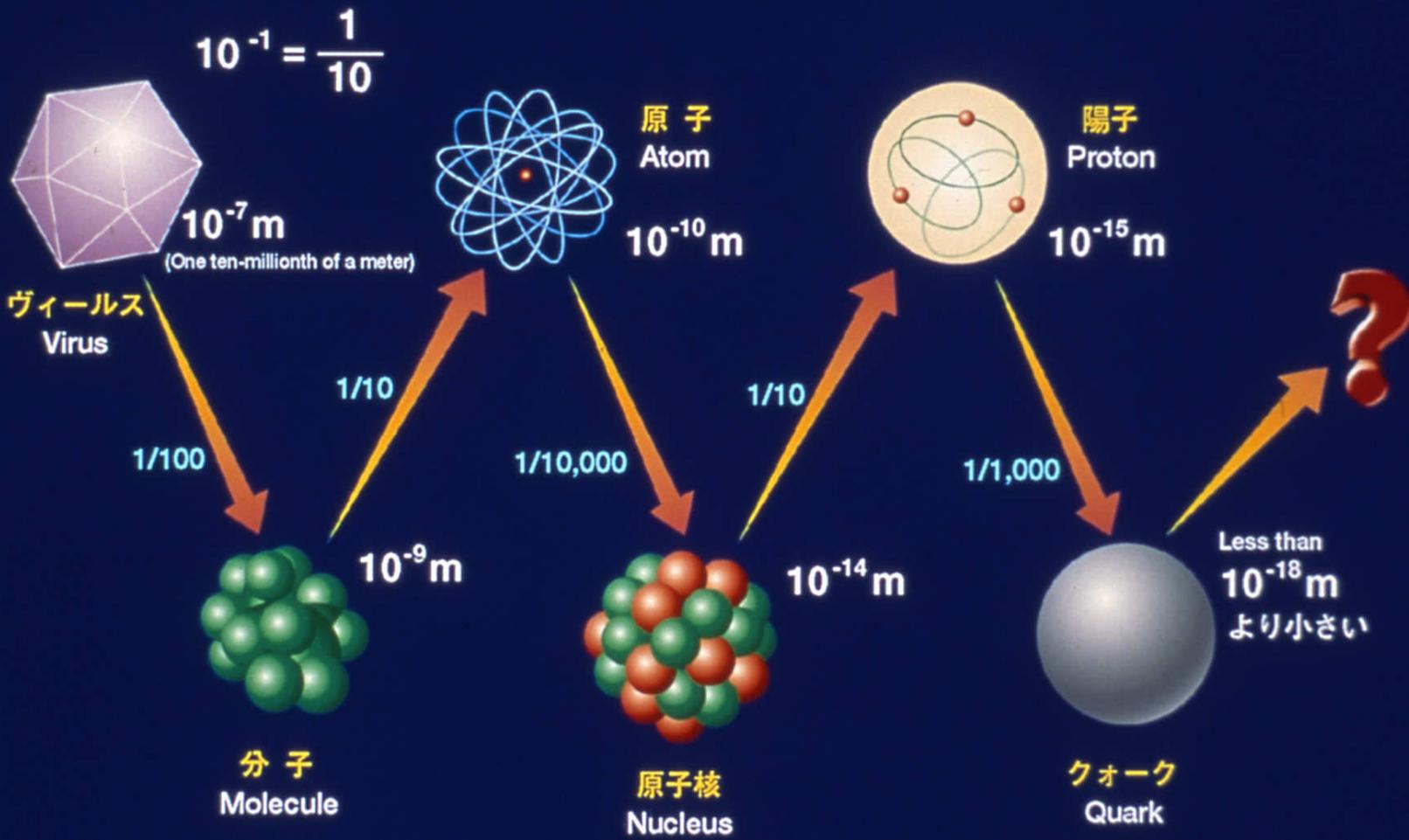
20 世紀の物理学の発展

- 物質の根源を求めて -

● **20 世紀の物理学の発展** - 物質の根源を求めて -

- ◆ 分子・原子
- ◆ 電子の発見と原子の構造
- ◆ 中性子の発見と原子核
- ◆ 核子とクォーク

| | | |
|------------|------------|--------|
| ● センチメートル | 10^{-2} | 1/100 |
| ● ミリメートル | 10^{-3} | 1/1000 |
| ● マイクロメートル | 10^{-6} | 百万分の1 |
| ● ナノメートル | 10^{-9} | 10億分の1 |
| ● ピコメートル | 10^{-12} | 1兆分の1 |



