

物理学の歴史

原子・原子核そしてクオークへ

有馬朗人

1 ギリシアの古代原子論

タレス

580BC イオニア学派(ミレトス現トルコ)

すべて物は根源的には水

日食を予言 西暦前585年5月28日

静電気を発見

レウキップス(Leucippus 5世紀BC)はあらゆる出来事に必然的な原因があると断定的に述べた。

その弟子のデモクリトス(Democritus 460-370BCのころ)は原子論を体系化した。



ΔΗΜΟΚΡΙ
ΤΟΣ

「アトムは眼に見えないほど小さい。アトムはすべて同じ材質または本性のものから成るが、無数の違った形と大きさがありそれがアトムの唯一の特性である。アトムの外部の空間は空虚である」と考えた。

しかしこのデモクリトスの原子論はその後発展せず何世紀も忘れられた。

その理由は、デモクリトスが
「(a)生体内部のすべてのアトムの振舞は、
自然に対する物理法則によって決定される」

(b)それらのアトムのうちあるものは、われわれが
心または魂と呼ぶところを構成する」と言った

(b)に反対があったからである。

(b)は自由意志を否定していると思えるところが
世に受け入れられなかった

デモクリトスは

角錐または円錐の体積 = $\frac{1}{3}$ 底面積 × 高さ
という公式を発表した。

証明せよ

原子論はエピクロスとルクレティウスが受け
継いだが発展しなかった

2 近代の原子論

ニュートンは(1642~1727)は物質の最小粒子は一種類で、最小粒子が集まって金や銀の最小単位を作ると考えた。どのような力が働くかは明らかではなく、この考えはこれ以上進まなかった。

ニュートンは錬金術に関心を持った

ガッサンディ(1592-1655)エピクロス^oの著作を研究して原子論を再導入し、機械論と結合させた。

原子をアトムと呼んだ

ドルトン(1766-1844)

1808年刊行の「化学哲学の新体系」で実験事実—
プールの定比例の法則と気体の性質に関する
ドルトン自身の研究—
をもとに原子論を発表した

例えば8グラムの酸素と1グラムの水素が化合すると
9グラムの水ができる。水素の原子量を1、酸素の原子量
を8とすればよいと考え、原子量という概念を導入した。
ドルトンもアトムと呼んだ。

ドルトンの原子論で

定比例の法則

倍数比例の法則

がよく理解でき、化学反応の説明に成功した

→化学者の間で原子論が発展した

物理学者の間ではなかった

分子の概念の導入

1811年 アボガドロ(1776-1856)の仮説

すべての気体は等温、等圧、同体積のもとでは
同数の粒子を含んでいる

実験によれば水を電気分解すると発生する
水素の体積は酸素の2倍

アボガドロの仮説によれば、この事実は水素の
粒子数は酸素の粒子数の2倍でなければならないこと
を示す

アボガドロは水素原子2つで水素分子1 H_2

酸素原子2つで酸素分子1 O_2



と考え、分子の概念を導入した

しかしアボガドロの仮説は50年間無視された

やっと1860年、カニッツァーが正しく評価した

ただしドルトンの水素原子1つと酸素原子の1つが化合して水ができるという考えは誤りであった。

また水素の原子量を1、酸素の原子量を8とするという考えは正しくなく、水素の原子量を1とすることは正しいが、酸素の原子量は16とすべきである

19世紀には化学では化学反応を分子で説明に成功した



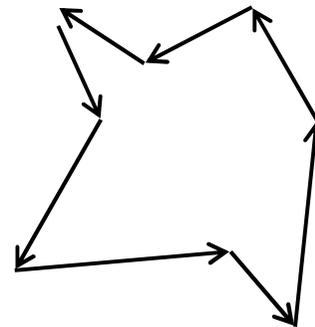
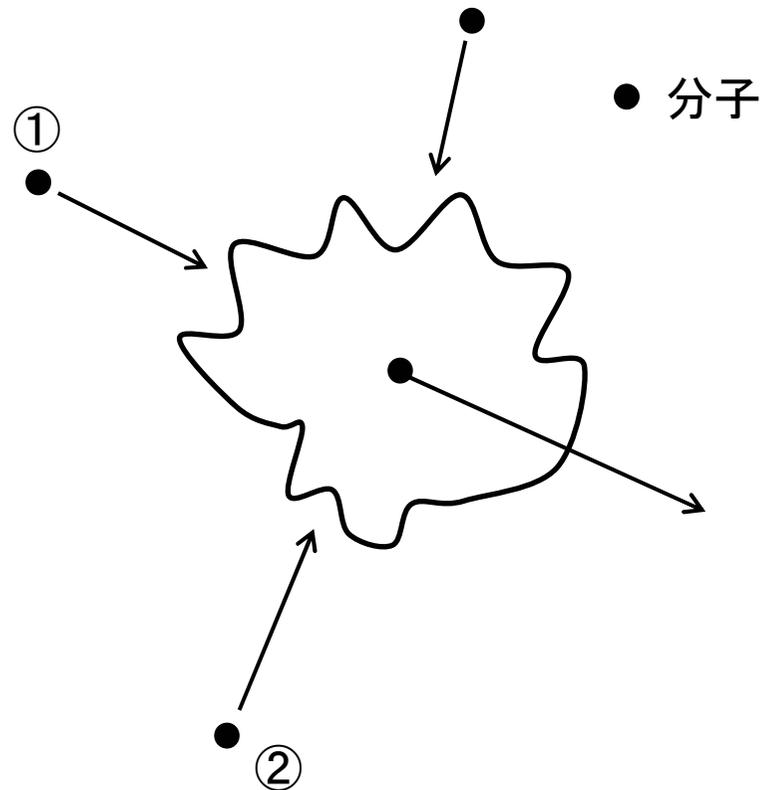
でも物理学者の間では、エネルギー論者、熱力学者が多く(Ostwald, Mach etc.)、原子や分子の存在を信ずる人(Boltzmann)は少数派であった。

ブラウン運動

ブラウンが1827年水中の花粉がジグザグ運動することを発見した. もっと一般に気体, 液体中に浮いている微小な粒子の不規則な運動.

アインシュタインによるブラウン運動 の説明(1905年)

微小な粒子に分子が衝突する. その力の作用
が平均化されずに複雑に動くのだと説明.



非常に沢山衝突
すれば 外力は
平均化され
粒子は動かない

熱運動する分子の衝突によって起されると考えて
アインシュタインは不規則なブラウン運動する
微粒子の位置の変化を確率過程として扱った。

そして平均二乗変位 σ^2 は

$$\sigma^2 = t (RT / N_A) (3 \pi \eta a)$$

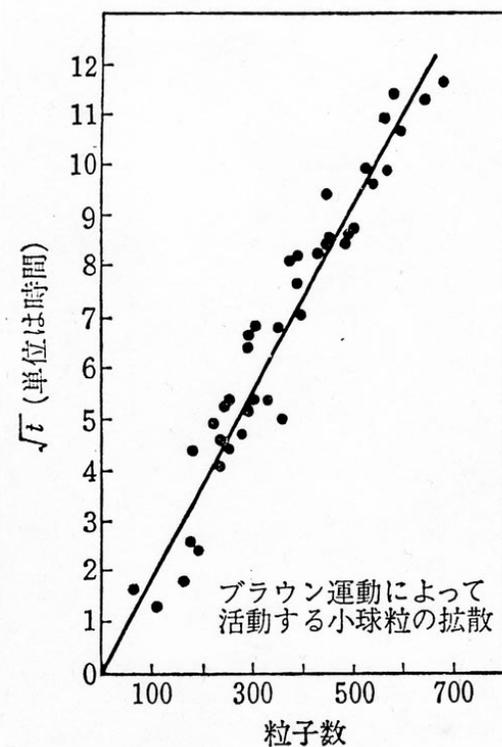
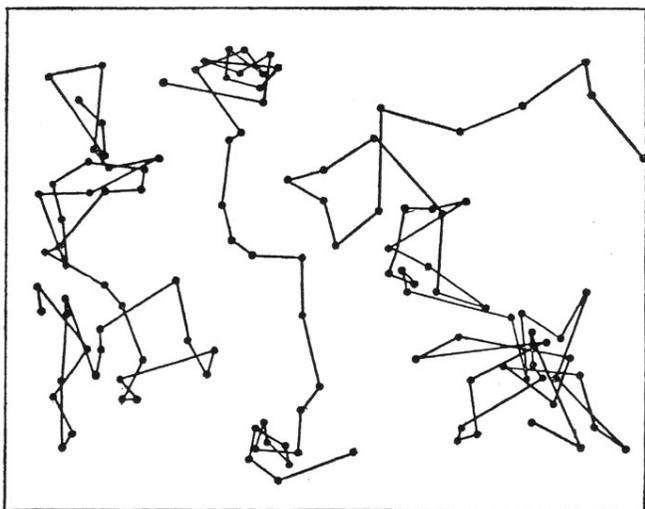
という式を得た。

tは時間、 aは粒子の半径、 η は粘性係数

このアインシュタインの関係式と呼ばれる。

ペランは a を測り、次に t を変えながら σ を測り、この関係式が正しいことを示した。

この実験で N_A が決められた。他の方法で求めたものと一致した。



1モル 物質質量に関する基本単位

質量数12の炭素12グラム中に含まれる炭素原子と同数の単位粒子を(原子, 分子, イオンなど)を含む系の物質質量を1モルという.

アボガドロ数

1モルの物質質量中の粒子の数をアボガドロ数という.

$$N = 6 \times 10^{23} \text{ 個/1モル}$$

1-4 Planckの量子論

高温の溶鋳炉の小さなのぞみ孔から測った炉の中の輻射の強さ $\rho(\lambda, T)$ の波長 λ と温度 T に対する依存性から、溶鋳炉内の(もっと厳密には断熱材で囲まれた空洞内の)輻射の固有振動が持つエネルギーは連続的に変わりうるのではなく、 ε を最小の単位とするとびとびの値をとると考えた。

$$E = n \varepsilon$$

1900年

*Planck*定数

しかも

$$\varepsilon = h \nu \quad (\nu = \text{振動数})$$

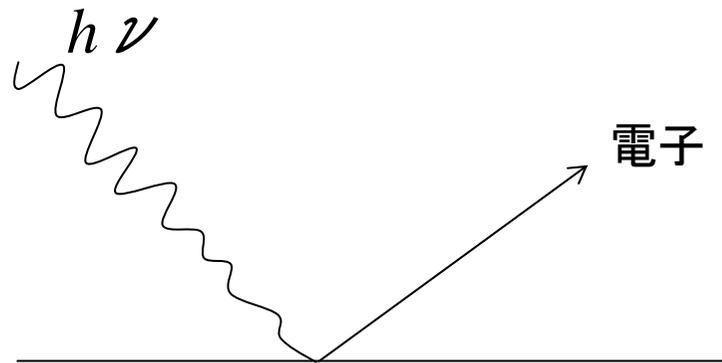
$$h = 6.6 \times 10^{-34} \text{ジュール}$$

1-5 Einsteinの光量子(*photon*)

光は粒子である. そのエネルギーは

$$\varepsilon = h\nu$$

光電効果による証明



電子のエネルギー eV

$$eV = h\nu - P$$

P は金属の内にとらわれて
いる電子を自由にするエネ
ルギー

運動量 $p = mv$

光の場合 $p = mc$ (ただし光のみ $m = 0$)

アインシュタインの式 $E = mc^2$

光のエネルギー $E = h\nu$

$$p = mc = E / c$$

$$= h\nu / c$$

2 電子も粒子であり波である

2-1 *de Broglie*の着想

光子の運動量は

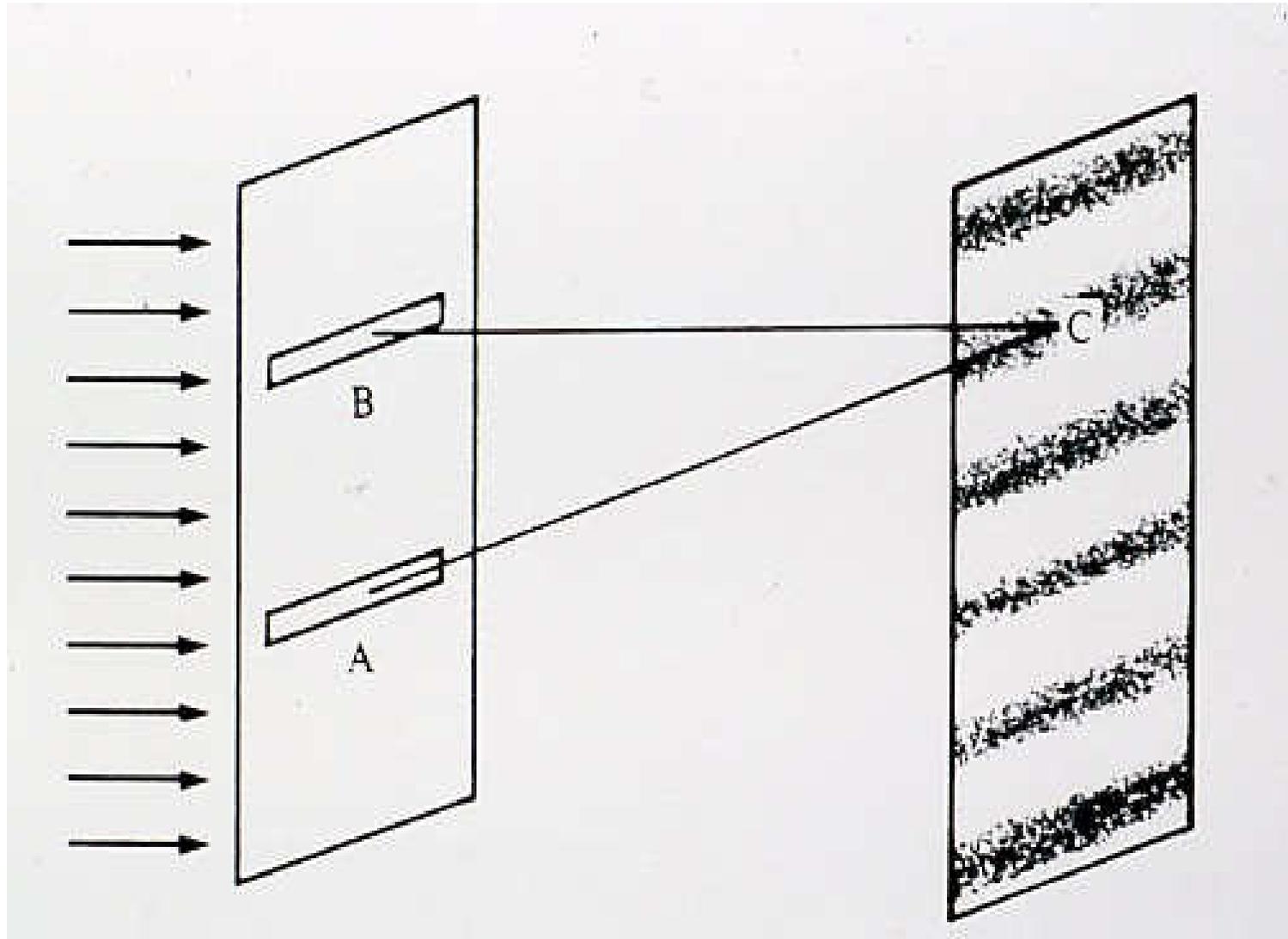
$$p = \frac{h\nu}{c} \quad \lambda\nu = c, \nu = \frac{c}{\lambda}$$
$$= \frac{h}{\lambda}$$
$$\lambda = \frac{h}{p}$$

