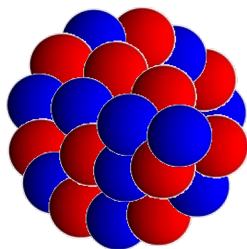
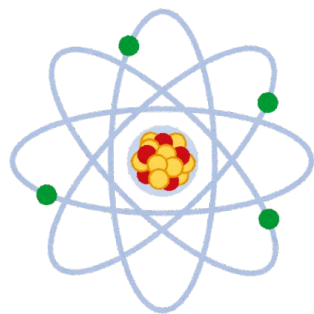


原子核からみる元素たちのファミリーヒストリー ～宇宙における元素合成と量子力学、そしてニホニウム～



萩野浩一

京都大学大学院理学研究科



1. 原子核って何?
2. 元素について
3. 元素のファミリーヒストリー
4. ニホニウムのこと
5. まとめ



簡単な自己紹介

名前: 萩野浩一 (はぎのこういち)

生まれ: 宮城県仙台市

(両親が仙台市出身、
先祖は宮城県北の築館)

育ち: 神奈川県平塚市、
北海道札幌市、
千葉県銚子市

祖母は福島市曾根田
の生まれ

略歴: ・市立銚子高校
→東北大学理学部(学部、大学院)
・ワシントン大学(研究員)
・京都大学基礎研助手 (2000-2004)
・東北大学理学部准教授 (2004-2019)
・京都大学理学部教授 (2019-)



専門: 原子核理論
二ホニウムとも関連した
研究をしています

原子核って何？

すべての「もの」は原子からできている：現代科学の世界観



原子核って何？

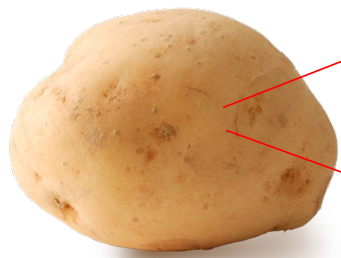
すべての「もの」は原子からできている

原子核は原子の「核」

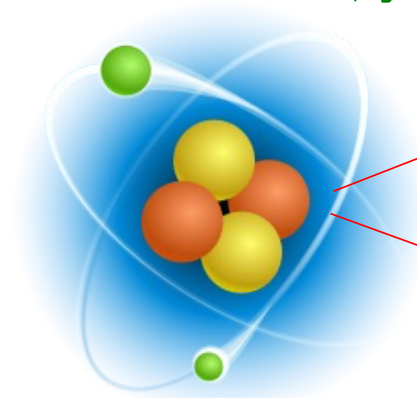
原子核

←今日の主人公

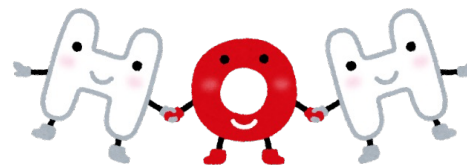
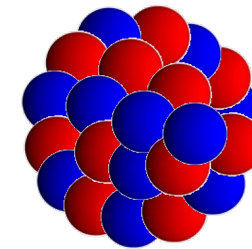
原子



10億倍



10万倍



水 = H_2O も

● 陽子 (ようし)

● 中性子 (ちゅうせいし)

の2種類の粒子から
出来ています

原子核って何？

原子核の大きさはどのくらい？



原子核は原子の約10万分の1の大きさ



湯川秀樹

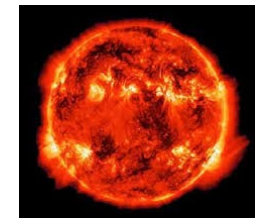
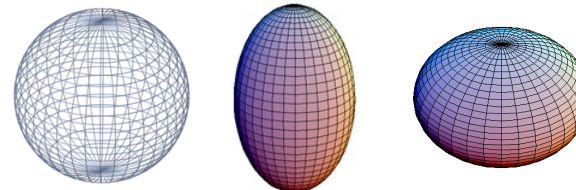
どうして陽子や中性子をこんな小さいところに閉じ込めておけるのか？



