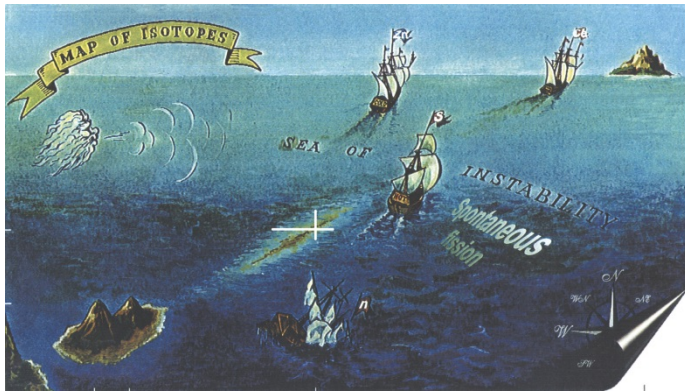


核図表でみる元素の世界



萩野浩一

東北大学大学院理学研究科
物理学専攻
原子核理論研究室

もくじ

1. 下の4つに共通することは何？



2. 金はどうやって作られた？



3. 人類が知っている一番重い元素は何？

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1 Period	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

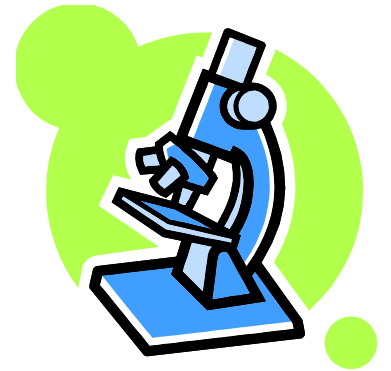
ワン！



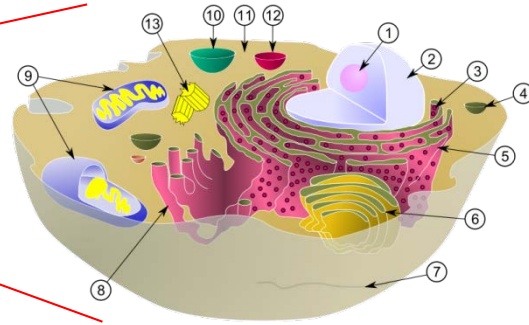
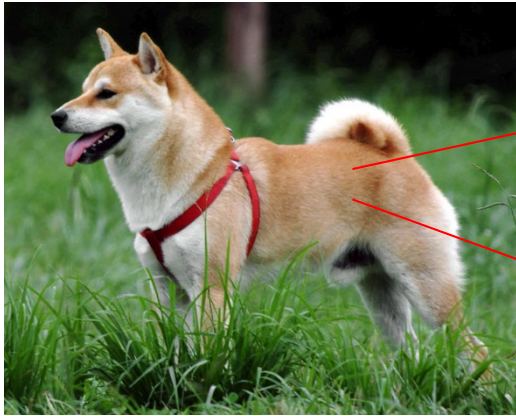


~ 50 cm

拡大してみると?



細胞



~ 50 cm



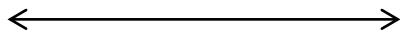
~ $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$



50万倍

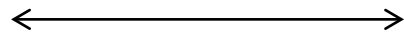
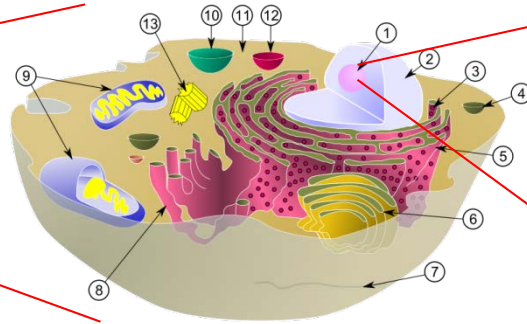
すべての生物(動植物)は細胞が基本単位。
人間の体も約60兆個の細胞でできている。

➤ 生物以外のものも含めると基本単位は何?



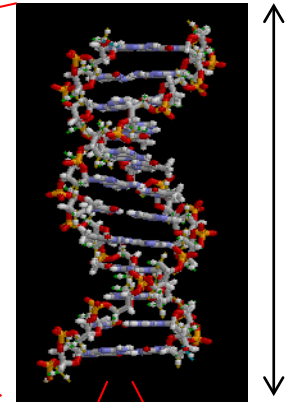
~ 50 cm

細胞



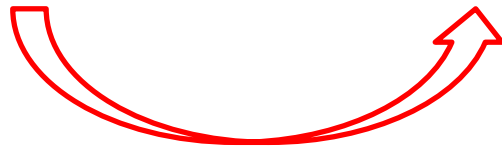
~ $\mu\text{m} = 10^{-6} \text{ m}$

DNA



~ 10^{-8} m

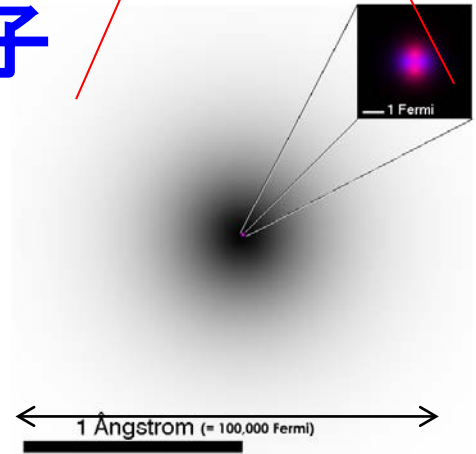
100倍



50万倍

原子

100倍



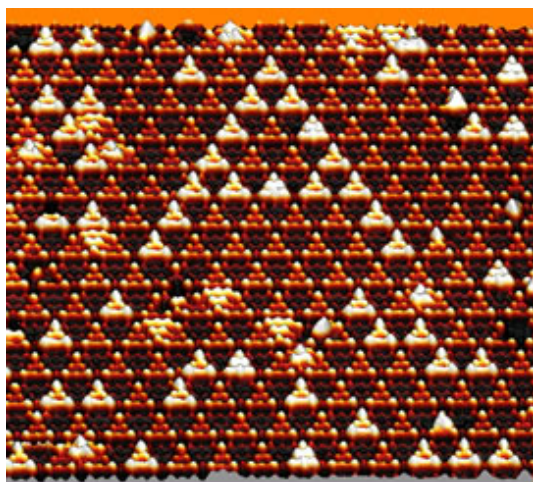
1 Angstrom (= 100,000 Fermi)

~ 10^{-10} m

すべてのものは原子から組み立てられる

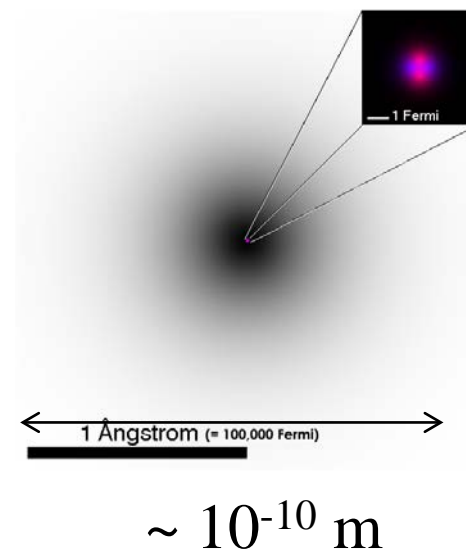


- タレス、デモクリトス(古代ギリシャ)
- ドルトン(19世紀初頭の化学者)
- ボルツマン(19世紀後期)
- アインシュタイン(1905年)



SPMAGI07

走査トンネル顕微鏡
の写真
(東北大学物理学専攻
表面物理研究室)



すべてのものは原子から組み立てられる

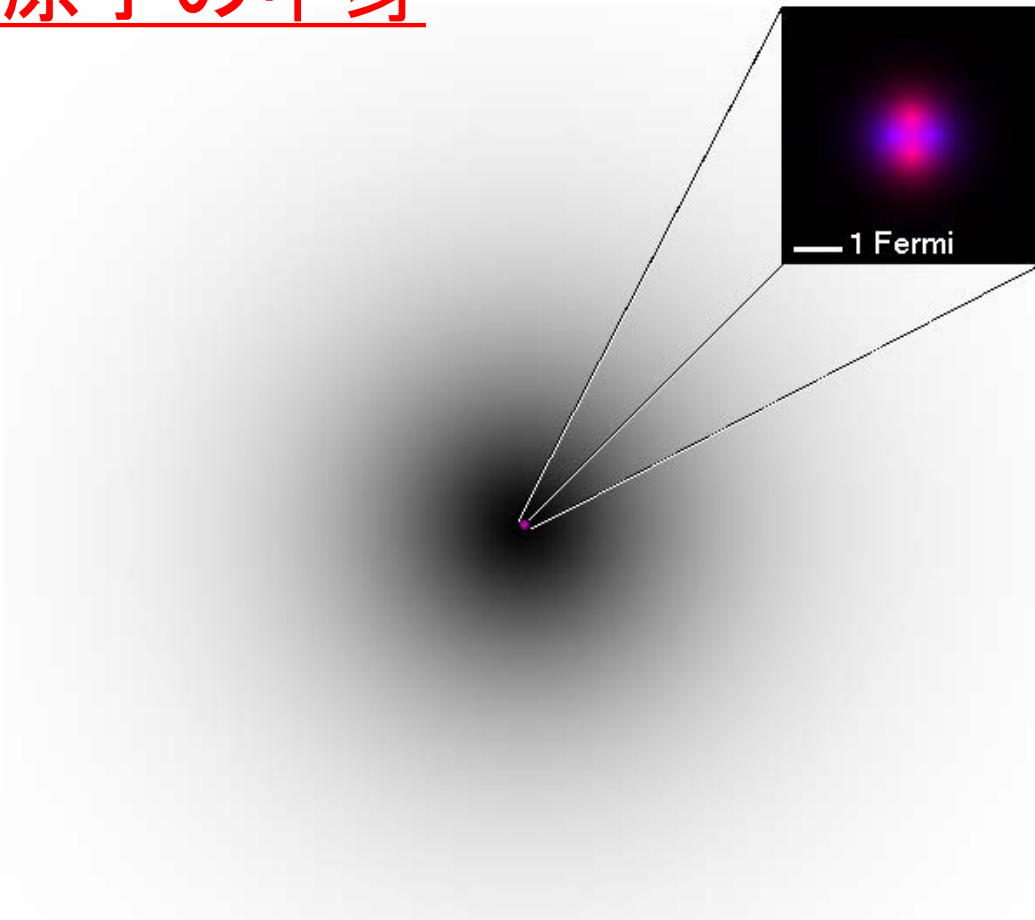
たった一つの文章しか次世代の人間に継承されないとしたら、どんな文章を残せば最小限の言葉で最大限の情報を伝えられるだろうか。その文章とは、「万物は原子から構成されている」である。