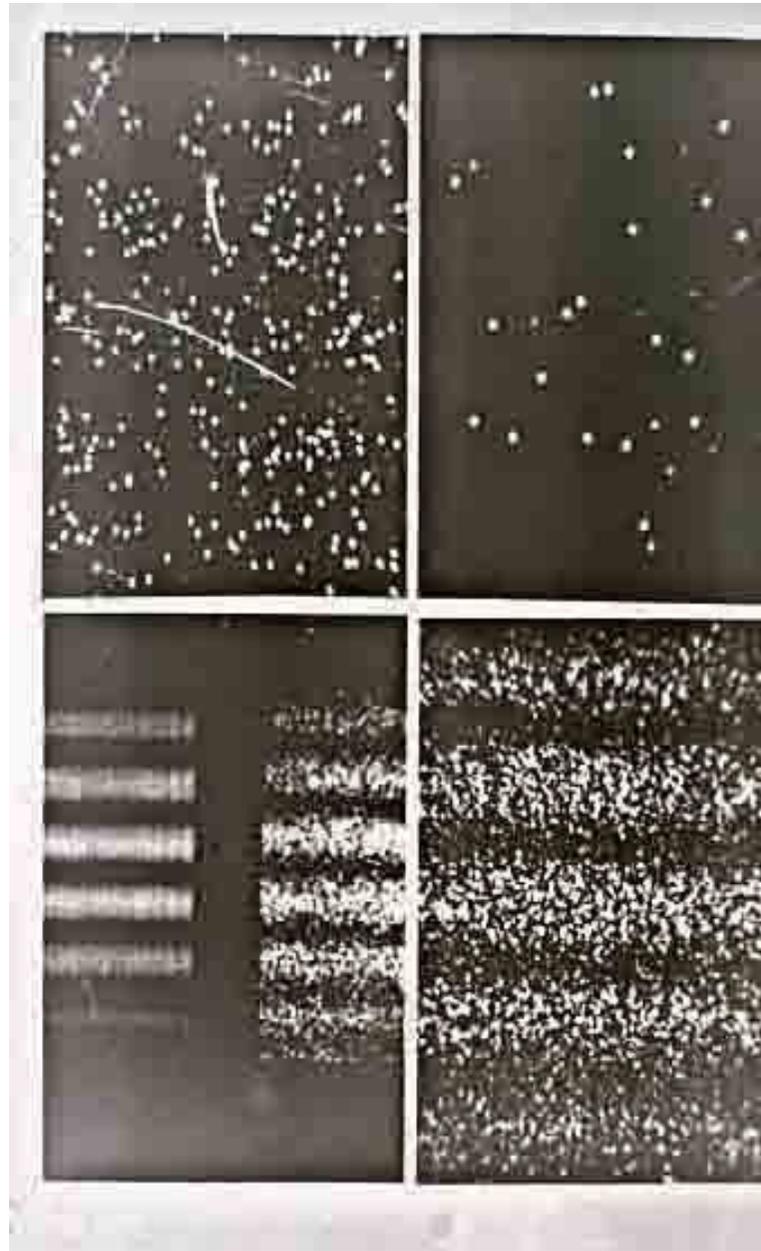
電子も

$$\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$$

という波長を持つ筈である.

ド・ブロイの予言 1924

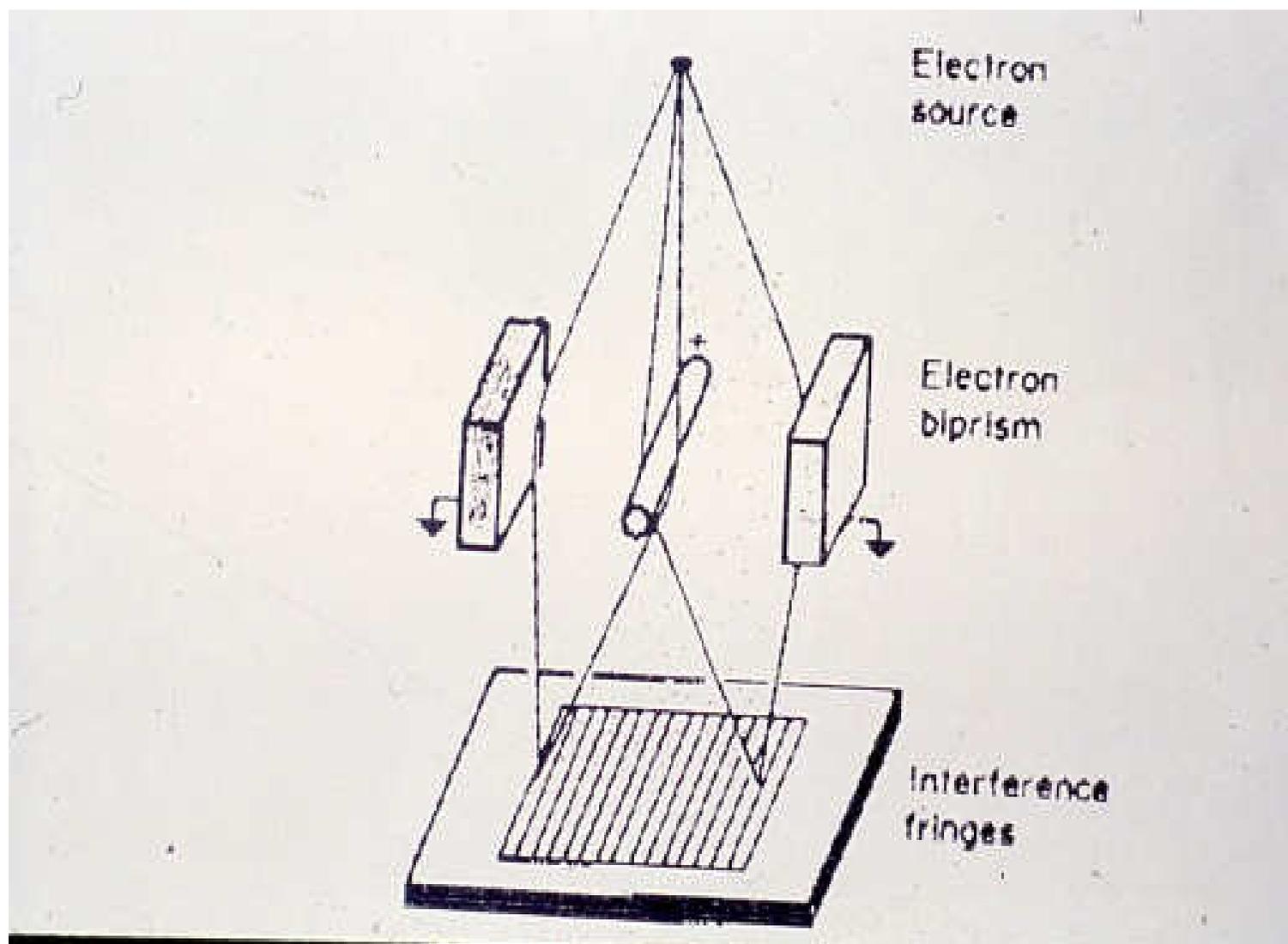


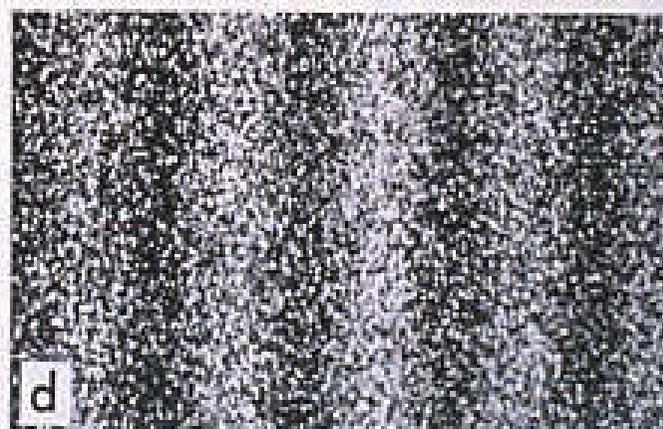
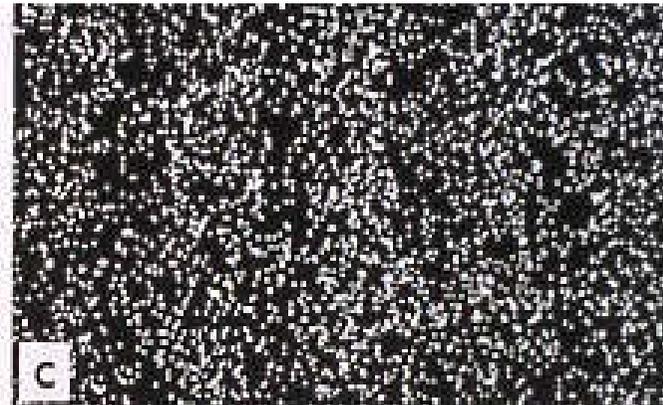


光は 波か 粒子か？

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

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

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 ベクレル 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

**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

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

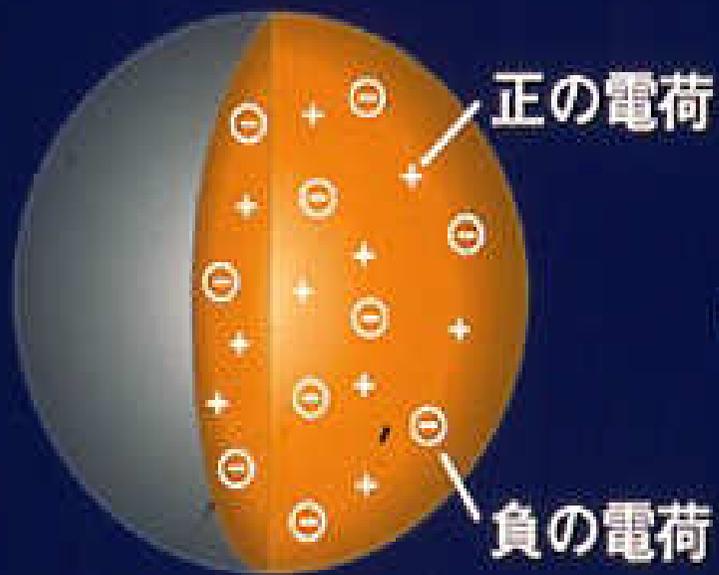
日本の科学のあけぼの

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

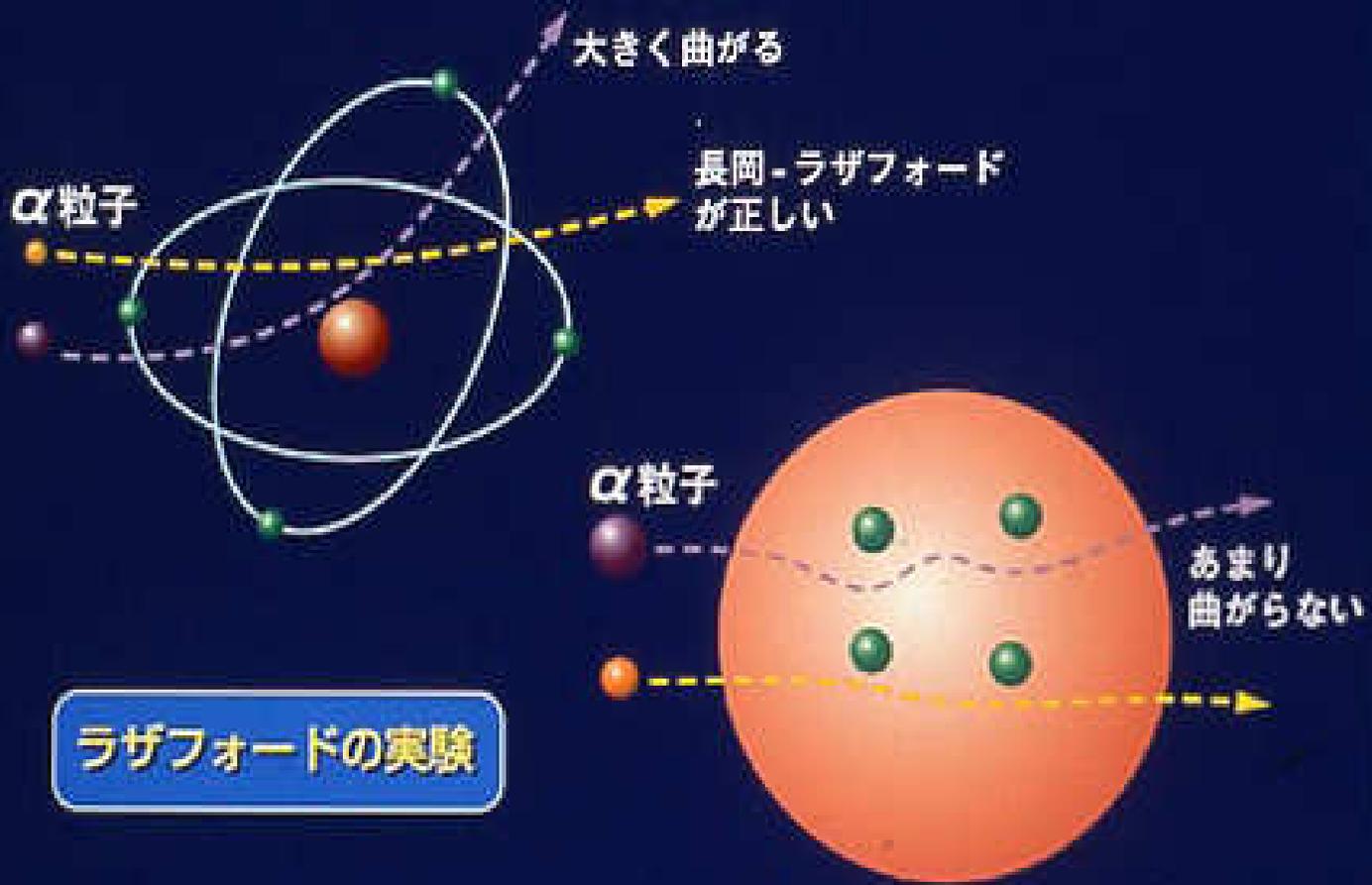




トムソンモデル
(すいか型モデル)