小さくても面白い原子核

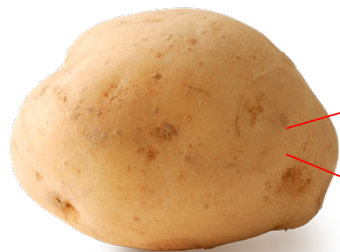
いろいろな形

核融合反応

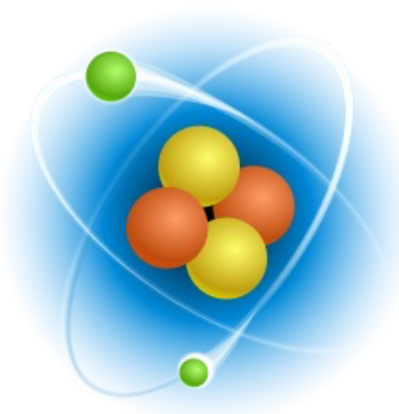


星が光ってるわけ

元素について



100億倍



原子

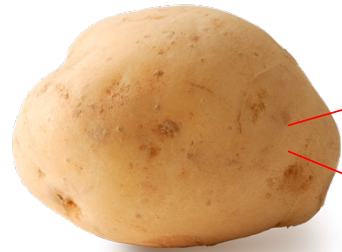
原子にもいろいろな種類 = 元素

- 水素(すいそ) H
- 酸素(さんそ) O
- 炭素(たんそ) C
- カルシウム Ca
- マグネシウム Mg
- 硫黄(いおう) S

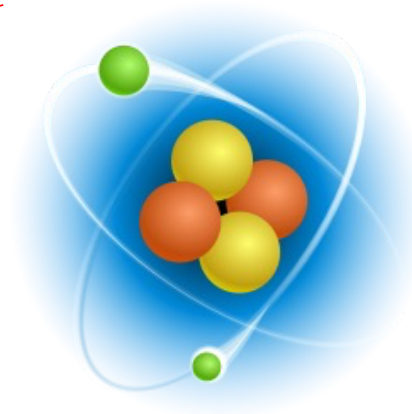
地球上にある原子は
約90種類

など。

元素について



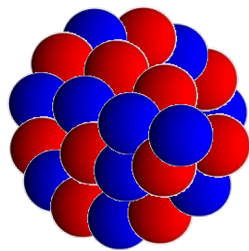
100億倍



原子

原子にもいろいろな種類 = 元素

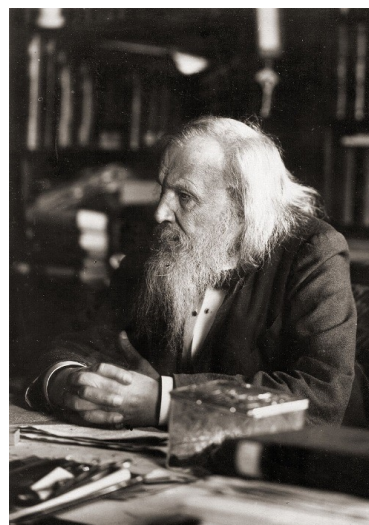
元素の成り立ちを決めている
のは原子核！



原子核は普通のエネルギーでは壊れない
→基本的に出来たままの姿(太古の姿)
を保っている

*これが錬金術が失敗した理由

元素の周期表

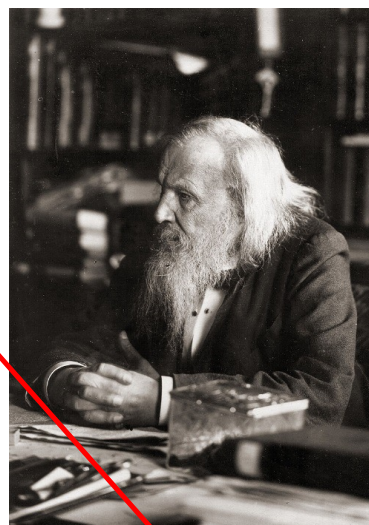


メンデレーエフ
(1834-1907)

Group	1	2	3	4	5	6	7		2	13	14	15	16	17	18			
Period 1	1 H														2 He			
Period 2	3 Li	4 Be								5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
Period 3	11 Na	12 Mg								13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
Period 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
Period 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
Period 6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	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
Period 7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 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		
			* 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		

元素の周期表

ニホニウム
(113番元素)



メンデレーエフ
(1834-1907)

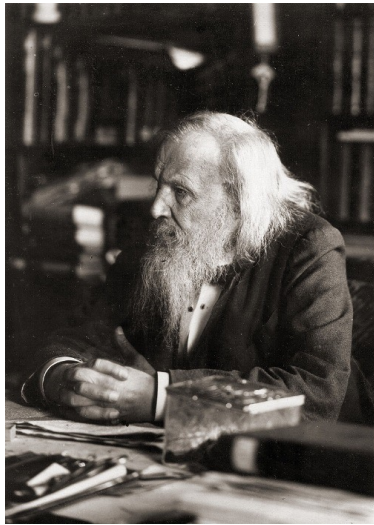
Group	1	2	3	4	5	6	7		2	13	14	15	16	17	18			
Period 1	1 H														2 He			
Period 2	3 Li	4 Be								5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne			
Period 3	11 Na	12 Mg								13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar			
Period 4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
Period 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
Period 6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	* 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
Period 7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	* 104 Rf	* 105 Db	* 106 Sg	* 107 Bh	* 108 Hs	* 109 Mt	* 110 Ds	* 111 Rg	* 112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 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		
			* 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		



ニホニウム命名記念式典(平成29年(2017年)3月14日、日本学士院)

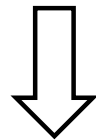
皇太子殿下(当時):「高校2年生の時の化学の夏休みの宿題は元素の周期表を30枚以上手書きで書くというものでした。」

(少し余談) メンデレーエフの子孫がもしかしたら日本に?



メンデレーエフ
(1834-1907)

メンデレーエフの息子
ウラジミール



- ✓ ロシア海軍の軍人
- ✓ 1891年ころ長崎に滞在

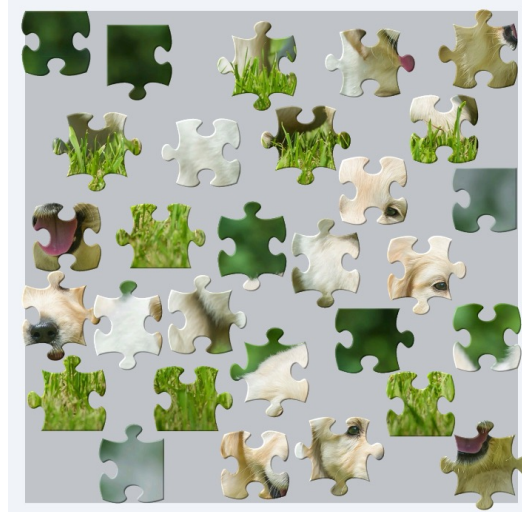


秀島タカとフジ
ウラジミールの
奥さんと娘(?)

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	* 71 Lu	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	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 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		
			* 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		



元素と原子の違い



ジグソーパズルをばらばら
にするとピースになる
←これが「原子」

ピースにもいろいろな種類 ←これが「元素」



角(つの)0型



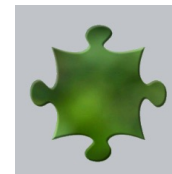
角1型



角2型



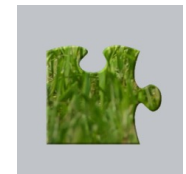
角3型



角4型



はじ型



かど型

元素と原子の違い

パズルのピース

角0型



角1型



角2型



など

原子

水素元素

酸素元素

炭素元素

など

動物

哺乳類



鳥類



魚類



両生類



など

元素と原子の違い

ところで: 同じ「角2型」でも2種類ある(「はじ型」や「かど型」も何種類か)