19世紀末 古典物理の完成とほころび

1895年 レントゲン X線

1896年 ベツクエル 放射能

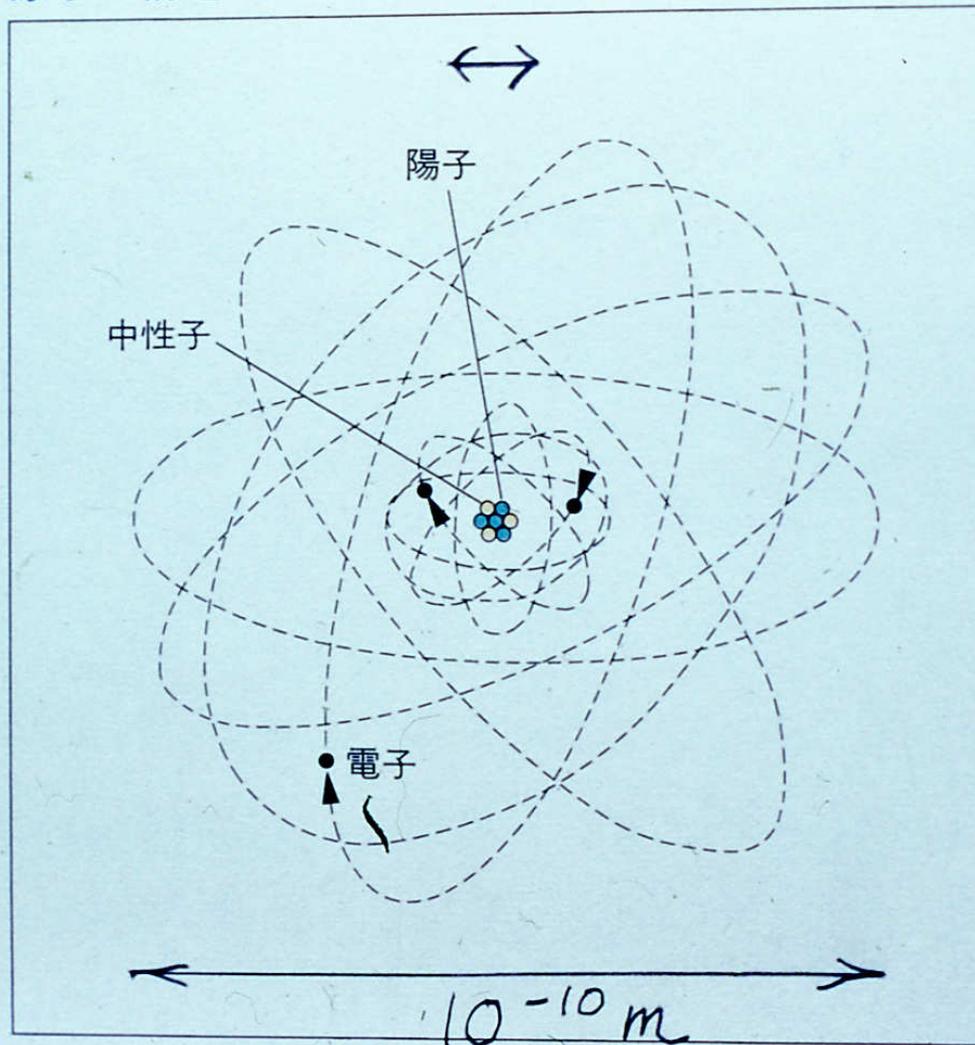
1898年 キュリー夫妻 ラジウム、ポロニウム

1900年 プランク 量子論

エネルギーは粒々

原子の構造

$10^{-15} m$



1 mm の
球

野球場

19世紀末の日本

1868年 明治元年

1877年 日本で最初の大学 東京大学創立

1897年 京都大学創立

**20世紀初め
原子の構造が大問題**

2つの革命

1900年 プランクの量子論

1905年 特殊相対論

日本の科学のあけぼの

日本の科学への貢献はこの時代から。

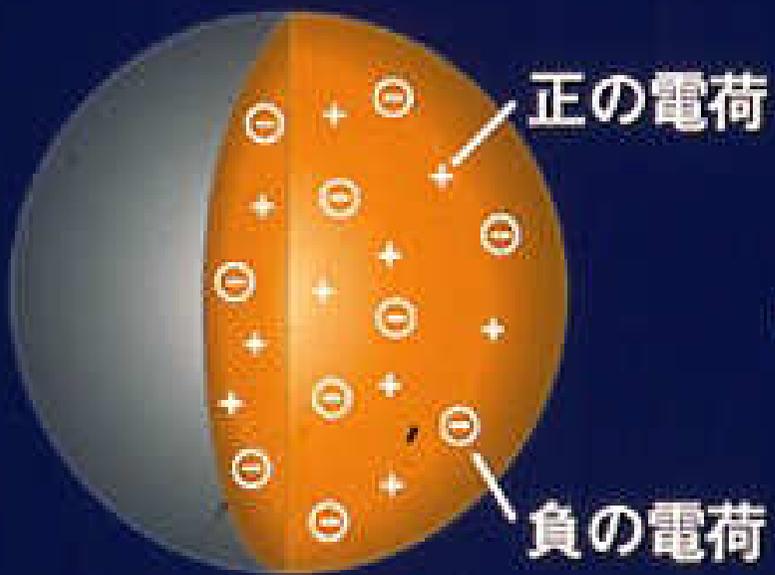
科学における独創性も。

長岡半太郎

● 長岡 半太郎

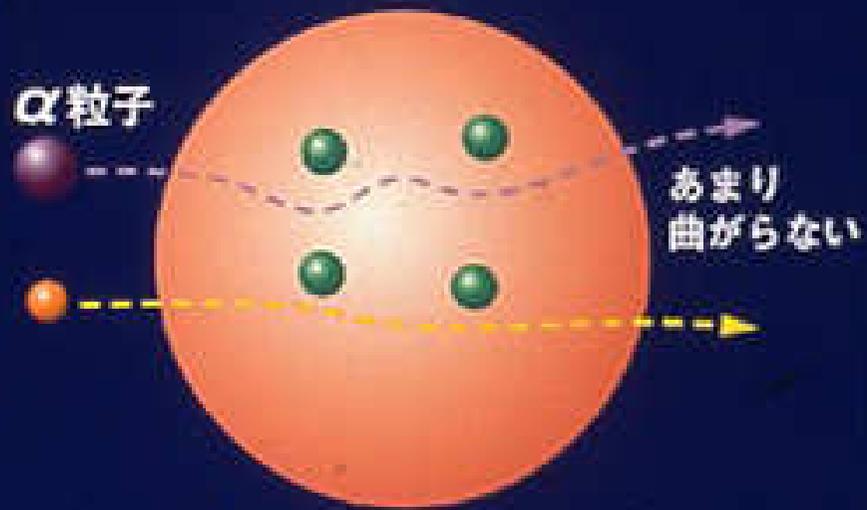
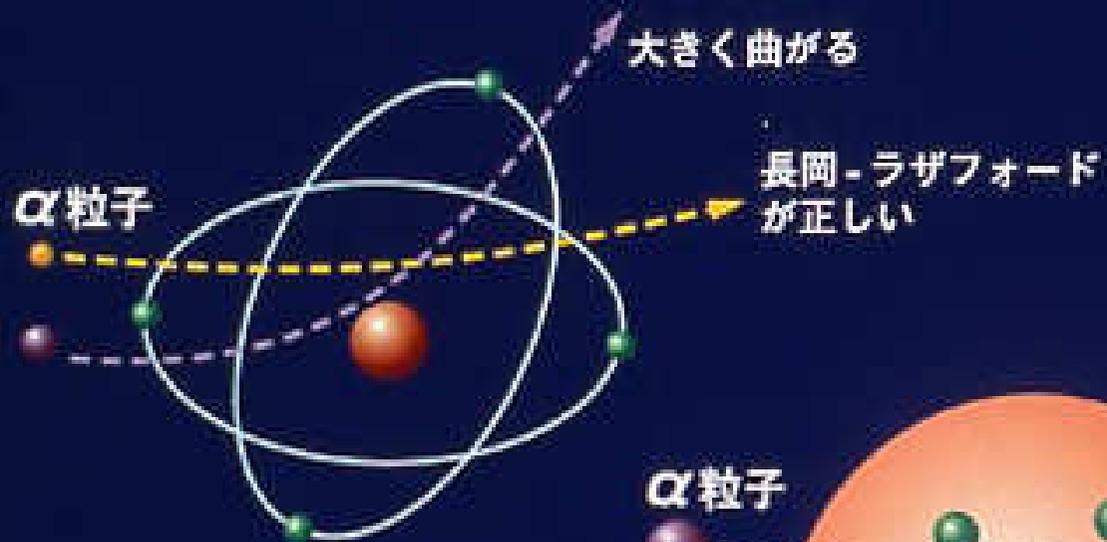
- ◆ 原子の土星模型と J.J. トムソンの西瓜模型
- ◆ ラザフォードとボーア
太陽系模型





トムソンモデル
(すいか型モデル)





