

クイズで ニホニウム

はぎの こういち
萩野 浩一

東北大学大学院理学研究科
物理学専攻 准教授
(原子核理論研究室)

クイズ
Quizで
ニホニウム

sugukiku.com

039-059

(<https://sugukiku.com>)



Q1. あなたの年齢を教えてください。

1. 小学生以下
2. 中学生
3. 高校生
4. それ以上

Q2.「元素」という言葉を聞いたこと
ありますか?
また、その意味を知っていますか?

1. 聞いたことない。
2. 聞いたことはあるけど、
意味は知らない(覚えていない)。
3. バッチリ知っています!

げんそ 元素

この世の中にあるものは、
すべて元素からできています。

元素 = すべてのものを作る材料

カレーライス



カレーライス materials



にんじん



たまねぎ



じゃがいも



肉



ごはん



ルー



にんじん



たまねぎ



じゃがいも



肉



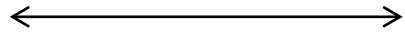
ごはん



ルー

カレーはニンジンやタマネギとかからできる。
ニンジンやタマネギは元素からできている。

元素＝ニンジンなどの材料



~ 10 cm



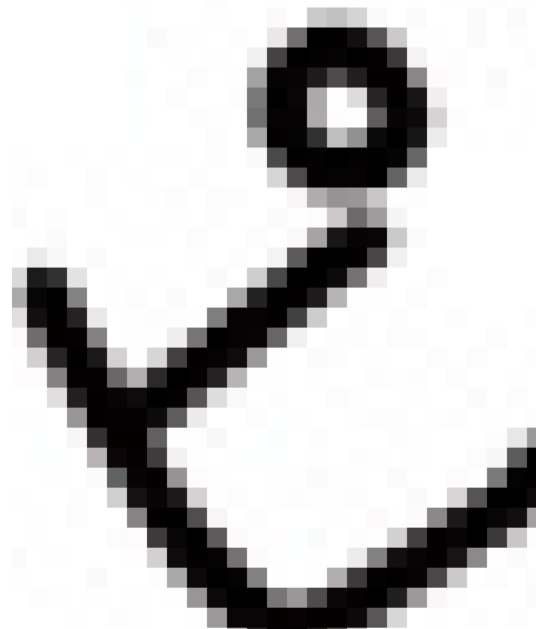
拡大してみると。。。？

ものを拡大すると違う見え方になる

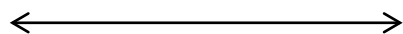
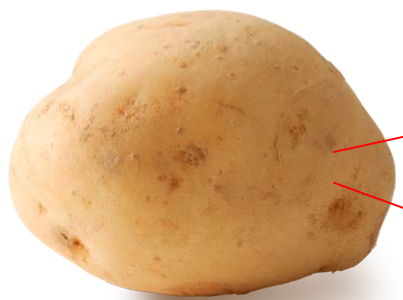


PK
ピカニウム?

実は点の集まり

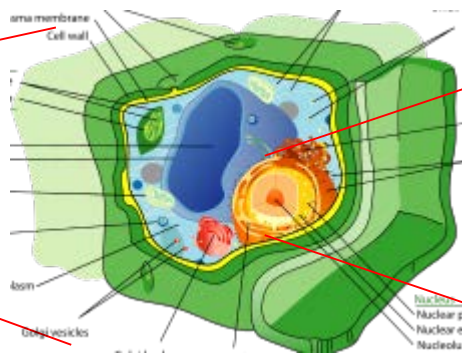


約2.5cmの中に300個くらいの点



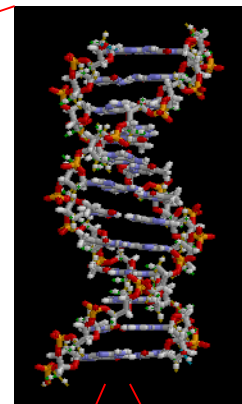
~ 10 cm

さいぼう
細胞



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

DNA

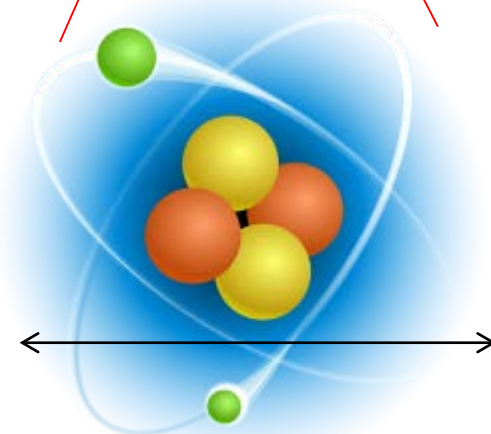


~ 10^{-8} m

100倍

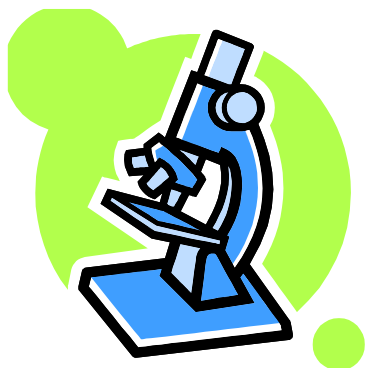
100倍

げんし
原子

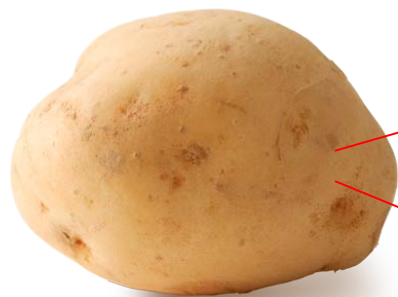


~ 10^{-10} m

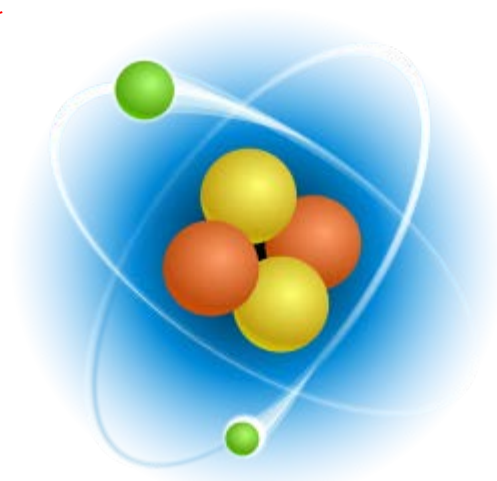
10万倍



ジャガイモも拡大すると原子の集まり



100億倍

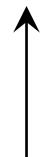


げんし
原子

100グラムのジャガイモの中には、

約1000000000000000000000000000000 個

(10序個)の原子が入っている!!



=1兆 x 1兆 x 千

なんとゼロが25 個!!

一、十、百、千、万、億、兆、
京、垓、序(じょ)、穰(じょう)、...