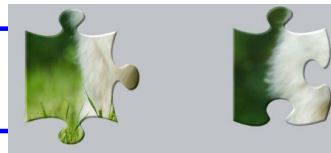


パズルのピース

角2型



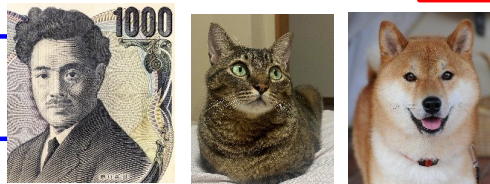
はじ型



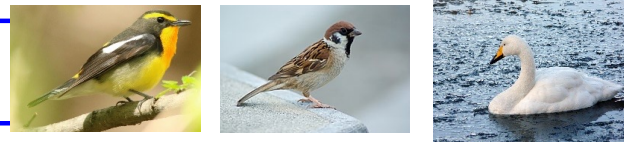
など

動物

哺乳類

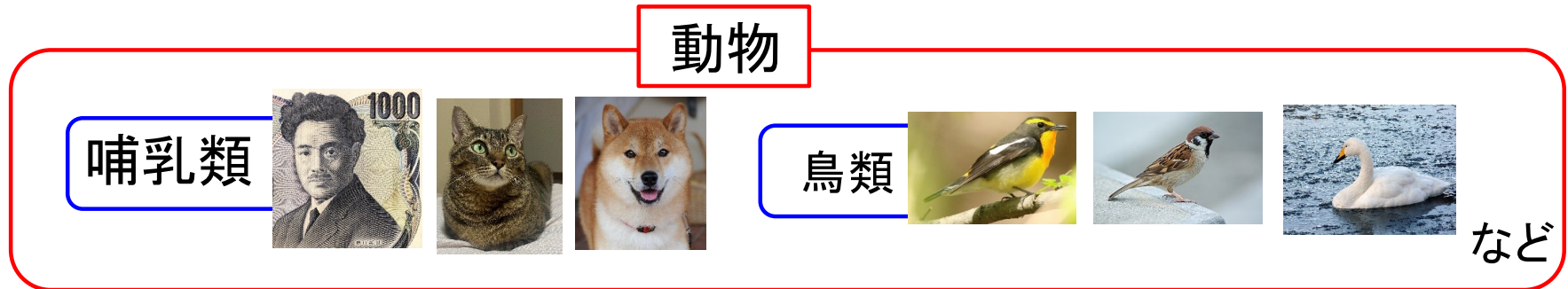


鳥類

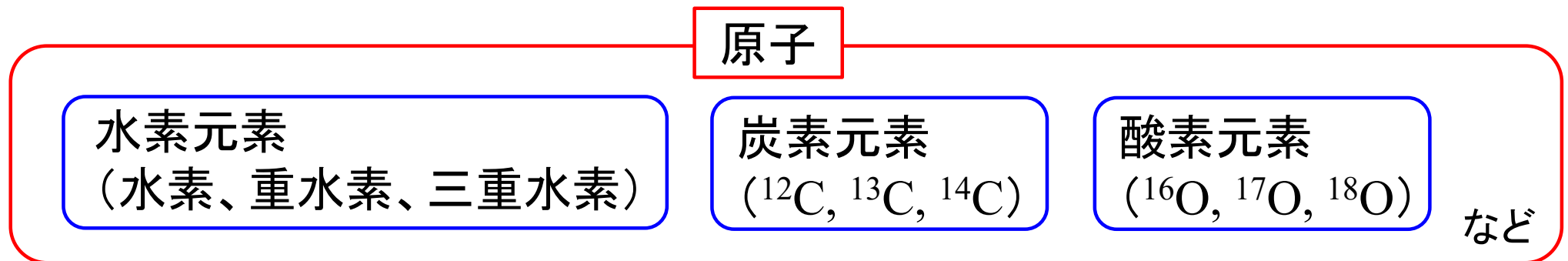


など

元素と原子の違い



同じように、おなじ「元素」でも何種類か→「同位体(アイソトープ)」



原子核物理学の最先端: それぞれの元素で何個同位体があるのか?

元素のファミリーヒストリー

元素はすべて宇宙で生まれた



ビッグバン
(138億年前)



Li





「知ろうとすること。」
早野龍五、糸井重里 著
新潮文庫

「僕たちの体の中の水素は138億歳。

つまり、ビッグバンの時にできた水素
が巡り巡って僕たちの体の中にある。」

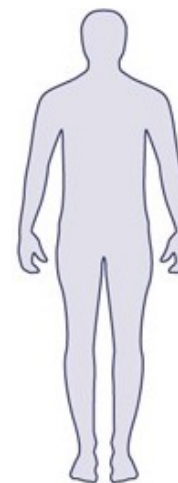
元素で考えると、この会場内の全員が138億歳。

体重70キログラム

酸素 43 kg

炭素 16 kg

水素 7 kg



鉄までの元素はどのように出来たのか？

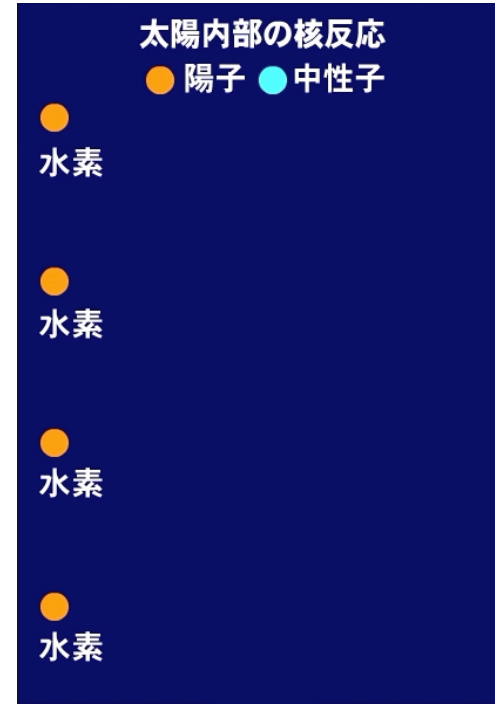
鉄までの元素の起源



(大質量)星の内部での核融合反応
→ 恒星が光っているもと



Wikipedia

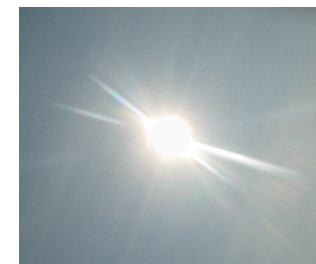


国立科学博物館

<https://www.kahaku.go.jp/exhibitions/vm/resource/tenmon/space/sun/sun01.html>

太陽が輝いているわけ: 太陽の中で陽子と陽子が核融合することで熱が発生

量子トンネル現象と天体現象



陽子は+の電気を持つので、陽子と陽子は反発

→勢いをつけてぶつけないと核融合が起きない(エネルギーの壁がある)