長岡モデル
(土星型モデル)



ラザフォードの実験

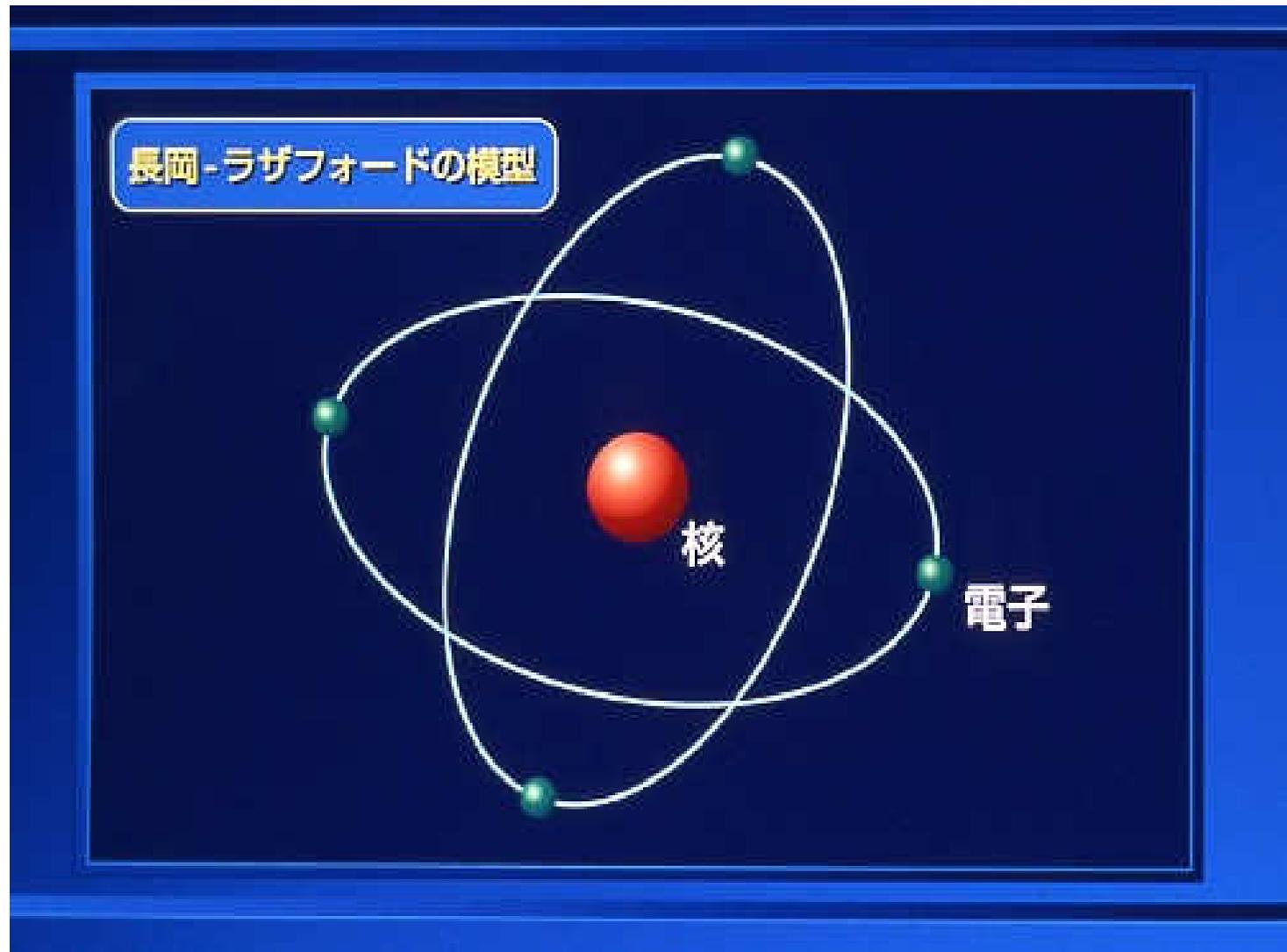
クーロン斥力 $\propto \frac{1}{r^2}$

r が近くなる程強くなる。

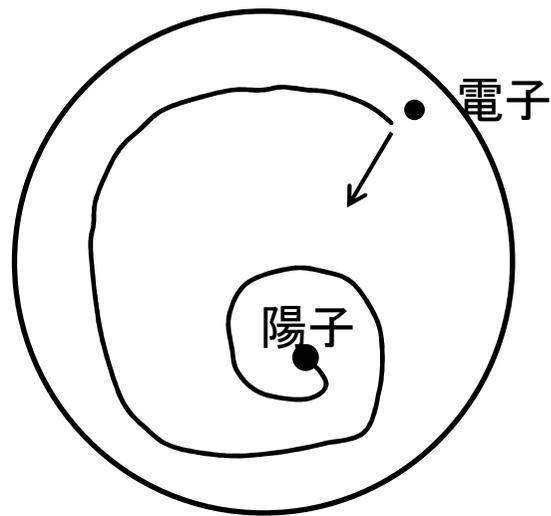
正の電荷を持った小さな球(原子核)の近くへ行くと α 粒子は大きく曲げられる。

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 ボーアの模型

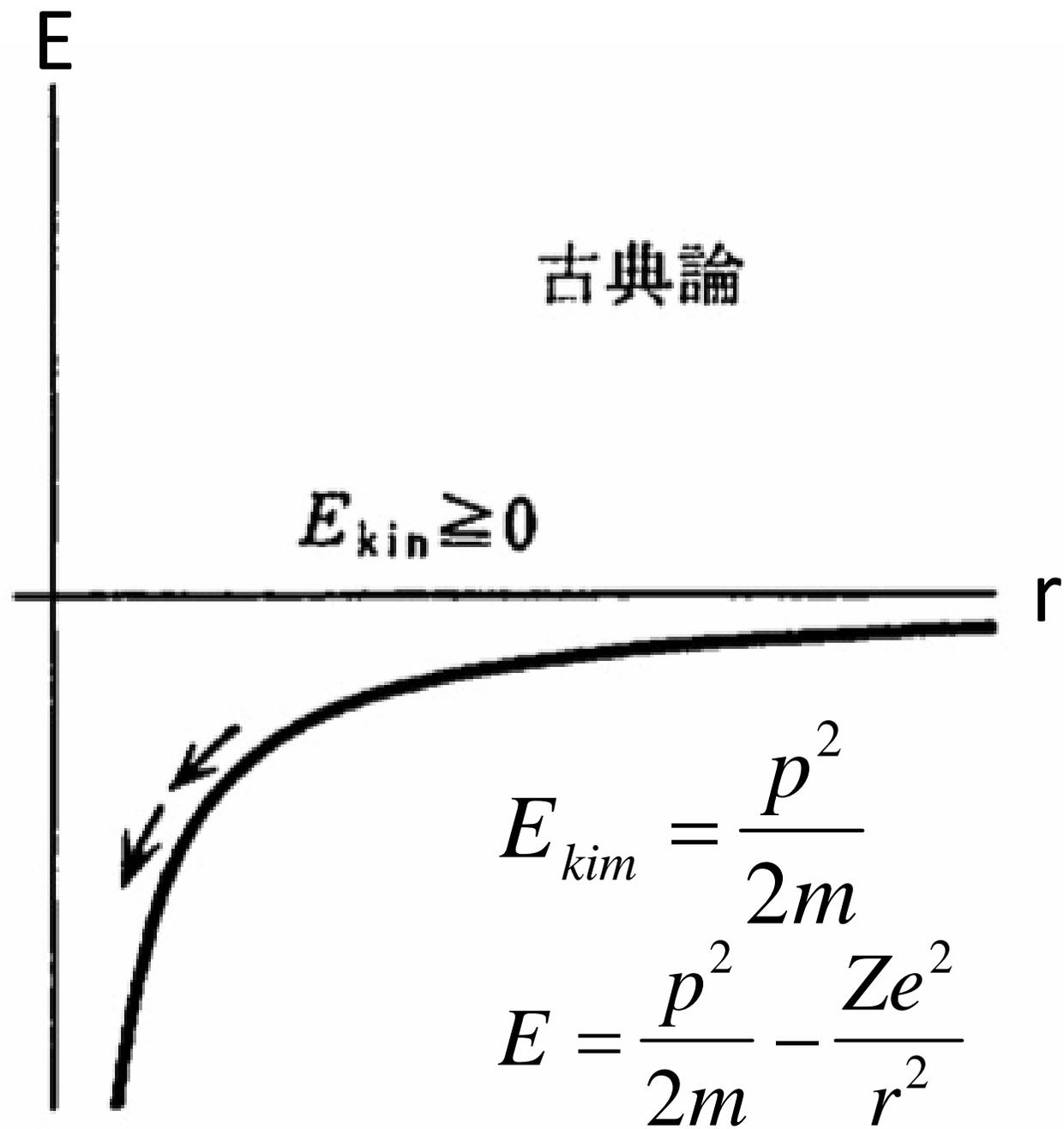


2-4 水素原子の構造

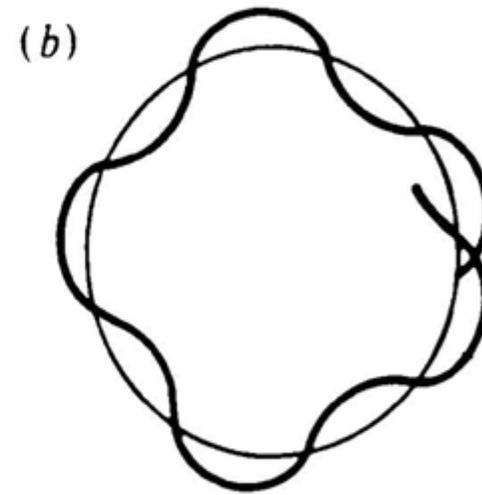
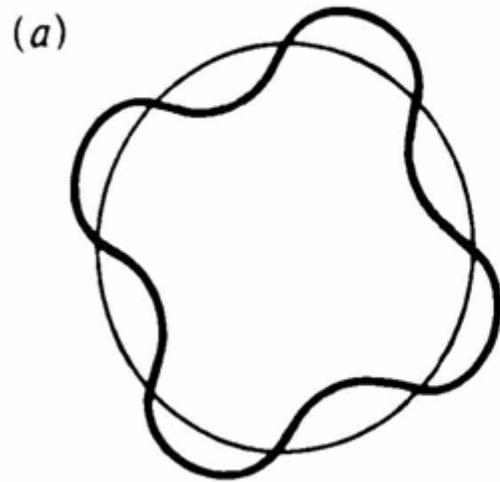


*Coulomb*力で引っぱられ
光を出して半径が縮まり
陽子に吸われてしまうのではないか

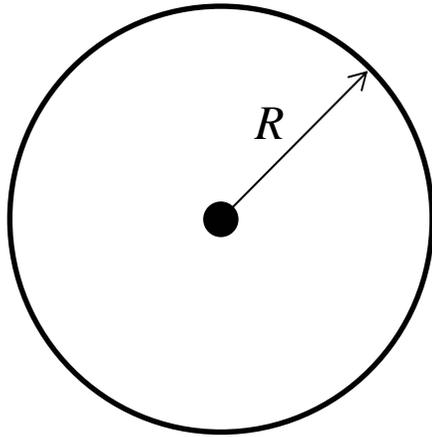
どうして電子に安定な軌道があるのだろうか



2-5 一つの円軌道にいる電子は波であるから
一廻りまわって丁度同じ位相になれば安定な軌道



$$\lambda = \frac{h}{p}$$



$n\lambda_n = 2\pi r_n$ になる λ と
が安定な軌道

$$n \frac{h}{p_n} = 2\pi r_n$$

$$R_n \times p_n = n \frac{h}{2\pi}$$

$$= n\hbar$$

$$p_n = m\hbar / R_n$$

$$\left(\hbar = \frac{h}{2\pi} \right)$$

従って電子の運動エネルギー E_k は

$$E_k = \frac{mv^2}{2} = \frac{p_n^2}{2m} = \frac{\hbar^2}{2m} \times \frac{n^2}{r_n^2}$$