ジャガイモも拡大すると原子の集まり



**100グラムのジャガイモの中には、
約1000000000000000000000000000000個
の原子が入っている!!**

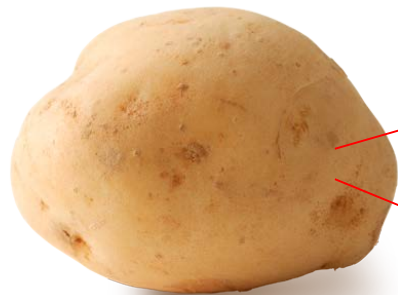


ヤクルト1本の中には
乳酸菌シロタ株が400億個

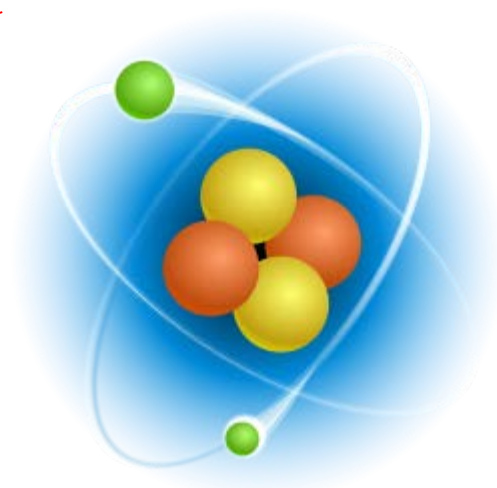


300兆個のヤクルトの中に入っている
乳酸菌と同じ数の原子

ジャガイモも拡大すると原子の集まり



100億倍



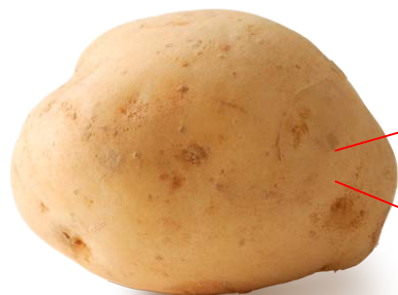
げんし
原子

100グラムのジャガイモの中には、

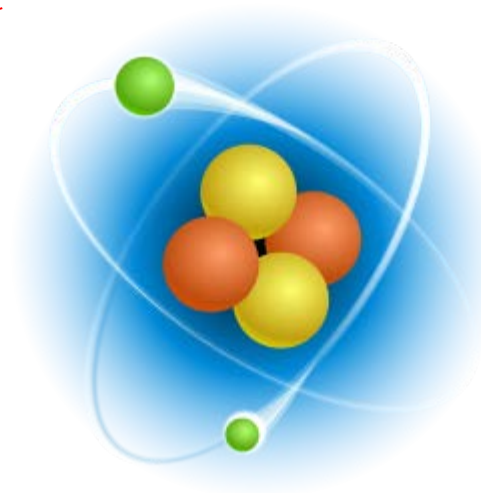
約1000000000000000000000000000個

(10桁個)の原子が入っている!!

* 水(H₂O)約18グラムには 6×10^{23} 個の水分子。
(アボガドロ数)。ジャガイモがすべて水でできていると
すると、この数が得られる。



100億倍



げんし
原子

原子にもいろいろな種類 = 元素

- 水素(すいそ)
 - 酸素(さんそ)
 - 炭素(たんそ)
 - カルシウム
 - マグネシウム
 - 硫黄(いおう)
- など。

Q3. 元素は何種類くらいあるでしょうか？

1. 約90種類
2. 118種類
3. よくわかっていない

Q3. 元素は何種類くらいあるでしょうか？

1. 約90種類
2. 118種類
3. よくわかっていない

実は、全部正解です！

Q3. 元素は何種類くらいあるでしょうか？

1. 約90種類 → 自然にある元素の数
2. 118種類 → これまでに確認された元素の数
3. よくわかっていない
→ 何個まで元素があるのかはまだ謎

この世の中には約90種類の元素がある

軽い順に並べると

1. 水素	20. カルシウム	39. イットリウム	58. セリウム	77. イリジウム
2. ヘリウム	21. スカンジウム	40. ジルコニウム	59. プラセオジウム	78. 白金
3. リチウム	22. チタン	41. ニオブ	60. ネオジウム	79. 金
4. ベリリウム	23. バナジウム	42. モリブデン	61. プロメチウム	80. 水銀
5. ホウ素	24. クロム	43. テクネチウム	62. サマリウム	81. タリウム
6. 炭素	25. マンガン	44. ルテニウム	63. ユウロビウム	82. 鉛
7. 窒素	26. 鉄	45. ロジウム	64. ガドリニウム	83. ビスマス
8. 酸素	27. コバルト	46. パラジウム	65. テルビウム	84. ポロニウム
9. フッ素	28. ニッケル	47. 銀	66. ジスプロシウム	85. アスタチン
10. ネオン	29. 銅	48. カドミウム	67. ホルミウム	86. ラドン
11. ナトリウム	30. 亜鉛	49. インジウム	68. エルビウム	87. フランシウム
12. マグネシウム	31. ガリウム	50. スズ	69. ツリウム	88. ラジウム
13. アルミニウム	32. ゲルマニウム	51. アンチモン	70. イッテルビウム	89. アクチニウム
14. ケイ素	33. ヒ素	52. テルル	71. ルテチウム	90. トリウム
15. リン	34. セレン	53. ヨウ素	72. ハフニウム	91. プロトアクチニウム
16. 硫黄	35. 臭素	54. キセノン	73. タンタル	
17. 塩素	36. クリプトン	55. セシウム	74. タングステン	92. ウラン
18. アルゴン	37. ルビジウム	56. バリウム	75. レニウム	
19. カリウム	38. ストロンチウム	57. ランタン	76. オスミウム	