(リチャード・ファインマン)



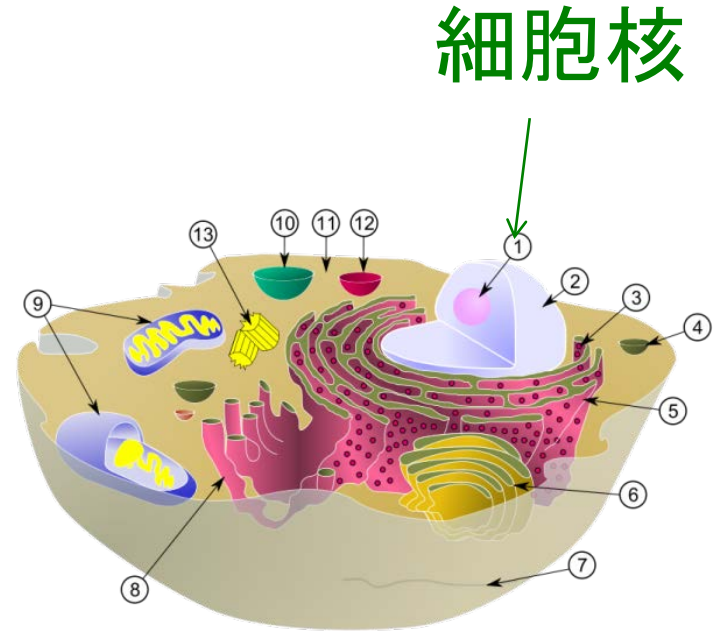
リチャード・ファインマン
(1918-1988)
1965年ノーベル物理学賞
受賞
(写真: The Nobel Foundation)

原子の中身



原子の中身

原子の核(原子核)



(参考)細胞の中身

原子の中身

原子核

陽子 (プラスの電気)

中性子 (電気なし)

10万倍
に拡大

電子の雲
(マイナスの電気)



0.000000000001 m

- 陽子の数 = 電子の数
- 化学的な性質 = 電子の数

元素の周期表

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides				57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides				89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

化学的な性質 (= 電子の数 = 陽子の数) によって
原子を並べたもの = 元素

人の体はどんな元素から出来ている？

酸素 43 kg
炭素 16 kg
水素 7 kg
窒素 1.8 kg
カルシウム 1.0 kg
リン 780 g
カリウム 140 g
硫黄 140 g
ナトリウム 100 g
塩素 95 g
マグネシウム 19 g
鉄 4.2 g
フッ素 2.6 g
亜鉛 2.3 g
ケイ素 1.0 g
ルビジウム 0.68 g
ストロンチウム 0.32 g
臭素 0.26 g
鉛 0.12 g
銅 72 mg
アルミニウム 60 mg
カドミウム 50 mg

セリウム 40 mg
バリウム 22 mg
ヨウ素 20 mg
スズ 20 mg
チタン 20 mg
ホウ素 18 mg
ニッケル 15 mg
セレン 15 mg
クロム 14 mg
マンガン 12 mg
ヒ素 7 mg
リチウム 7 mg
セシウム 6 mg
水銀 6 mg
ゲルマニウム 5 mg
モリブデン 5 mg
コバルト 3 mg
アンチモン 2 mg
銀 2 mg
ニオブ 1.5 mg
ジルコニウム 1 mg
ランタン 0.8 mg

ガリウム 0.7 mg
テルル 0.7 mg
イットリウム 0.6 mg
ビスマス 0.5 mg
タリウム 0.5 mg
インジウム 0.4 mg
金 0.2 mg
スカンジウム 0.2 mg
タンタル 0.2 mg
バナジウム 0.11 mg
トリウム 0.1 mg
ウラン 0.1 mg
サマリウム 50 µg
ベリリウム 36 µg
タングステン 20 µg



John Emsley,
“The Elements”,
3rd ed. Clarendon Press,
Oxford, 1998

元素の周期表

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn

周期的に同じ性質を持つ元素が並ぶ
(メンデレーエフ 1869年)

→ 未知の原子の性質が予言できる

ガリウムの発見 (1874年)

ゲルマニウムの発見 (1879年)

元素の周期表

Group → ↓ Period	1	2										11	12	13	14	15	16	17	18	
1	1 H																			2 He
2	3 Li	4 Be										5 B	6 C	7 N	8 O	9 F				10 Ne
3	11 Na	12 Mg										13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl				18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br			36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I			54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At			86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus			118 Uuo
	Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu				
	Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr				

最も重い元素は何？

Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr

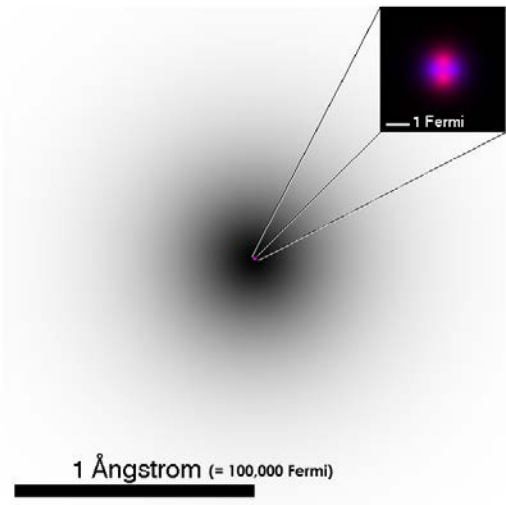
最も重い元素は何？

自然界にある元素： プルトニウムPu (Z=94) → 極微量存在
ウランU (Z=92)

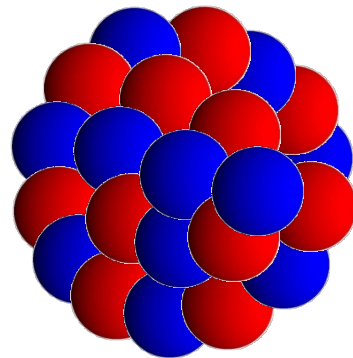
何が最も重い元素の番号を決めているのか？

原子核

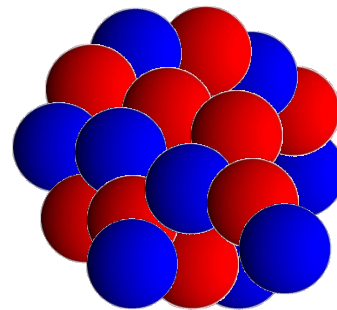
重い原子核 → 電氣的反発力が大



↓
α粒子を出して安定になる

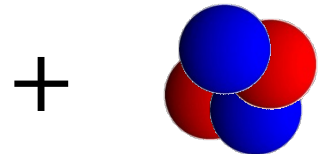


(Z,N)



(Z-2,N-2)

⁴He 原子核
= α 粒子



+

(Z=2,N=2)

重い原子核の寿命

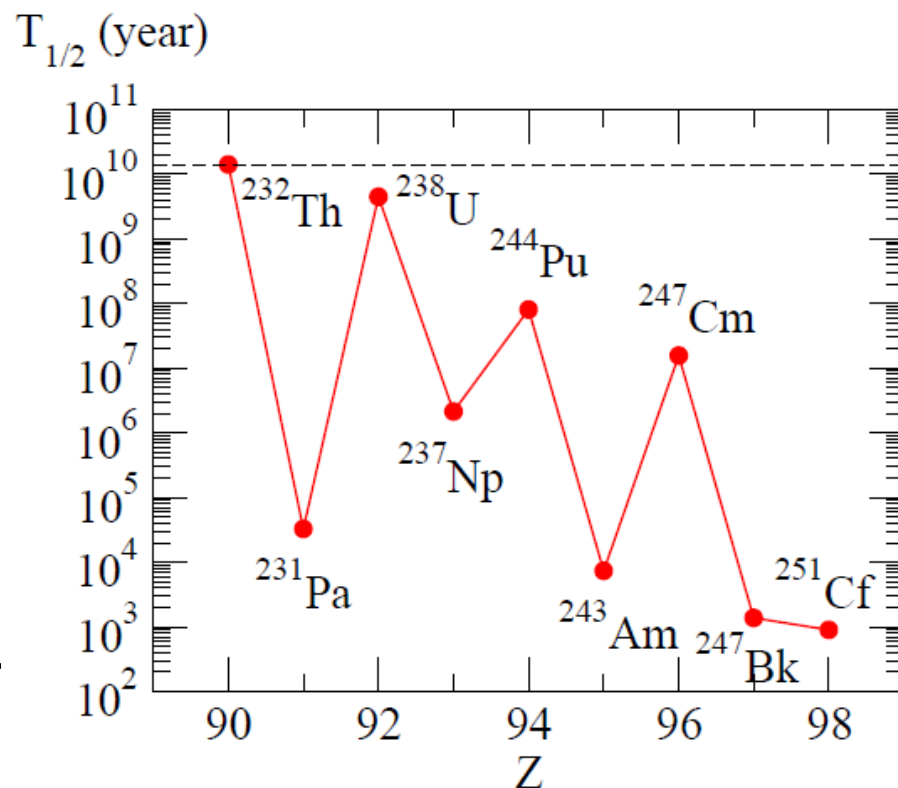
^{232}Th 140.5 億年

^{238}U 44.7 億年

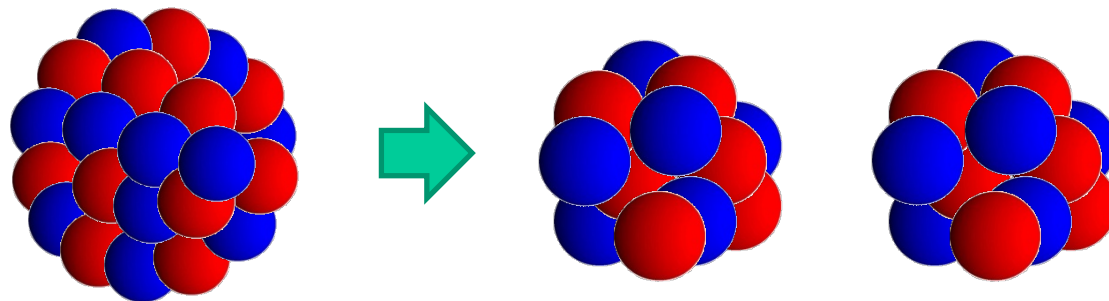
^{244}Pu 8000 万年

^{247}Cm 1560 万年

(参考) 宇宙の年齢: 137 億年
地球の年齢: 45.4 億年



* もっと重い原子核は核分裂で壊れることも:

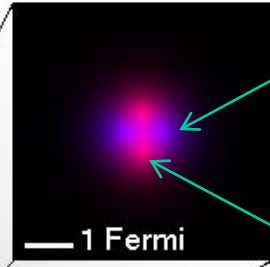


原子の中身

原子核

陽子 (プラスの電気)

