

一般化学

- Chemistry -

第2回 原子の構造

東京工業大学 元素戦略研究センター
高エネルギー加速器研究機構 物質構造科学研究所
山浦淳一

前回の最重要ポイント

典型元素



典型元素(main group element)

遷移元素
(transition element)

↑
周期
↓

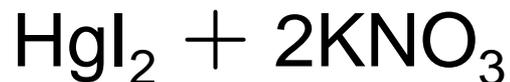
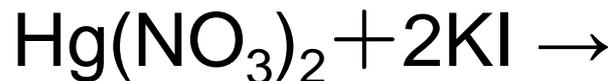
主要族		遷移金属族										主要族						
1	1A	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1A	2A	3B	4B	5B	6B	7B	8B			1B	2B	3A	4A	5A	6A	7A	8A
1	H												B	C	N	O	F	He
2	Li	Be											Al	Si	P	S	Cl	Ar
3	Na	Mg											Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	51	52	53	54		
6	Cs	Ba	57~71	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	81	82	83	84	85	86
7	Fr	Ra	89~103	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	113	114	115	116		118
ランタノイド	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71			
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu			
アクチノイド	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103			
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr			

(b) の色分け

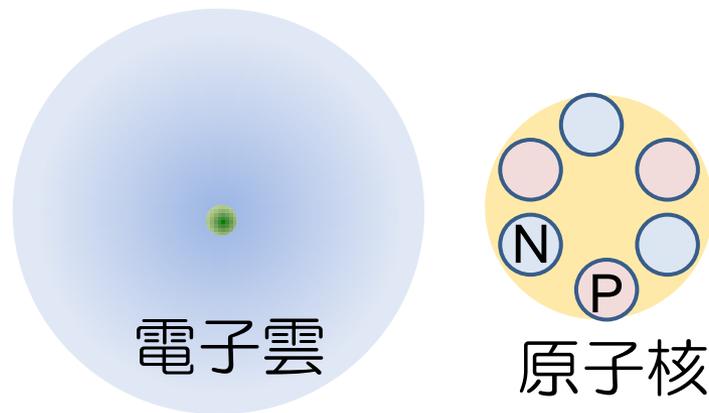


同じ族(典型元素)は最外殻の~数が同じ=~が似る?

本日の重要ポイントと目標



化学反応に関する
質量保存則などの法則
を理解する



原子の構造について理解する



原子番号と陽子数、中性子数、
質量数、相対質量、同位体について
理解する

元素探求史

古代

Khemeica(エジプトの術)→ Chemistry(化学)

元素は水である
タレス (前640-前546)

アトモス(分割できない)
原子論 デモクリトス (前470-前380)

元素の原子は大きさ形が
異なり、その差で異なった
性質が生まれる

四大元素
アリストテレス (前384-前322)
土(冷-乾)と水(冷-湿) : 落下
空気(湿-温)と火(温-乾) : 上昇

不人気だった

中世の錬金術

2000年
進展なし

*今回の講義では、教科書の他に
化学の歴史(アイザック・アシモフ)
を大いに参考にしています

錬金術と化学

古代

古代アラビア科学 宗教や神話と金属の関係
(Au,Ag,Cu,Fe,Sn,Pb,Hg)

金属の溶解で金を生み出す(賢者の石)

ジャビール・ハイヤーン (721-815)による
様々な酸(酢酸、塩酸、硝酸等)の精製

中世

金の価値減少を恐れた権力者から禁止される

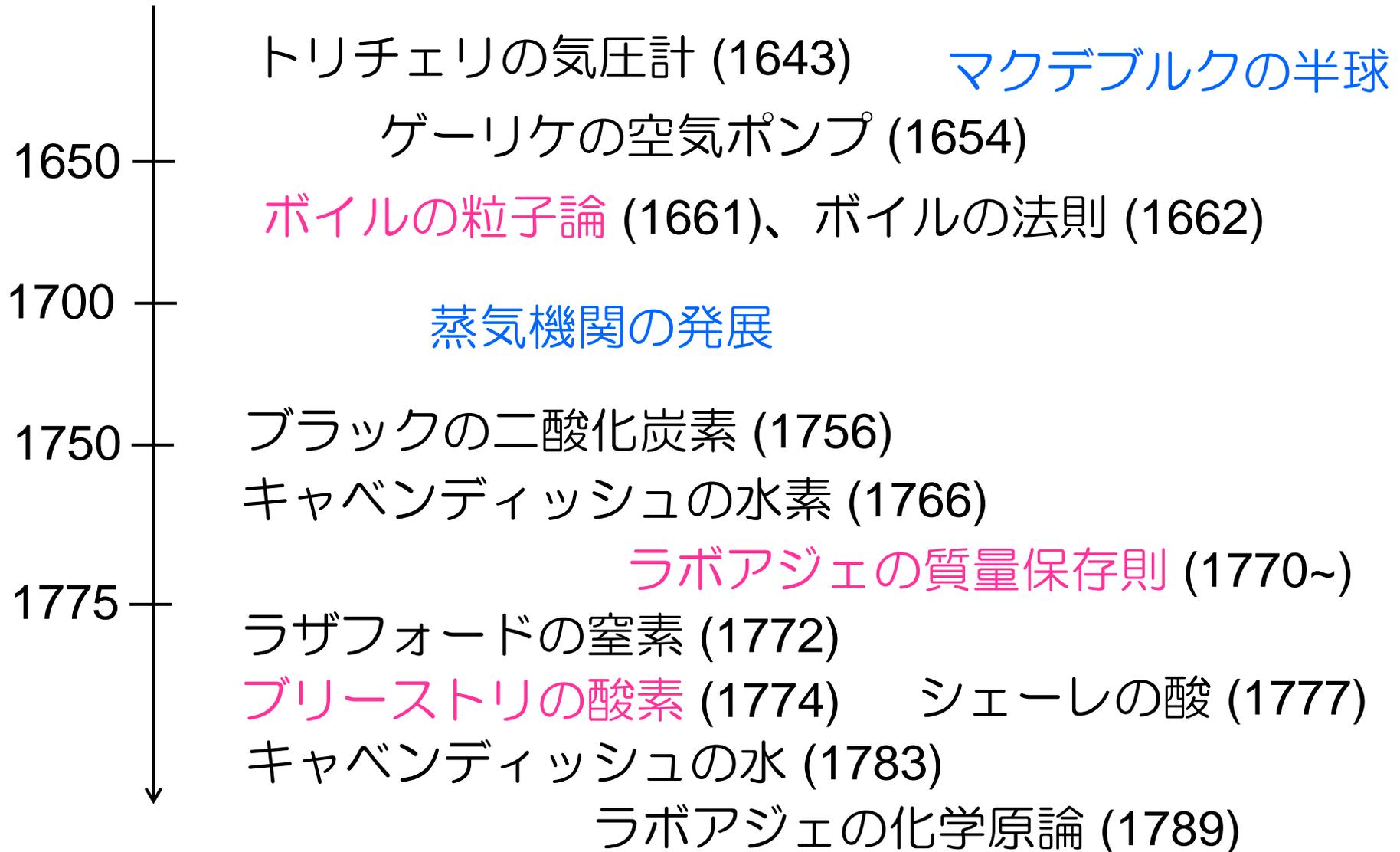
アルベルトゥス・マグヌス (1193-1280)のヒ素の発見

グーデンベルク(1397-1468)の印刷技術

ゲルオク・アグリコラ (1494-1555)による
鉱物学の本「金属について」で錬金術を否定

リバビウス (1540-1616) 「錬金術」中で
塩酸、硫酸アンモニウムの製法

中世の化学史 (元素)