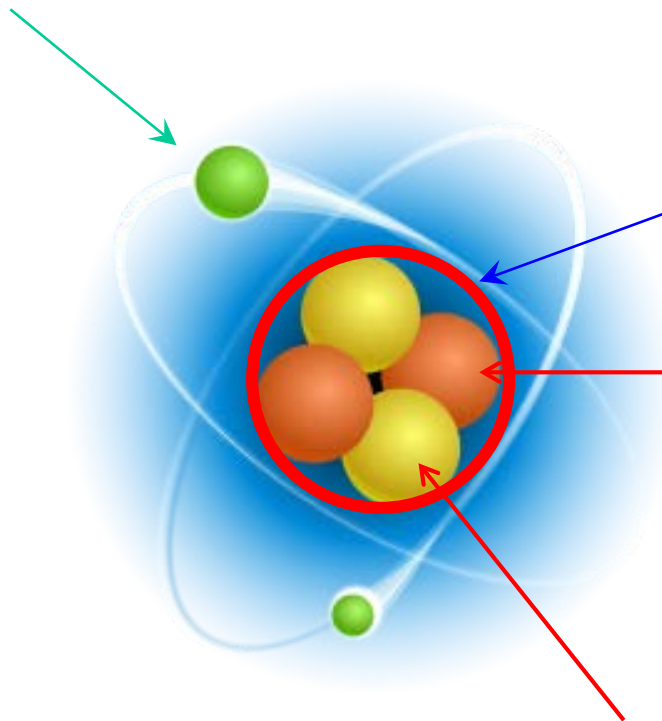
「〇〇番」元素とは？

原子の中身

電子(でんし)
マイナスの電気

例えば、酸素は8番元素

=陽子が8個

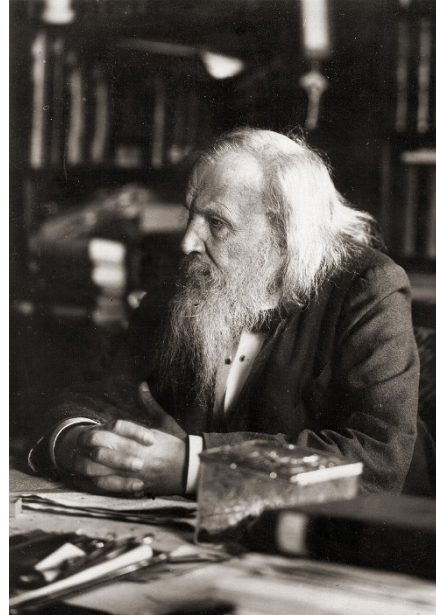


原子核(げんしかく)

陽子(ようし)
プラスの電気

中性子(ちゅうせいし)
電気なし

元素の周期表



メンデレーエフ
(1834-1907)

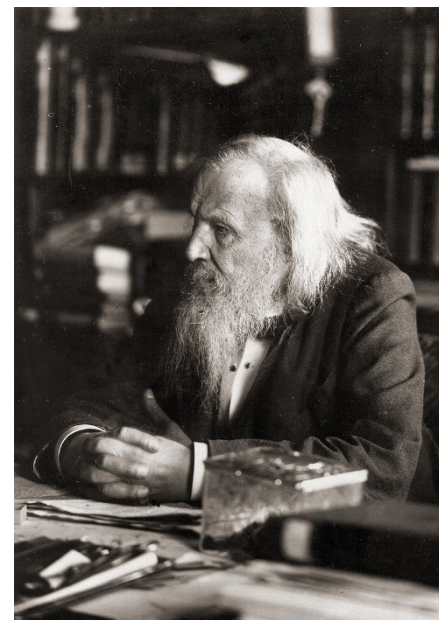
Group →	1	2	3	7		13	14	15	16	17	18								
↓ Period																			
1	1 H										2 He								
2	3 Li	4 Be				5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne								
3	11 Na	12 Mg				13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar								
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	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	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	

元素の周期表(1869年)



International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

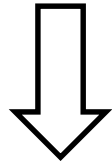
今年(令和元年)は周期表
150周年の記念の年



メンデレーエフ
(1834-1907)

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(?)



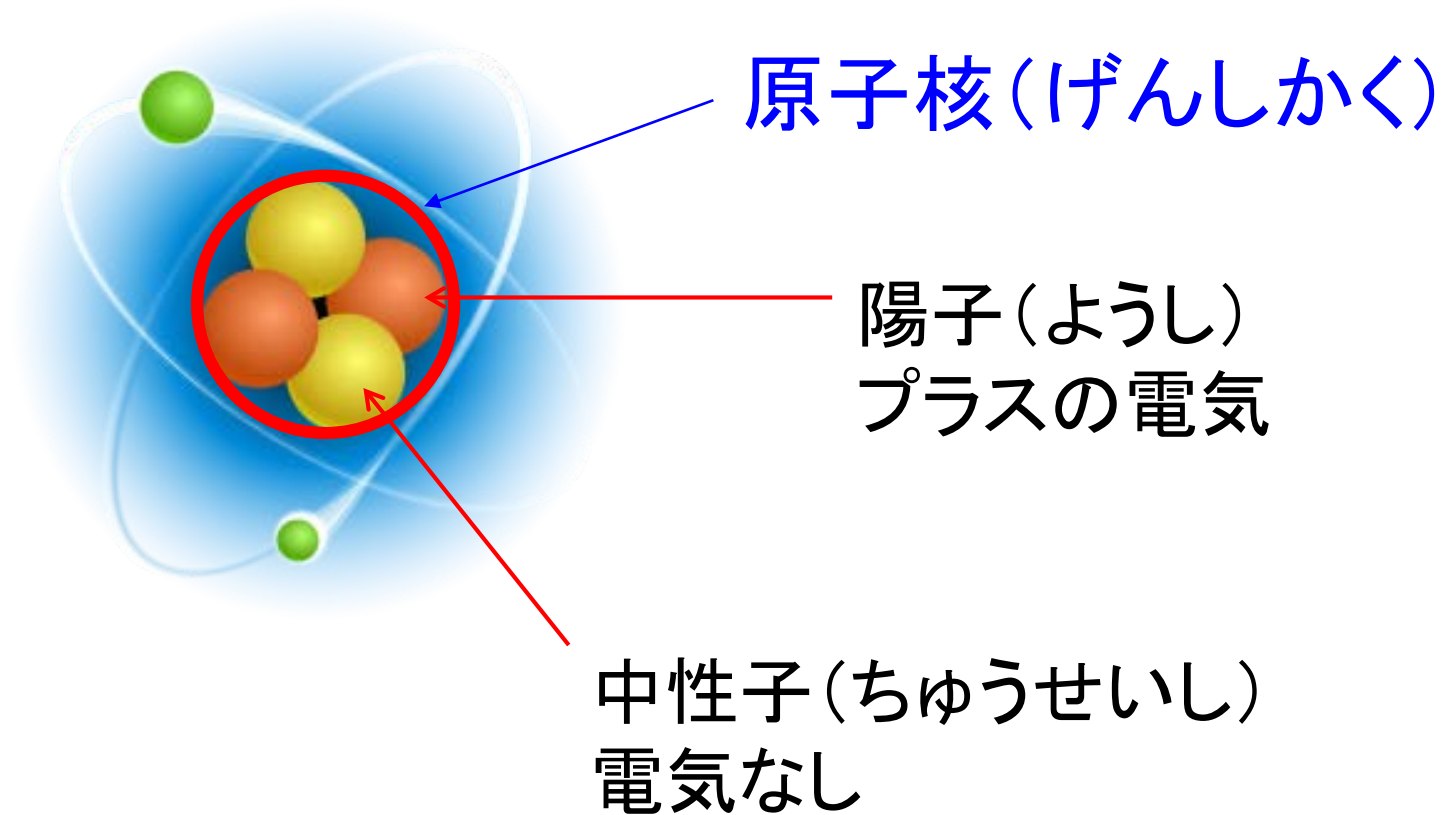
Q4.なんで自然に元素は90種類 くらいしかないの？

1. 他の元素とくっついて違う元素
になってしまうから。
2. 重い元素は壊れてしまうから。
3. よくわかっていない。

Q4.なんで自然に元素は90種類 くらいしかないの？

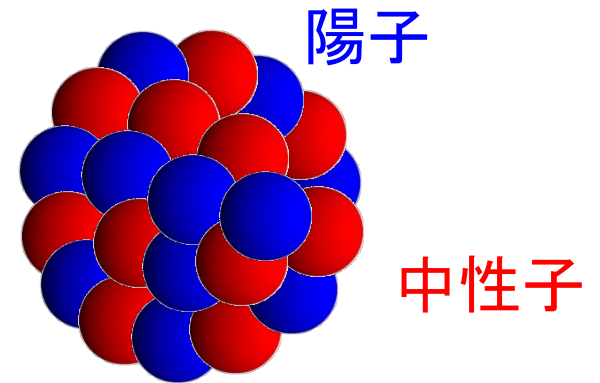
1. 他の元素とくっついて違う元素
になってしまうから。
- 2. 重い元素は壊れてしまうから。
3. よくわかっていない。