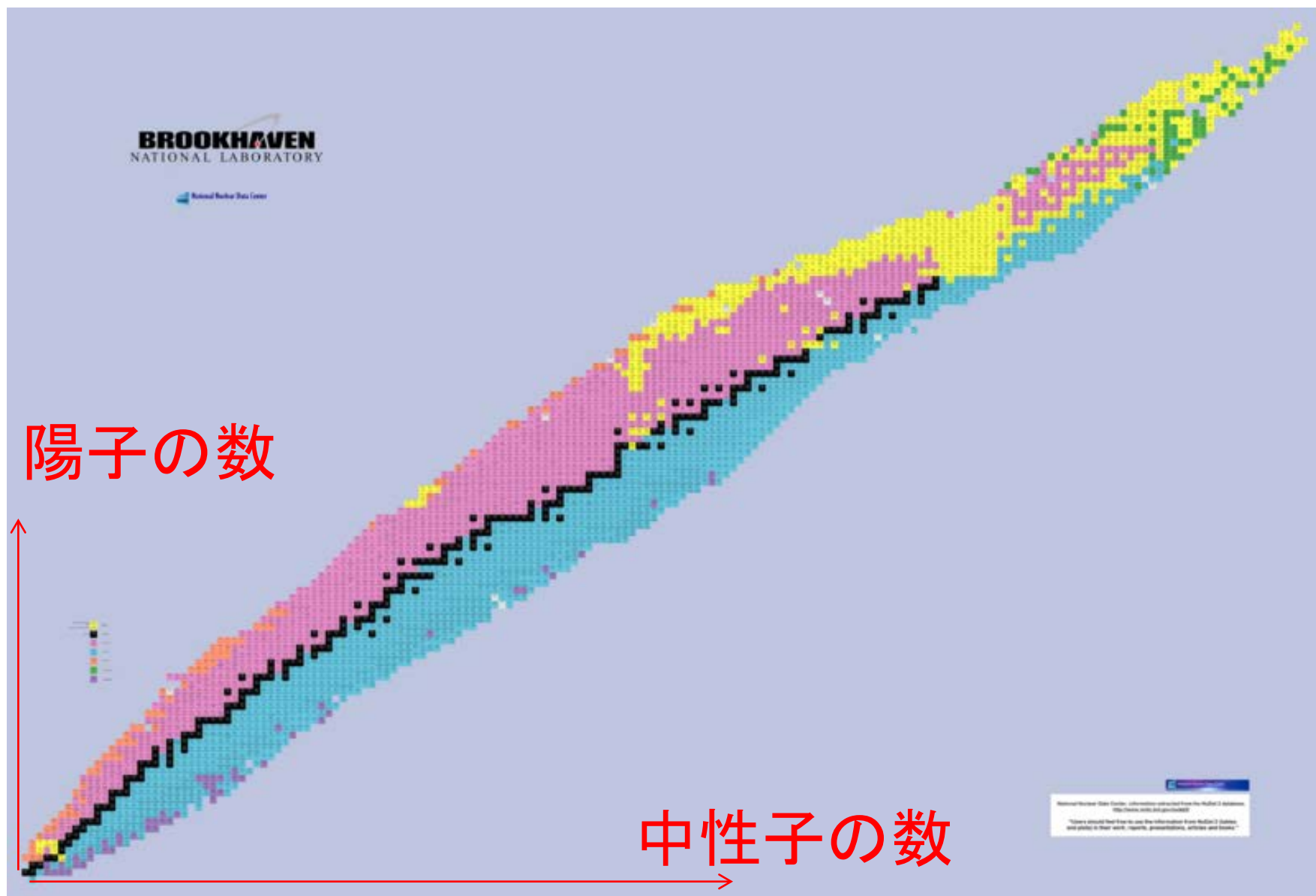
中性子 (電気なし)



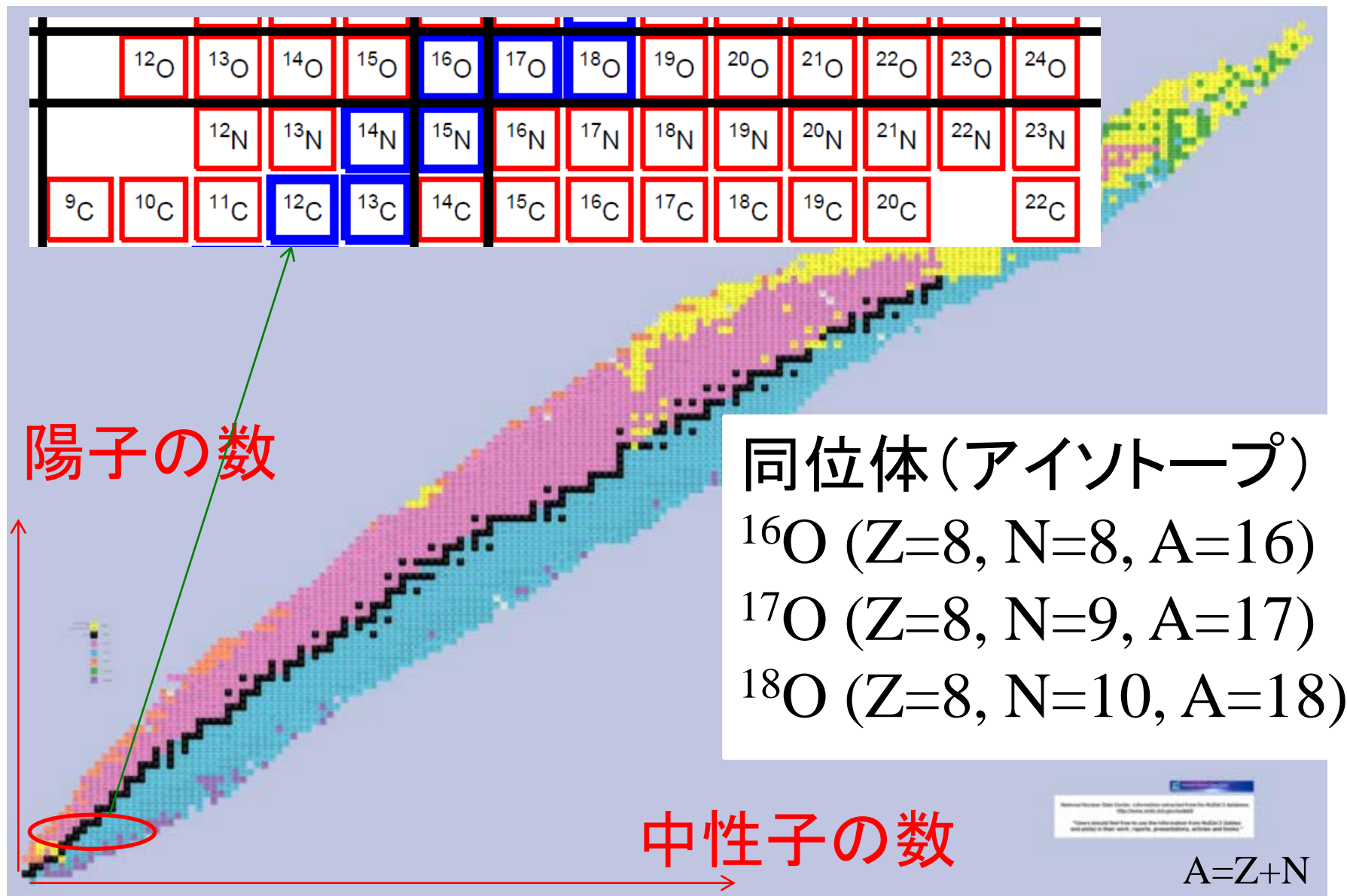
Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
↓ Period																		
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

← 中性子は?