太陽の中でエネルギーの壁を乗り越えるには**1億2千度**以上の高温が必要

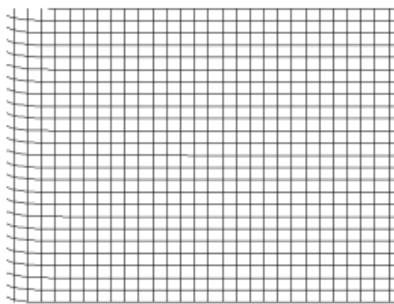
→ 実際には、太陽の中心温度は **1500 万度**

太陽が燃えない!!



量子トンネル現象!

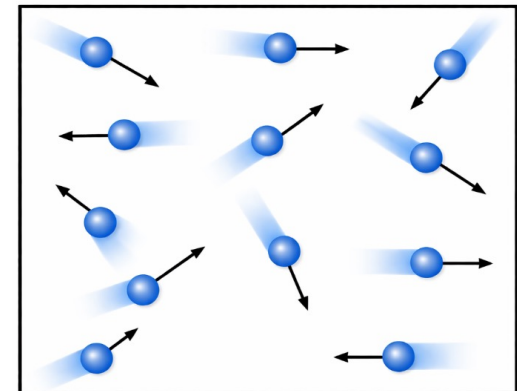
物質は波の性質と粒子の性質の両方を持っている



Wikipedia

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

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

位置と運動量を同時に決める
ことはできない

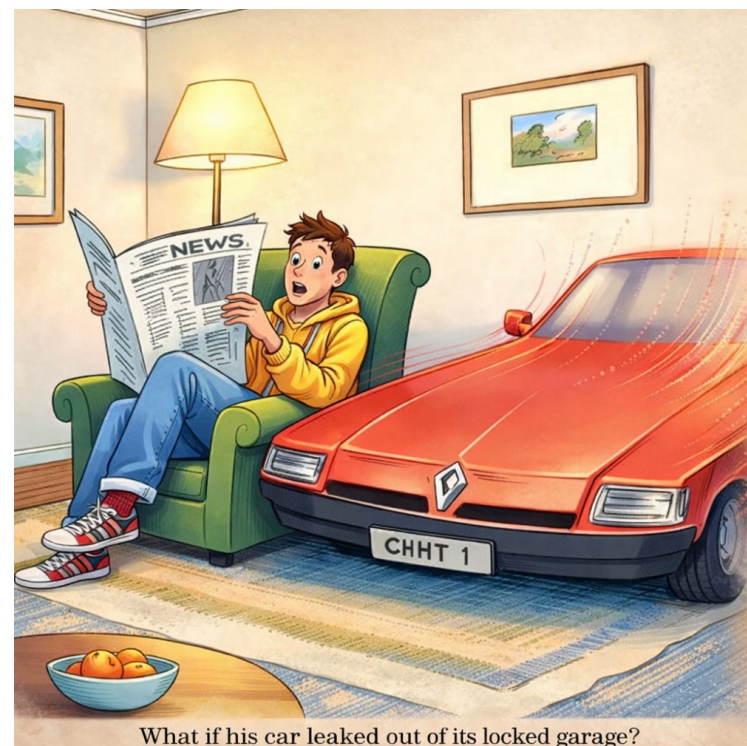


ハイゼンベルク
(1901~1976)



量子スキーヤー

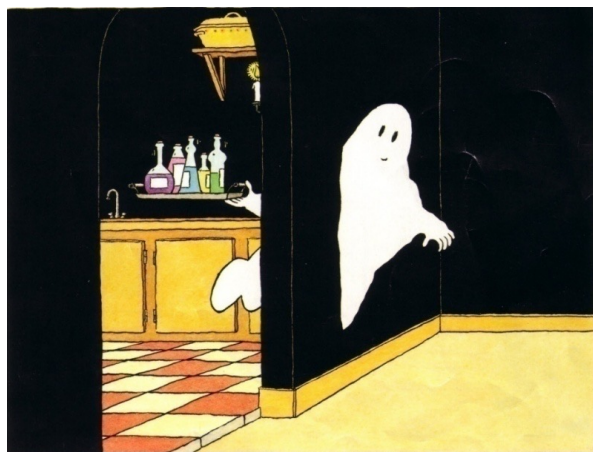
もし $\Delta p \cdot \Delta x \geq 10 \text{ J s}$
だったら.....



車が壁をすり抜ける!?