元素が壊れるってどういうこと？



元素が壊れる = 原子核が壊れる

- 陽子を女子
 - 中性子を男子
- におきかえてみましょう。



- 陽子を女子
 - 中性子を男子
- におきかえてみましょう。



40人のクラス(男子21人、女子19人)が修学旅行に行きます。



これを3つのグループ(班)にわけましょう。

C-12 班



C-14 班



N-14 班



CとかNとかは女子の数で決まる記号、12とか14は総人数。

C-12 班(6+6)



C-14 班 (8+6)



N-14 班 (7+7)



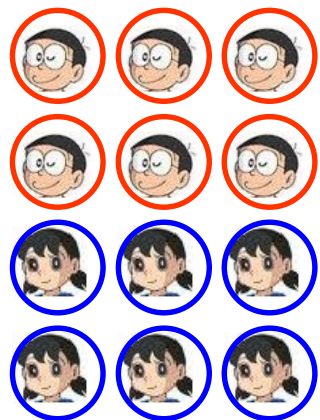
C-12班やN-14班は男女の数が同じなのでバランスがいいですね。
しかし、C-14班は男子の人が2人多いのでバランスは悪い。



そうすると、ある時間がたつとグループの中で男子が1人
がまんできずに女子に変わる(!)。これがベータ崩壊(ほうかい)。



C-12 班(6+6)



C-14 班 (8+6)



N-14 班 (7+7)



C-12班やN-14班は男女の数が同じなのでバランスがいいですね。
しかし、C-14班は男子の人が2人多いのでバランスは悪い。



そうすると、ある時間がたつとグループの中で男子が1人がまんできずに女子に変わる(!)。これがベータ崩壊(ほうかい)。



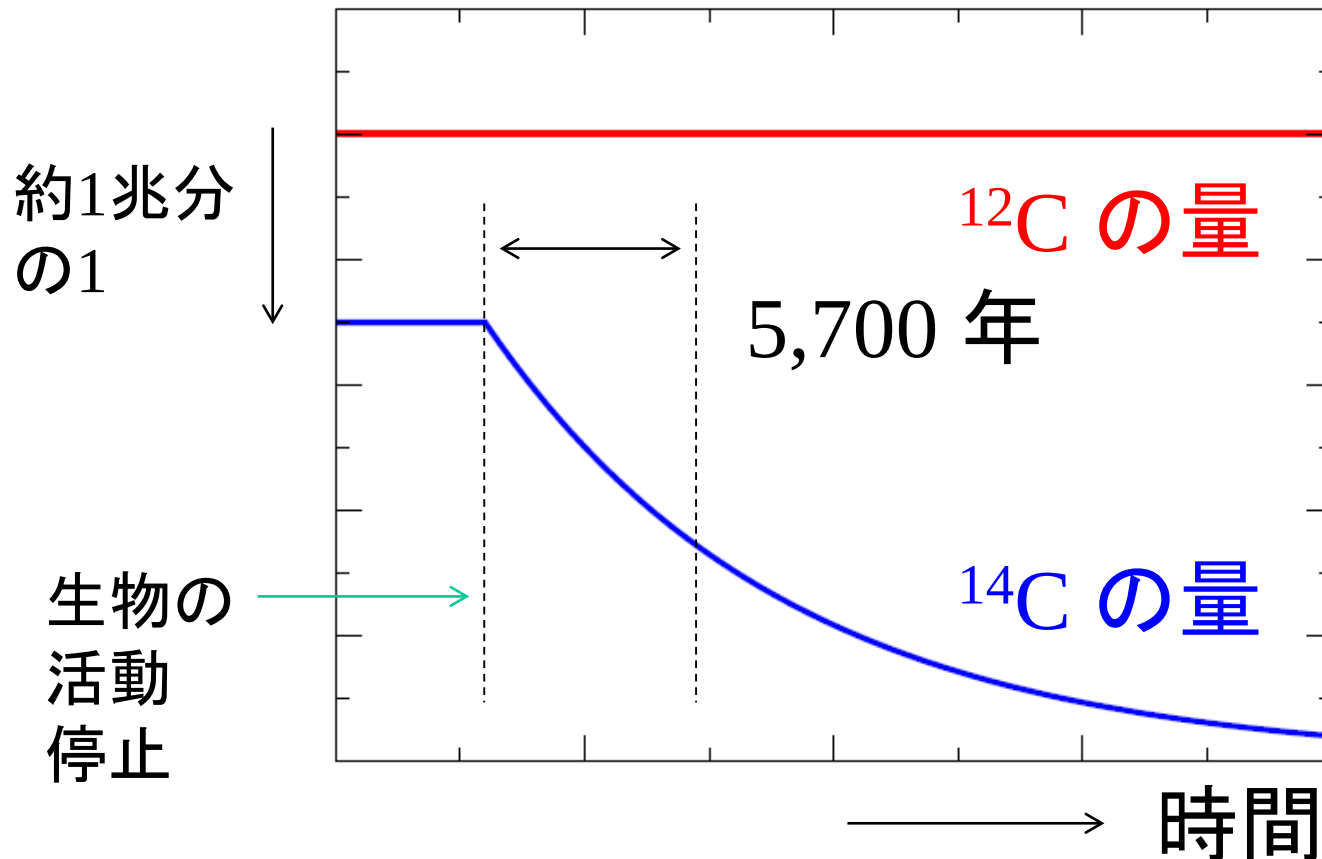
➤その時にエネルギーを放出するのが、放射線。

➤「どれくらいの時間我慢できるか」が半減期みたいなもの。

^{14}C の寿命と同じ時間遡ると日本は何時代?