ロバートボイルの粒子論

ボイルの法則、粒子論

ロバートボイル (1627-1691) 錬金術師



sciencehistory.com

1660年「新しい実験機械」
空気ポンプの実験→
気体の体積は圧力と反比例する

>> 先入観を持たずに実験結果を判断する

1661年「懐疑的化学者」中で
化学的に分解できない物質(元素)と
それらが集まった群(化合物)を定義した

プリーストリーの実験

教科書2.1

ジョゼフ・プリーストリー (1733-1804) 哲学者、宗教家

1774年「さまざまな空気に関する実験と観測」

酸素、一酸化窒素、塩化水素、アンモニア、光合成の発見

＜金属灰 (酸化第二水銀) の実験＞

酸化第二水銀を太陽光で集光過熱→水銀と**燃烧促進気体**

脱フロギストン気体、心身爽快

化学反応式

化学式



反応前

反応後

教科書、水銀の燃烧図参

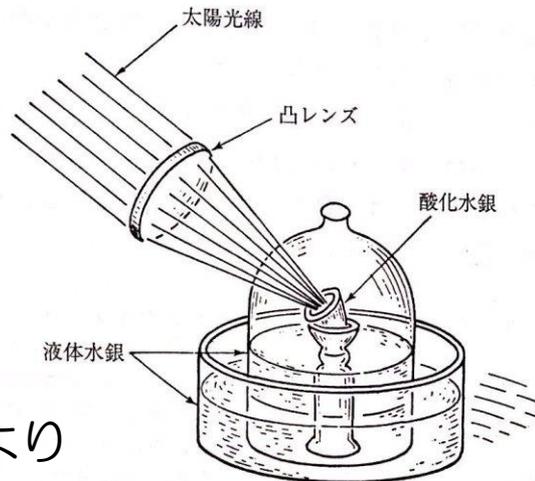
化学の父 ラボアジエ

アントワーヌ・ラボアジエ (1743-1794)



1772年~

- ダイヤモンドの燃焼
- 閉鎖系の金属の燃焼で重量変化がないこと、空気が減少することを発見
- 金属や木の燃焼で空気の1/5だけ反応する
- 酸をつくるものという意味でオキシジェン(oxygen)と命名



化学の歴史より

質量保存の法則

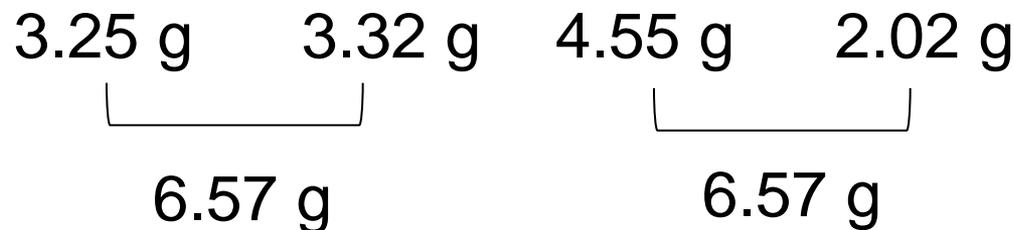
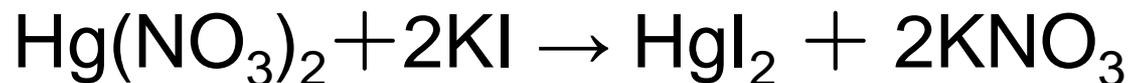
教科書2.1