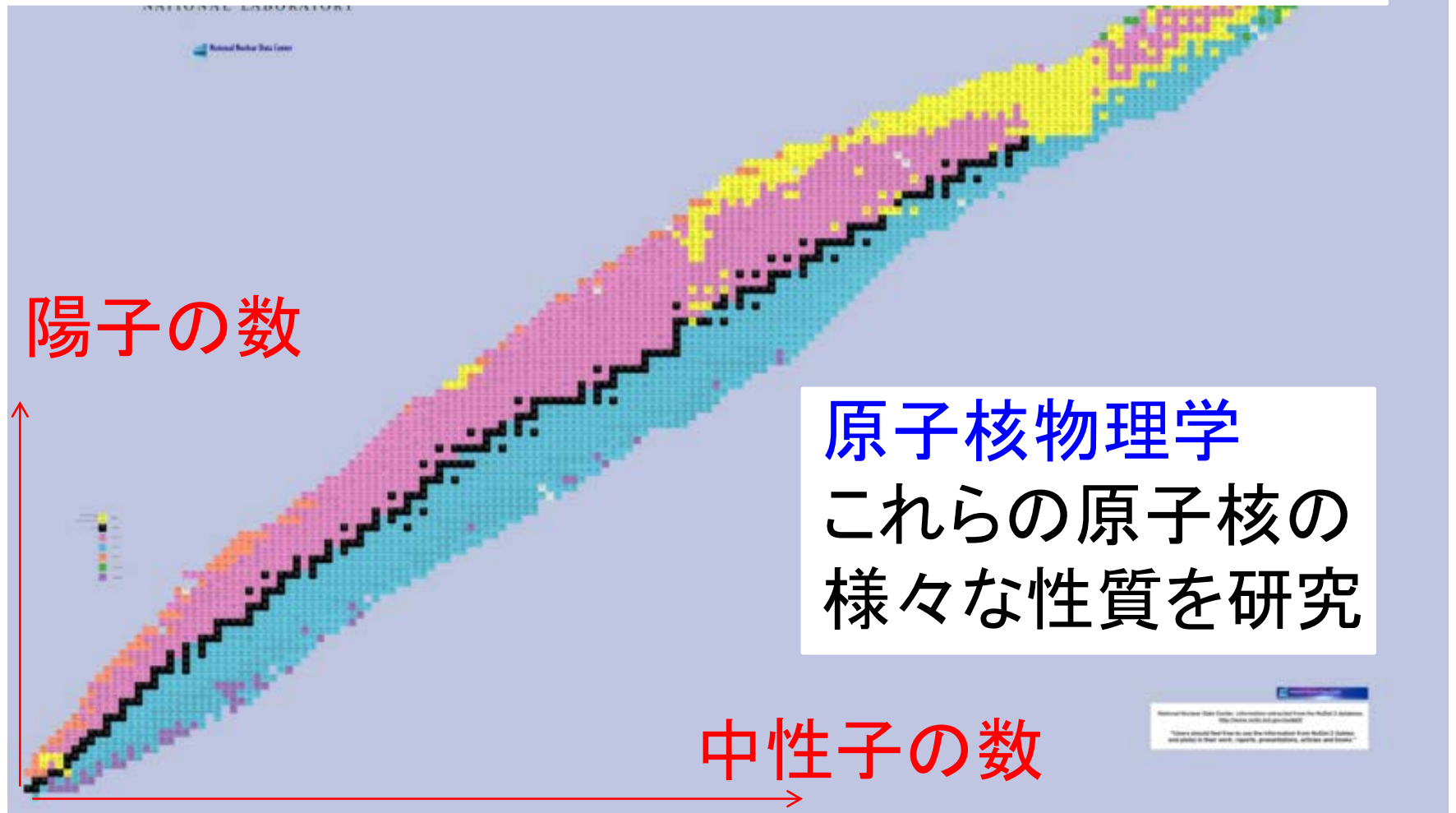
核図表：原子核の地図



核図表：原子核の地図

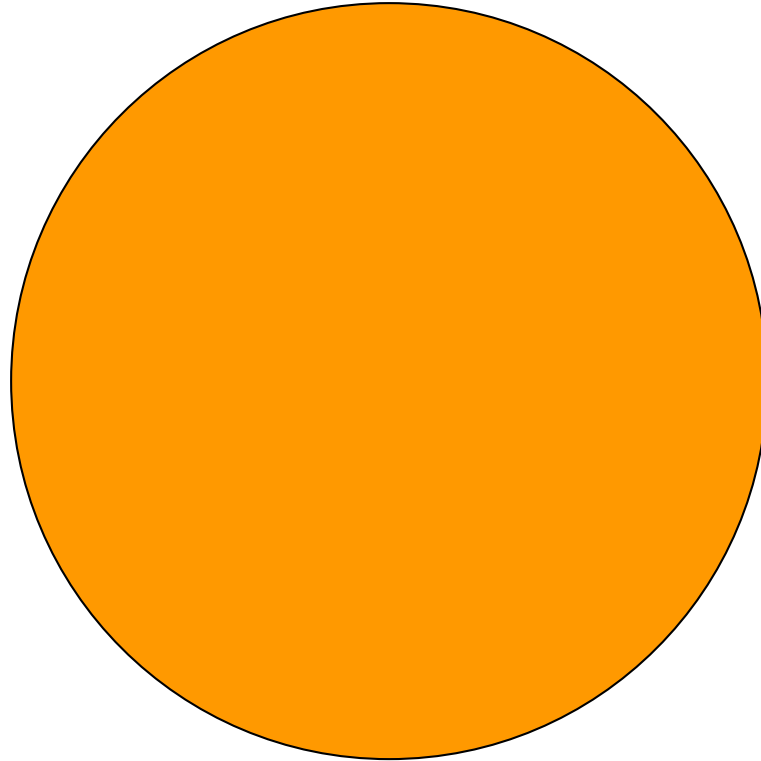


- ・自然界にある安定な原子核：287種
- ・これまで人工的に作られた原子核：約3,000種
- ・理論上存在が予想される原子核：約10,000種



原子核物理学で研究していることの例

➤ 原子核はどのような形をしているの？

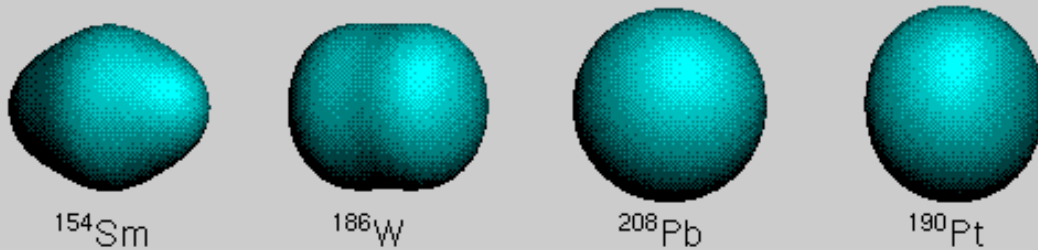


原子核はまん丸？

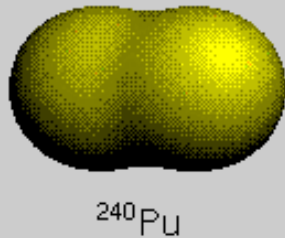
原子核物理学で研究していることの例

➤原子核はどのような形をしているの？

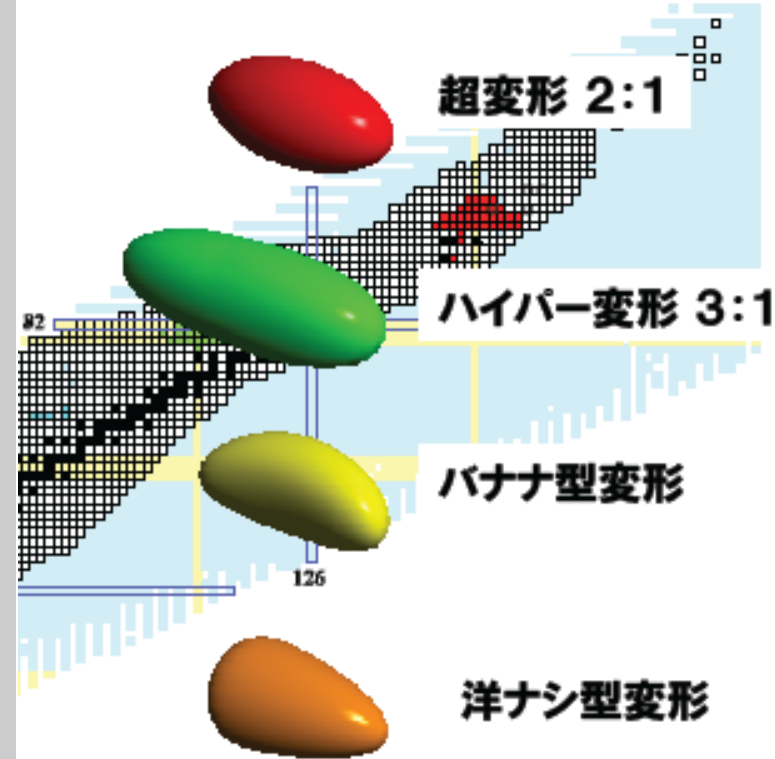
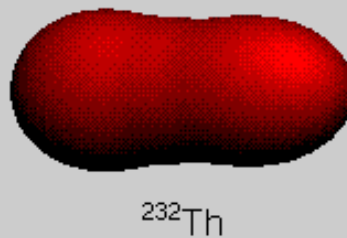
Nuclear ground-state shapes



Isomeric shape



Mass-asymmetric saddle-point shape



<http://t2.lanl.gov/tour/sch001.html>

原子核は陽子と中性子の組み合わせの仕方によって様々な形をとり得る！

元素はどのように出来たのか？

→ 宇宙でうまれた

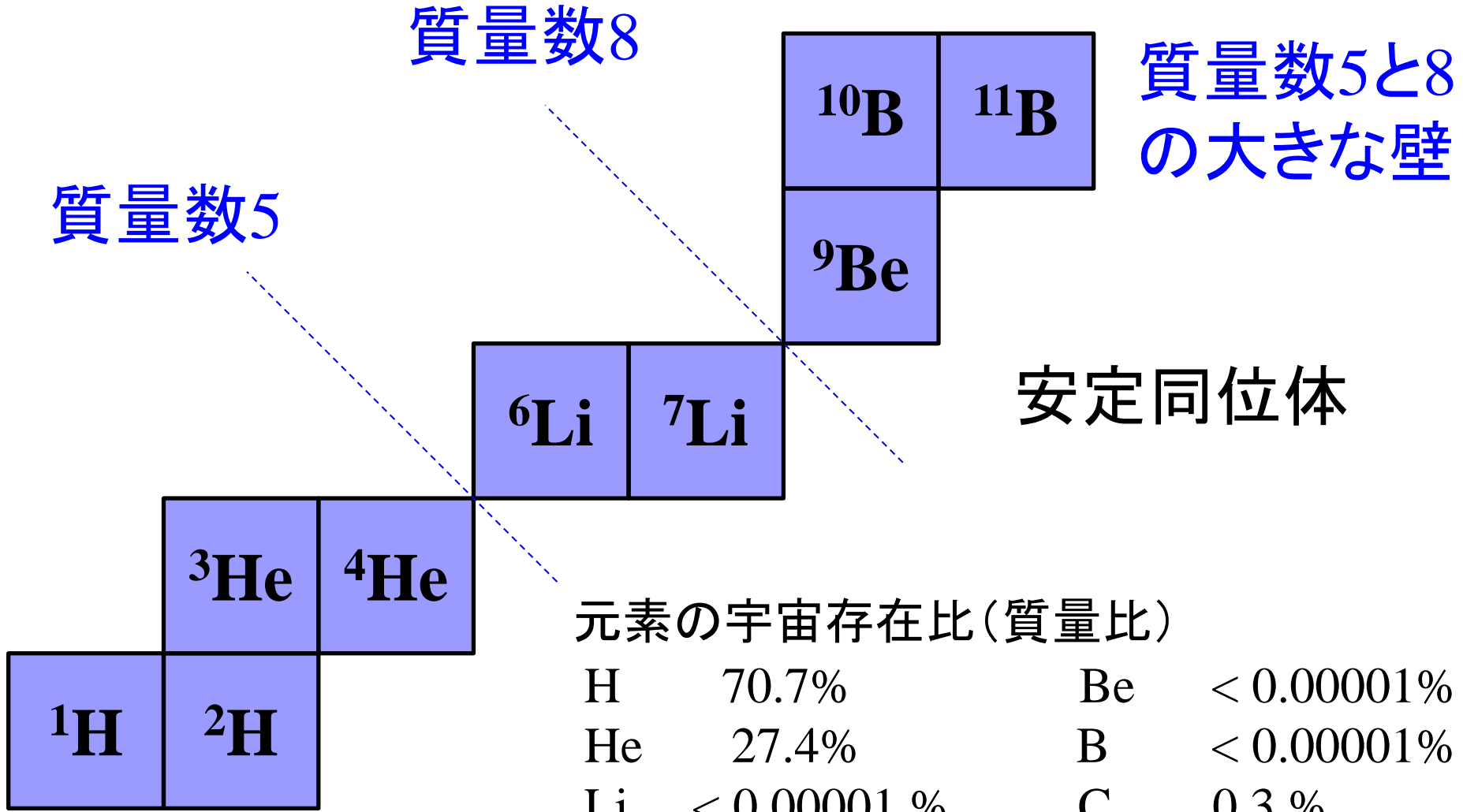


ビッグバン
(137億年前)



Li

Liがほんのちよつとしか
 できなかったわけ



元素の宇宙存在比(質量比)

H	70.7%	Be	< 0.00001%
He	27.4%	B	< 0.00001%
Li	< 0.00001 %	C	0.3 %

元素はどのように出来たのか？

→ 宇宙でうまれた



ビッグバン
(137億年前)