^{12}C	^{13}C	^{14}C 5700y
-----------------	-----------------	--------------------------

縄文時代:
約1万6500年前
～約3000年前

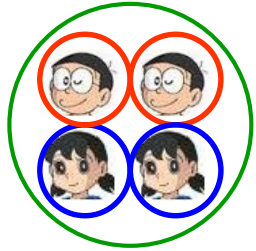


炭素14年代測定法

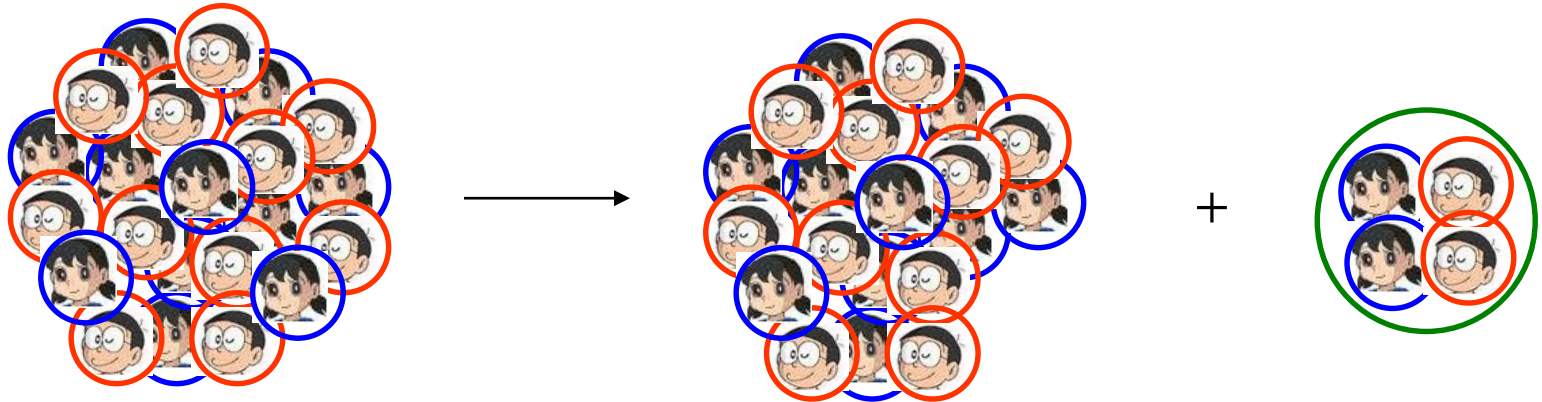
2万年くらい前までの年代が調べられる

cf. 富沢遺跡
(約2万年前)

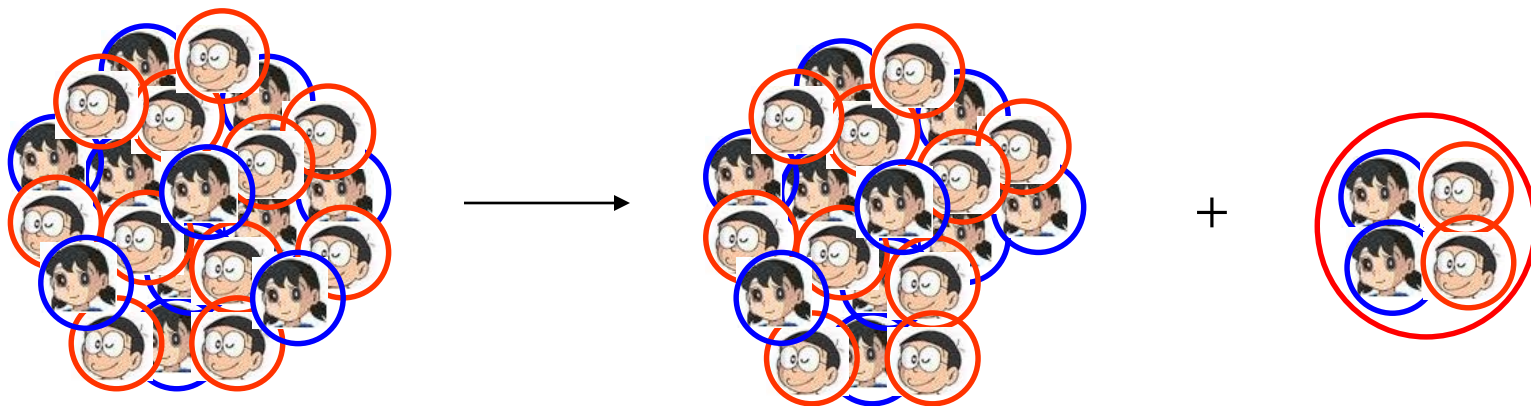
どうして92番(ウラン)より重い元素は地球にはないの？



男子2人、女子2人のグループは非常に結束が強い
＝ アルファ粒子(陽子2、中性子2)



陽子がいっぱいある原子核は4人がグループ
を作って勝手に行動する(アルファ崩壊)



陽子がいっぱいある原子核は4人がグループ
を作って勝手に行動する(アルファ崩壊)

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

地球が出来た時に92番より
重い元素があったとしても、
今ではほとんどすべて壊れて
しまった。

(参考) 宇宙の年齢: 137億年
地球の年齢: 45.4億年

Q5.人間の体の中には何種類くらいの
の元素がある？

1. 15種類くらい？
2. 30種類くらい？
3. 50種類以上

Q5.人間の体の中には何種類くらいの
の元素がある？

1. 15種類くらい？

2. 30種類くらい？

○ 3. 50種類以上

人の体はどんな元素から出来ている？

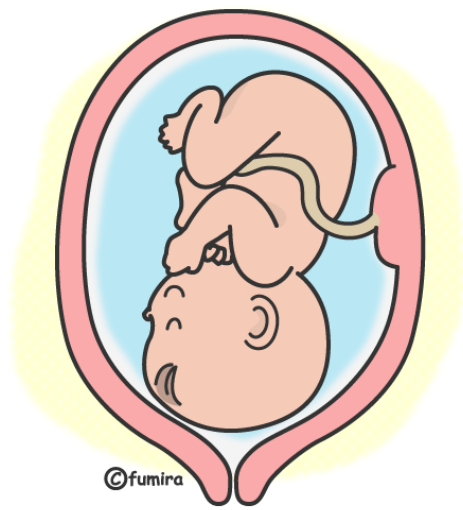
酸素 43 kg
炭素 16 kg
水素 7 kg
窒素 1.8 kg
カルシウム 1.0 kg
リン 780 g
カリウム 140 g
硫黄 140 g
ナトリウム 100 g
塩素 95 g
マグネシウム 19 g
鉄 4.2 g
フッ素 2.6 g
亜鉛 2.3 g
ケイ素 1.0 g
ルビジウム 0.68 g
ストロンチウム 0.32 g
臭素 0.26 g
鉛 0.12 g
銅 72 mg
アルミニウム 60 mg
カドミウム 50 mg

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





羊水に含まれる主な元素

1. 水素
2. 酸素
3. ナトリウム
4. 塩素
5. カリウム
6. カルシウム
7. マグネシウム

海水に含まれる主な元素

1. 水素
2. 酸素
3. ナトリウム
4. 塩素
5. マグネシウム
6. 硫黄
7. カリウム
8. カルシウム

生命は海から生まれた?