ラザフォードの実験

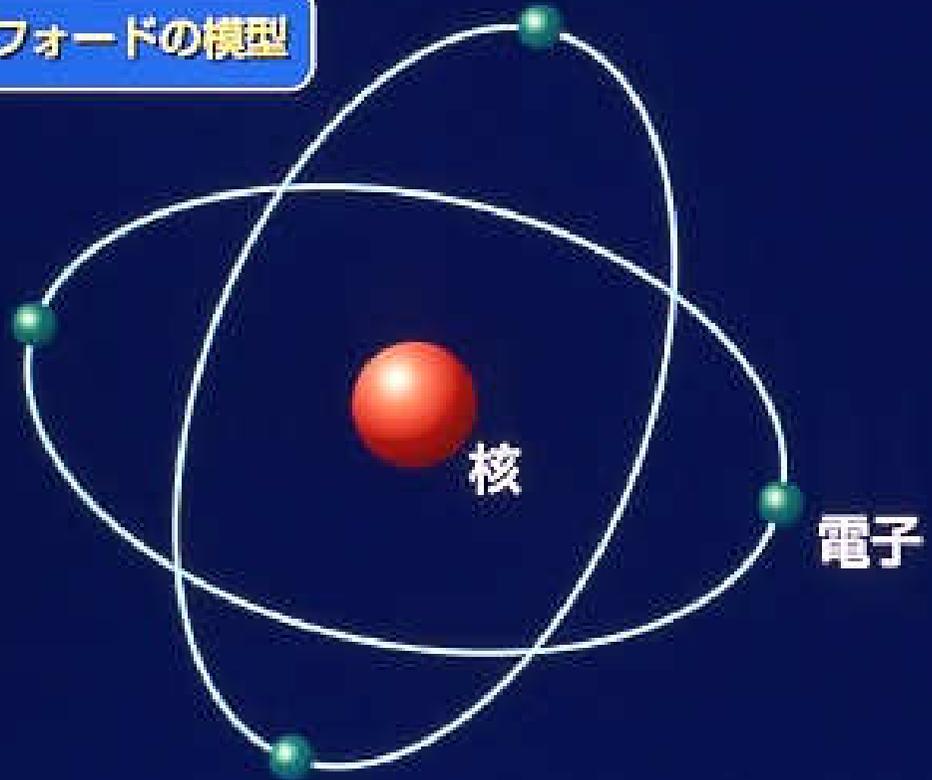
クーロン斥力 $\propto \frac{1}{r^2}$

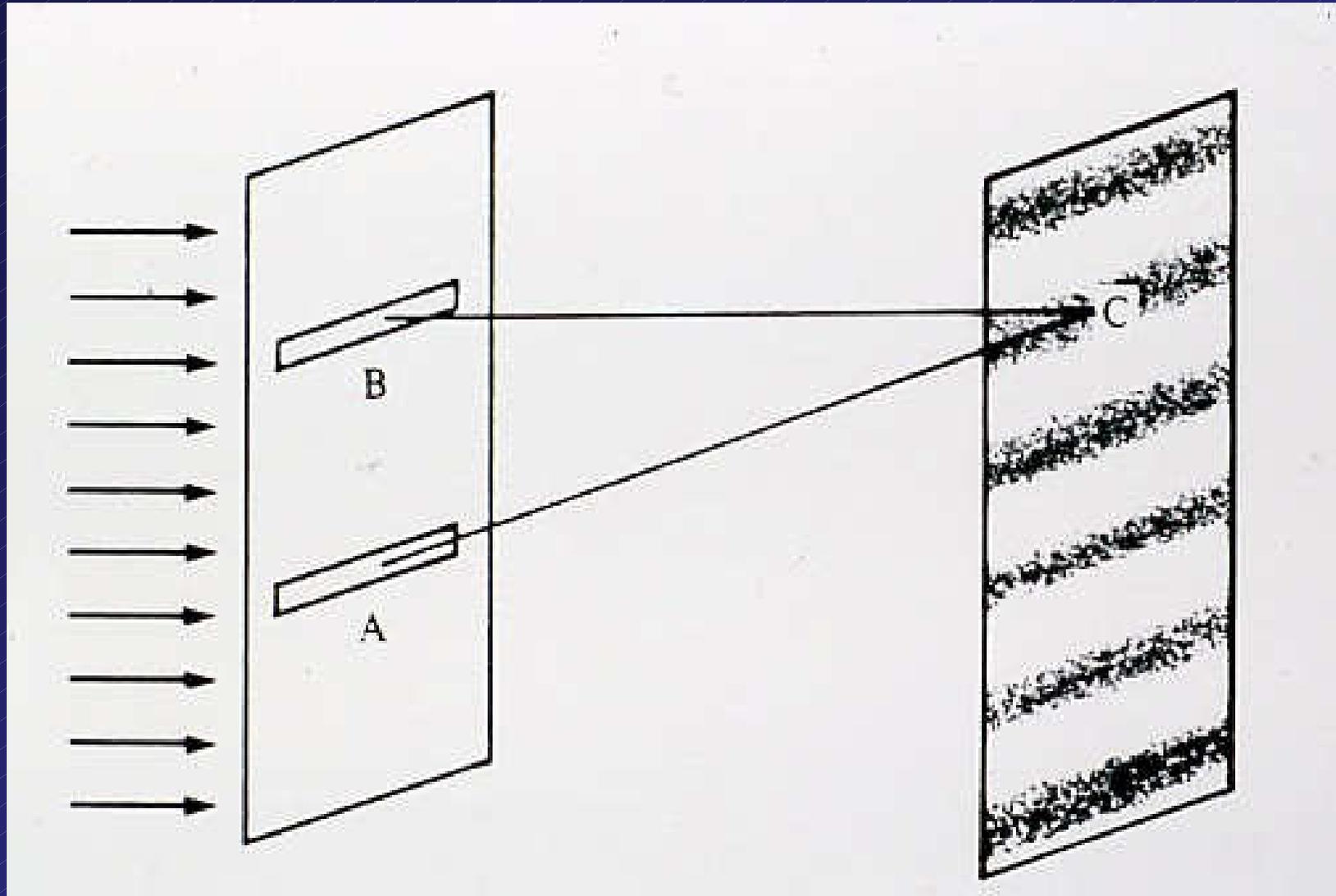
r が近くなる程強くなる。

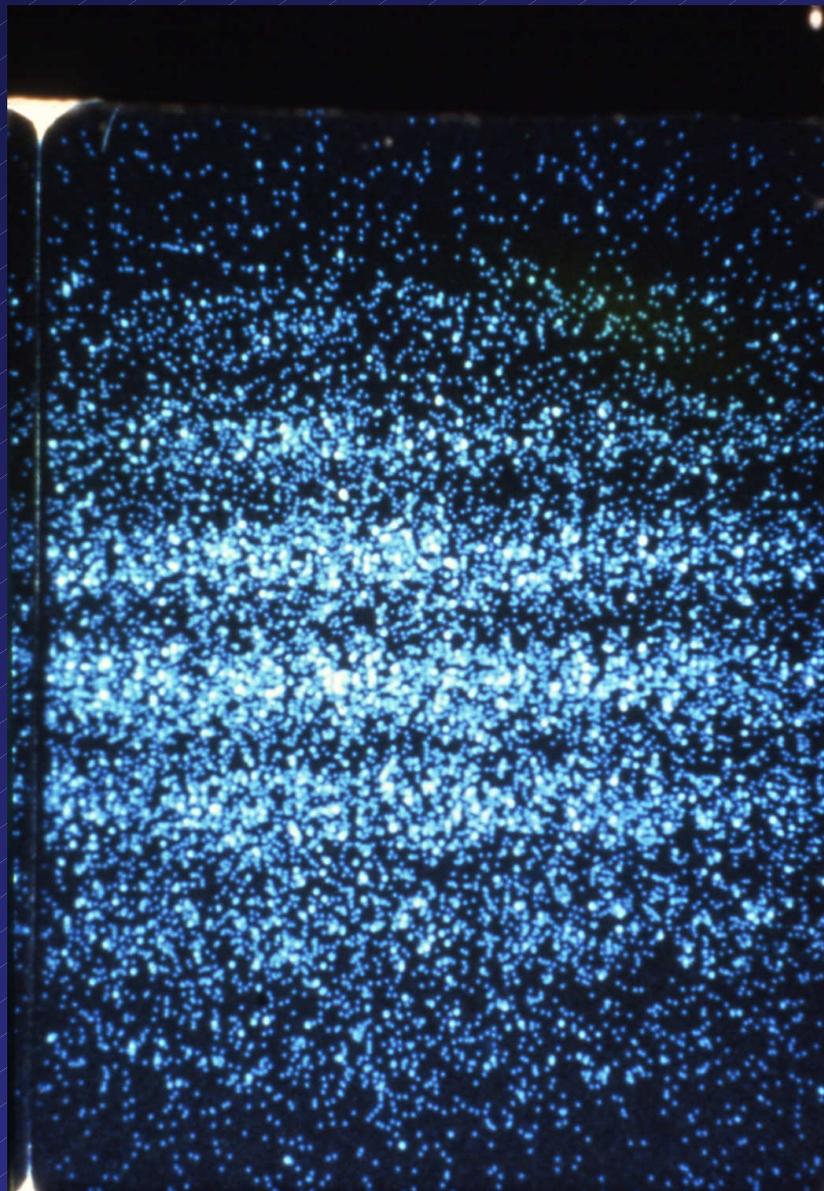
正の電荷を持った小さな球（原子核）の近くへ行くと α 粒子は大きく曲げられる。

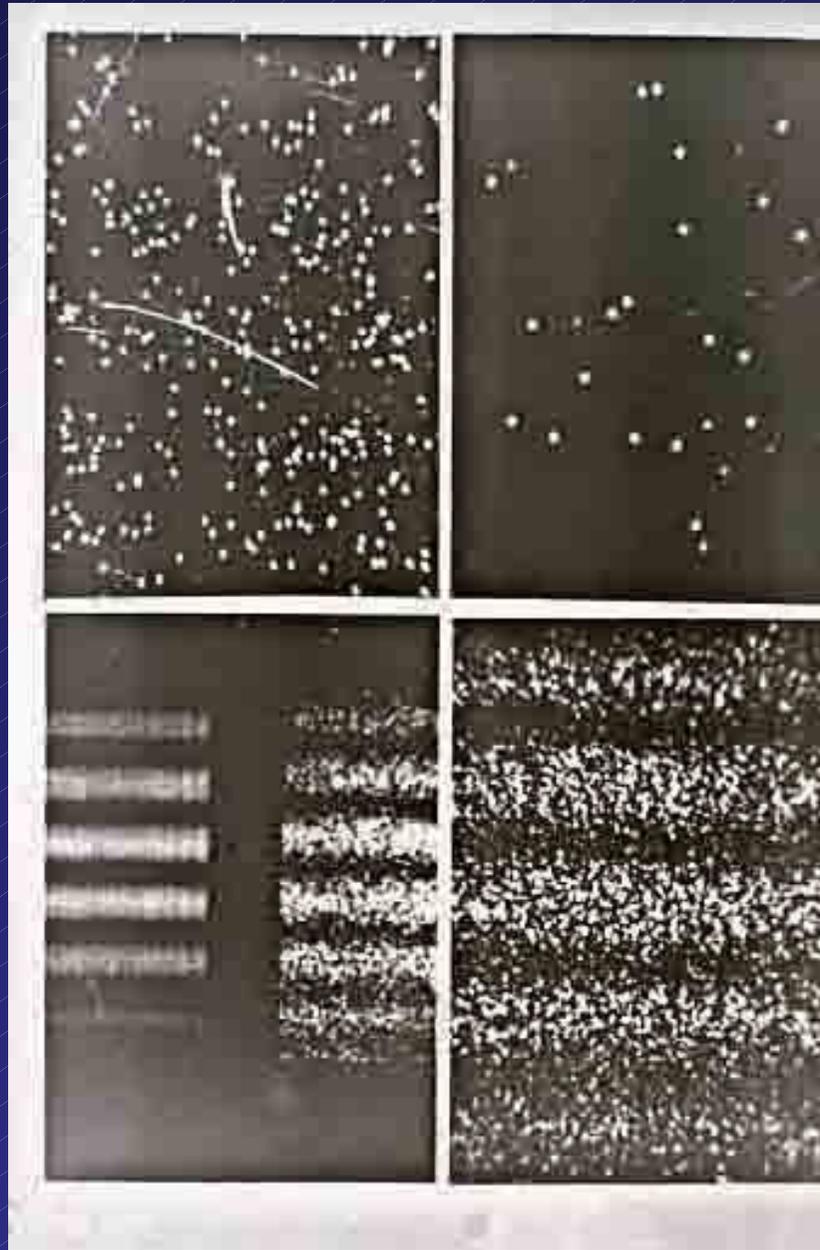
トムソン模型では正の電荷の中に負の電荷の電子がちりばめられ、全体で電荷はゼロ。
球の中に入ってもあまり強い力は働かない。