化学反応において質量の増減はない キーワード

化学反応式

反応前

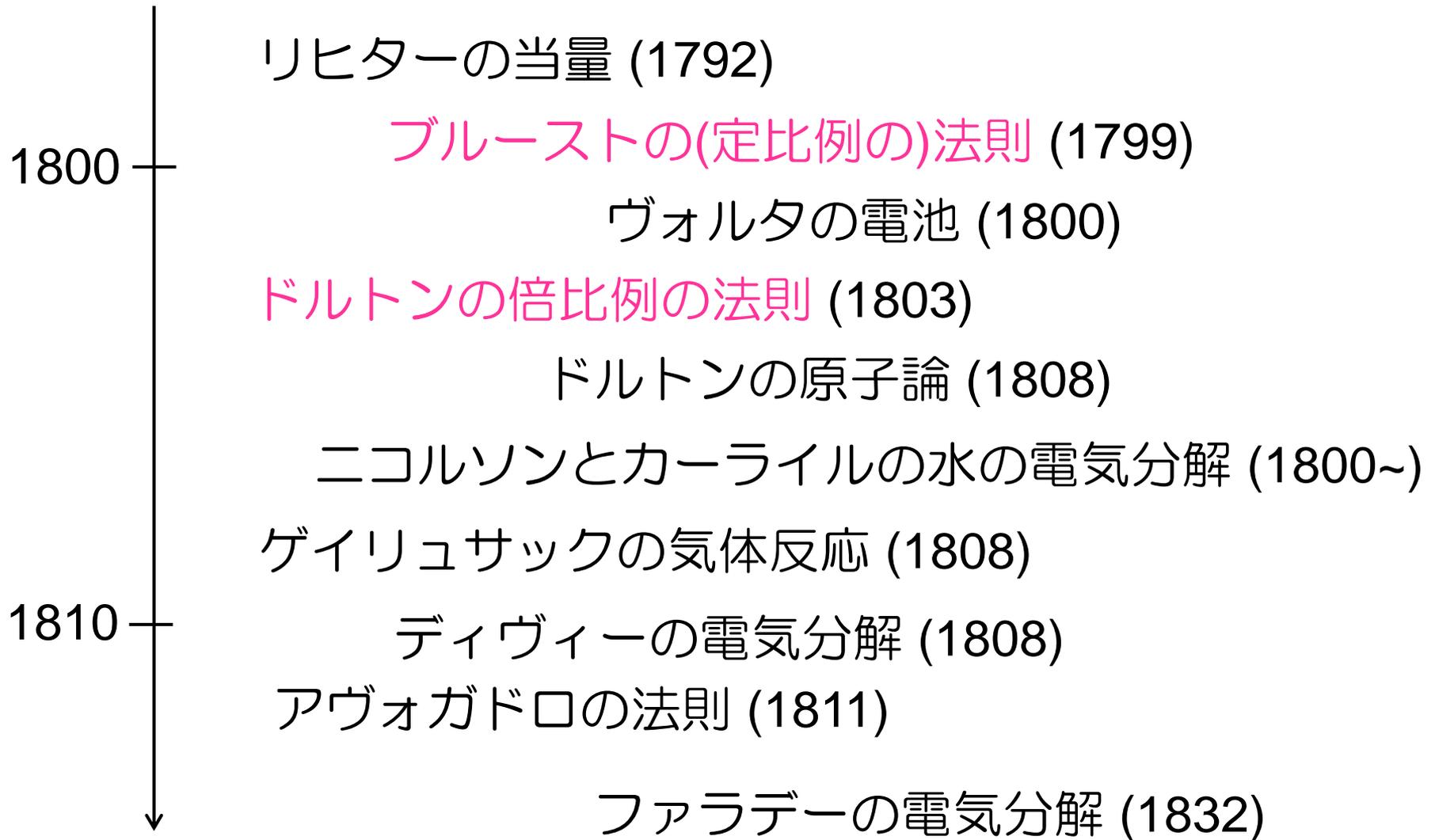
反応後



反応前後での質量の和は等しい

教科書、硝酸水銀とヨウ化カリウムの反応図参

中世の化学史 (原子)



定比例の法則

ブルーストは様々な実験から以下のことを示した

(製法に関係なく)化合物において
元素の質量比は常に一定

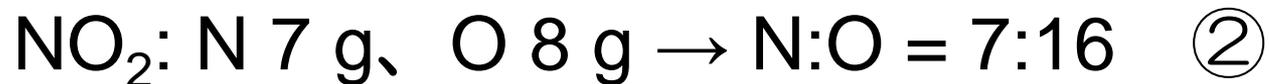
H_2O の質量比は常に1:8 (質量数 $\text{H}\approx 1$, $\text{O}\approx 16$)

CO_2 の質量比は常に3:8 (質量数 $\text{C}=12$, $\text{O}\approx 16$)

*定比例の法則で原子が分割不可能なことが推論された

倍数比例の法則

2種類の元素が結合して異なる化合物が生成するとき、
2種類の化合物の質量は簡単な整数になる



$$\textcircled{1}/\textcircled{2} = (7/8)/(7/16) = 2$$

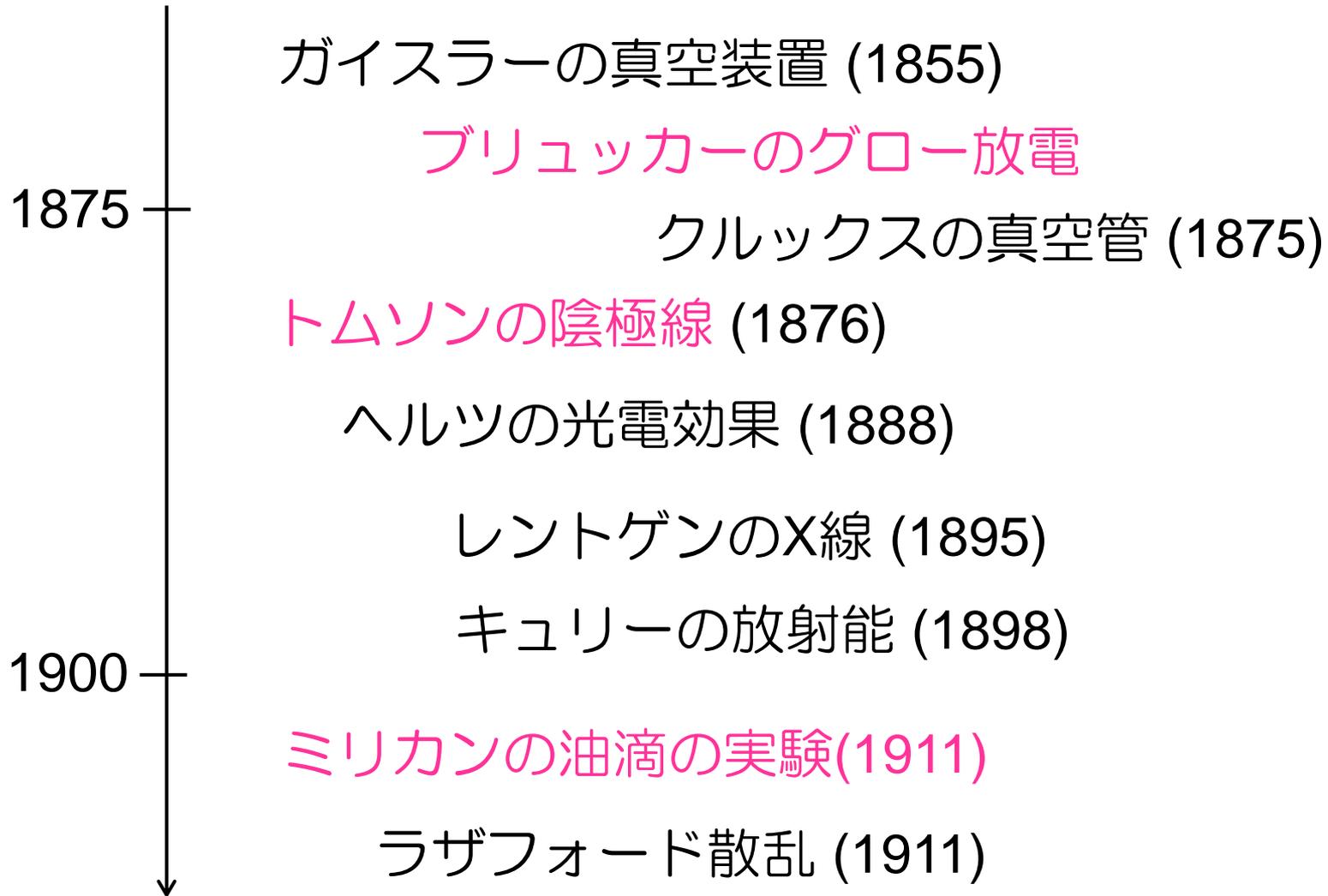
Q. これは本質的には何を意味しているか?