Q6. 元素はどこで出来たのでしょうか？

1. 宇宙ができたときに全部出来た。
2. 時間がたってから星のなかで出来た。
3. 一部は宇宙ができたときに出来て、残りは星の中で出来た。

Q6. 元素はどこで出来たのでしょうか？

1. 宇宙ができたときに全部出来た。
2. 時間がたってから星のなかで出来た。

○ 3. 一部は宇宙ができたときに出来て、残りは星の中で出来た。

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
(138億年前)



Li

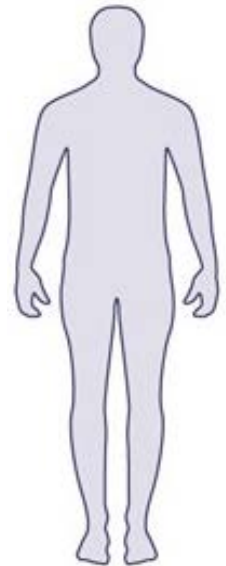


「知ろうとすること。」
早野龍五、糸井重里 著
新潮文庫

「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。」

酸素 43 kg
炭素 16 kg
水素 7 kg



体重70キログラム

Fe までの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



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

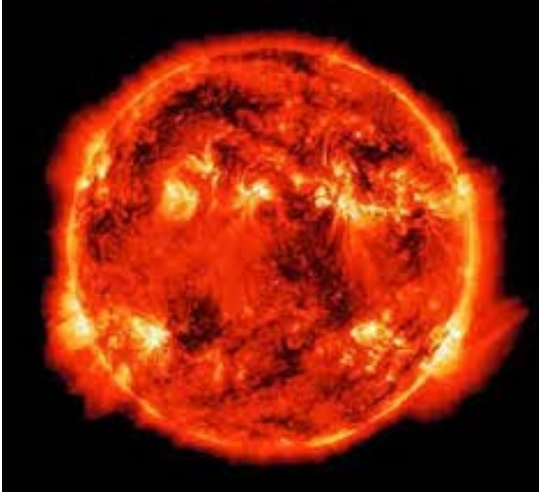
→ 「量子力学(トンネル現象)」



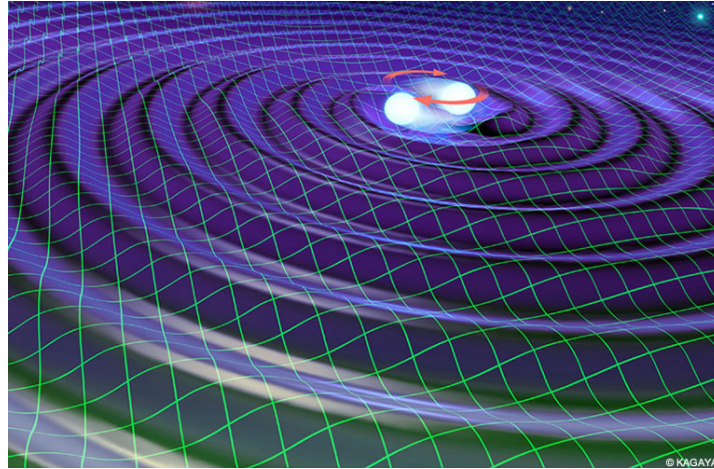
ジャック・デュケノワ著「おばけパーティー」より

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



実は、金の起源
はよくわかってい
ない

Q7.ニホニウムはどうやって発見されたのか？

1. 元素と元素をくっつけて作った。
2. 隕石の中から探し出した。
3. 元素を燃やして作った。

Q7.ニホニウムはどうやって発見されたのか?

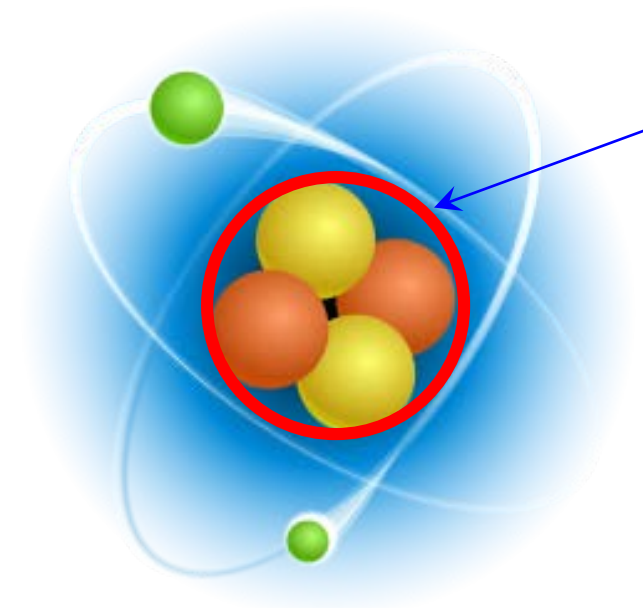
- 1. 元素と元素をくっつけて作った。
- 2. 隕石の中から探し出した。
- 3. 元素を燃やして作った。

ニホニウムの作り方

地球上には約90種類の元素（ウランが一番重い）

もっと重い元素はないの？

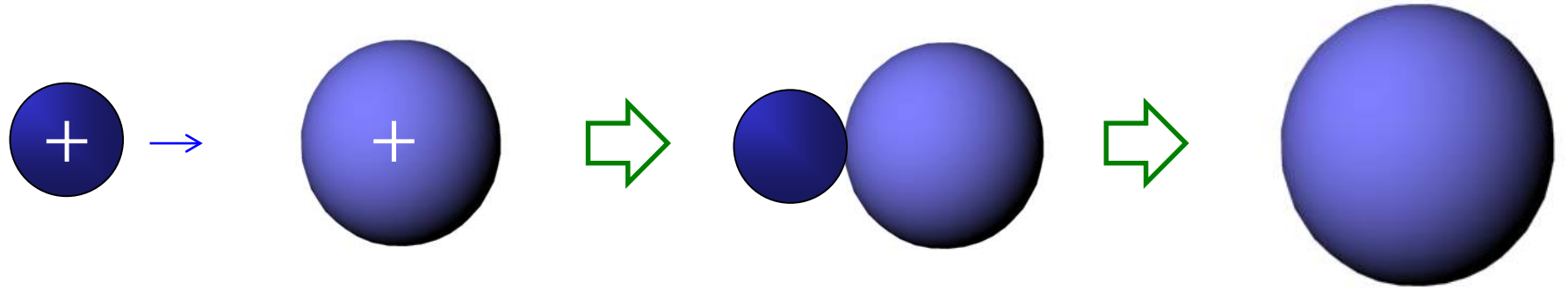
——→ あります。でも人工的に作らなければなりません。



原子核

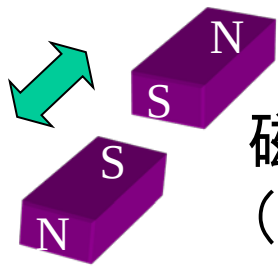
原子核と原子核をくっつけて
大きな原子核を作る

原子核と原子核をくっつける

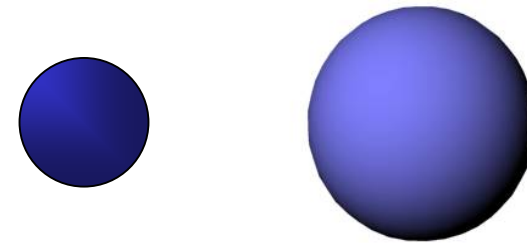


加速器を使って
勢いよくぶつける

大きな
原子核



磁石
(SとS、NとN
は反発)