→実際には質量が軽いときのみ起きる

量子トンネル現象と天体現象



ジャック・デュケノワ著「おばけパーティー」(ぽるぷ社)より

量子トンネル現象で越えられないはずの壁を通り抜けて太陽が輝いている！

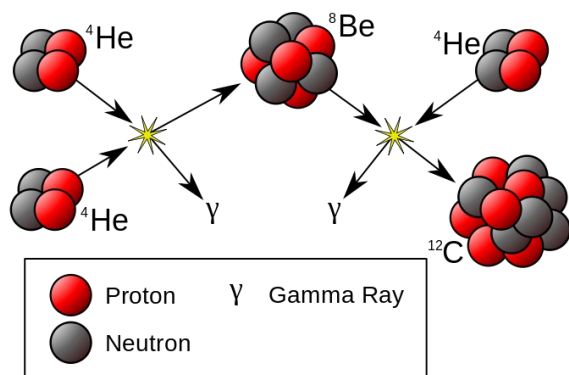
量子トンネル現象と天体現象



量子トンネル現象でエネルギーの壁を越えて太陽が輝いている！

量子トンネル現象は稀にしか起きない

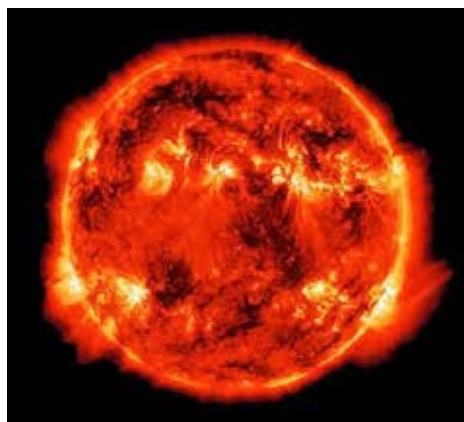
← 太陽があつという間に燃え尽きないわけ



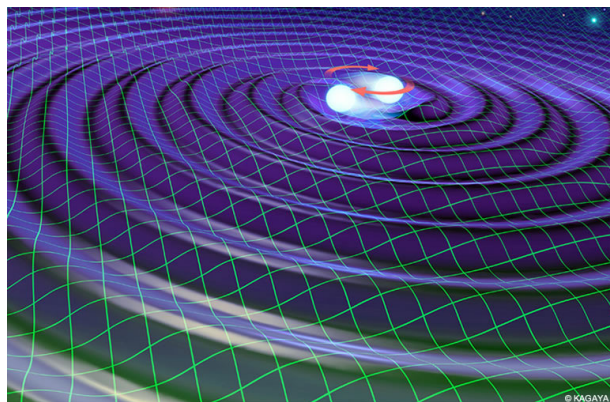
星の中で炭素や酸素ができるのも、
量子トンネル現象による核融合反応のため

Fe より重い元素はどのように出来たのか?

中性子の吸収



赤色巨星



中性子星の合体



↑
重力波

分かっていないことも多い
← 未知の同位体の性質

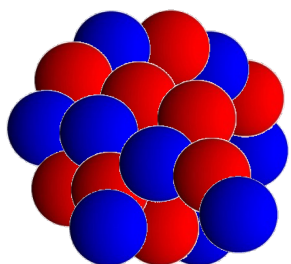
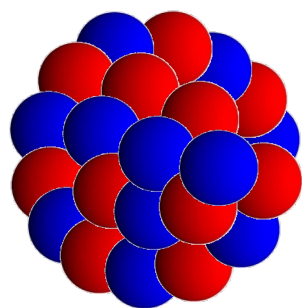


実は、金の起源は
よくわかっていない

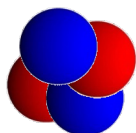
重い原子核 → 電氣的反発力が大



α 粒子を出して安定になる
(アルファ崩壊)