Li

元素はどのように出来たのか？

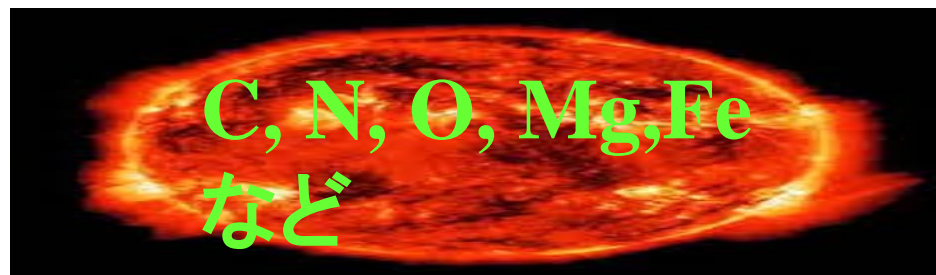
Feまでの元素の起源



(大質量)星の内部での核融合反応
→ 恒星が光っているもと

元素はどのように出来たのか？

Feまでの元素の起源



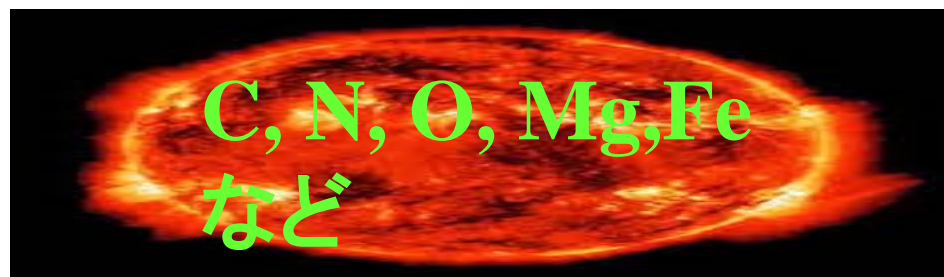
(大質量)星の内部での核融合反応
————→ 恒星が光っているもと

- Feまでは発熱反応
- Feから先は吸熱反応

————→ 核融合は鉄(Fe)で止まる

鉄より重い元素(例えば鉛など)は
どのように出来たのか？

(ちょっとその前に) 星の一生について



(大質量) 星の内部での核融合反応



核融合の燃料がなくなると

- ✓ 重力により縮む
- ✓ 耐えられなくなると爆発
(超新星爆発)



O

Mg

Ti



N

Ca



Fe

C



Li

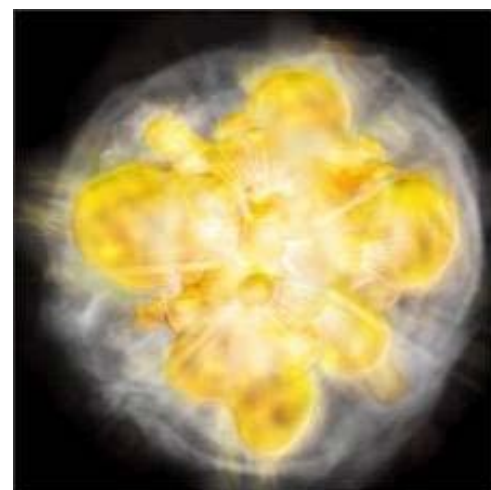
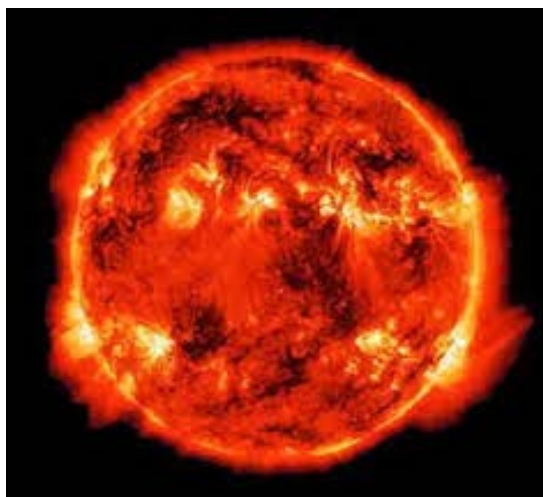
Si



He

超新星爆発により
元素が宇宙空間に
ばらまかれる

サイクルのくりかえし



星間ガス

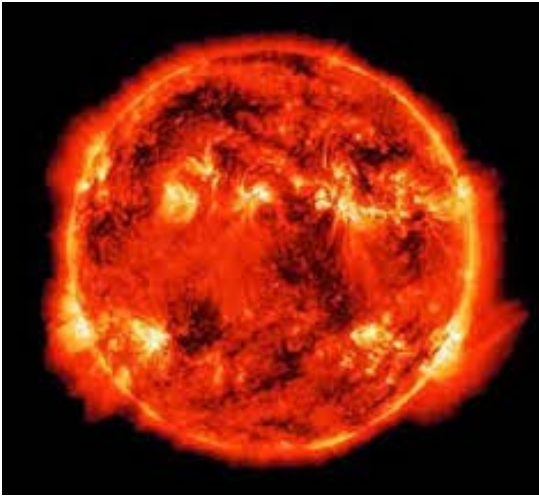
星の形成

超新星爆発



元素はどのように出来たのか？

中性子の吸収

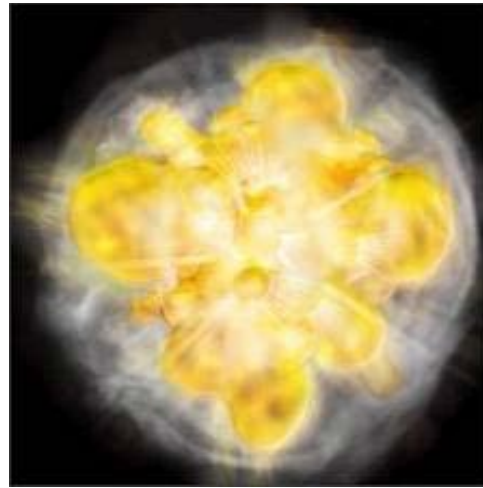


赤色巨星



s-プロセス

Ba, La, Pb, Bi など



超新星爆発



r-プロセス

Th, Eu, U など



* 最近では
中性子星
の合体説も。



金やウランがどうやって出来たのか
は実はあまりよくわかっていない。

ビッグバン 137億年前



~90種類の
重元素蓄積
46億年前



生命の誕生と進化

最初の星の形成: 誕生から2億年



量子力学(りょうしりきがく)

物質は波の性質と粒子の性質の両方を持っている

電子: 粒子
ド・ブロイ波

電磁波: 波
光子

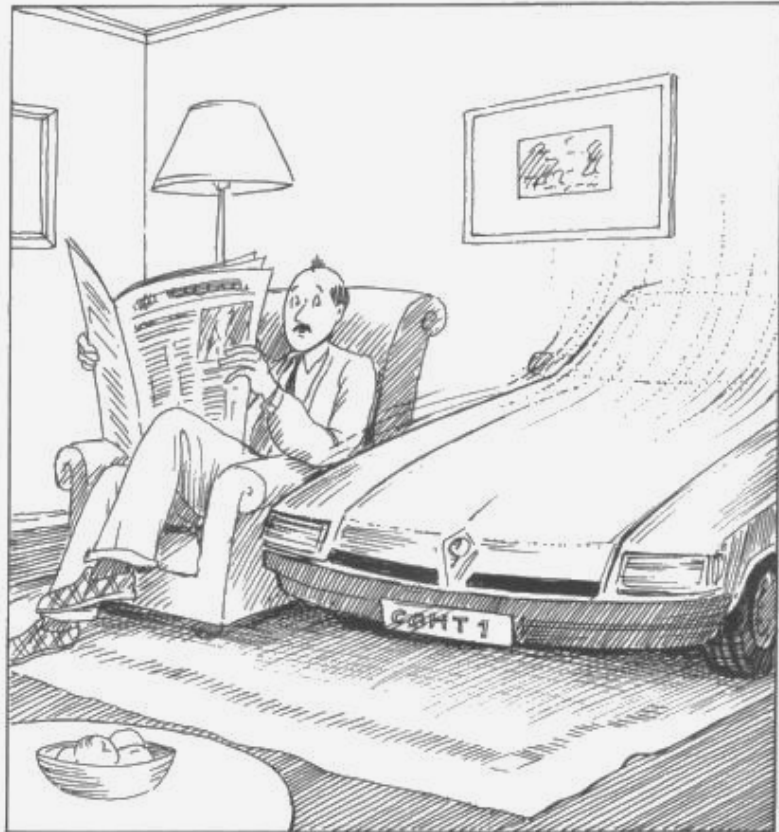
ハイゼンベルクの不確定性原理

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq 10^{-34} \quad \text{J s}$$

位置と運動量を同時に決める
ことはできない

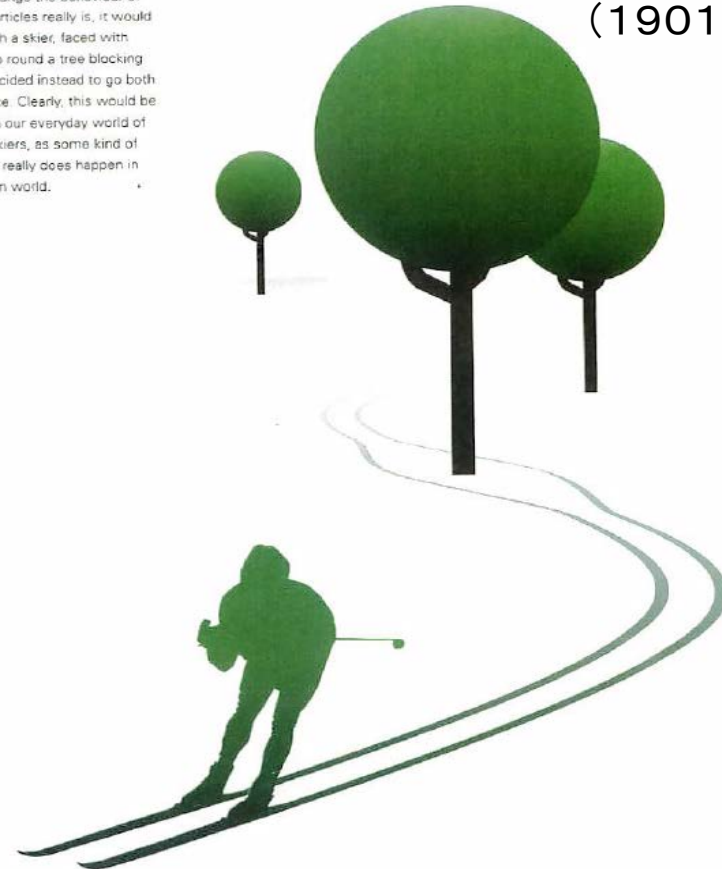


ハイゼンベルク
(1901~1976)



What if his car leaked out of its locked garage?

just how strange the behaviour of quantum particles really is, it would be as though a skier, faced with having to go round a tree blocking his path, decided instead to go both ways at once. Clearly, this would be regarded, in our everyday world of trees and skiers, as some kind of hoax. But it really does happen in the quantum world.