倍数比例の法則

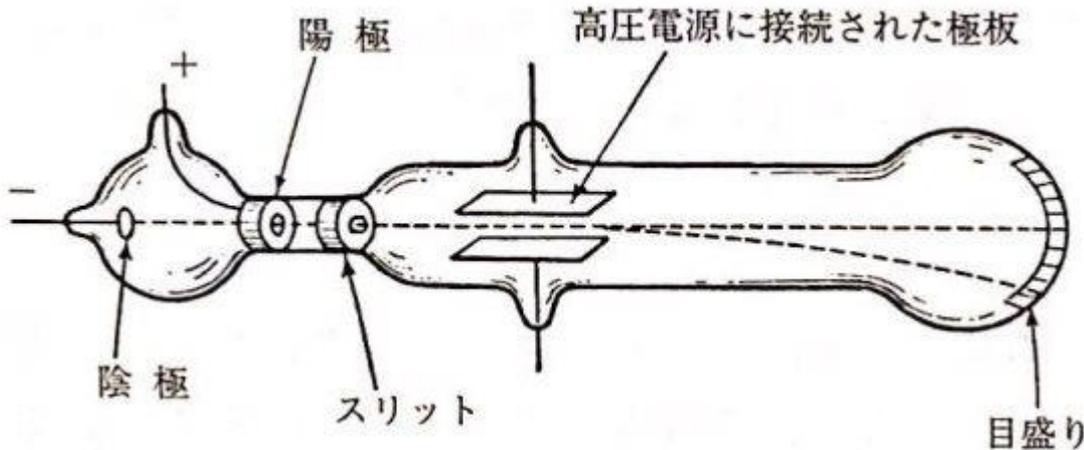
Q. 教科書P.24左側下「質量保存の～づくることになった」
まで読んでみよう

Q. 問題2.1をやってみよう

近世の化学史 (電子)



トムソンの陰極線の実験 (1897)