クーロンポテンシャルのエネルギー E_p は

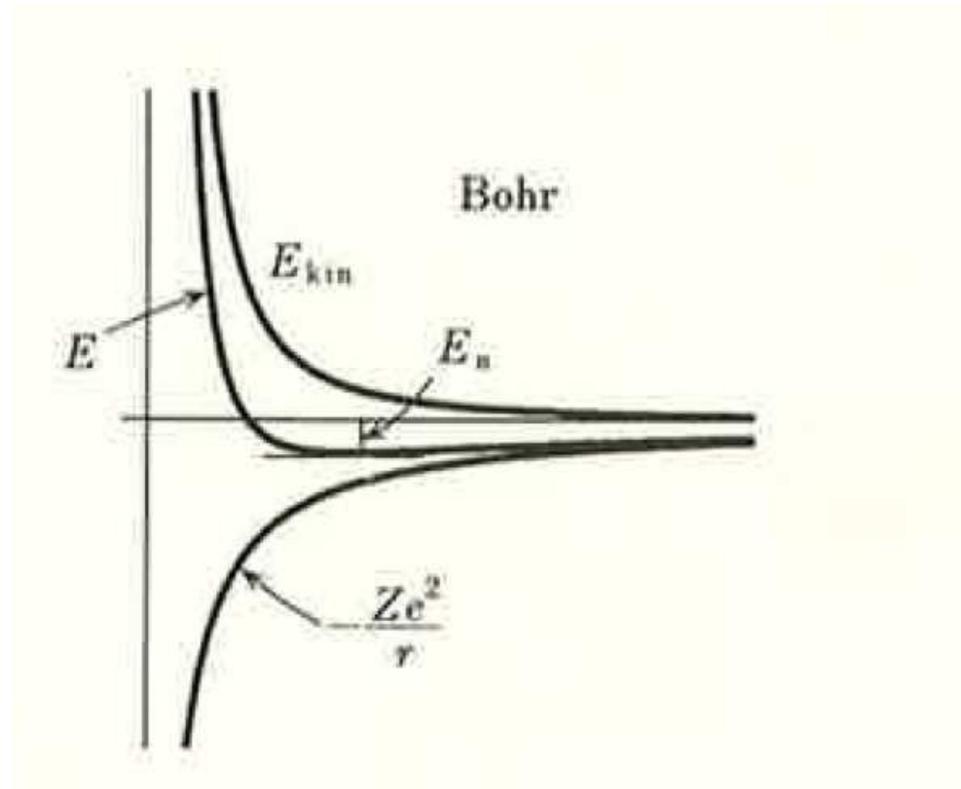
$$E_p = -\frac{Ze^2}{r_n}$$

そこで全体のエネルギーは

$$E = E_k + E_p = \frac{\hbar^2 n^2}{2mr_n^2} - \frac{Ze^2}{r_n}$$

$$E = \frac{p_n^2}{2m} - \frac{Ze^2}{r_n}$$

$$= \frac{\hbar^2 n^2}{2m r_n^2} - \frac{e^2}{r_n}$$



$$x = \frac{1}{r_n} \quad \text{とおくと}$$

$$E = \frac{\hbar^2 n^2}{2m} x^2 - Ze^2 x$$

$$= \frac{\hbar^2 n^2}{2m} \left(x^2 - \frac{2mZ}{\hbar^2 n^2} e^2 x \right)$$

$$= \frac{\hbar^2 n^2}{2m} \left(x - \frac{m}{\hbar^2 n^2} e^2 \right)^2 - \frac{me^4}{2\hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

$$E_n = -\frac{m e^4}{2 \hbar^2} \frac{Z^2}{n^2}$$

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2 Z} n^2$$

n番目の軌道の半径とエネルギー

$$r_n = \frac{\hbar^2}{me^2 Z} n^2$$

$$E_n = -\frac{me^4 Z^2}{2\hbar^2} \cdot \frac{1}{n^2}$$

特に水素の場合 $Z = 1$ $E_1 = -\frac{me^4}{2h^2} = -13.6eV$

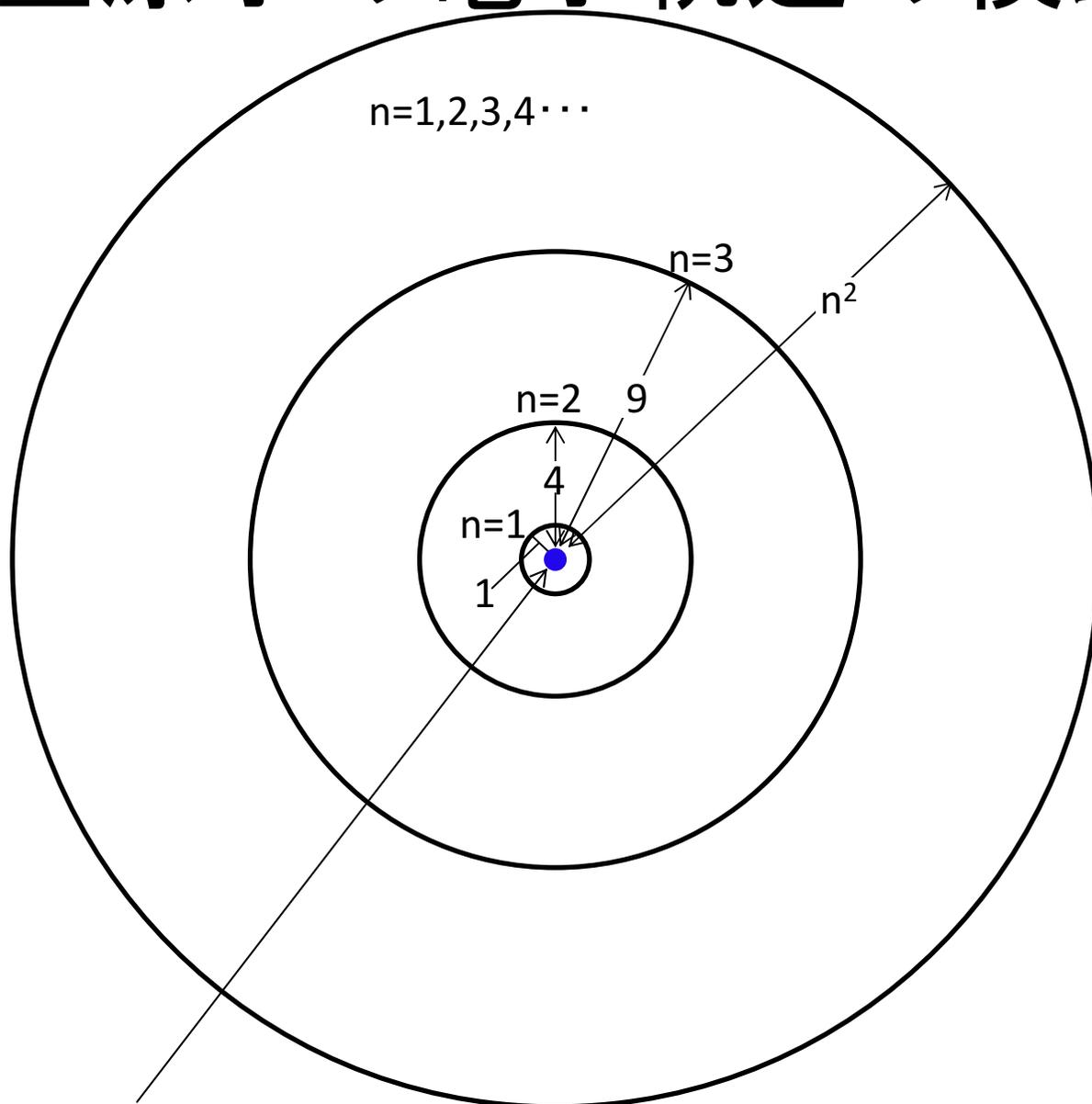
$$1eV = 1.6 \times 10^{-19} \text{ ジュール}$$

このエネルギー $E_1 = -13.6eV$ は水素をイオン化させるエネルギーである

$$r_1 = 0.5 \text{ \AA}$$

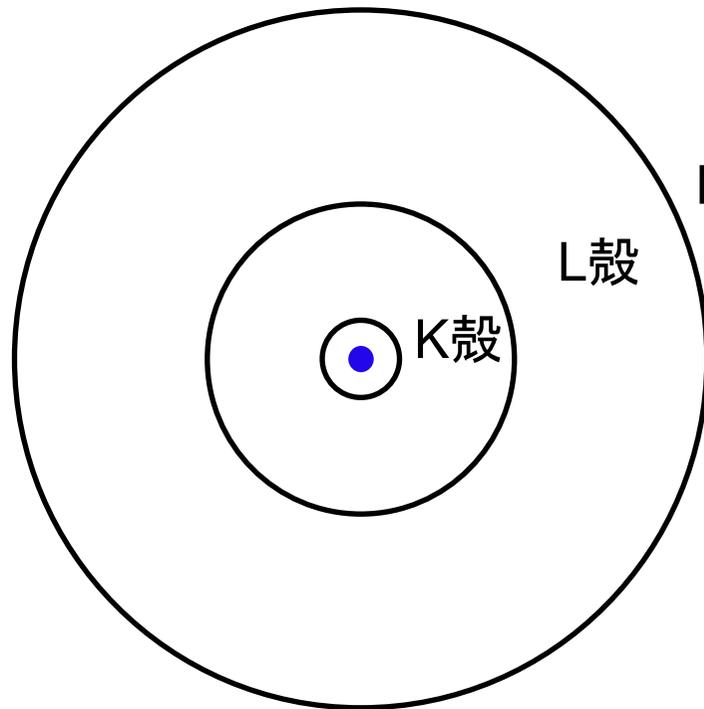
$$\text{\AA (オングストローム)} = 10^{-8} \text{ cm}$$

水素型原子の電子軌道の模式図



中心は Ze の電流を持つ原子核

電子軌道の定員



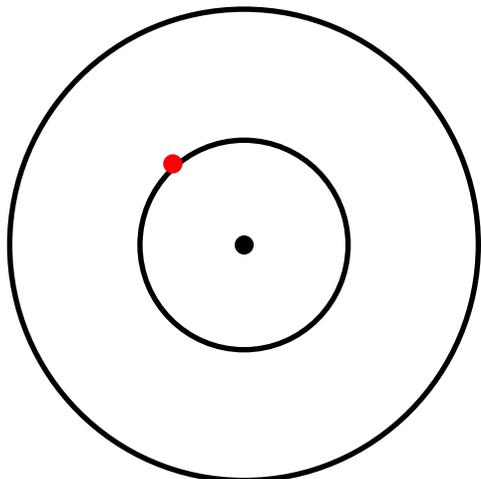
M殻 K殻に入れる電子の数 2個
L殻に入れる電子の数 8個
K殻に入れる電子の数 8個
N殻に入れる電子の数 18個

それぞれの殻が満杯になると大変安定な原子が出来る。
殆ど化合しない。そのためガスになる。

希ガス He Ne Ar Kr Xe Rn

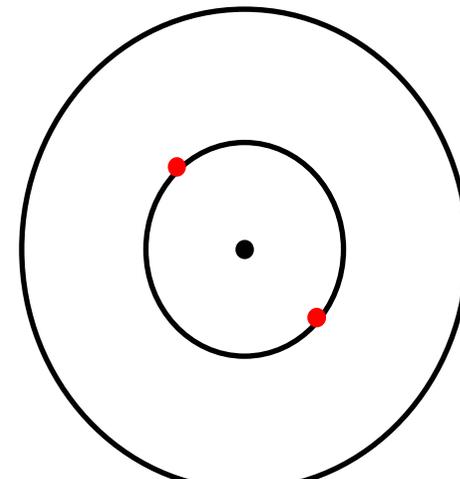
Z = 2 10 18 36 54 86

H



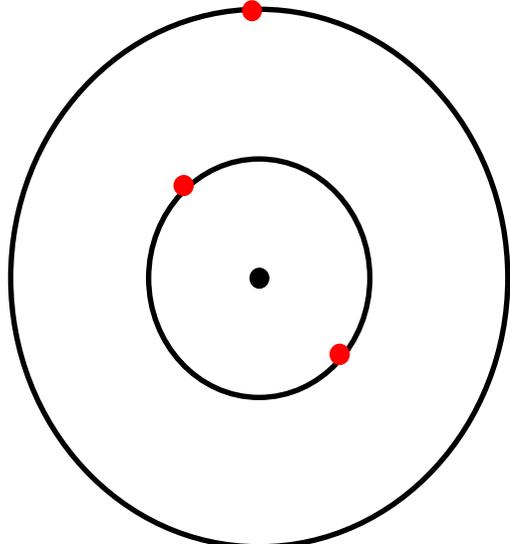
Z=1

He



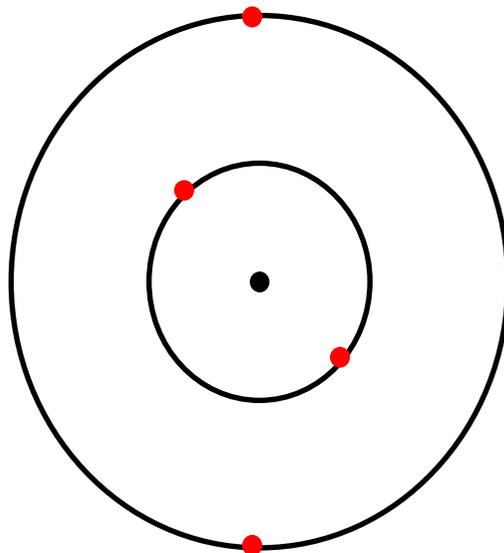
Z=2

Li



Z=3

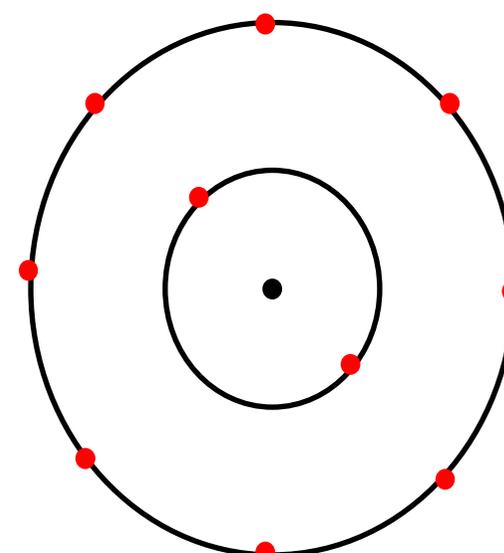
Be



Z=4

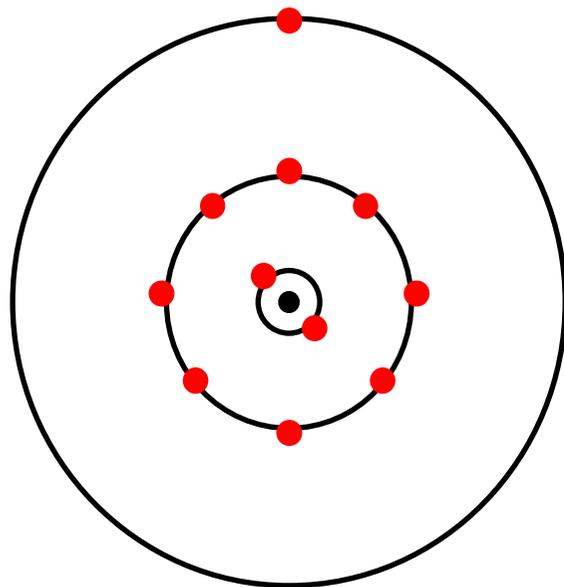
...