ハイゼンベルクの不確定性原理

$$\Delta p \cdot \Delta x \geq 10^{-34} \quad \text{J s}$$

位置と運動量を同時に決めることはできない

....もし $\Delta p \cdot \Delta x \geq 10 \quad \text{J s}$ だったら.....



ハイゼンベルク
(1901~1976)



What if his car leaked out of its locked garage?

車が壁をすり抜ける!?



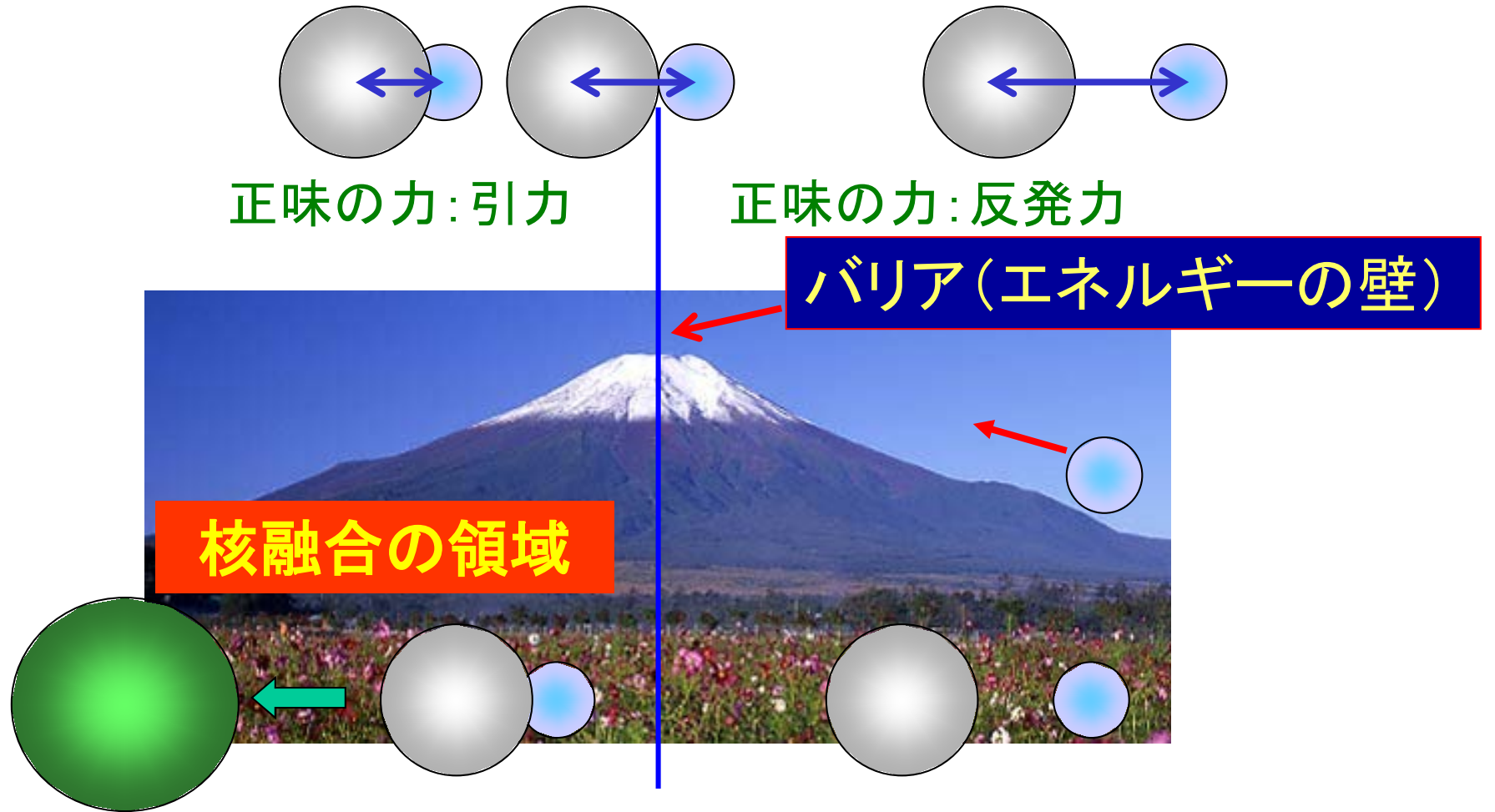
実際には電子や原子核のように質量が軽い場合のみトンネル現象が起きる

電子の質量: 約 10^{-27} g

陽子の質量: 約 10^{-24} g

星の中での核融合反応

強い力(引力) vs 電磁力(反発力)



原子核を勢いよくぶつけるとバリアを乗り越えて核融合が起きる



原子核を勢いよくぶつけるとバリアを乗り越えて核融合が起きる

...しかし、星(太陽)の中では「勢い」(エネルギー)が足りない

→ 「量子トンネル現象」で星は輝いている

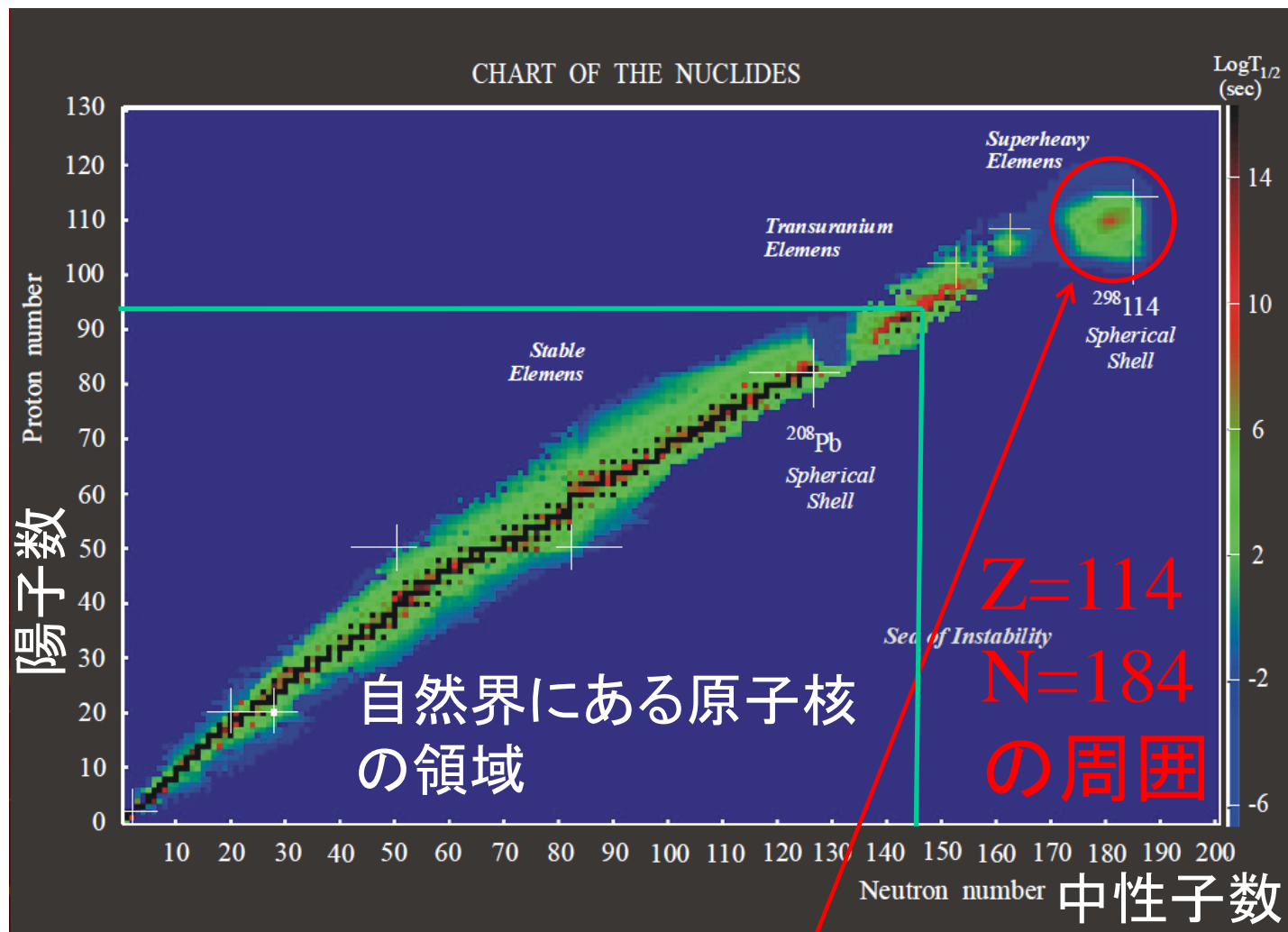


ジャック・デュケノワ著「おばけパーティー」より

超重元素(超重原子核)