電離した残留気体の
電極への衝突で電子が
放出されている

真空ガラス管中で、陰極と陽極間に高電圧(1 kV以上)印加
→陰極から電子の放出が観測できる

*X線も放出されており、後のレントゲンの発見に繋がった

E. 実験動画を見てみましょう

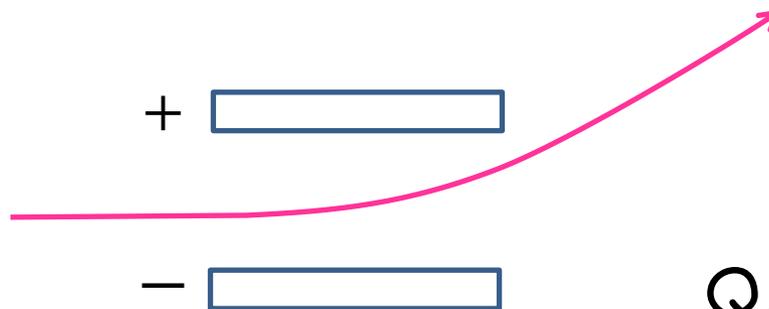
今、見たような実験からトムソンは

1. 電場や磁場が強いほど電子線が偏向する(曲がる)
2. 粒子の電荷が大きいほど電場や磁場による偏向大
3. 粒子が軽いほど電場や磁場による偏向大

電場と磁場による偏向度の観測から

$$e/m = 1.758820 \times 10^8 \text{ C/g}$$

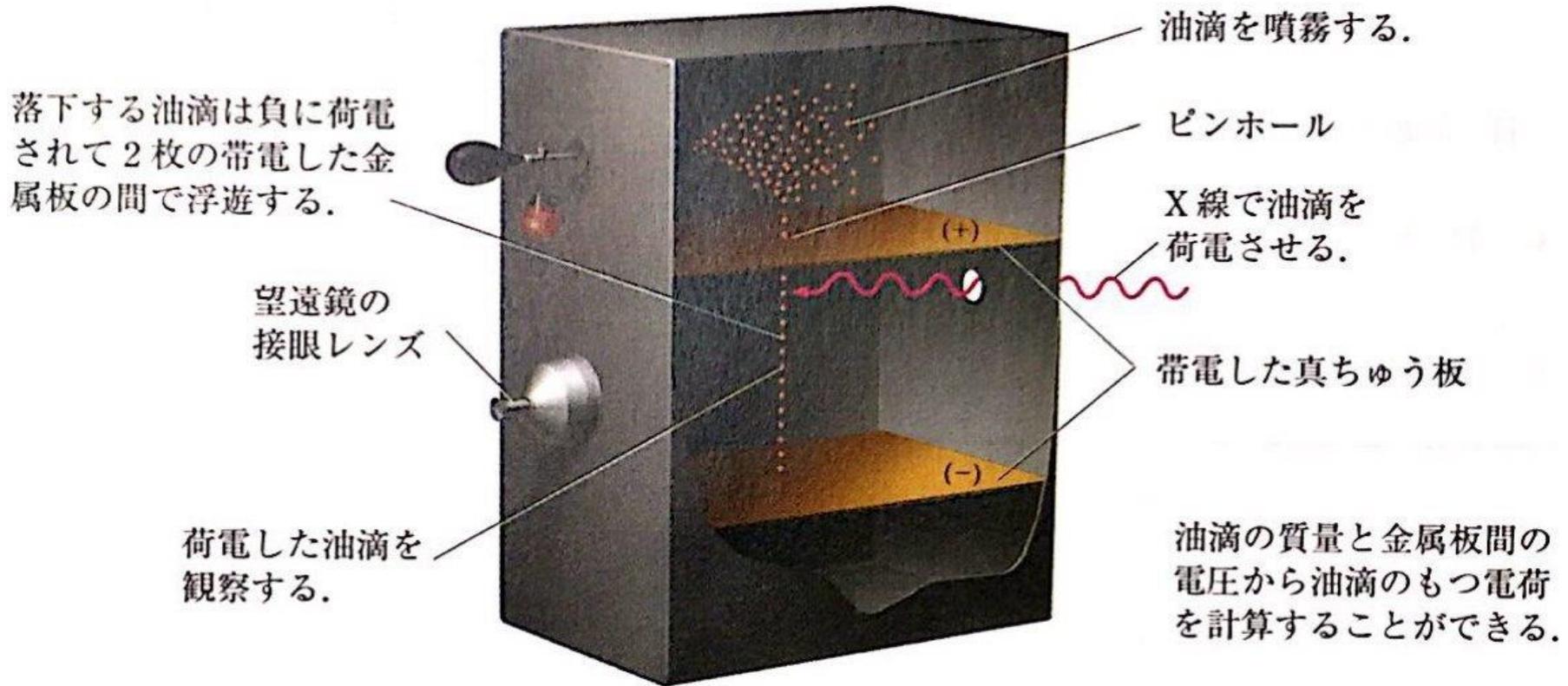
と算出した



電場中の電子

電極間を飛行中に
 $ma = eE$ の力を受ける

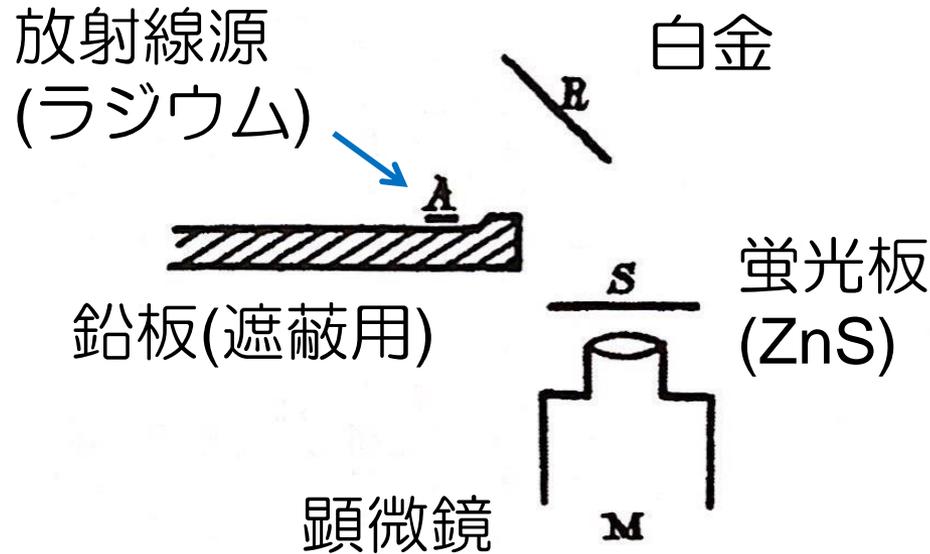
Q. 磁場中の電子は?



1911年、ミリカンは自由落下、電圧による油滴上昇、下降など多くの実験から油滴の電荷が e の整数倍であると示した
求めた $e = 1.602176 \times 10^{-19} \text{ C}$ を
陰極線実験の e/m へ代入して $m = 9.109382 \times 10^{-28} \text{ g}$

ラザフォードの実験

教科書2.4



線源からアルファ粒子
(ヘリウム原子核, +2価)

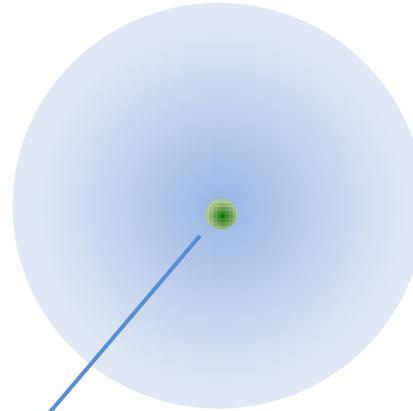
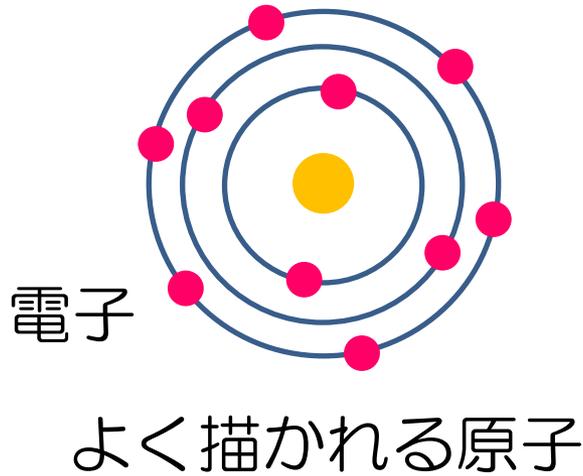
実験結果は、1/8000の割合で、90度以上から後方へ散乱される！
例) 砲弾を薄紙へ発射したら跳ね返ってきた

世界でもっとも美しい10の科学実験より



それまでの原子のイメージは蒸しパンのようなもの(均一でふわふわ) → ではなく、ほとんど何もない空間に密な点があると考えer必要(図2.5右)

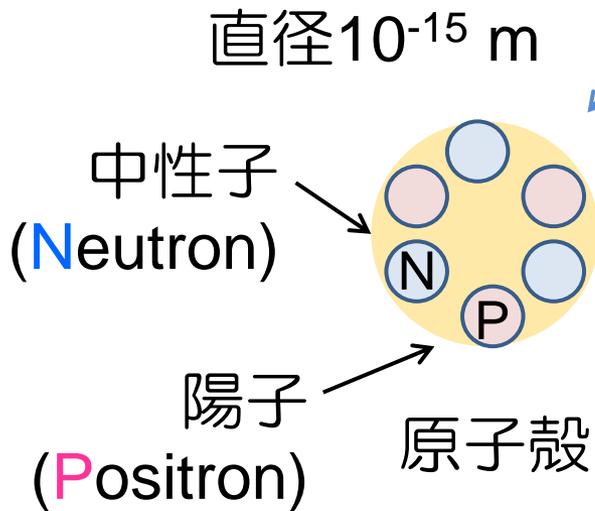
原子の電子配置



負電荷の(薄い)
電子の海

直径 10^{-10} m

実際の原子のスケール



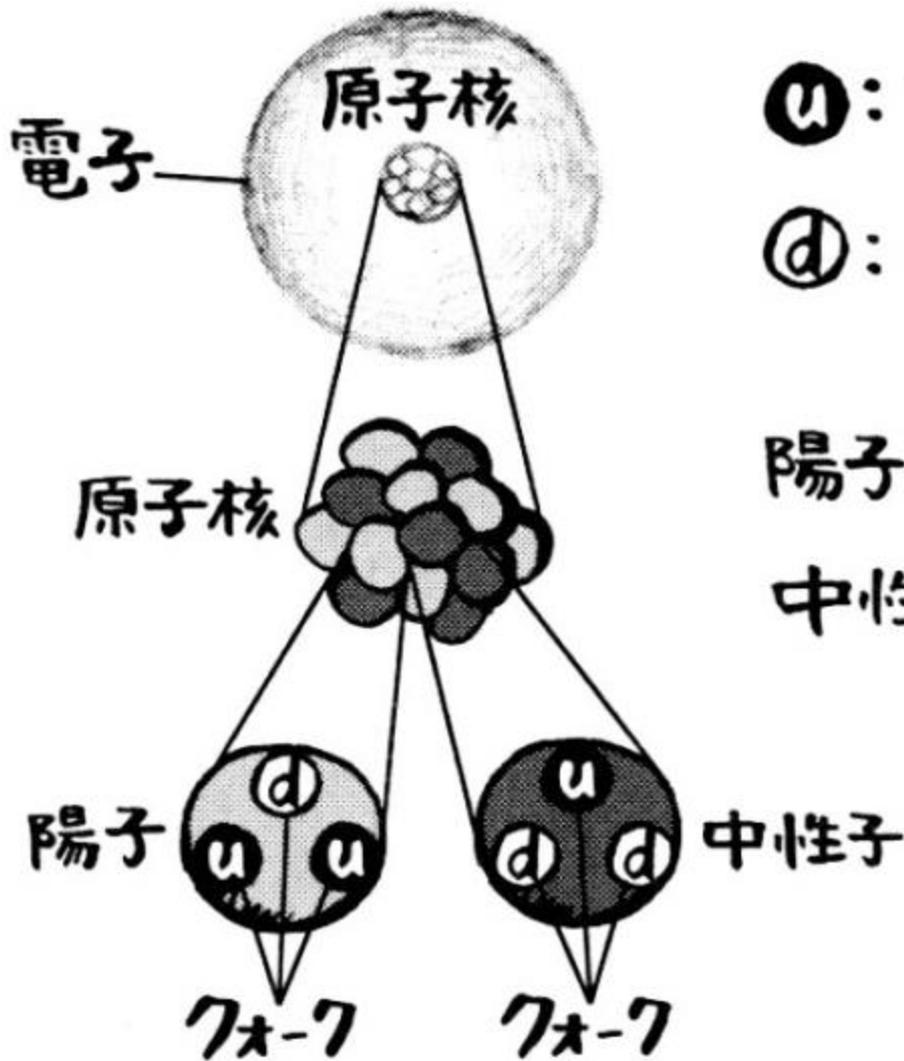
電子(9.10938×10^{-31} kg)