Ne



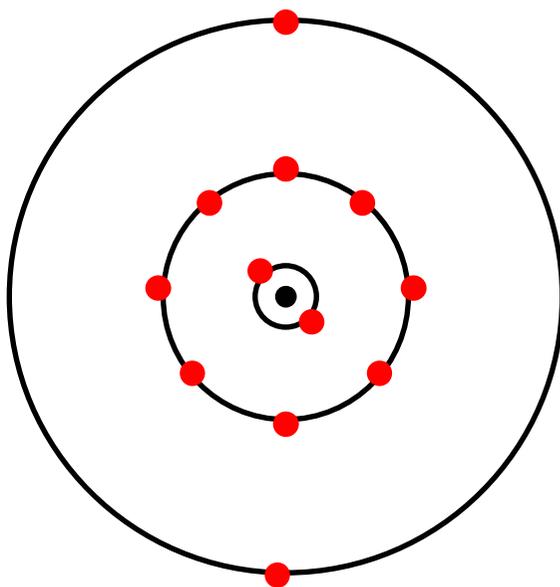
Z=10

Na



Z=11

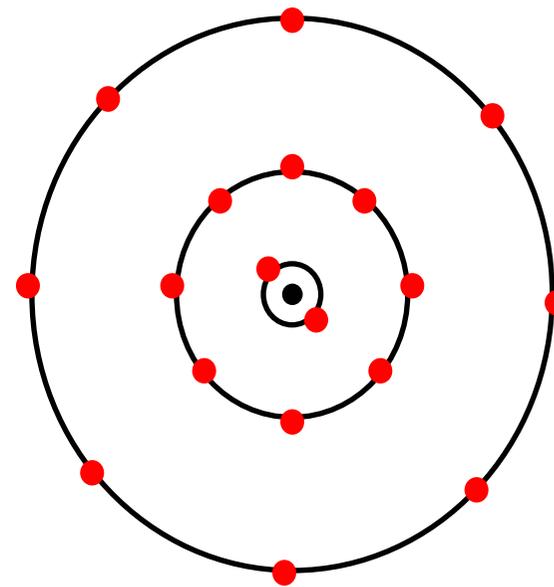
Mg



Z=12

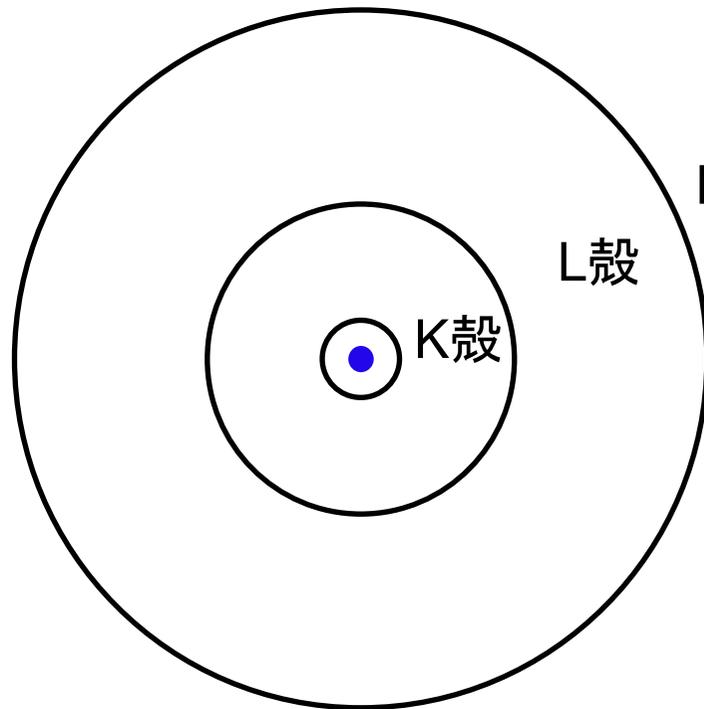
...

Ar



Z=18

電子軌道の定員



M殻 K殻に入れる電子の数 2個
L殻に入れる電子の数 8個
K殻に入れる電子の数 8個
N殻に入れる電子の数 18個

それぞれの殻が満杯になると大変安定な原子が出来る。
殆ど化合しない。そのためガスになる。

希ガス He Ne Ar Kr Xe Rn

Z = 2 10 18 36 54 86

	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 硫黄	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 ラザホーニウム	105 Db ドブニウム	106 Sg シーボークニウム	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 ダルトムスタチウム	111 Rg レントゲニウム							
	*Lantanoid			57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジウム	60 Nd ネオジウム	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 アメリシウム	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

$$\frac{\text{ヘリウム原子核の質量}}{\text{水素原子核の質量}} = \text{ほぼ}4$$

$$\frac{\text{ヘリウム原子核の電荷}}{\text{水素原子核の電荷}} = 2$$

1932年 中性子の発見 (チャドウィック)

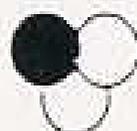
原子核は陽子と中性子からできている
では陽子と陽子、陽子と中性子 そして
中性子と中性子を結びつけるものは何か



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



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

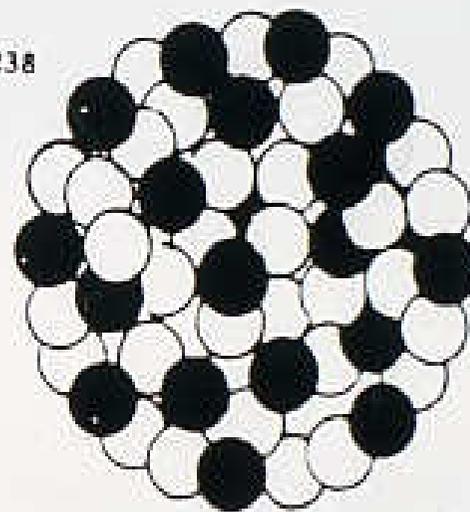


${}_1\text{H}^3$



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

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





湯川 秀樹 1907年 東京生れ 1981年 逝去

1935年 中間子の予言

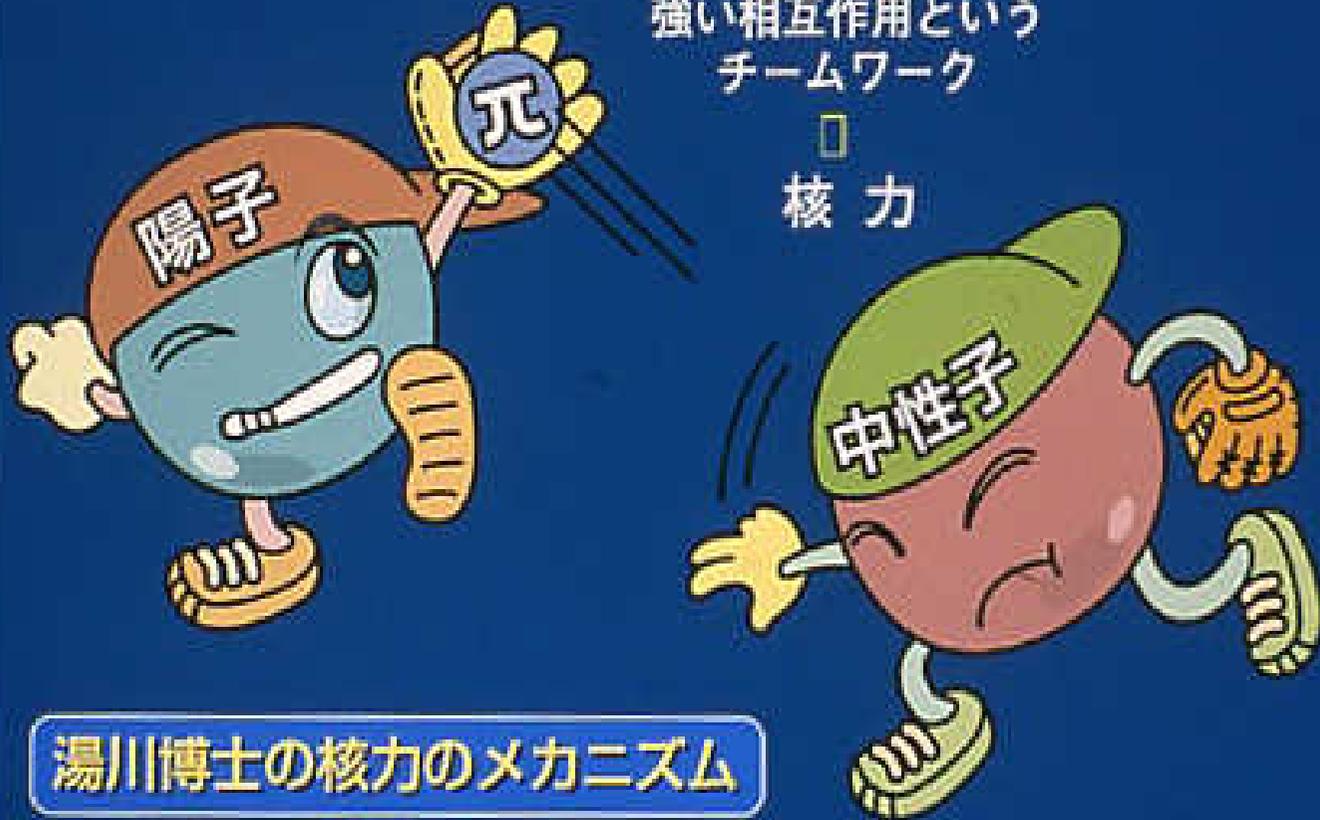
のりの粒子があり核子を結びつける。

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



朝永振一郎

くり込み理論

電子と光の相互作用

量子電磁気学の確立

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

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

● 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

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

	電荷	奇妙さ
u	$2/3e$	0
d	$-1/3e$	0
s	$-1/3e$	-1

$$p(\text{陽子}) = 2u + d$$

$$n(\text{中性子}) = u + 2d$$

$$\Lambda(\text{ラムダ}) = u + d + s$$

$$p\text{の電荷} \quad 2 \times \frac{2}{3}e - 1/3e = e$$

$$n\text{の電荷} \quad \frac{2}{3}e - 2 \times \frac{1}{3}e = 0$$

$$\Lambda\text{の電荷} \quad \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0$$