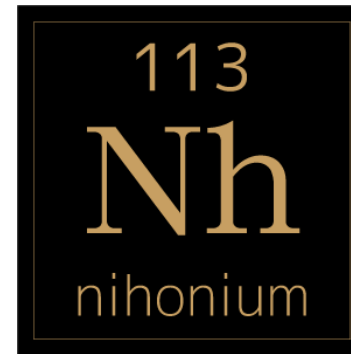
でも、ほとんどはくっつけても
すぐ離れてしまう
(大きな原子核ができない)



森田浩介さん

亜鉛 (30) とビスマス(83) をぶつけて113番
元素の合成に成功！

→ 約10年で3個の113番元素を作った



ニホニウム

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				

幻の元素、ニッポニウム (Np)

1908 年:「43番目の元素」として新元素を発見し
ニッポニウム (Np) と名前をつけたと発表。

→ その後追試できず、周期表からは消える
(実は75番元素レニウム(当時未発見)だった)



小川正孝
(1865－1930)



東北大学第4代総長
(1919－1928)

写真提供: 宮城の
新聞



モリブデナイト
(モリブデン鉱石)

Campus Map

東北大学 大学院 理学研究科・理学部
青葉山北キャンパスマップ

Graduate School of Science and Faculty of Science, Tohoku University



元素のこれから

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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
8				* 119 Uue	120 Uub	121 Uut	122 Uuq	123 Uur	124 Uus	125 Uuh	126 Uubk	127 Uutl	128 Uufl	129 Uuol	130 Uuoc	131 Uunl	132 Uuoc	133 Uuhk
9				* 120 Ubn	121 Ubu	122 Ubu	123 Ubu	124 Ubu	125 Ubu	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu
10				* 121 Ubn	122 Ubu	123 Ubu	124 Ubu	125 Ubu	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu
11				* 122 Ubn	123 Ubu	124 Ubu	125 Ubu	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu
12				* 123 Ubn	124 Ubu	125 Ubu	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu
13				* 124 Ubn	125 Ubu	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu
14				* 125 Ubn	126 Ubu	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu
15				* 126 Ubn	127 Ubu	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu
16				* 127 Ubn	128 Ubu	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu
17				* 128 Ubn	129 Ubu	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu
18				* 129 Ubn	130 Ubu	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu
19				* 130 Ubn	131 Ubu	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu
20				* 131 Ubn	132 Ubu	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu
21				* 132 Ubn	133 Ubu	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu
22				* 133 Ubn	134 Ubu	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu
23				* 134 Ubn	135 Ubu	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu
24				* 135 Ubn	136 Ubu	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu
25				* 136 Ubn	137 Ubu	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu
26				* 137 Ubn	138 Ubu	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu
27				* 138 Ubn	139 Ubu	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu
28				* 139 Ubn	140 Ubu	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu
29				* 140 Ubn	141 Ubu	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu
30				* 141 Ubn	142 Ubu	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu
31				* 142 Ubn	143 Ubu	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu
32				* 143 Ubn	144 Ubu	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu
33				* 144 Ubn	145 Ubu	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu
34				* 145 Ubn	146 Ubu	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu
35				* 146 Ubn	147 Ubu	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu
36				* 147 Ubn	148 Ubu	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu
37				* 148 Ubn	149 Ubu	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu
38				* 149 Ubn	150 Ubu	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu
39				* 150 Ubn	151 Ubu	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu
40				* 151 Ubn	152 Ubu	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu
41				* 152 Ubn	153 Ubu	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu
42				* 153 Ubn	154 Ubu	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu
43				* 154 Ubn	155 Ubu	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu
44				* 155 Ubn	156 Ubu	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu
45				* 156 Ubn	157 Ubu	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu
46				* 157 Ubn	158 Ubu	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu
47				* 158 Ubn	159 Ubu	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu
48				* 159 Ubn	160 Ubu	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu
49				* 160 Ubn	161 Ubu	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu
50				* 161 Ubn	162 Ubu	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu
51				* 162 Ubn	163 Ubu	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu
52				* 163 Ubn	164 Ubu	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu
53				* 164 Ubn	165 Ubu	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu
54				* 165 Ubn	166 Ubu	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu
55				* 166 Ubn	167 Ubu	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu
56				* 167 Ubn	168 Ubu	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu	181 Ubu
57				* 168 Ubn	169 Ubu	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu	181 Ubu	182 Ubu
58				* 169 Ubn	170 Ubu	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu	181 Ubu	182 Ubu	183 Ubu
59				* 170 Ubn	171 Ubu	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu	181 Ubu	182 Ubu	183 Ubu	184 Ubu
60				* 171 Ubn	172 Ubu	173 Ubu	174 Ubu	175 Ubu	176 Ubu	177 Ubu	178 Ubu	179 Ubu	180 Ubu	181 Ubu	182 Ubu	183 Ubu	184 Ubu	185 Ubu

元素のこれから

Group →	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period ↓	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
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	