陽子(1.67262×10^{-27} kg)

中性子(1.67493×10^{-27} kg)

*原子核が圧倒的に重い

原子の中



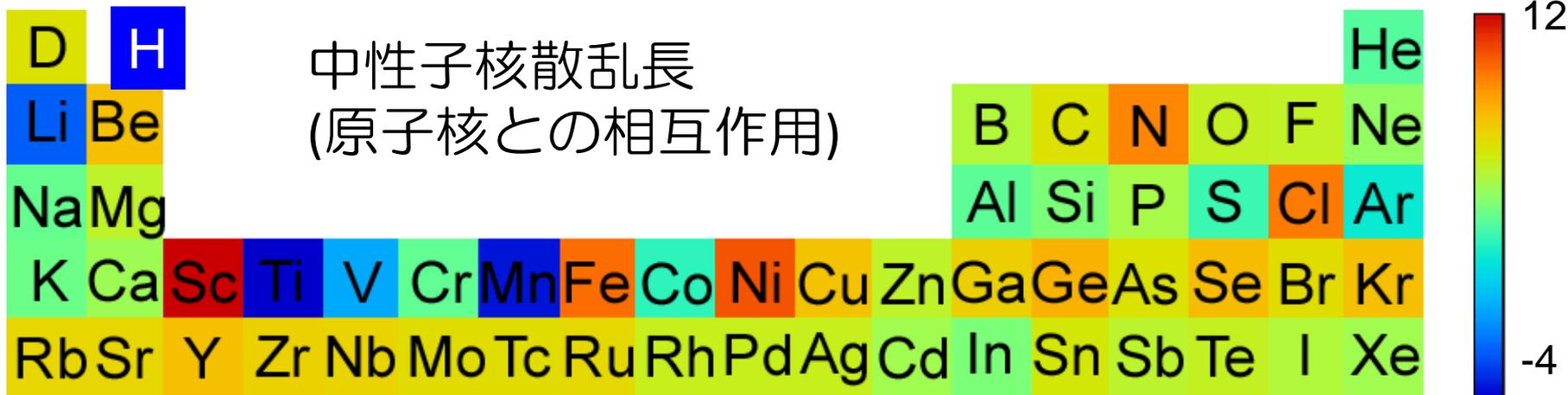
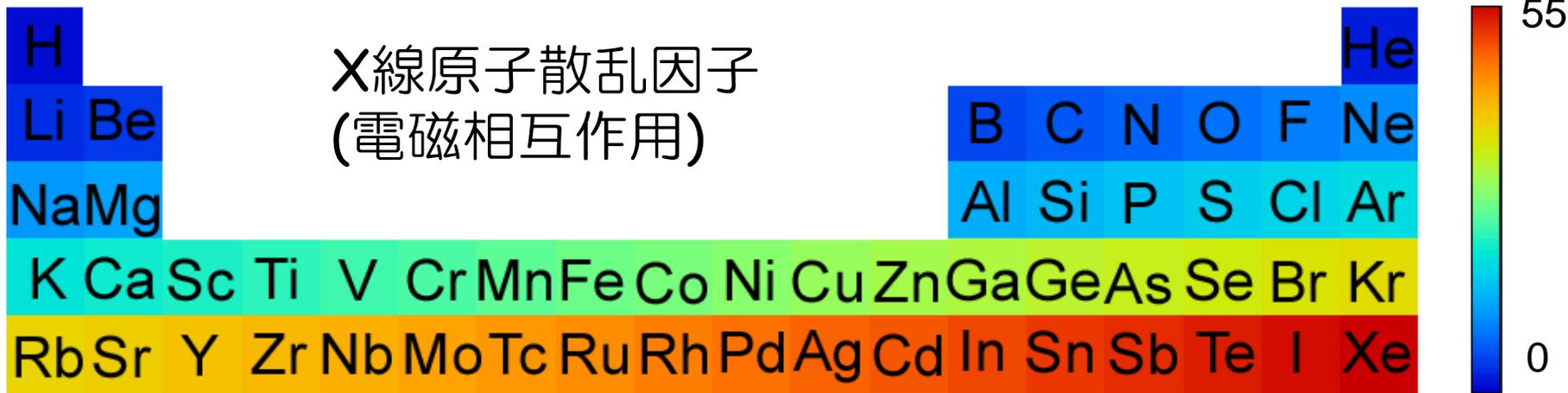
u: アップクォークの電荷 $(+\frac{2}{3}e)$

d: ダウンクォークの電荷 $(-\frac{1}{3}e)$

陽子の電荷: $\frac{2}{3}e + \frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e = +1e$

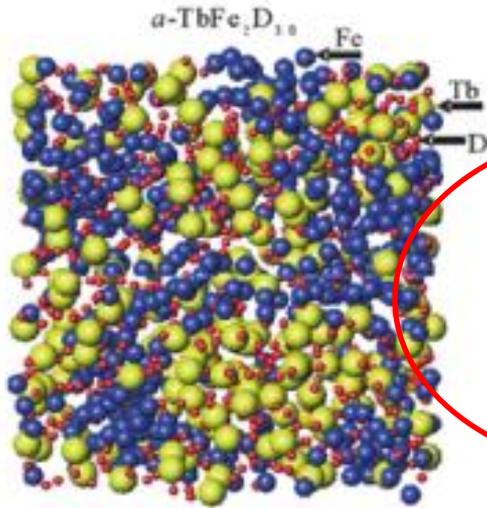
中性子の電荷: $\frac{2}{3}e - \frac{1}{3}e - \frac{1}{3}e = 0$

X線と中性子



相補的利用で物質の本質を探る

中性子とは



結晶構造
アモルファス構造

構造

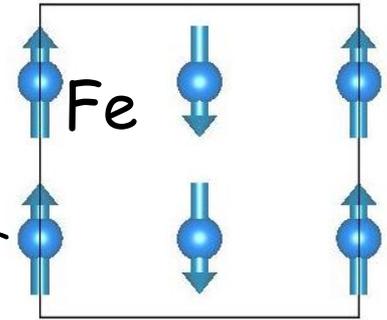
電荷 0
(原子核と相互作用)