長岡-ラザフォードの模型





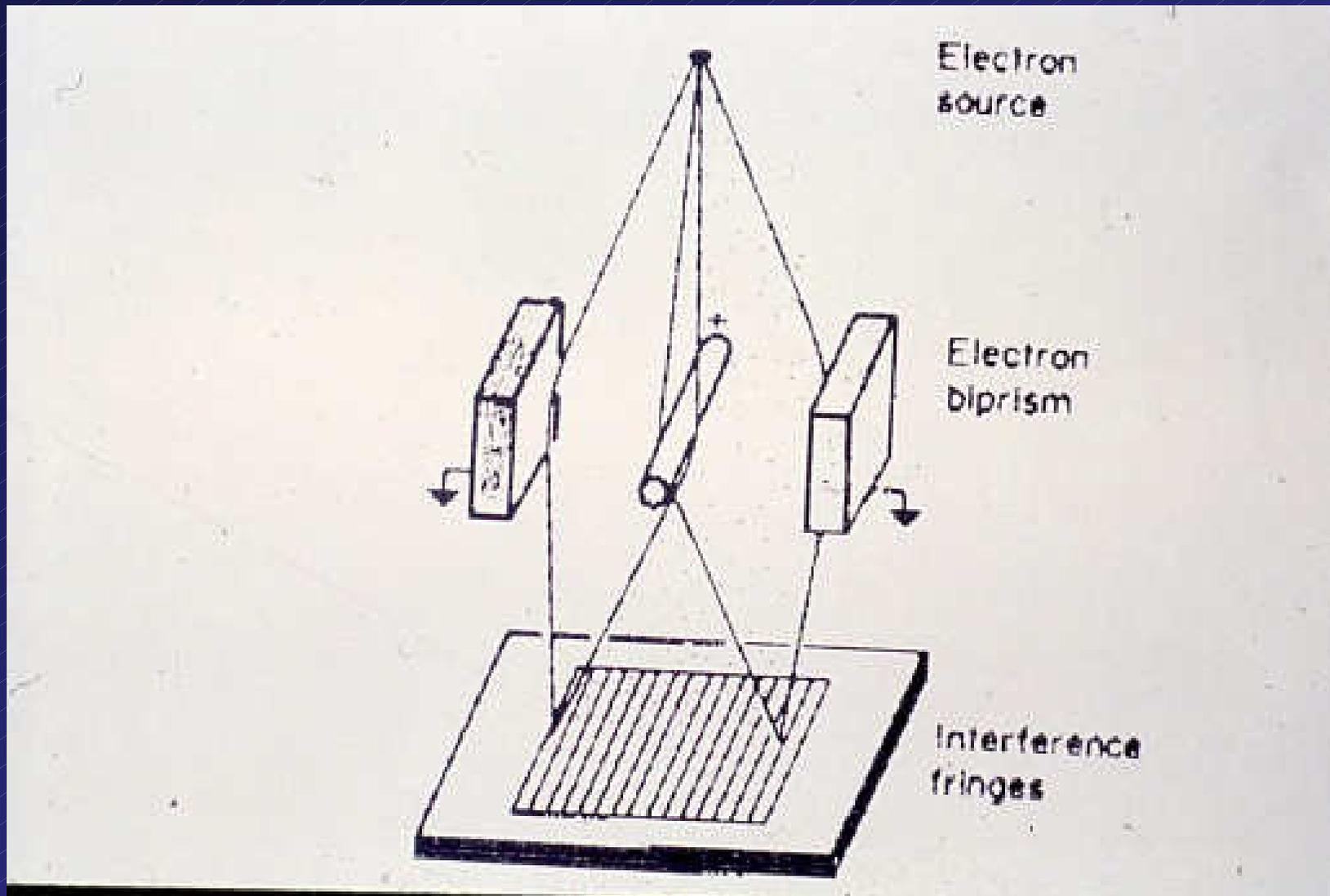


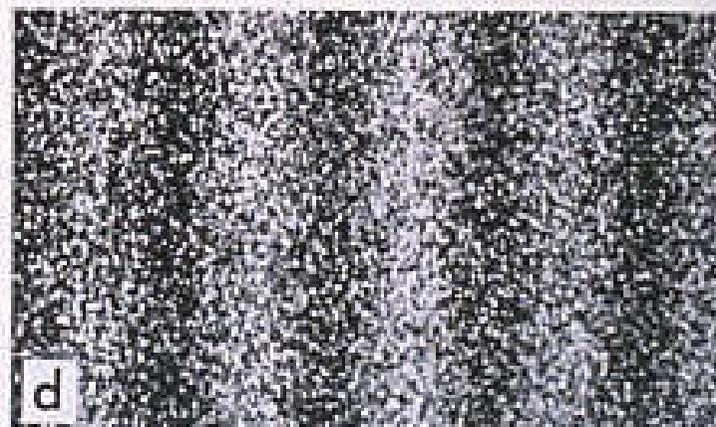
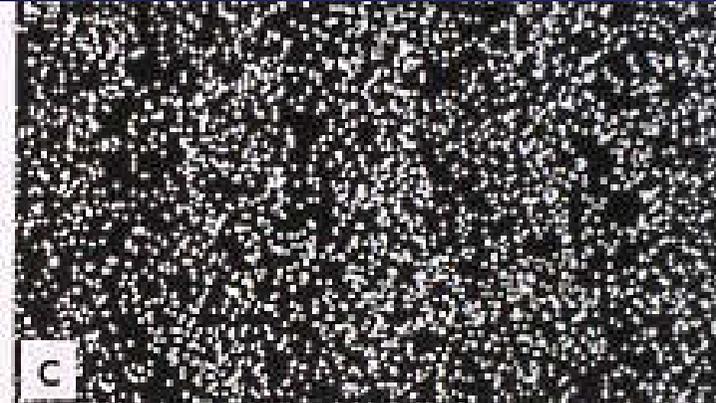


光は 波か 粒子か？

光は 波である 干渉縞

光は 粒子である 光電効果





Single - electron Build - up of Interference Pattern

電子も 粒子であり
波である

物質は すべて
粒子であり
波である

光は波であり粒子である

アインシュタイン

電子も粒であり波である

ド・ブローイ

量子力学

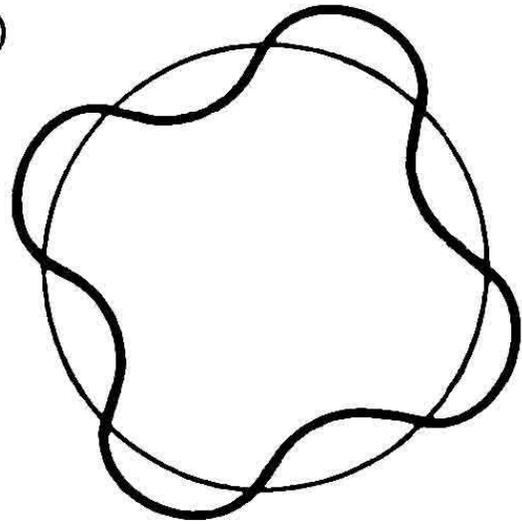
1925年ハイゼンベルグ

1926年シュレーディンガー

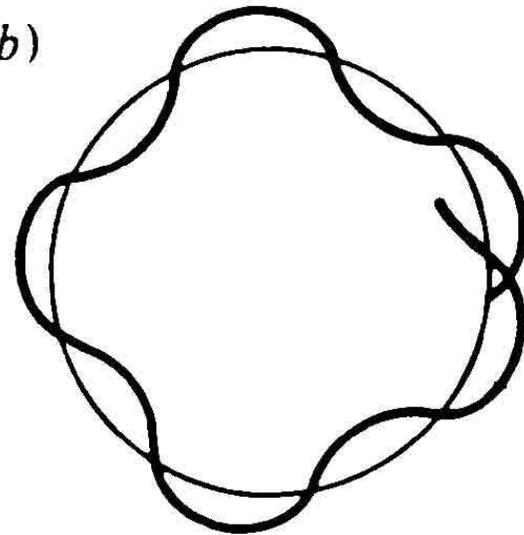
原子のなかの電子の軌道は
なぜ飛び飛びか

軌道の長さ (円周) = 波長 × 整数

(a)



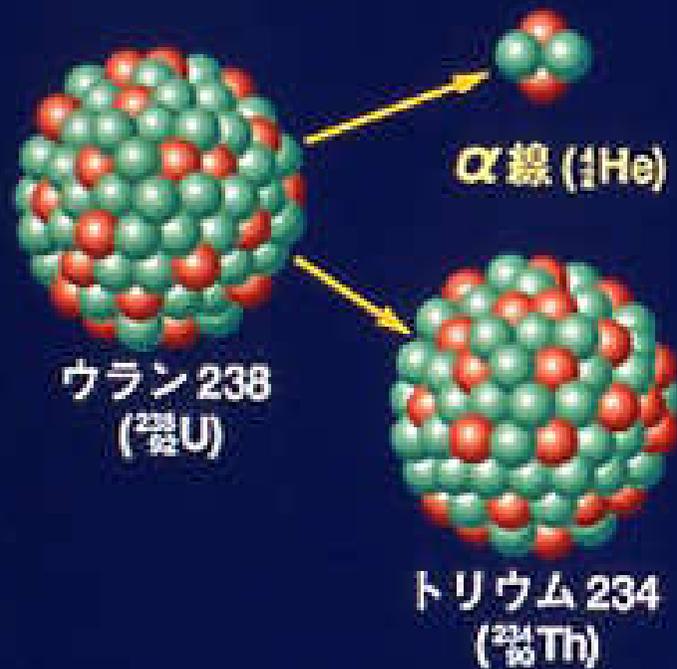
(b)



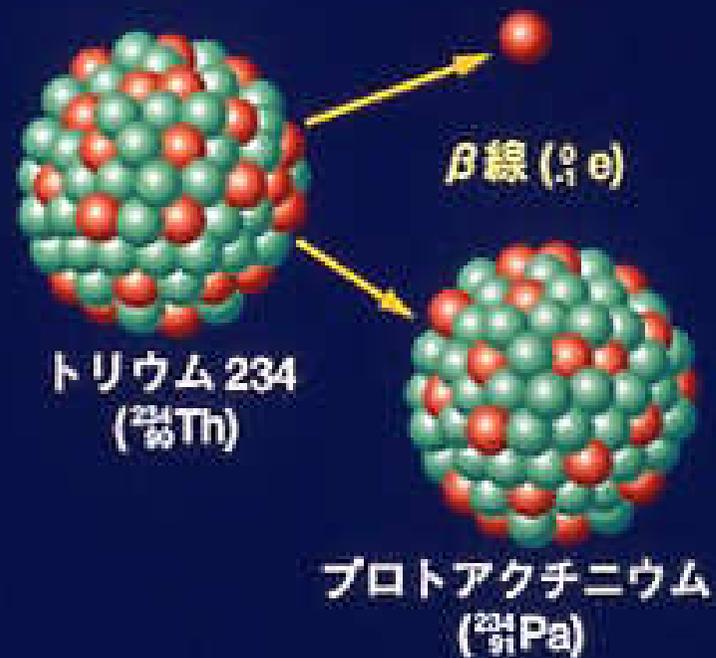
1932年 中性子の発見 (チャドウィック)