不思議なこと

クォークは外へ取り出せない

しかし

金の原子核 + 金の原子核 → 瞬間的にクォークと
グルーオンのプラズマ状態ができるらしい
→ すぐ原子核や γ 線
などへ戻ってしまう

陽電子 \bar{e}

電子(=陰電子)と電荷の符号だけが違う

質量は全く同じ スピンも同じ

1928年 その存在をディラックが予言

1932年 アンダーソンが宇宙線中に発見

陽電子は電子の反粒子

$$\bar{e} + e \rightarrow \gamma$$

反陽子 \bar{p}

$$\bar{p} + p \rightarrow \gamma$$

反中性子 \bar{n}

$$\bar{n} + n \rightarrow \gamma$$

物理法則は物質と反物質とを差別しない
ビッグ・バンの直後は
クォーク(物質)と反クォーク(反物質)が
50%ずつできた筈

しかし宇宙のどこを探しても反物質の塊がない

実はごく僅か物理法則は物質・反物質の
対称性を破っている。この破れによって
137億年という長い年月に物質だけになった

そのためにはクオークは

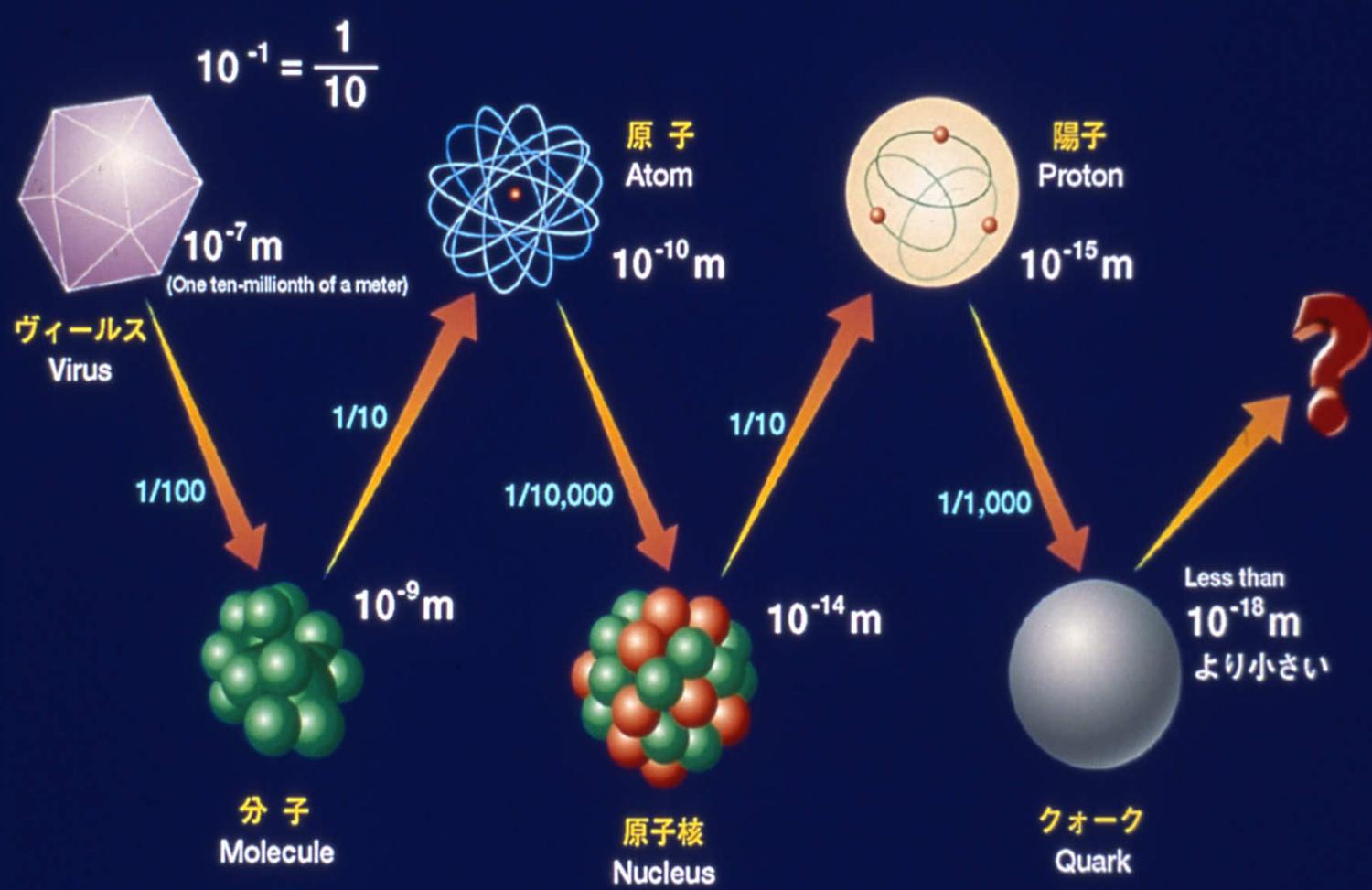
u,s,t

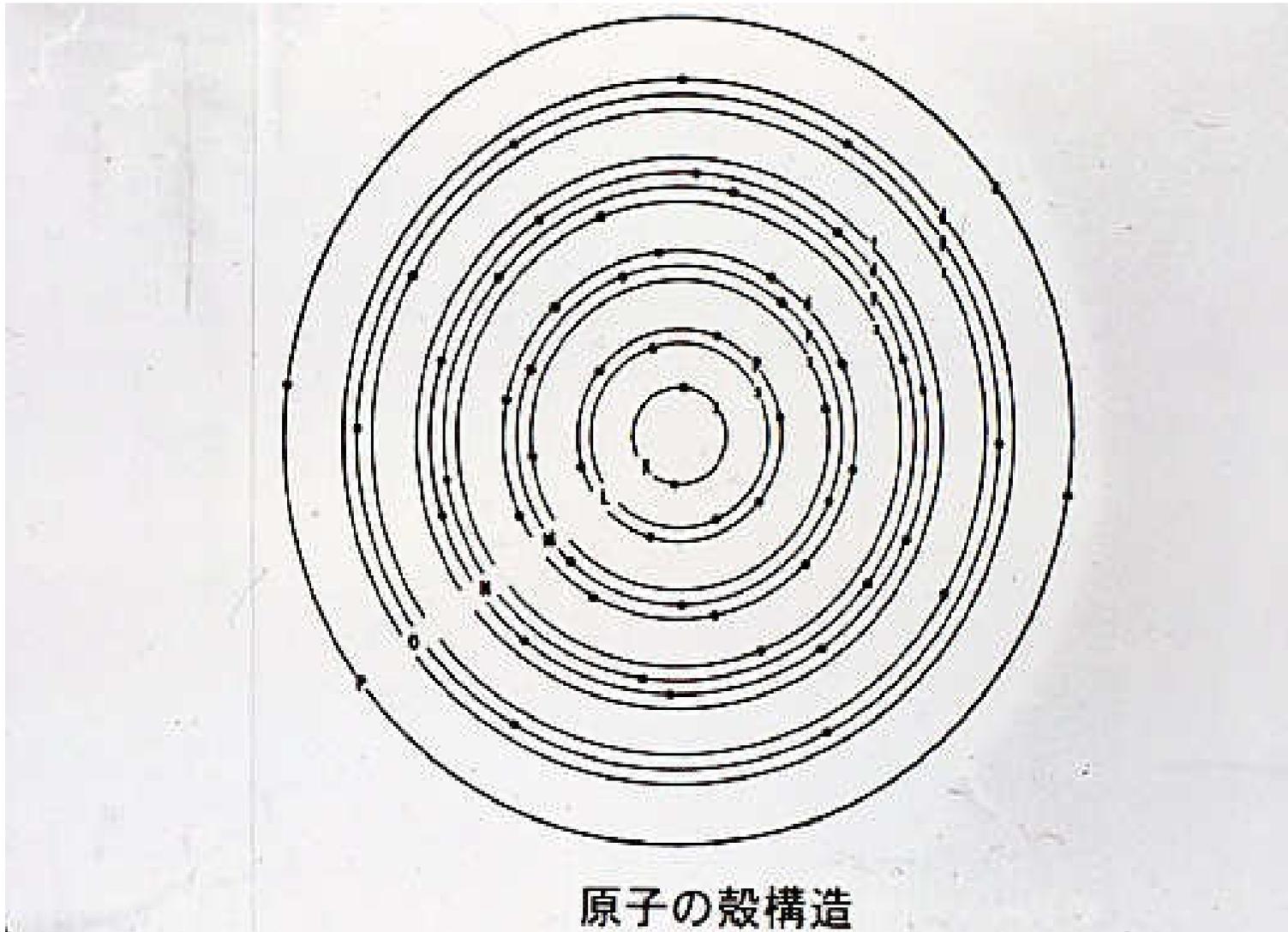
d,c,b

と6種類なければならない

益川敏英・小林誠

1972





安定な原子 $Z=2,10,18,36,54,86$
(希ガス)

安定な原子核 $Z=2,8,20,28,50,82$
 $N=2,8,20,28,50,82,126$

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

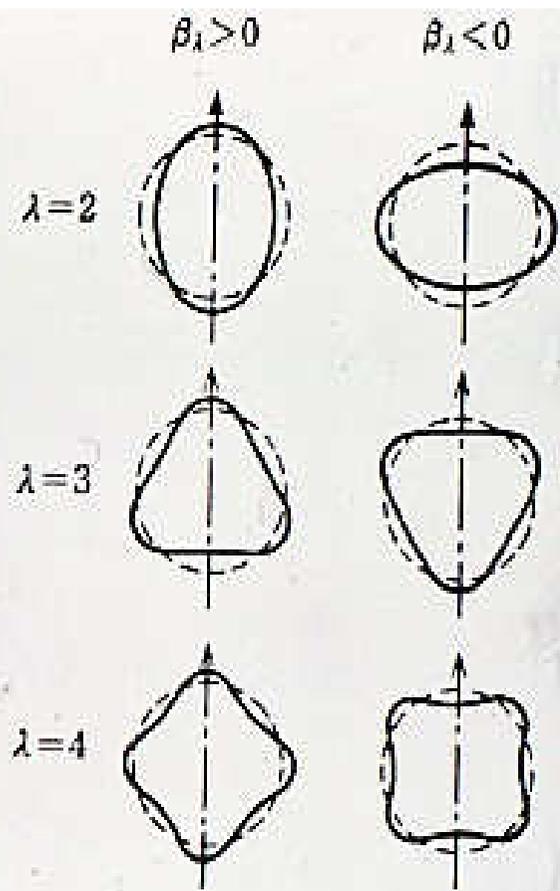
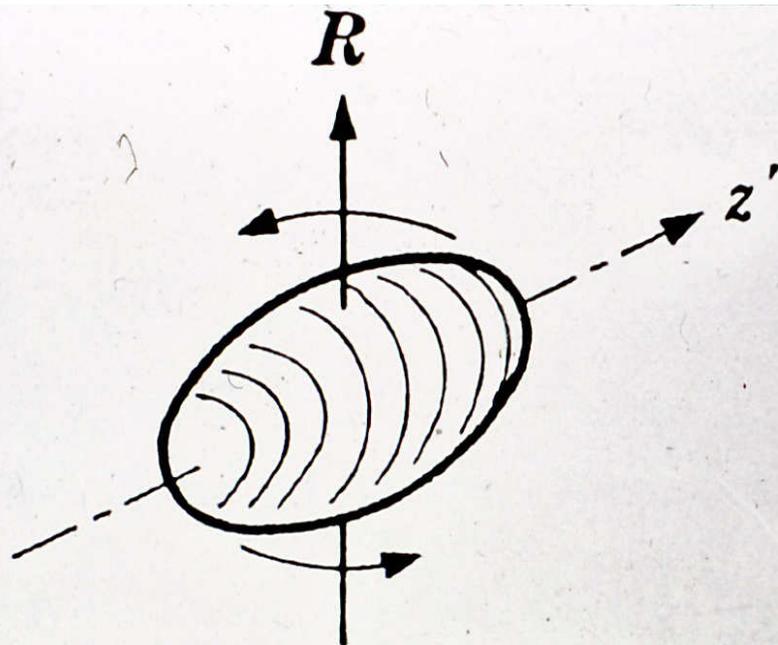


図 軸回転対称の変形
 ($\mu = 0, a_{\lambda 0} = \beta_\lambda$, 矢印
 は回転対称軸)



(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

$^{110}\text{C}_0$ の場合のエネルギーが

$$E = E_0 + \alpha n_d + \alpha n_d(n_d + 4) + 2\beta v(v + 3) + 2\gamma L(L + 1)$$

という式で表わされる。

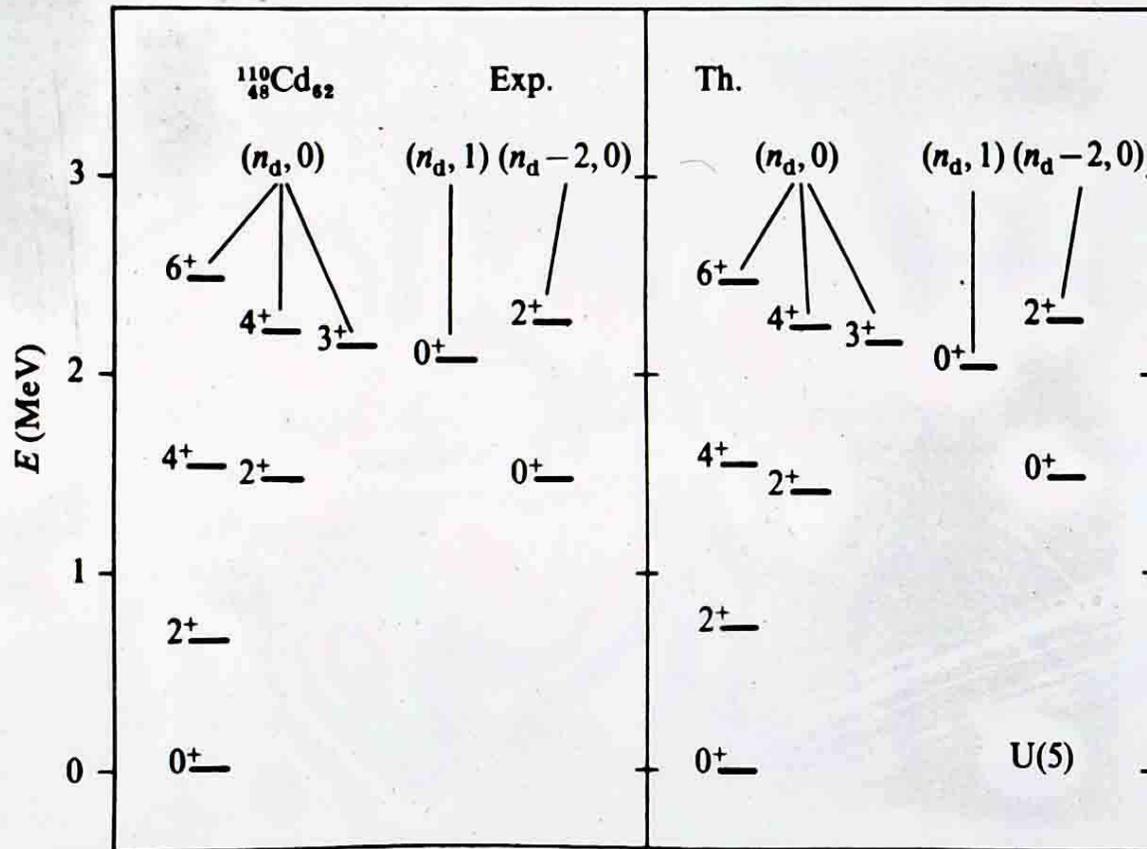


Fig. 2.5. An example of a spectrum with $U(5)$ symmetry: $^{110}_{48}\text{Cd}_{62}$, $N=7$. The theoretical spectrum is calculated using (2.79) and (2.82) with $\varepsilon' = 722$ KeV, $c_0 = 29$ KeV, $c_2 = -42$ KeV, $c_4 = 98$ KeV.