運動

質量 1u
2 Å ~ 293 K

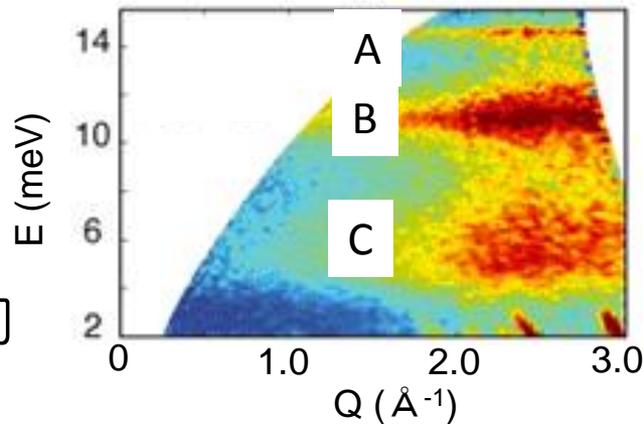
磁性

スピン 1/2
(磁気モーメントと相互作用)



スピン配列
磁気励起

フォノン
トンネル運動



高い透過力
同位体の見分け
原子磁石の並び方
原子の並び
原子の動き
水素の観察

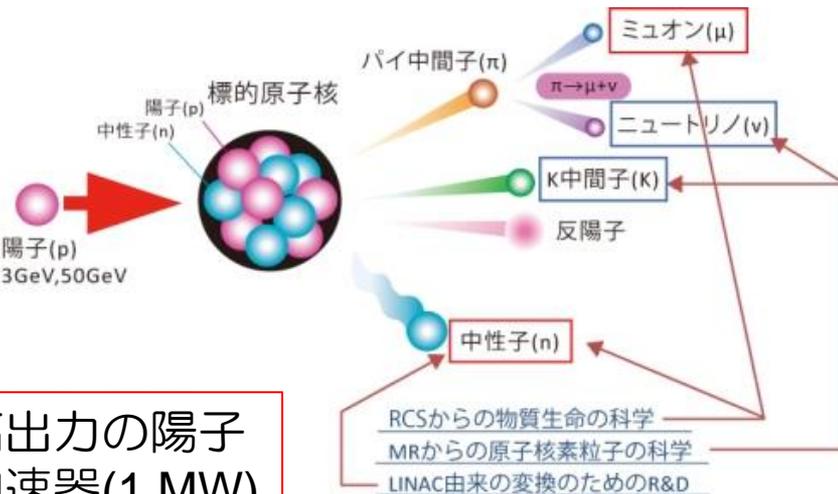
日本の中性子施設



実験用原子炉JRR3

定常型

パルス型

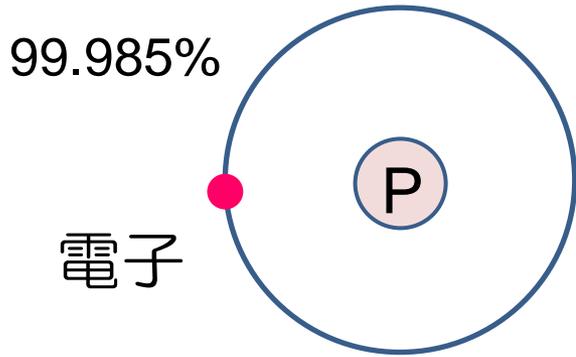


高出力の陽子
加速器(1 MW)

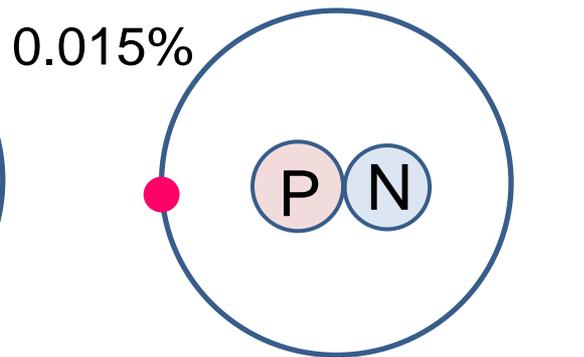


J-PARC(大強度陽子加速器施設) 24

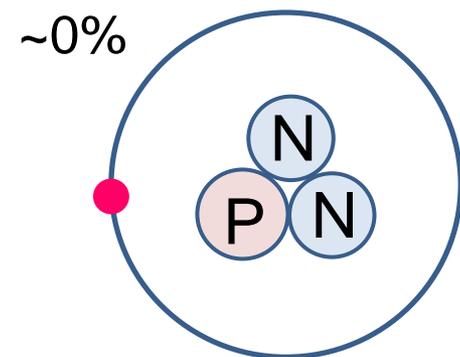
水素と陽子



軽水素
(プロチウム)

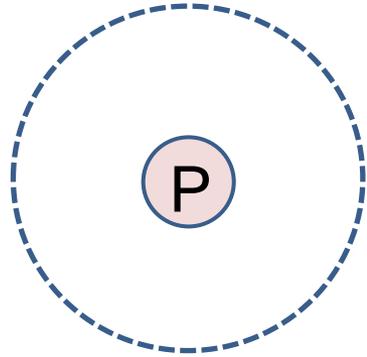


重水素
(ジュウテリウム)

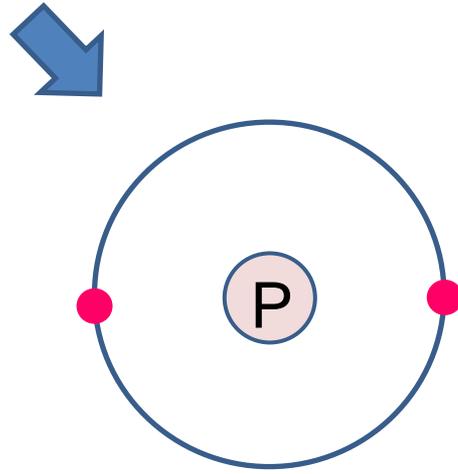


三重水素
(トリチウム)

イオン化



プロトン (陽子 = +1価)



ヒドリド (-2価)

陽子は、あらゆる
ところに存在する

陽子線による
ガン細胞への照射
(エネルギーで
進入深さが決まる)

原子と原子番号

原子番号は
以下のように表す



A: 質量数(陽子と中性子の合計数)

Z: 原子番号(陽子数)