原子核は陽子と中性子からできている
では陽子と陽子、陽子と中性子 そして
中性子と中性子を結びつけるものは何か

α 崩壊の例



β 崩壊の例



湯川 秀樹



● 湯川 秀 樹

- ◆ 中性子や陽子を結びつけるもの
- ◆ 中間子の予言
- ◆ 原子核の構造

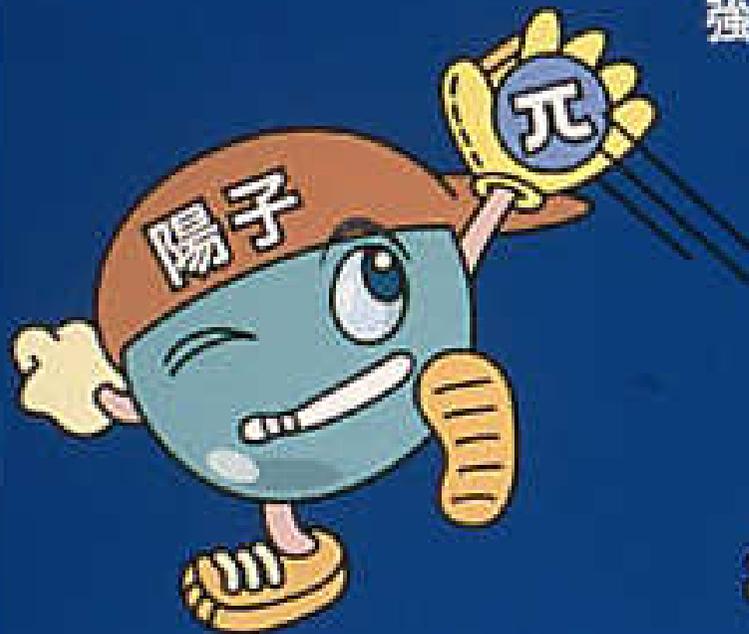
湯川 秀樹 1907年 東京生れ 1981年 逝去

1935年 中間子の予言

のりの粒子があり核子を結びつける。

その質量は陽子と電子の中間。

力の概念に変革。

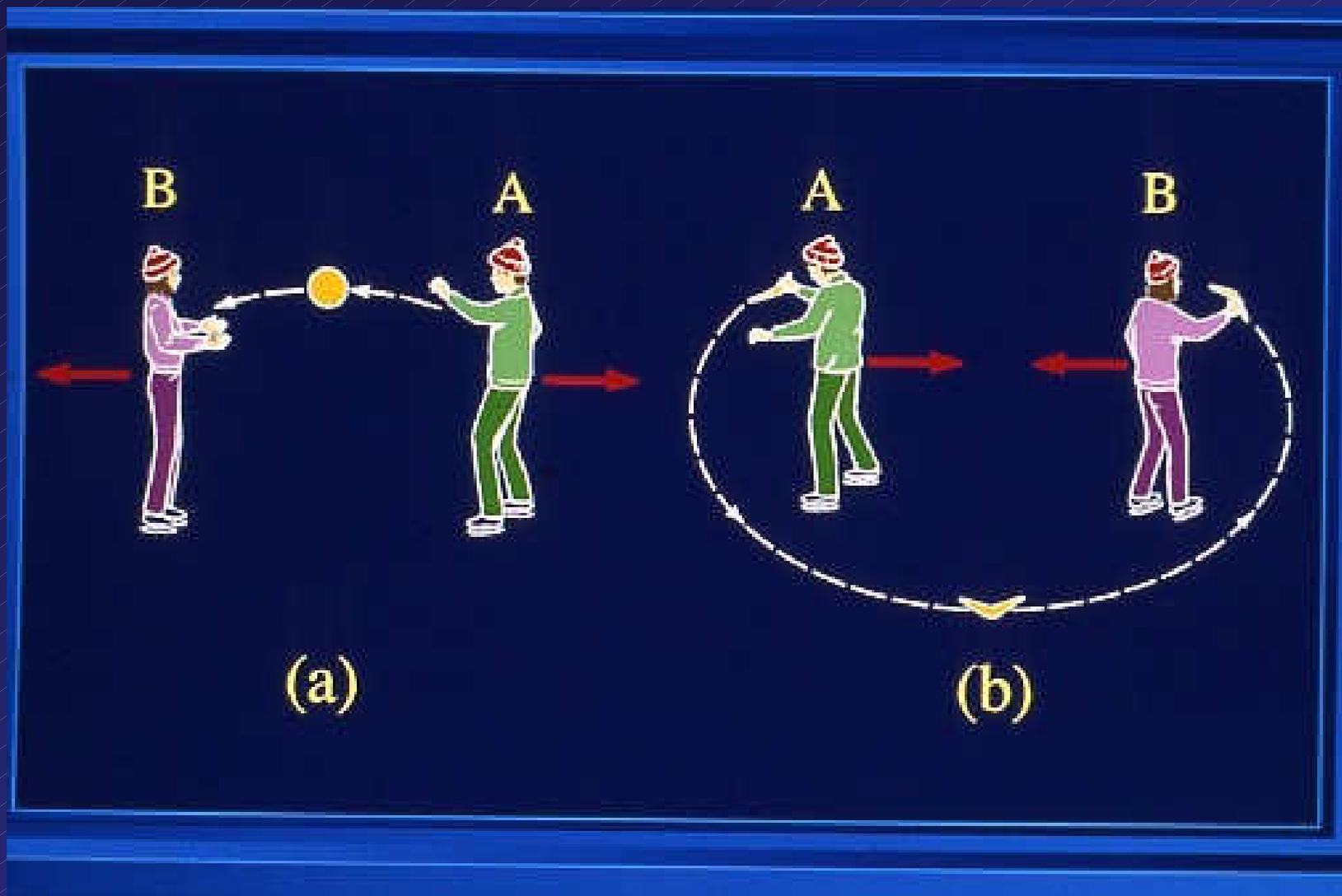


強い相互作用という
チームワーク

□
核力



湯川博士の核力のメカニズム



糊(のり)の粒子

軽い程遠くへ力をおよぼす

強い力

核子間の力 パイオン

クォーク間の力 グルーオン

中位いの重さ

電磁気力

巨視的距離までとどく

のりの粒子 光子 質量0

重力

宇宙的距離

のりの粒子の質量 ≈ 0 のはず

重力子 グラヴィトン

弱い相互作用

ベータ崩壊

中性子→陽子 $n \rightarrow p + e + \bar{\nu}$

ごく短い距離で起こる

糊の粒子は重い W

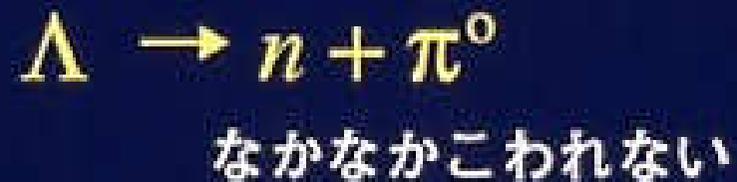
実は宇宙創成の始めは
弱い相互作用と
電磁相互作用は
統一していた。
同じ重さの糊の粒子
それが重いWと光子になった。

1947年

パイオン発見 (パウエル)

その後 ぞろぞろ新粒子が発見された。

沢山作られるのにこわれにくい？



西島和彦

● 西島 和彦

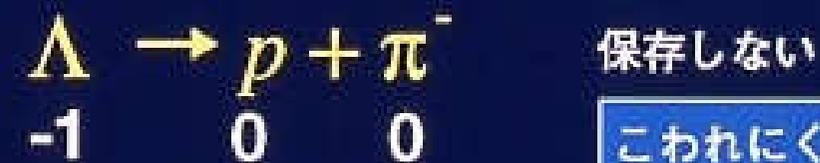
- ◆ たくさんの素粒子
- ◆ 楽に生まれてなかなか死なない
- ◆ 奇妙さの発見

奇妙さ (ストレンジネス)

西島 - ゲルマン



0 0 (-1) (1) 沢山できる



-1 0 0 こわれにくい

フェルミオン陽子の家族

$n, p, \Lambda, \Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-, \Xi^-, \Xi^0 \dots$

ボゾン　パイ中間子の家族

$\pi^+, \pi^0, \pi^-, \eta, K^-, \bar{K}^0 \dots$

坂田昌一

2中間子論(1942)



坂田 昌一 (1911年~1970年)