+



${}^4\text{He}$ 原子核
= α 粒子

重い原子核の寿命

${}^{232}\text{Th}$ (90番元素): 140.5 億年

宇宙の年齢以上

${}^{238}\text{U}$ (92番元素): 44.7 億年

地球の年齢くらい

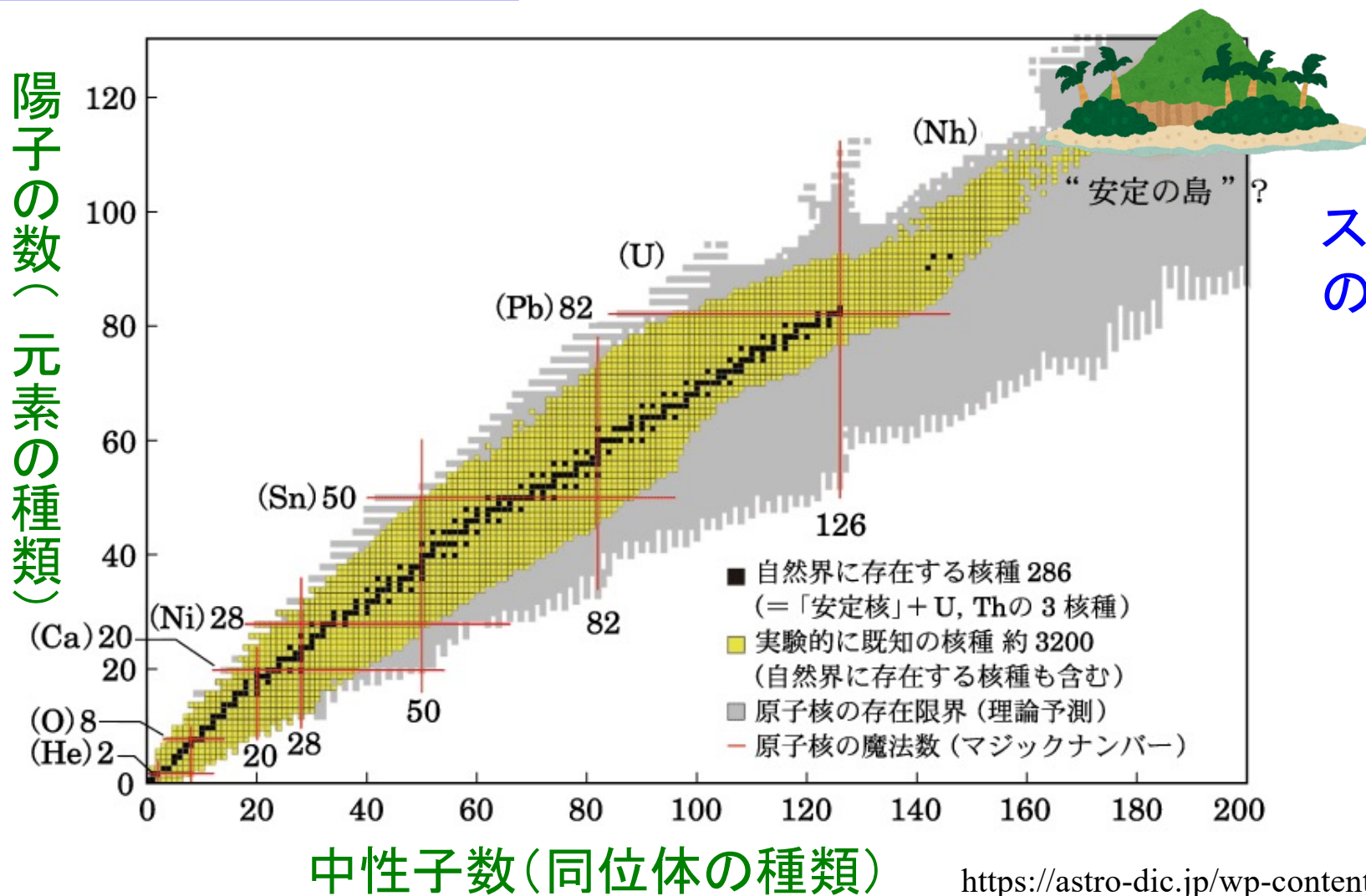
${}^{244}\text{Pu}$ (94番元素): 8000 万年

地球の年齢より
ずっと短い

${}^{247}\text{Cm}$ (96番元素): 1560 万年

(参考) 宇宙の年齢: 138億年
地球の年齢: 45.4億年

超重元素の安定の島

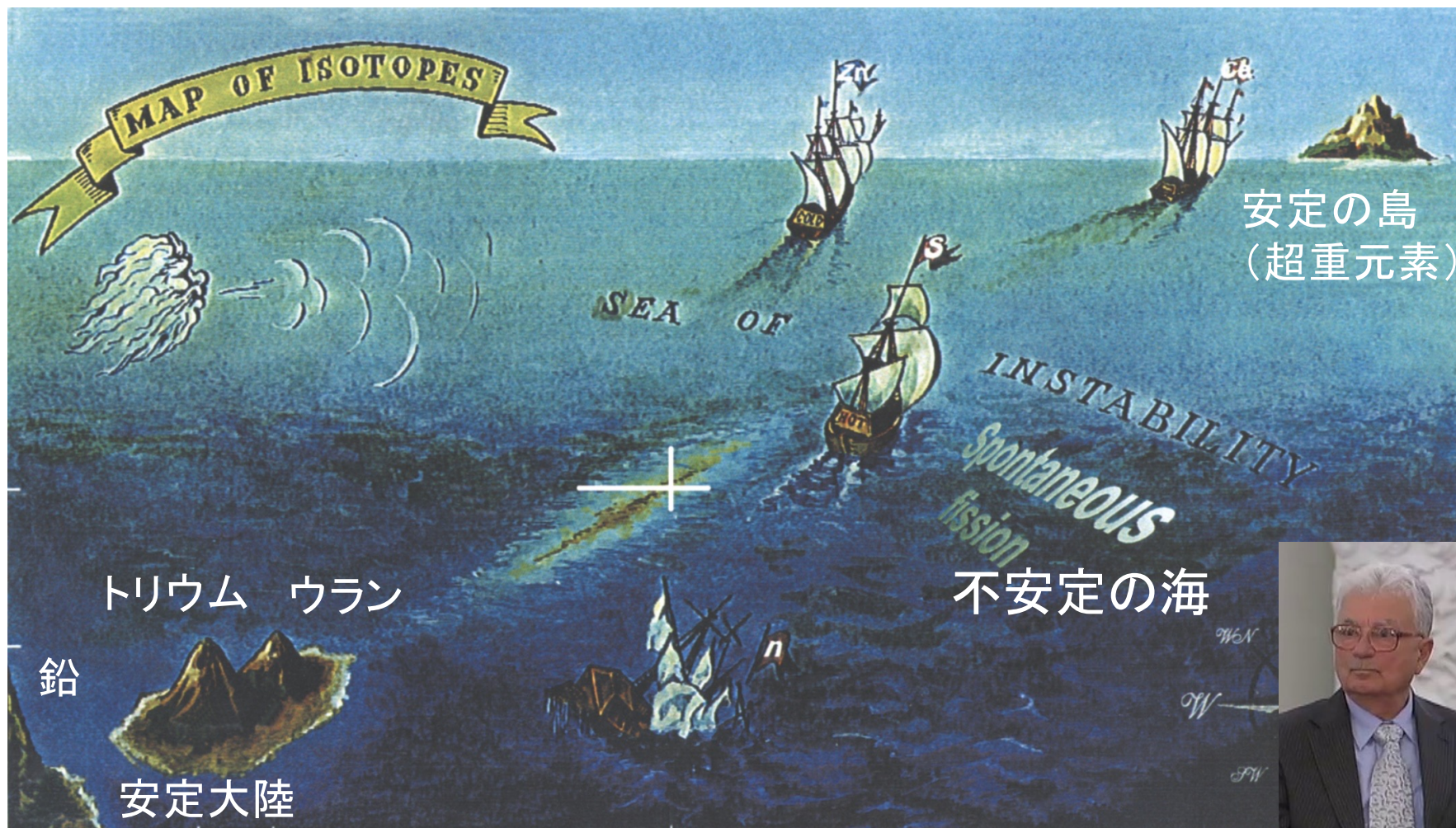


スピアテッキらの
予言(1966年)