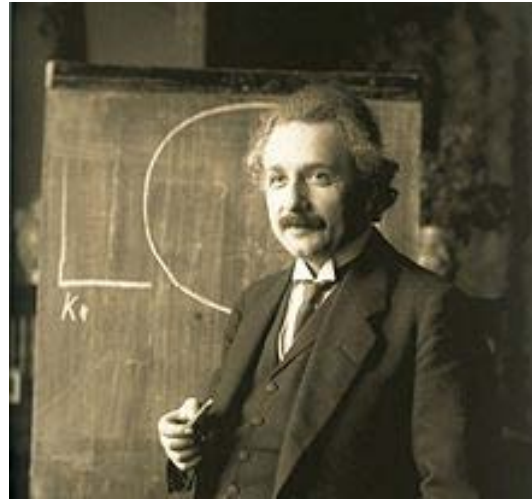
118
Og
oganesson

もう一つ分かっていないこと：縦の性質は大丈夫？

周期表を進化させる！

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

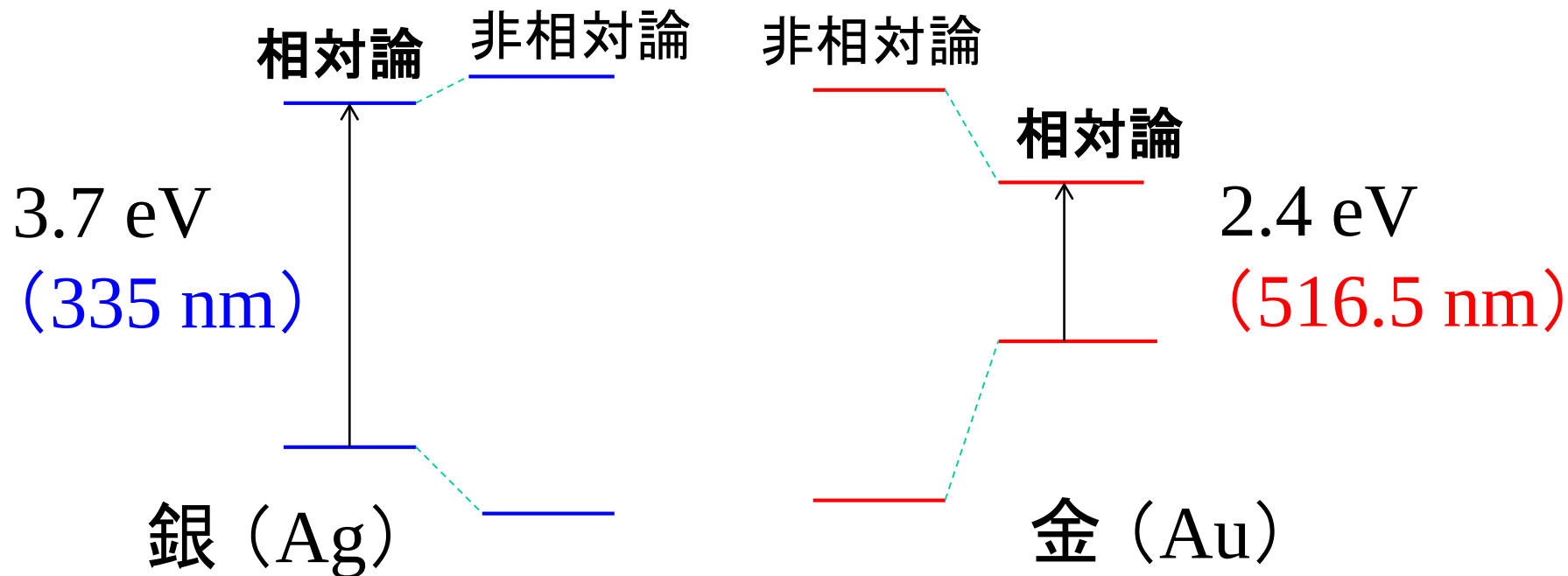
相対論的効果で有名な例: 金の色

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						

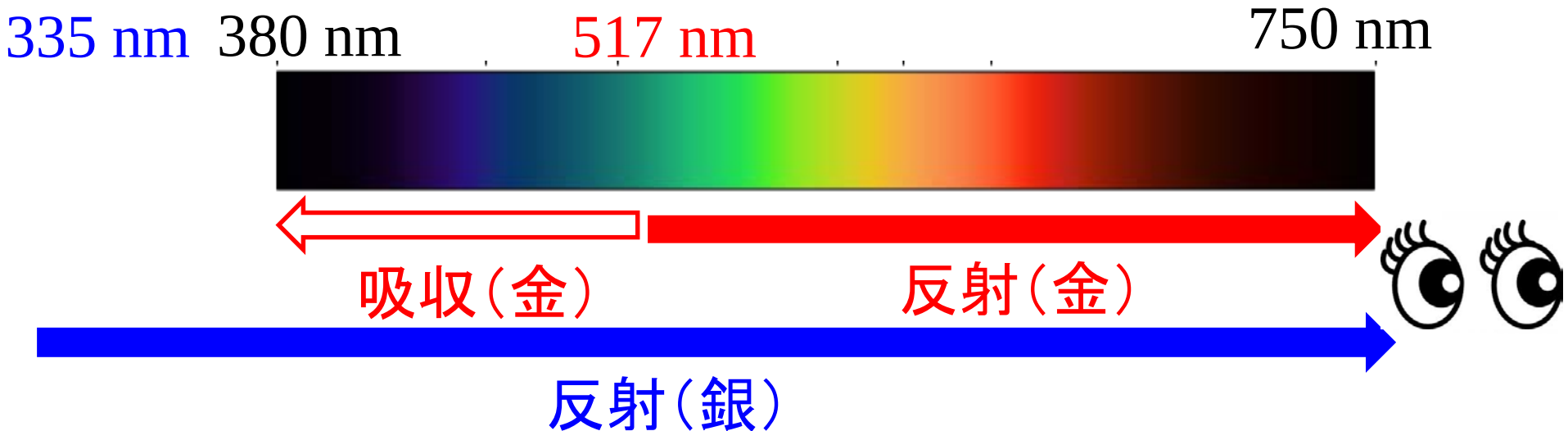
金と銀は同族

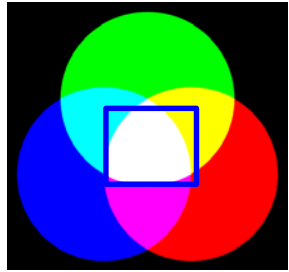


相対論的効果がなければ金の色は銀みたいだった!



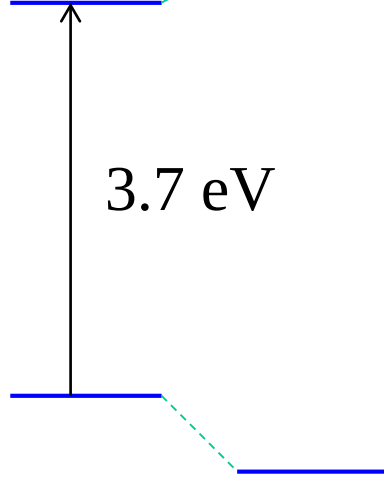
可視光





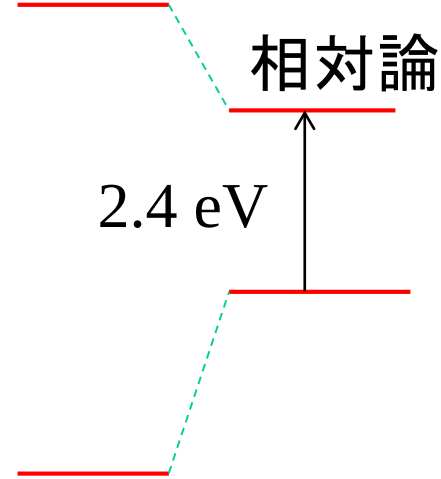
光の
吸収なし

相対論 非相対論

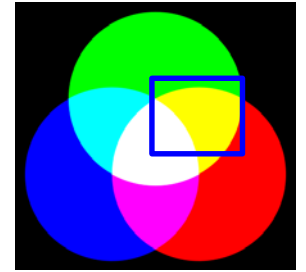


銀

非相対論



金



青色の光
が吸収



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