素粒子の数は少ないはず

| | p | n | Λ |
|---------|-----|-----|-----------|
| ストレンジネス | 0 | 0 | -1 |

この3粒子が本当の素粒子だ

坂田模型は成功せず。

しかし現在のクォーク模型の
出発点になった。

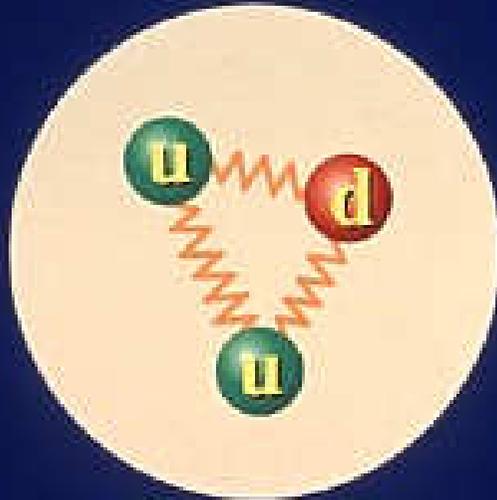
始めはクォークは3種類と思った

ゲルマン 1958年

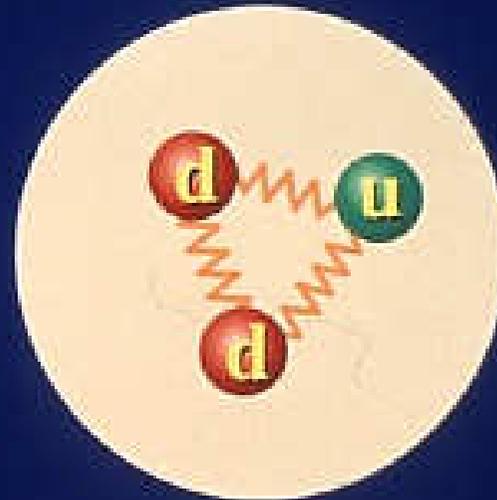
u, d と s

この3粒子が本当の素粒子だ

陽子



中性子



 グルーオン
糊の粒子

南部陽一郎氏 (日経新聞より)



南部理論

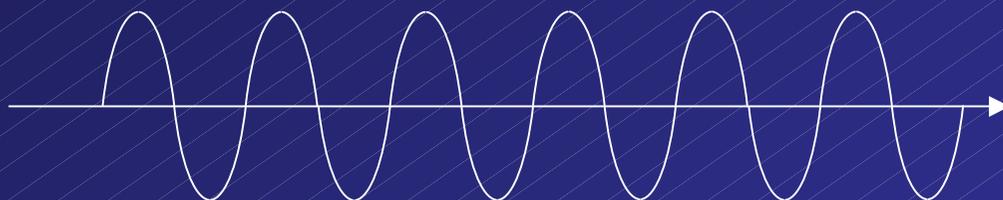
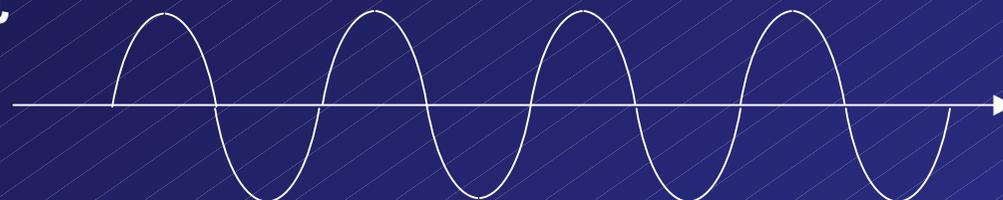
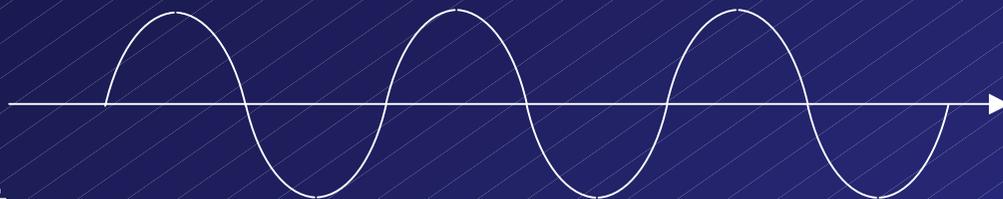
クォークの色にも赤、黄、青の3つあると考える。
(本当の色ではなくたとえ)

量子力学 QCD

自然界の物質は無色であると考え

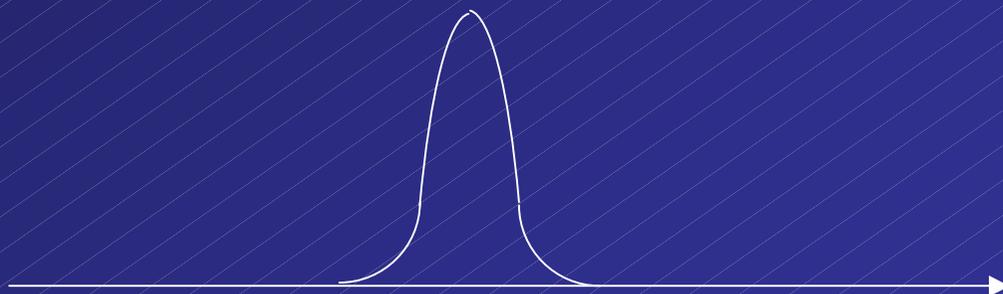
自発的対称性の破れ

導体中の電子の波



対補的世界
電子は無限に
広がっている

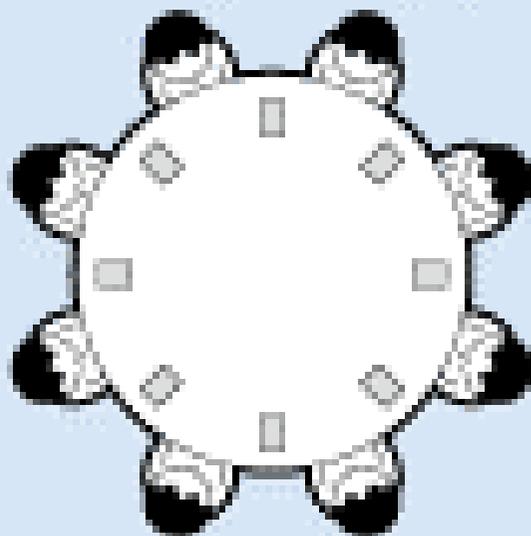
超電導体中の電子の波



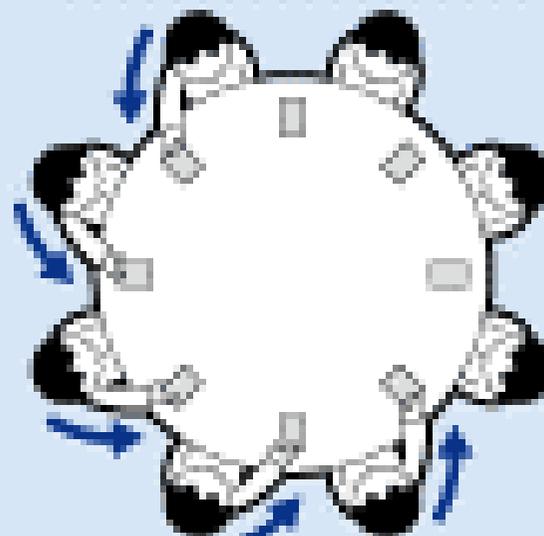
分布は局所的に
かたまる
自発的対称性の
破れ

読売新聞より

南部理論「対称性の破れ」



席と席の間に置かれたナブキンはどちらのものにもなりうる(対称)が...



一人が右のものを取ると次々と右のナブキンを取り対称性が破れる

益川 敏英・小林 誠

益川敏英氏 (朝日新聞より)



小林誠氏 (朝日新聞より)



益川 敏英・小林 誠

1972年

さまざまな素粒子のこわれ方を
注意深く調べた。

クォークは6種類ある

● 益川 敏英・小林 誠

- ◆ 物質はすべてクォークでできている
- ◆ 陽子や中性子は3つのクォークで
- ◆ クォークは6種類という予言

自然法則は、物質と反物質は全く対称的
ビッグバンの直後は従って半分ずつあった。
しかし現実の世界は物質のみ。
どうしてか。

これを説明するためには、6種類のクォークが
なければならない。

益川、小林の理論
トップ・クォークの存在の予言
それが発見された

物質の基本粒子
(フェルミ粒子：スピン1/2粒子)

| | | | | | |
|--------|------|----------|--|--|---|
| 電 荷 | +1 | クォーク | | | |
| | +2/3 | |  アップ (0.3) |  チャーム (1.5) |  トップ (7) |
| | +1/3 | レプトン | | | |
| | 0 | (ニュートリノ) |  電子ニュートリノ (~0) |  ミューニュートリノ (~0) |  タウニュートリノ (~0) |
| | -1/3 | クォーク |  ダウン (0.3) |  ストレンジ (0.5) |  ボトム (5.0) |
| | -2/3 | | | | |
| | -1 | レプトン |  電子 (0.0005) |  ミュー粒子 (0.1) |  タウ粒子 (1.8) |