陽子数: 114
中性子数: 184

「安定の島」

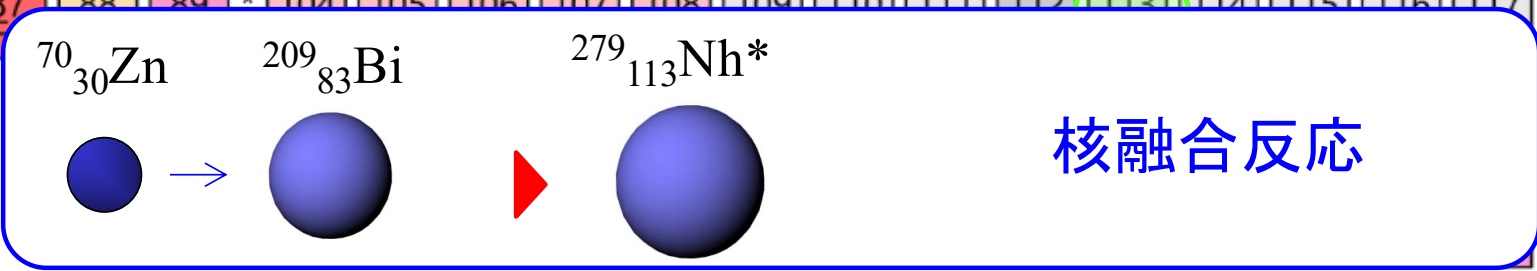
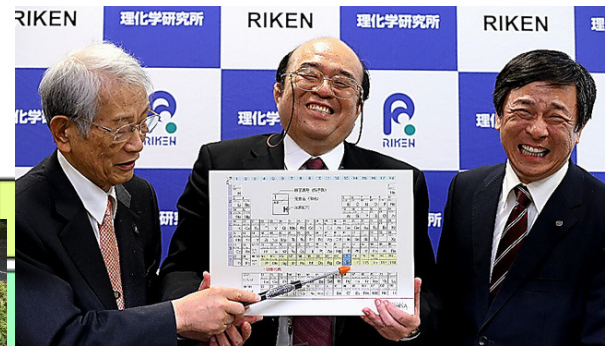
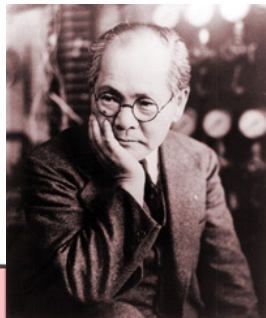
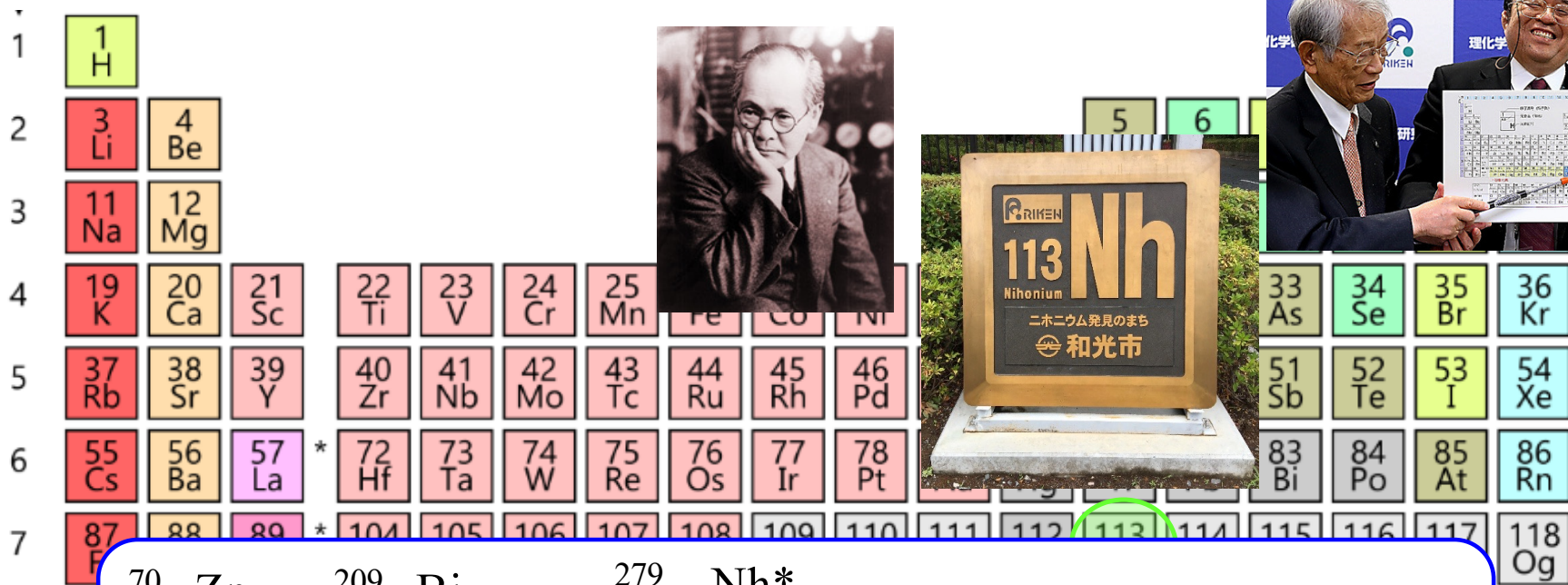
安定の島(超重元素)を目指して



描画:オーガネシアン氏

113番元素ニホニウム Nh

2004年に理化学研究所・仁科加速器科学研究センターで合成された新元素(アジア初!)。命名は2016年。



Wikipedia

ところで

ニホニウム モスコビウム



中国

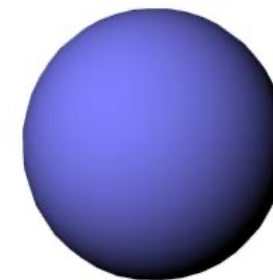
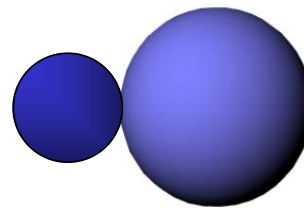
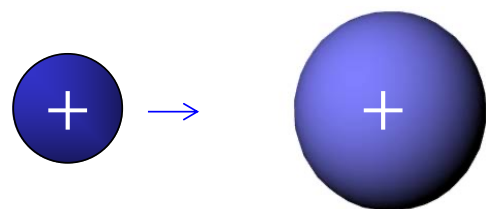
「国家語言委員会」が新しい漢字を制定