^{156}Gd の場合、エネルギーが

$$E = E_0 + \left(\frac{3}{4}k - k'\right)L(L+1) - k(\lambda^2 + \mu^2 + \lambda\mu + 3\lambda + 3\mu)$$

という式で表わせる

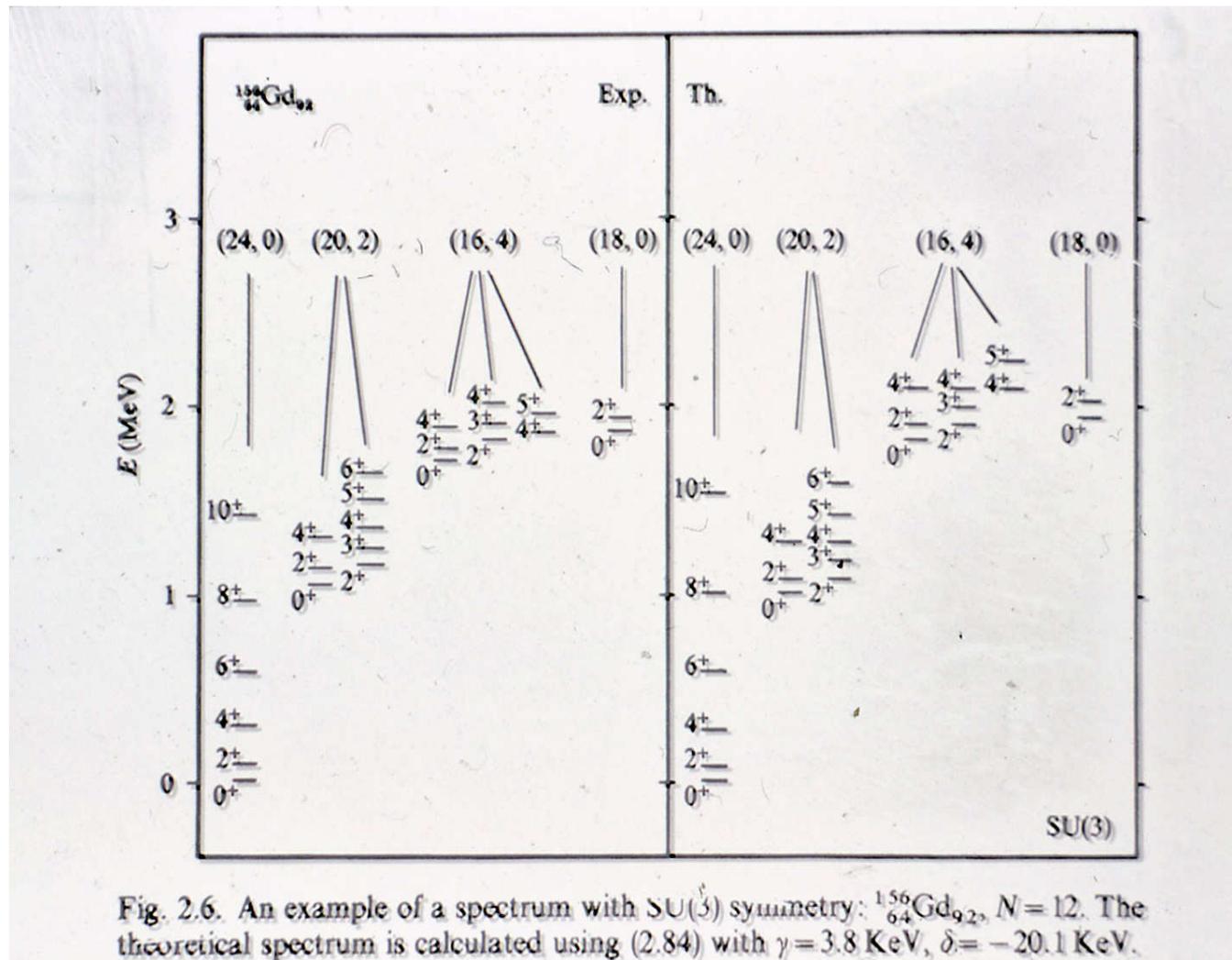
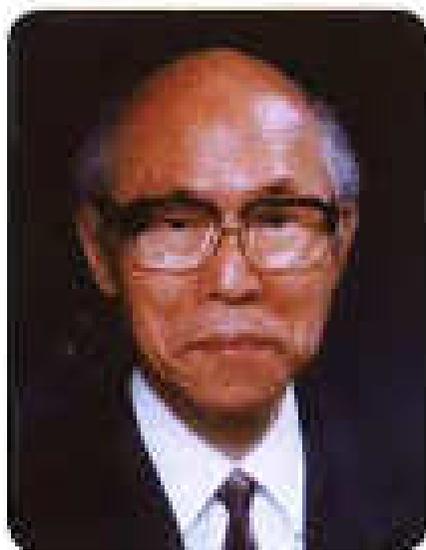


Fig. 2.6. An example of a spectrum with $SU(3)$ symmetry: $^{156}\text{Gd}_{92}$, $N=12$. The theoretical spectrum is calculated using (2.84) with $\gamma=3.8$ KeV, $\delta=-20.1$ KeV.

中国科学院2008年度国际科技合作奖获奖专家



有马朗人教授（日本）

Prof. Arima Akito

日本科学技术振兴财团会长有马朗人先生是国际著名的理论物理学家和社会活动家，他提出的相互作用玻色子模型理论至今仍是原子核结构理论的重要基础。1984年和1995年两度获诺贝尔奖提名。有马朗人先生非常关注我院大科学工程的发展，从20世纪80年代开始，曾多次访问我院兰州近代物理所、中国科技大学、上海应用物理所。在兰州重离子加速器冷却储存环（HIRFL—CSR）工程立项的预研以及工程建设期间，多次安排该所工程技术和管理骨干赴日进修、学习，同时派日本专家来该所指导HIRFL的升级改造工

Winners of the Award for International Scientific Cooperation of the Chinese Academy of Sciences for 2008



Prof. Arima Akito, President of the Japan Science Foundation, is a world famous theoretical physicist and influential public figure. Prof. Arima proposed the Interacting Boson Model, a foundational part of the theory of atomic nucleus structure, for which he was nominated as a Nobel Prize candidate for physics in 1984 and 1985. Prof. Arima has shown great concern for the development of Major Scientific Facilities of the Chinese Academy of Sciences (CAS). Since the 1980s, he has paid many visits to and delivered lectures in universities and research institutions in China, including the Institute of Modern Physics (IMP), the University of Science and Technology of China (USTC), and Shanghai Institute of Applied Physics. Prof. Arima encouraged several training and advanced study tours to Japan for postgraduates and researchers

日本の将来、人類の将来の問題を解決するという志を立てよ

- a 人類の叡知を増すため基礎科学を進めよ
 - 宇宙の不思議、ビッグ・バンの前は、もしかしたら宇宙は爆発したり縮んだりして繰り返すのかもしれない
 - ダーク・マター、ダーク・エネルギーと不思議が一杯
 - 物質の根元は粒子かひもか。ひもかもしれない
 - そうだと空間・時間の次元は4次元よりもっと大きい

そう考えると量子力学と重力を統一して考えられ、ビッグ・バンが説明できるかも知れない

もっとやさしいがそれでもむずかしい問題

自然法則は左右対称。

でもごくわずかこの対称性は破れている

物質と反物質の対称性も破れている

これが益川・小林両氏のノーベル賞受賞の理由

でもこれはごくわずかな破れ

生物は大きく左右対称性が破れているのはなぜか

生命の不思議 どこで、どうして生命が生まれたか

記憶はどうして生れるか。進化とは

地球科学を確立せよ

地震、津波、温暖化原因などもっと研究し予知せよ

基礎科学を発展せよ

b 人類の福祉のために技術を進めよ

石油や石炭など化石燃料は使い切る

21世紀後半にはパニックが来る

自然のエネルギー 太陽光、風力、バイオと

原子核エネルギー・核融合・核分裂(狭い意味での

原子力)しか人類にはなくなる

両方を早急に発展させなければならない

好き嫌いを言っていられない

技術を発展せよ

天災も人災も科学と技術で防げ

防災技術を進めよ

c 世界を平和にせよ

優れた政治家、優れた外交官になれ

そのためしっかり語学を学び歴史を学べ

d 日本の経済力を増せ

そして日本から貧困を無くせ

経済を学び、科学技術の応用を学べ

優れた経済人になれ

どのような志でも良い

大きい夢を持って

健康を大切に

世帯数ではマンションも入るため、一戸建てすべての屋根に
太陽電池を載せると仮定

【前提条件】

日本の一戸建て住宅数...2745万戸(総務省「日本の統計2011」
H20年より)

太陽電池の出力(一戸建て)...3.5kW程度(平均的な設備)

太陽電池の設備利用率...12%

(総合資源エネルギー調査会 新エネルギー一部会
第6回RPS法小委員会資料2007)

日本の電力の総発電量 ...9565億kWh(生産量) H21年度

日本の一次エネルギー消費量 ...5.0億t(石油換算)H21年度
(電気エネルギー換算→5.8兆kWh)
(総合エネルギー統計2009年)

【計算】

$$\begin{aligned} \text{全太陽電池総発電量(年間)} & 3.5(\text{kW}) \times 8760(\text{h/Y}) \times 0.12 \times 27450000 \\ & = 1000 \text{億kWh/Y} \end{aligned}$$

日本の電力総発電量に占める割合 ...10%といったところ

$$1000 \text{億kWh} \div 9565 \text{億kWh} = 0.10$$

日本の一次エネルギー消費量に占める割合...1%は越えるが2%にも満たないレベル(約1.7%)

$$1000 \text{億kWh} \div 5.8 \text{兆kWh} = 0.017$$

仮に、総発電量を太陽光で全量賄うとすれば、13,600km²必要で、東京都、神奈川県、埼玉県、千葉県を合計した面積にほぼ匹敵。

$$9565 \text{億kWh} \div 70.11 \text{kWh/m}^2 \times = 13,643 \text{km}^2$$

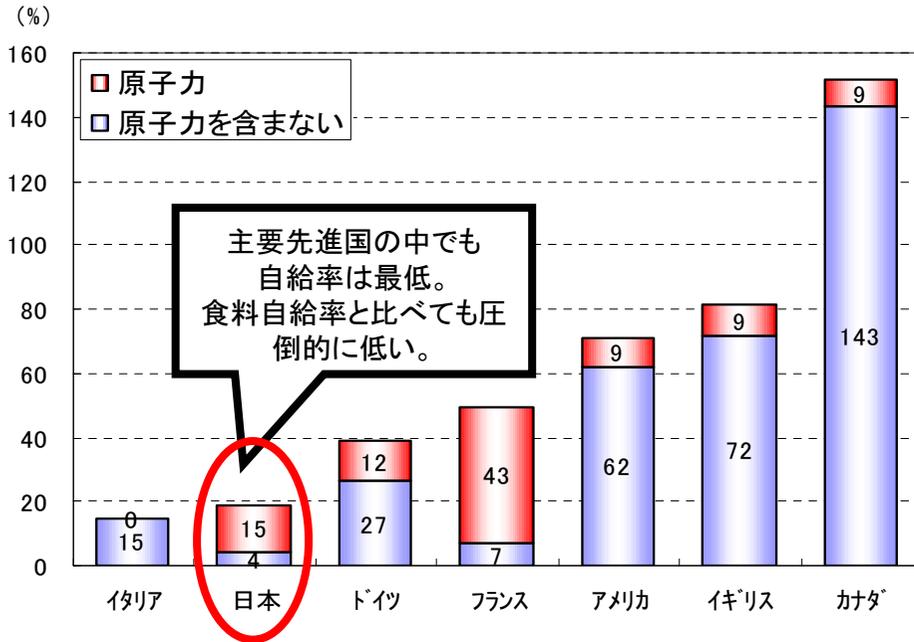
※単位面積あたりの太陽光出力を0.0667kW/m²(環境省平成22年度再生可能エネルギー導入ポテンシャル調査より)、利用率12%として算定)

*ただし、蓄電池のロスは考慮していない。

わが国のエネルギー自給率

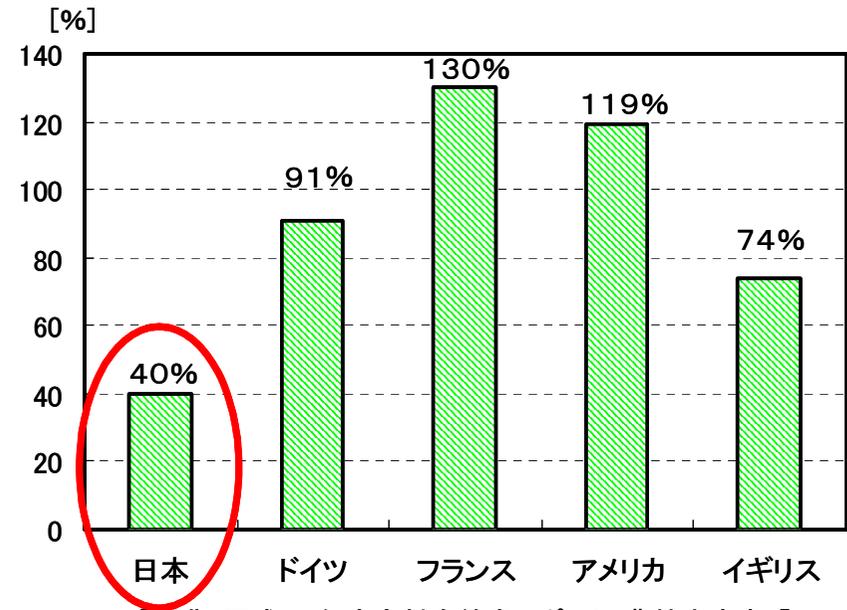
○わが国のエネルギー自給率はわずか4%であり、主要先進国中最低。
食料自給率(40%)よりも一ケタ低い。