${}_1\text{H}^1$



${}_1\text{H}^2$

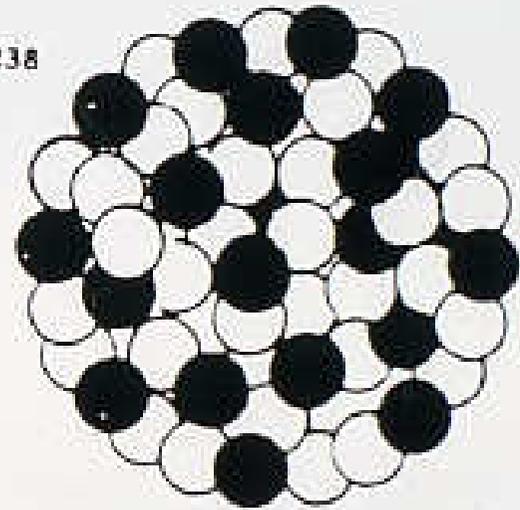


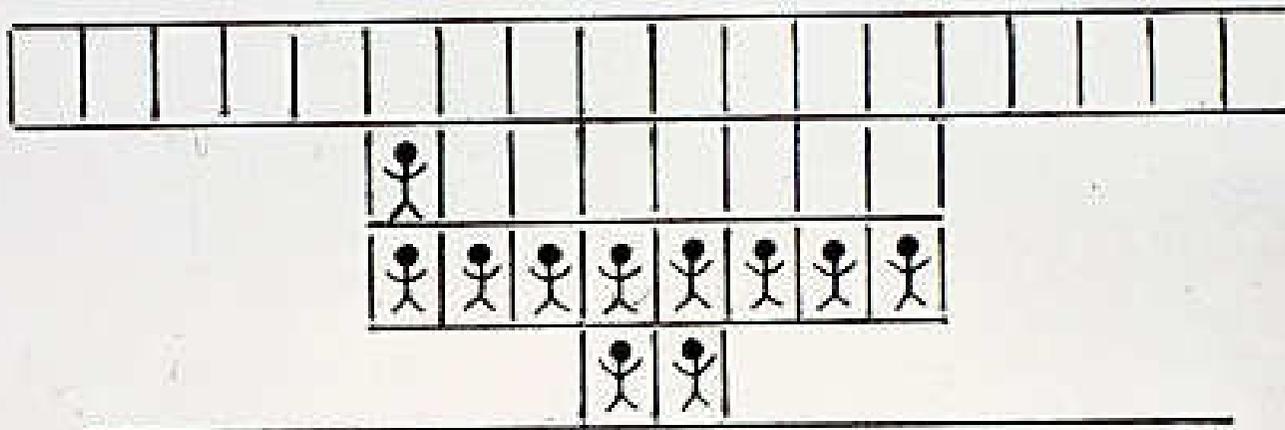
${}_1\text{H}^3$



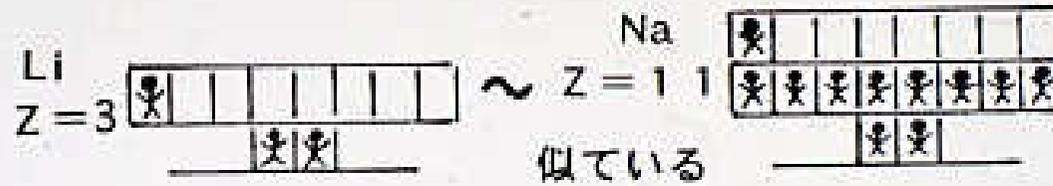
${}_2\text{He}^4$

${}_{92}\text{U}^{238}$

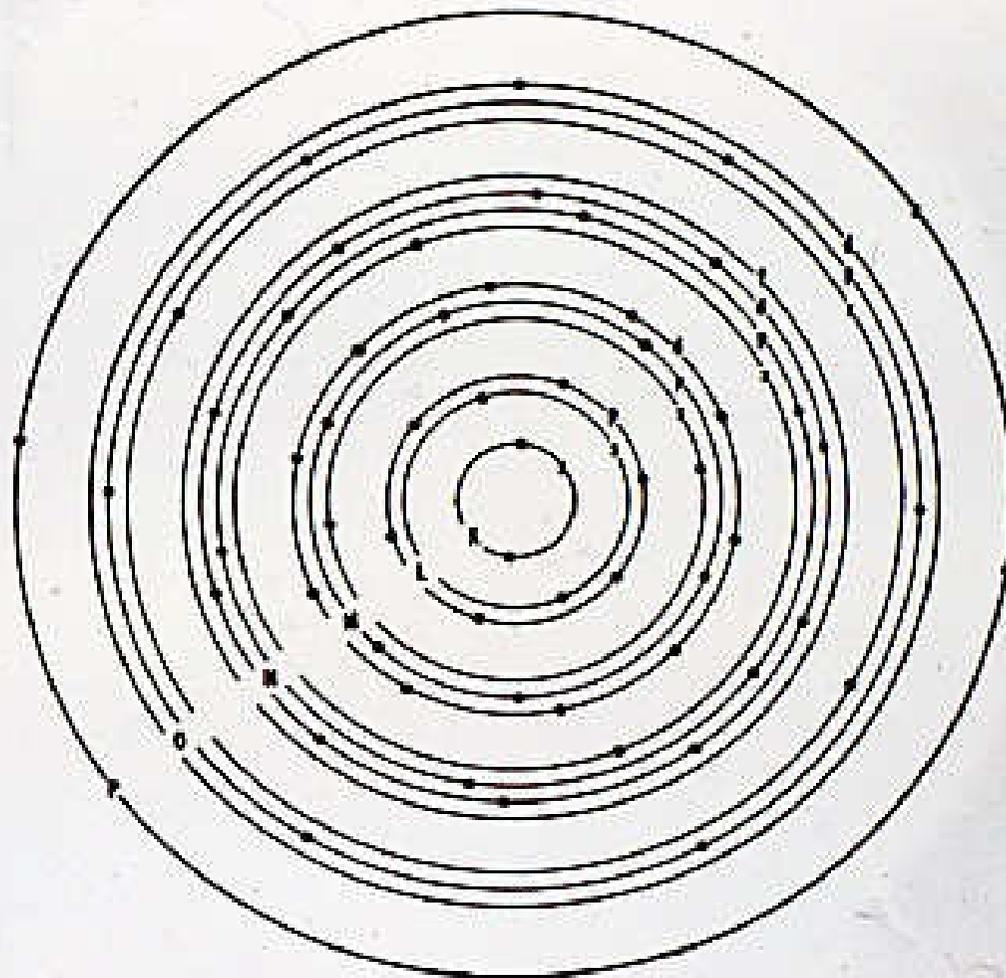




| 各階の 部屋の数 | 合計 |
|-------------|----|
| 18 | 36 |
| 8 | 18 |
| 8 | 10 |
| 2 | 2 |



| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 |
|---|--------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|----------------------|
| 1 | 1 H 水素 | | | | | | | | | | | | | | | | | 2 He ヘリウム |
| 2 | 3 Li リチウム | 4 Be ベリリウム | | | | | | | | | | | 5 B ホウ素 | 6 C 炭素 | 7 N 窒素 | 8 O 酸素 | 9 F フッ素 | 10 Ne ネオン |
| 3 | 11 Na ナトリウム | 12 Mg マグネシウム | | | | | | | | | | | 13 Al アルミニウム | 14 Si ケイ素 | 15 P リン | 16 S 硫素 | 17 Cl 塩素 | 18 Ar アルゴン |
| 4 | 19 K カリウム | 20 Ca カルシウム | 21 Sc スカンジウム | 22 Ti チタン | 23 V バナジウム | 24 Cr クロム | 25 Mn マンガン | 26 Fe 鉄 | 27 Co コバルト | 28 Ni ニッケル | 29 Cu 銅 | 30 Zn 亜鉛 | 31 Ga ガリウム | 32 Ge ゲルマニウム | 33 As ヒ素 | 34 Se セレン | 35 Br 臭素 | 36 Kr クリプトン |
| 5 | 37 Rb ルビジウム | 38 Sr ストロンチウム | 39 Y イットリウム | 40 Zr ジルコニウム | 41 Nb ニオブ | 42 Mo モリブデン | 43 Tc テクネチウム | 44 Ru ルテニウム | 45 Rh ロジウム | 46 Pd パラジウム | 47 Ag 銀 | 48 Cd カドミウム | 49 In インジウム | 50 Sn スズ | 51 Sb アンチモン | 52 Te テルル | 53 I ヨウ素 | 54 Xe キセノン |
| 6 | 55 Cs セシウム | 56 Ba バリウム | * ランタノイド | 72 Hf ハフニウム | 73 Ta タンタル | 74 W タングステン | 75 Re レニウム | 76 Os オスマニウム | 77 Ir イリジウム | 78 Pt 白金 | 79 Au 金 | 80 Hg 水銀 | 81 Tl タリウム | 82 Pb 鉛 | 83 Bi ビスマス | 84 Po ポロニウム | 85 At アスタチン | 86 Rn ラドン |
| 7 | 87 Fr フランシウム | 88 Ra ラジウム | ** アクチノイド | 104 Rf ラザホージウム | 105 Db ドブニウム | 106 Sg シーボークhium | 107 Bh ボーリウム | 108 Hs ハッシウム | 109 Mt マイトネリウム | 110 Ds ダラムスタチウム | 111 Rg レントゲニウム | | | | | | | |
| | *Lantanoid | | | 57 La ランタン | 58 Ce セリウム | 59 Pr プラセオジム | 60 Nd ネオジム | 61 Pm プロメチウム | 62 Sm サマリウム | 63 Eu ユーロピウム | 64 Gd ガドリニウム | 65 Tb テルビウム | 66 Dy ジスプロジウム | 67 Ho ホルミウム | 68 Er エルビウム | 69 Tm ツリウム | 70 Yb イッテルビウム | 71 Lu ルテチウム |
| | **Actinoid | | | 89 Ac アクチニウム | 90 Th トリウム | 91 Pa プロトアクチニウム | 92 U ウラン | 93 Np ネプツニウム | 94 Pu プルトニウム | 95 Am アメリカニウム | 96 Cm キュリウム | 97 Bk バークリウム | 98 Cf カリホルニウム | 99 Es アインスタイニウム | 100 Fm フェルミウム | 101 Md メンデレビウム | 102 No ノーベリウム | 103 Lr ローレンシウム |