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

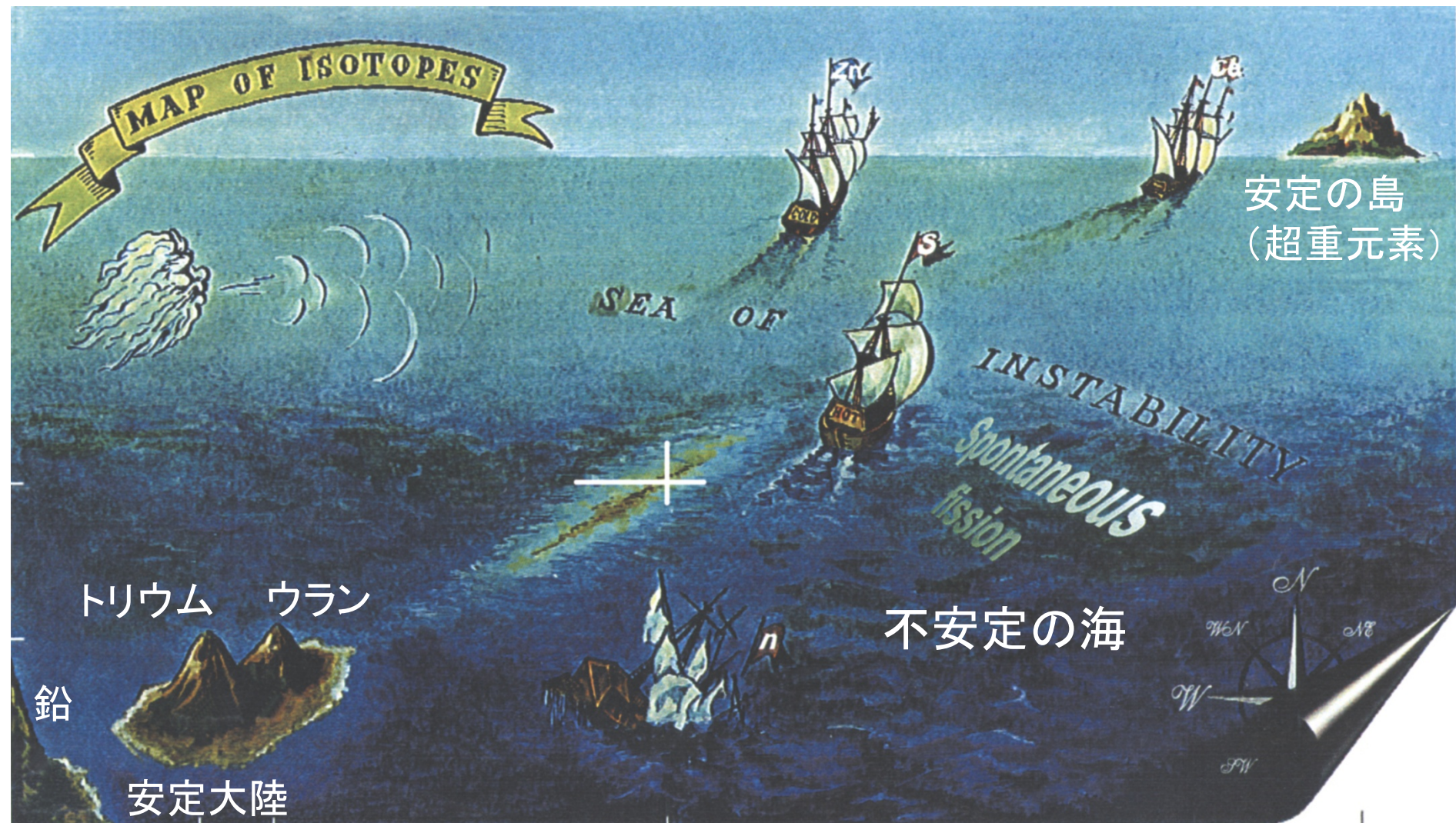
超重元素(超重原子核)



Yuri Oganessian

原子核の安定領域の理論的予言
(1966年: スビアテッキら)

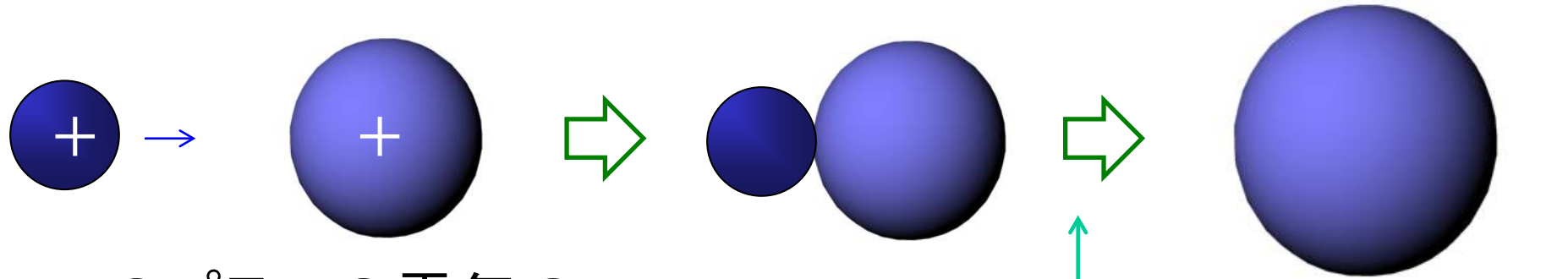
安定の島(超重元素)を目指して



Yuri Oganessian

どのように超重元素(=人工元素)を作る?

核融合反応(例えば $^{70}\text{Zn} + ^{209}\text{Bi} \rightarrow ^{279}113$ 反応)

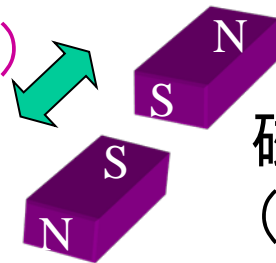


2つのプラスの電気の
固まりは反発



加速器を使って勢いよく
近づける

(参考)



磁石

(SとS、NとNは反発)

強い相互作用
(核力)核子を
くっつける力

(湯川秀樹によって説明)

大きな
原子核

これまでに到達した超重元素

87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
----------	----------	--	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	-----------	------------	-----------	------------	-----------	------------	------------

Z=110	ダームスタチウム(Ds)	1994	ドイツ
Z=111	レントゲニウム (Rg)	1994	ドイツ
Z=112	コペルニシウム (Cn)	1996	ドイツ
Z=113	名無し	2003	露 / 2004 日本
Z=114	フレロビウム (Fl)	1999	ロシア(露)
Z=115	名無し	2003	ロシア
Z=116	リバモリウム (Lv)	2000	ロシア
Z=117	名無し	2010	ロシア
Z=118	名無し	2002	ロシア

*いずれも安定の島は未確認

新元素の名前

IUPAC/IUPAP 合同作業部会で新元素の認定
→ 発見者に命名権が与えられる



I U P A C

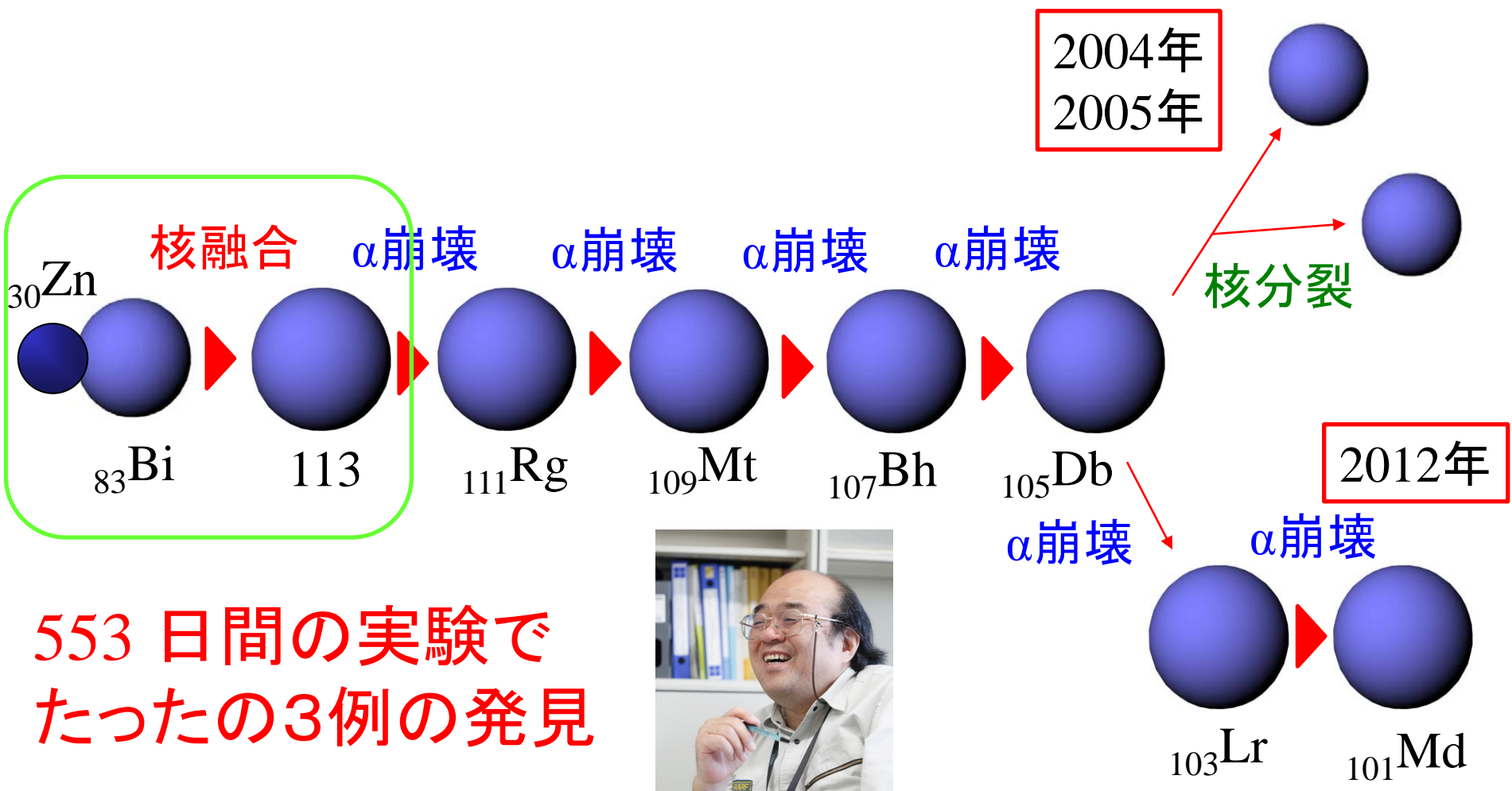


IUPAC = 国際純正・応用化学連合

IUPAP = 国際純正・応用物理学連合

化学や物理の世界の国連

新元素113番 (理化学研究所・九大 森田浩介博士)



553 日間の実験で
たったの3例の発見



112~114番元素

	発見	認定
112:コペルニシウム (Cn)	1996 ドイツ	2011
113:名無し	2003 露 / 2004 日	未
114:フレロビウム (Fl)	1999 ロシア	2011

ロシア:「熱い」タイプの核融合反応

出来る量は比較的多いが、出来たかどうかの判定がやや難しい

日本:「冷たい」タイプの核融合反応

出来る量は少ないが、出来たかどうか確実

113番元素: IUPAC/IUPAP 合同作業部会で審議中
日本に命名権がくるといいのですが。。。。

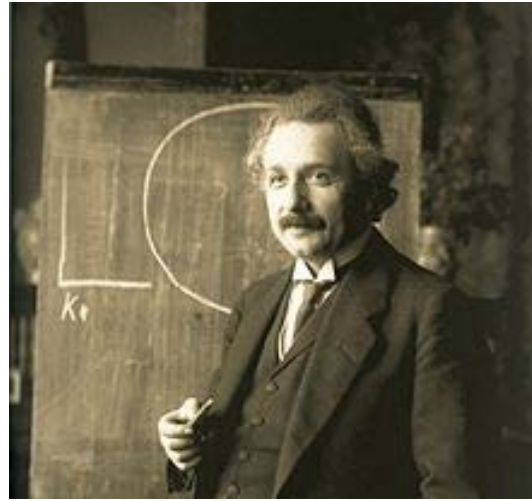
超重元素の化学

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sq	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