＜主要国のエネルギー自給率＞



【出典】 OECD/IEA, 「Energy Balances of OECD Countries, 2008 Edition」

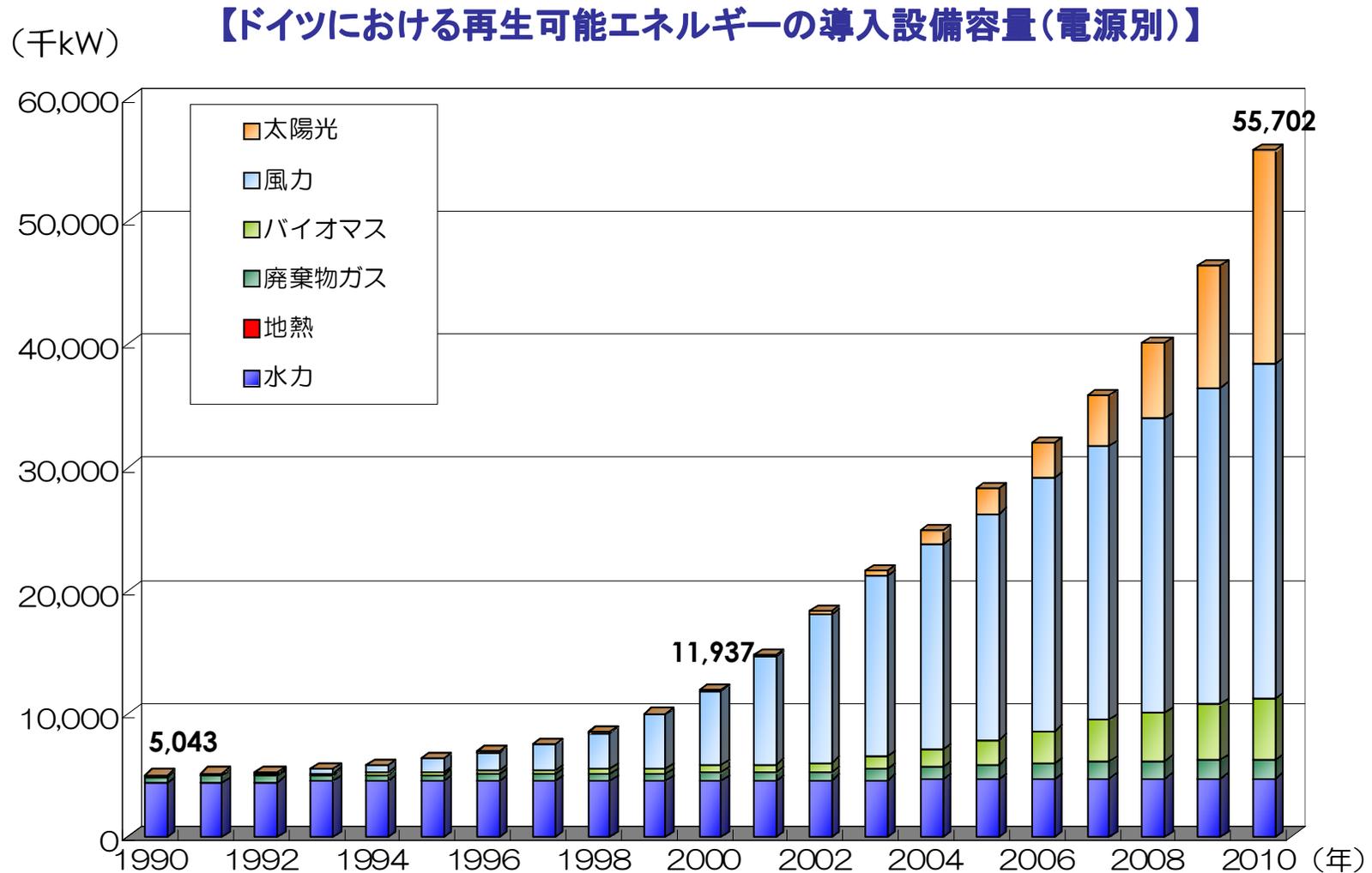
＜主要国の食料自給率＞



【出典: 平成15年度食料自給率レポート(農林水産省)】

ドイツにおける再生可能エネルギーの設備容量

- ドイツでは、2000年4月に再生可能エネルギーの固定価格買取制度を導入
- 2000年から2010年にかけて、導入設備容量は約5倍に拡大

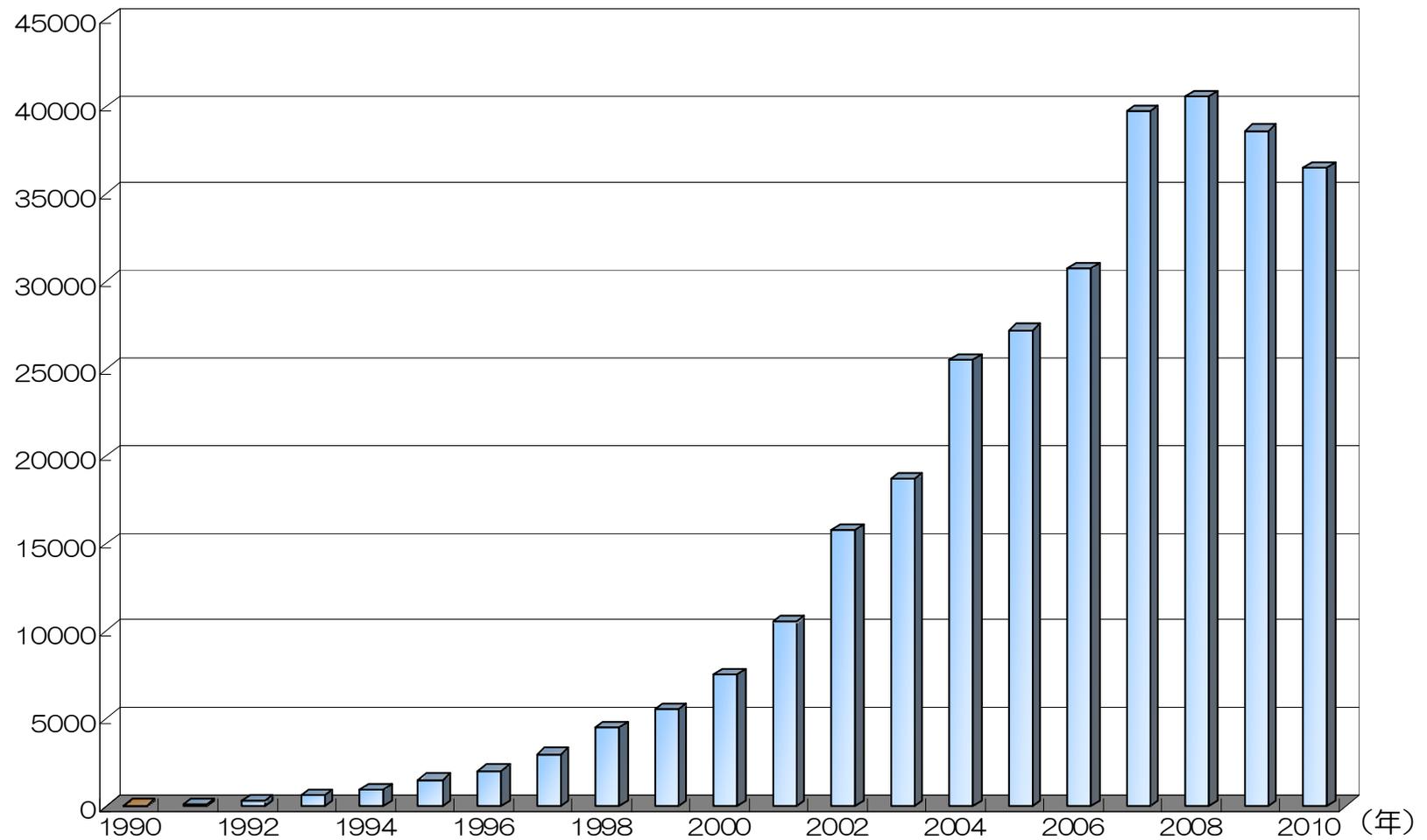


出典：ドイツ環境省 (BMU) 「Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010」 より

ドイツにおける発電電力量(風力)

＜ドイツにおける風力発電の発電電力量＞

(百万kWh)

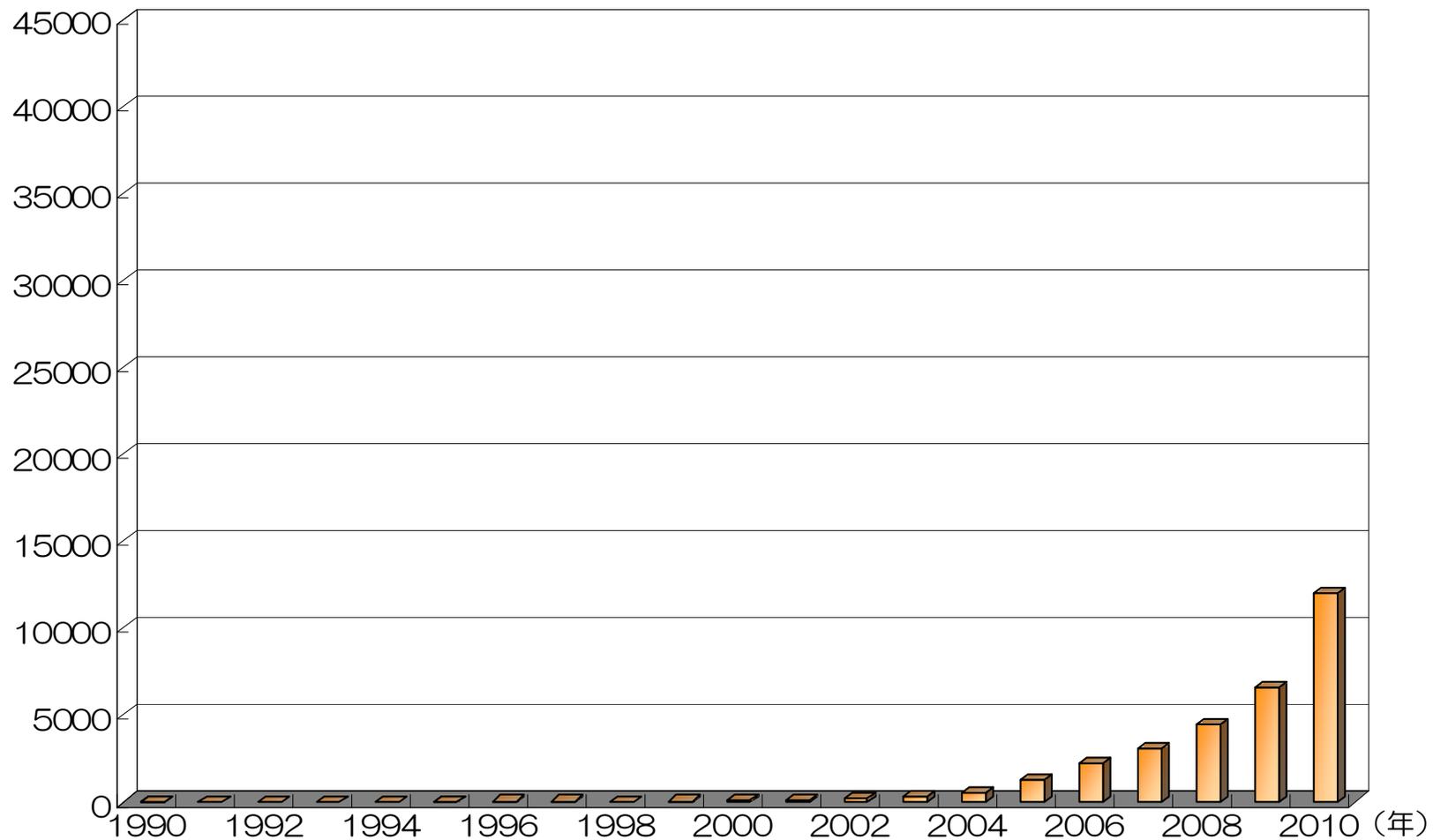


出典：ドイツ環境省 (BMU) 「Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010」より

ドイツにおける発電電力量(太陽光)

＜ドイツにおける太陽光発電の発電電力量＞

(百万kWh)



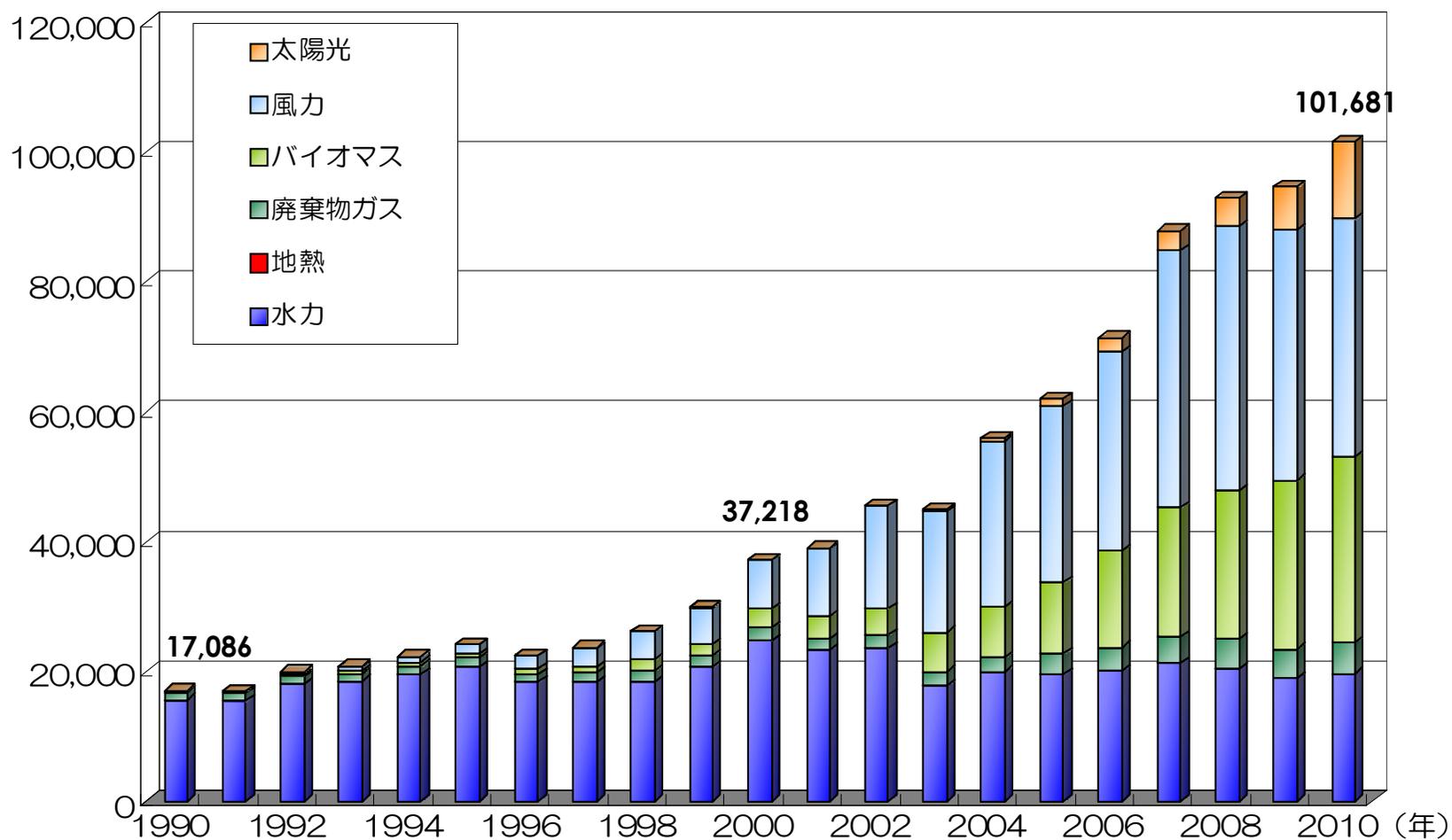
出典：ドイツ環境省 (BMU) 「Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010」 より

ドイツにおける再生可能エネルギーの発電電力量

■ 2000年から2010年にかけて、発電電力量は約2.5倍に拡大

(百万kWh)

【ドイツにおける再生可能エネルギーの発電電力量(電源別)】



出典：ドイツ環境省 (BMU) 「Entwicklung der erneuerbaren Energien in Deutschland im Jahr 2010」より

- 日本の原子力発電は、2800億kWh

(2009年度)

- ドイツの再生可能エネルギー発電

950億kWh

水力を除けば800億kWh

(2009年)

$800 / 2800 \sim 30\%$