原子の殻構造

原子核の構造

陽子と中性子 (実はそれもクォークから)

模型 1

原子の中の電子と同じ貝殻模型が成り立つ

陽子や中性子は井戸の中を廻る

マイヤーエンセン 1950年

模型 2

原子核全体がゆがんだり表面振動する

集団運動模型

A. ボーア モッテルソン

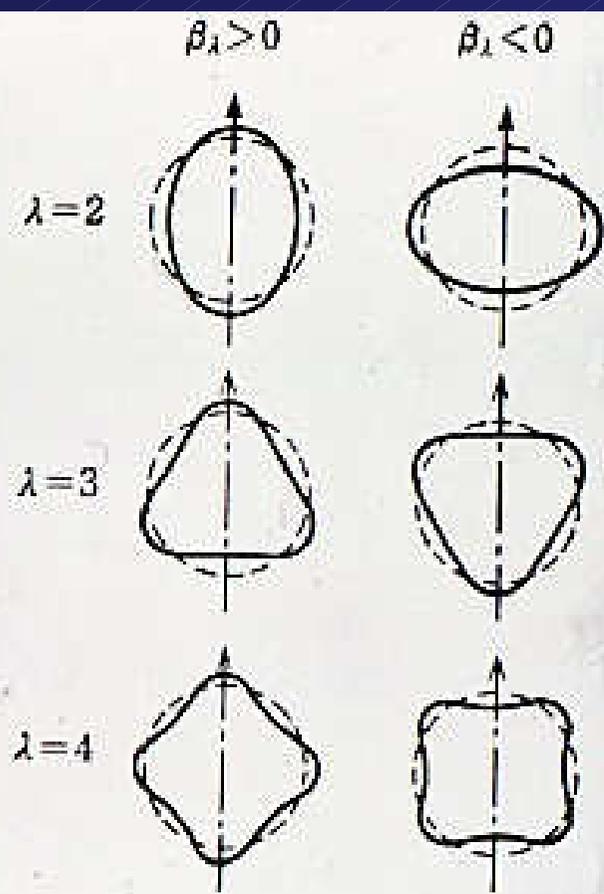
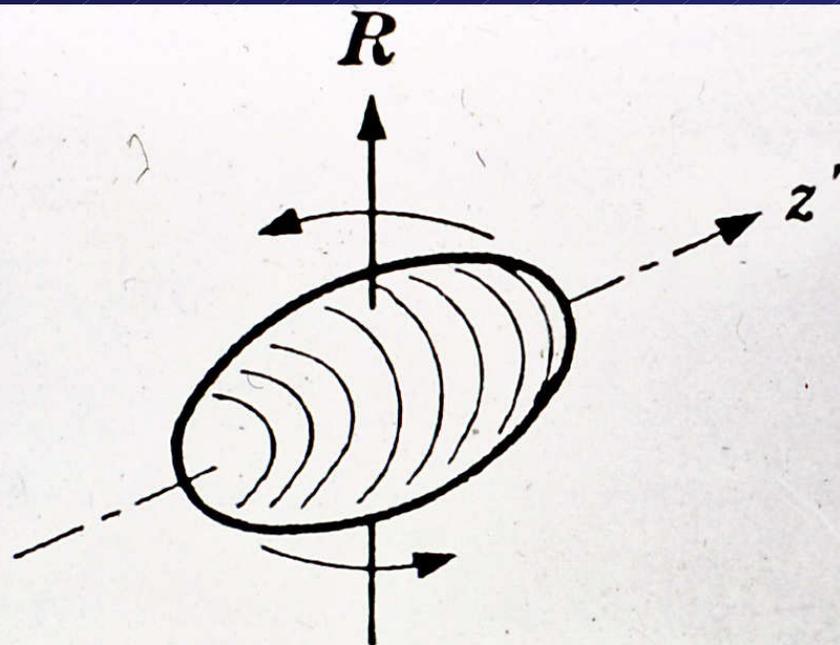


図 軸回転対称の変形
 ($\mu = 0, a_{\lambda 0} = \beta_{\lambda}$, 矢印
 は回転対称軸)



- (a) 変形核の回転準位
(b) 回転楕円体変形核の回転
 R : 回転角運動量
 z' : 変形の回転対称軸

模型3 相互作用するボゾン模型

1974年 有馬イアケロー

うまく貝殻模型と集団運動模型が
結びつけられないか

1966年

2個の陽子は安定な対

2個の中性子も安定な対をつくる

この対がボゾンの様に振る舞う



2個の核子

ボゾンもどき

ボゾン間に相互作用



相互作用するボゾン模型

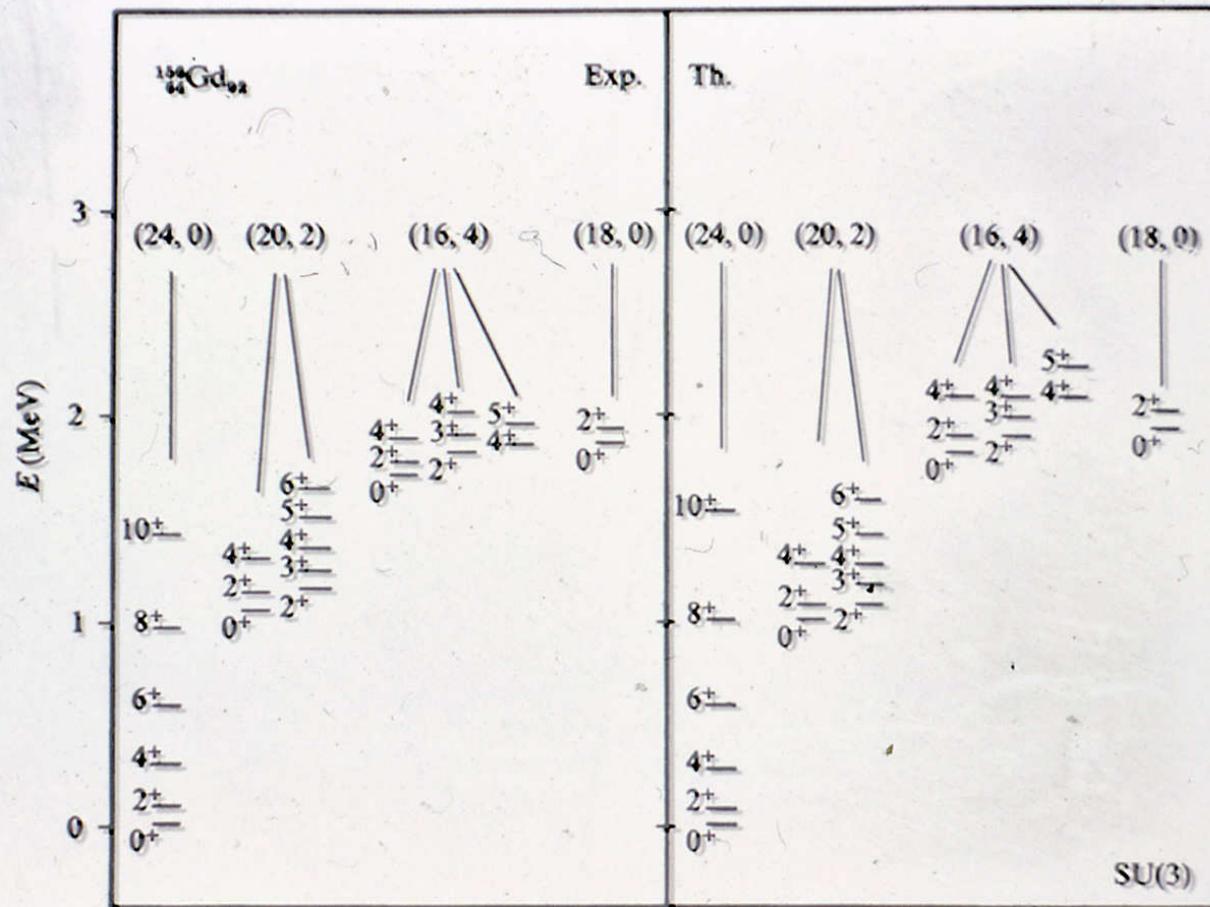


Fig. 2.6. An example of a spectrum with $SU(3)$ symmetry: $^{156}_{64}\text{Gd}_{92}$, $N=12$. The theoretical spectrum is calculated using (2.84) with $\gamma=3.8$ KeV, $\delta=-20.1$ KeV.

日本は資源がない

科学と技術での活力のみが資源

自信を持って

大きな夢を見よ

くじけるな

健康を大切に

21世紀の日本と人類のために活躍せよ

ノーベル賞をとれ