石田さん: 周期表に名前が載っています！

金田さん: 惜しかったです！

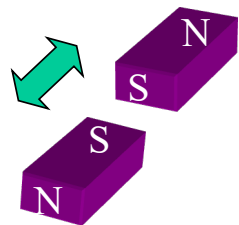
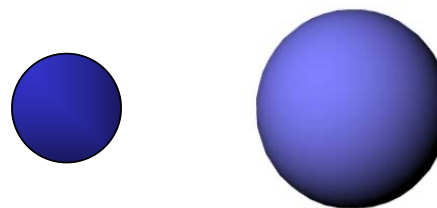
もし115番がテネシンという名前だったら名前が載っていました

核融合反応：原子核と原子核をくっつけて大きな原子核をつくる



加速器を
使って勢いよくぶつける

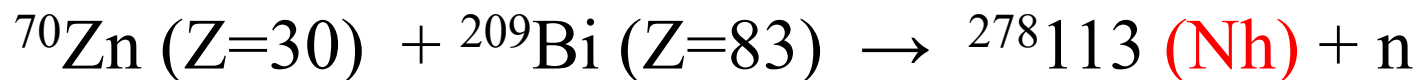
大きな原子核



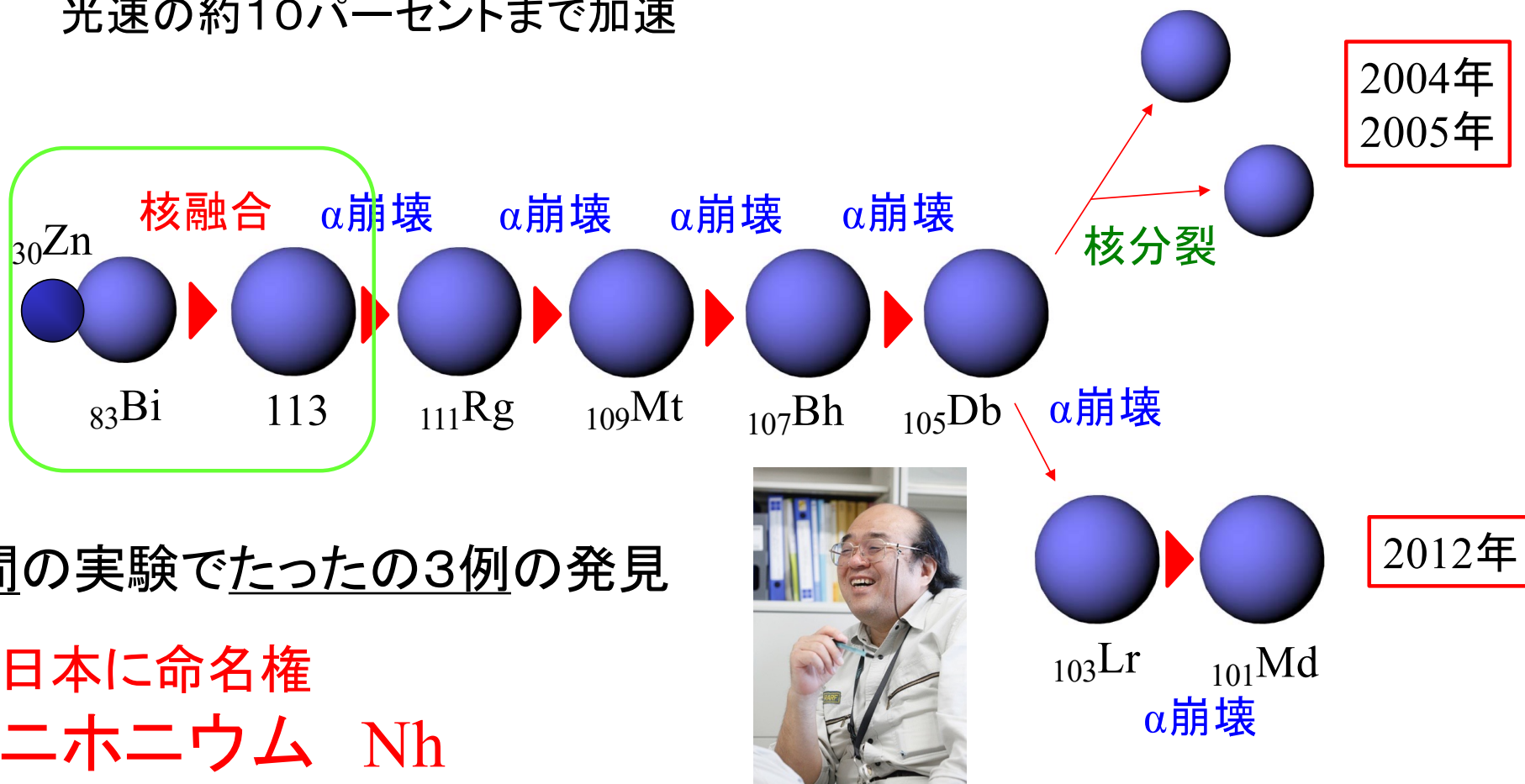
磁石
(SとS、NとNは反発)

でも、ほとんどはくっつけても
すぐ離れてしまう
(大きな原子核ができない)

新元素113番:ニホニウム(Nh)



光速の約10パーセントまで加速



553 日間の実験でたったの3例の発見

→ 日本に命名権
ニホニウム Nh

次のステップは？

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
Period ↓ 1	1 H																		
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	57 La	* 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	89 Ac	* 104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og	
			* 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			
			* 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			



113
Nh
nihonium

118
Og
oganeson



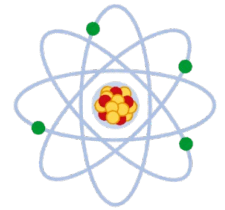
明日から飯坂温泉で
開催される国際会議

第7周期がすべて埋まる → 次は第8周期へ！

理研や世界の研究所では、119番や120番元素の探索中

まとめ

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

← 量子力学

- 超重元素

- ✓ ニホニウム (113番元素)
- ✓ 今、118番元素 Og まで
- ✓ 次は119番、120番