- 超重元素を周期表のここに置けるの？
- つまり、Lv は O, S, Se, Te, Poなどと同じ性質？

相対論的効果：原子番号の大きい元素で重要

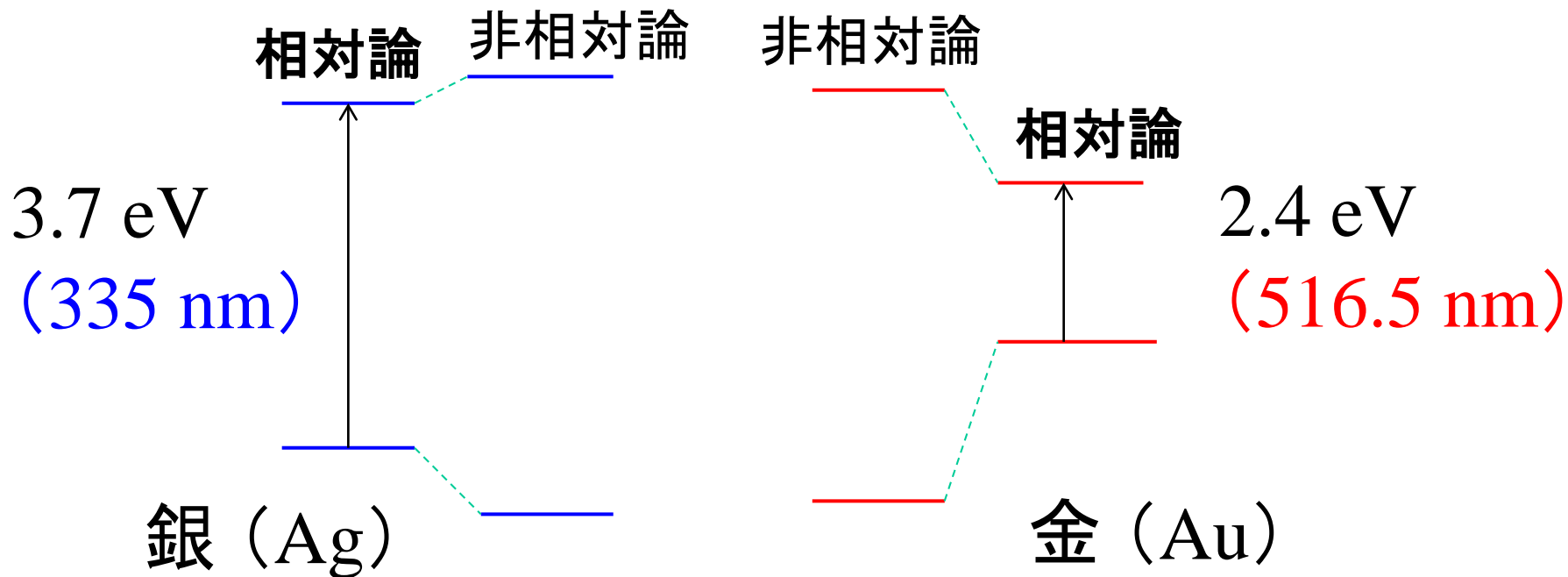
$$E = mc^2$$



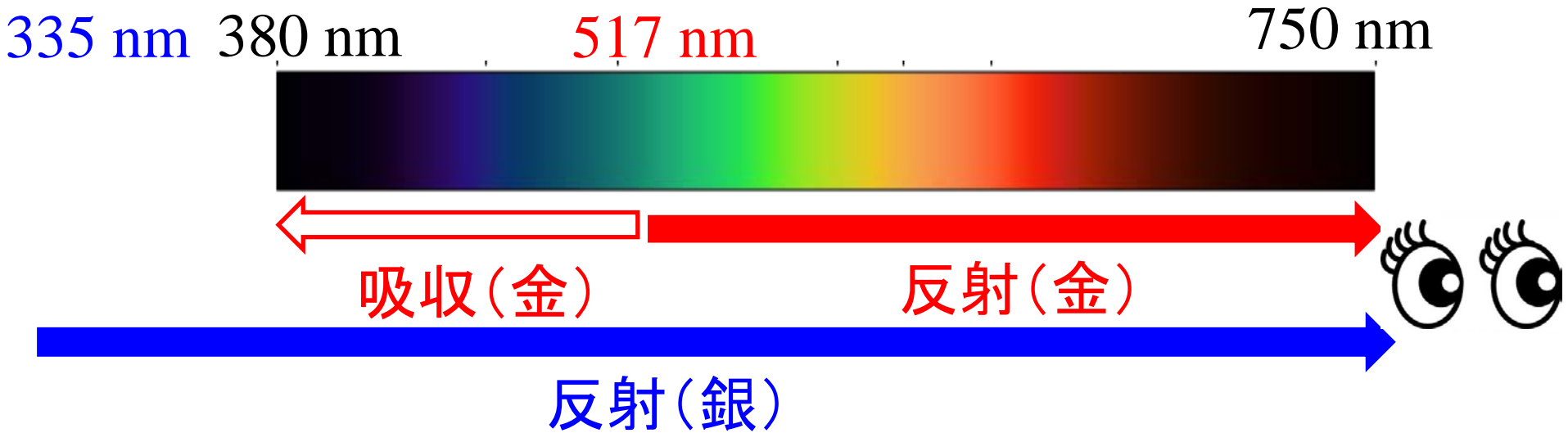
ディラック方程式(相対論的量子力学)を解くと、
原子中の電子のエネルギーは、

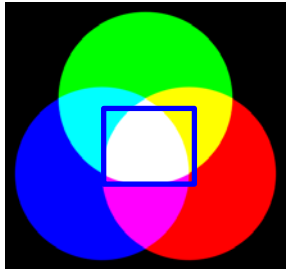
$$E_{1S} = mc^2 \sqrt{1 - (Z\alpha)^2} \sim mc^2 \left(1 - \frac{(Z\alpha)^2}{2} - \frac{(Z\alpha)^4}{8} + \dots \right)$$

相対論的効果



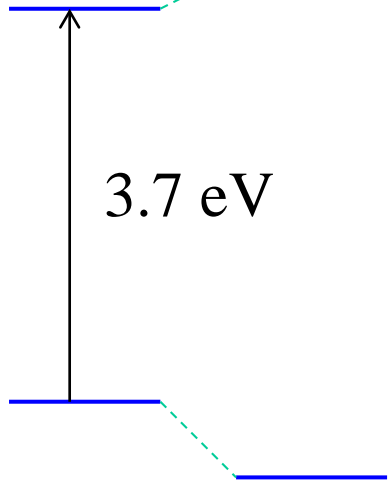
可視光



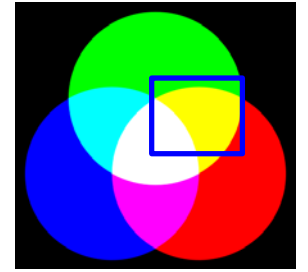
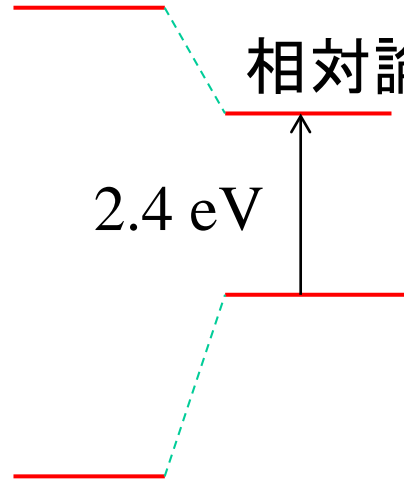


光の
吸収なし

相対論 非相対論



非相対論



青色の光
が吸収

相対論



銀

47番元素



金

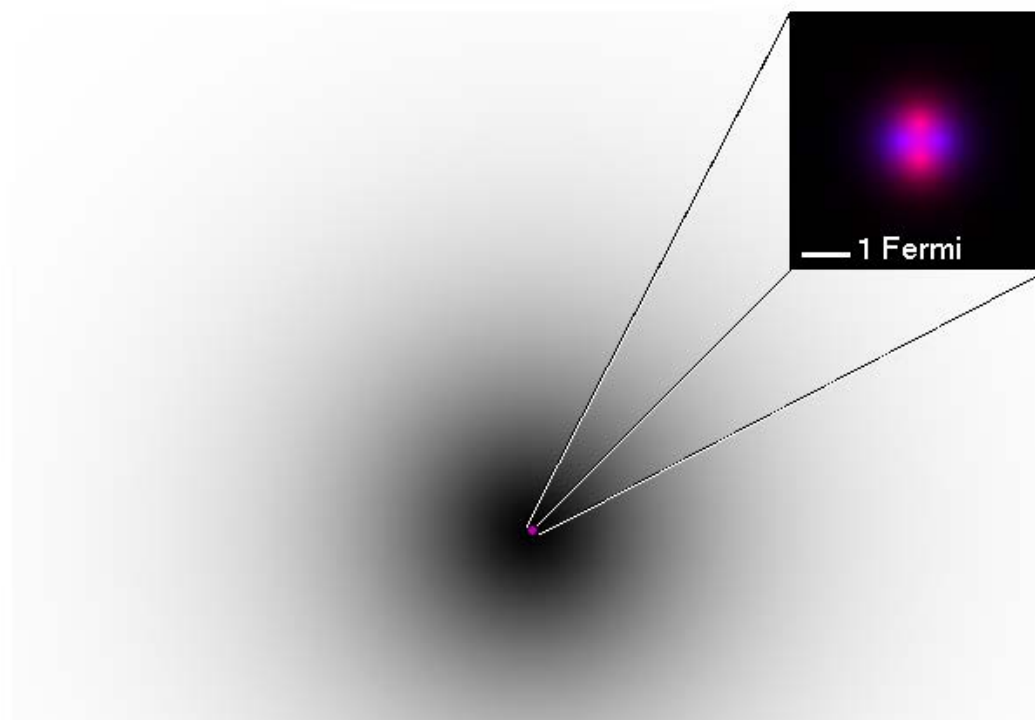
79番元素

超重元素の化学

Group → ↓ Period	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sq	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Uut	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo
Lanthanides	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu			
Actinides	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr			

相対論的効果で超重元素の場所が
どのように変わるのか? → 未解決の謎

まとめ



原子核

小さな小さな原子核が元素にとっては大きな役割

- 自然界にある最も重い元素
- 元素の起源・星が燃えている理由
- 超重元素

* 東北大学サイエンスカフェ「新元素113番のはなし」

Youtube で見れます

1. 下の4つに共通することは何？



2. 金はどうやって作られた？



すべて原子からできている。

原子核による中性子の吸収。でも完全にはわかっていない。

3. 人類が知っている一番重い元素は何？

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba		72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra		104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Uup	116 Lv	117 Uus	118 Uuo

118番元素。日本で作られたのは113番元素。

ご清聴ありがとうございました。