*陽子数(Z)と質量数(A)で分類した
原子核を核種という

中性であればZと電子数は等しい

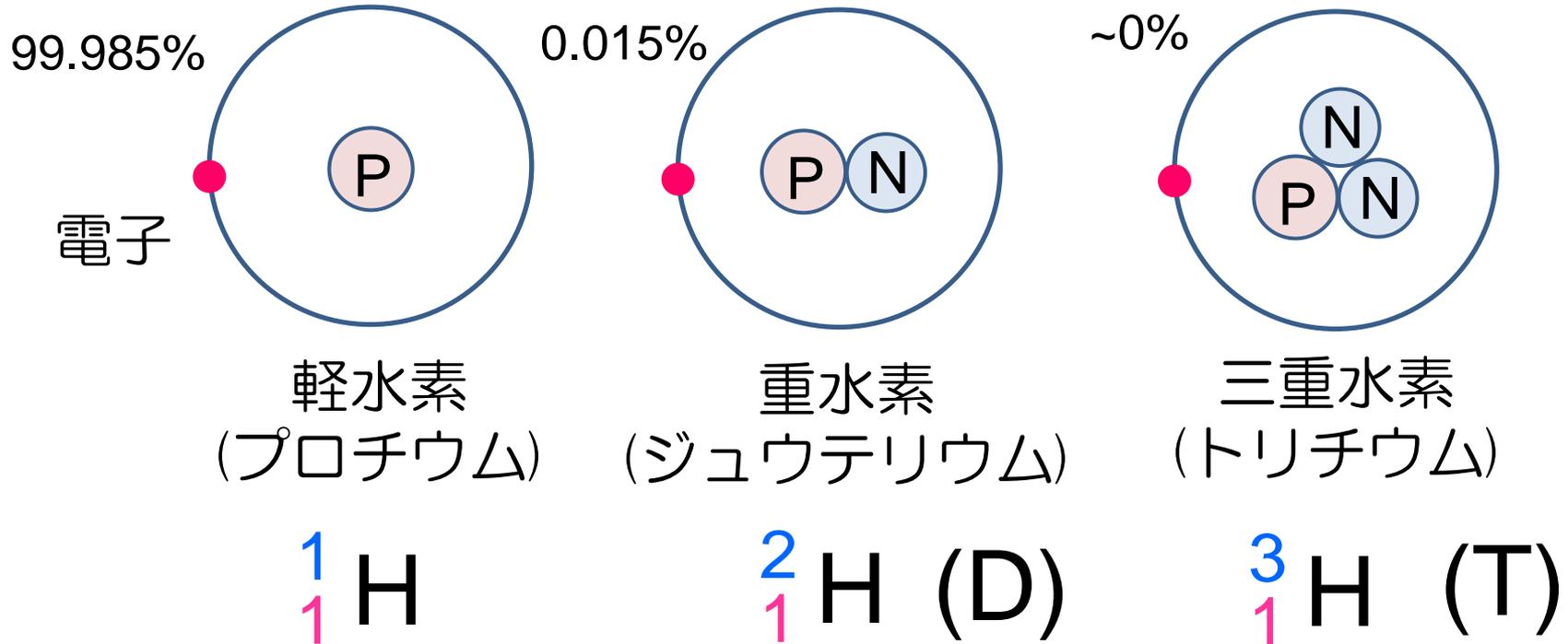


陽子 8個、中性子 8個 ($A-Z=16-8$)
電子 8個



陽子 6個、中性子 6個 ($A-Z=12-6$)
電子6個

同位体

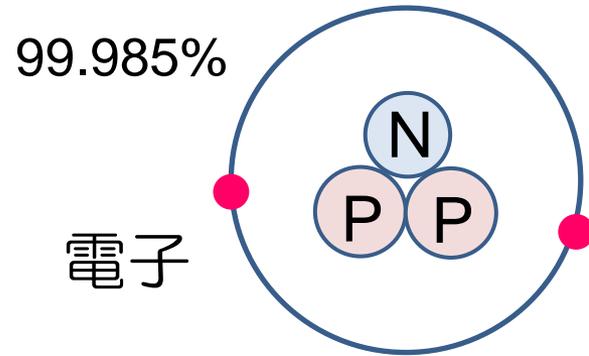


同じ原子番号で中性子数のことなるものを同位体という

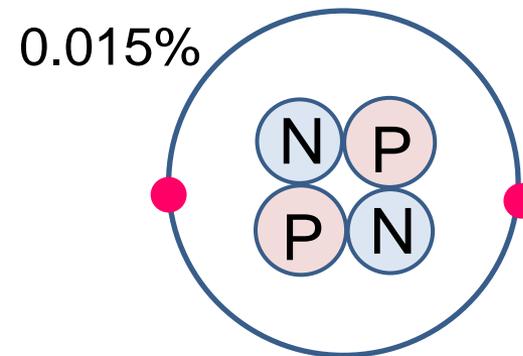
キーワード

*同位体は同じ電子数を有しているので
化学的性質が類似する→分離が困難

同位体



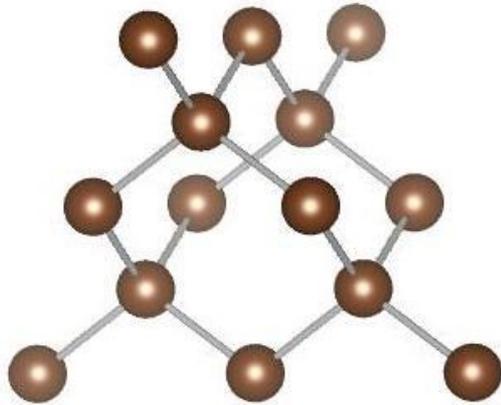
ヘリウム3



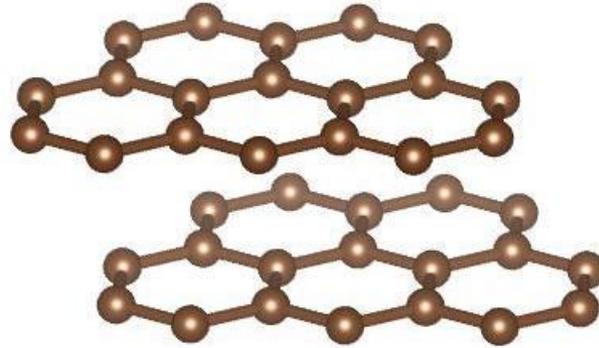
ヘリウム4



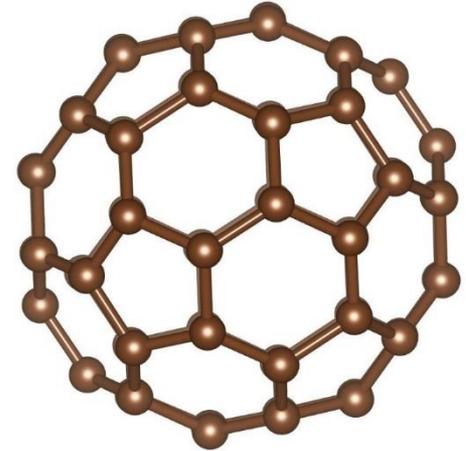
同位体と同素体



C(diamond)



C(graphite)



C60フラーレン

炭素同素体(ダイヤモンド、グラファイト、フラーレン)

同位体：同一元素で中性子数が異なる(原子番号同、質量数異)
同素体：同一元素で構造(性質)の異なる単体

原子と原子番号

例題2.4 ${}^{235}_{92}\text{U}$ の陽子、中性子、電子数は？

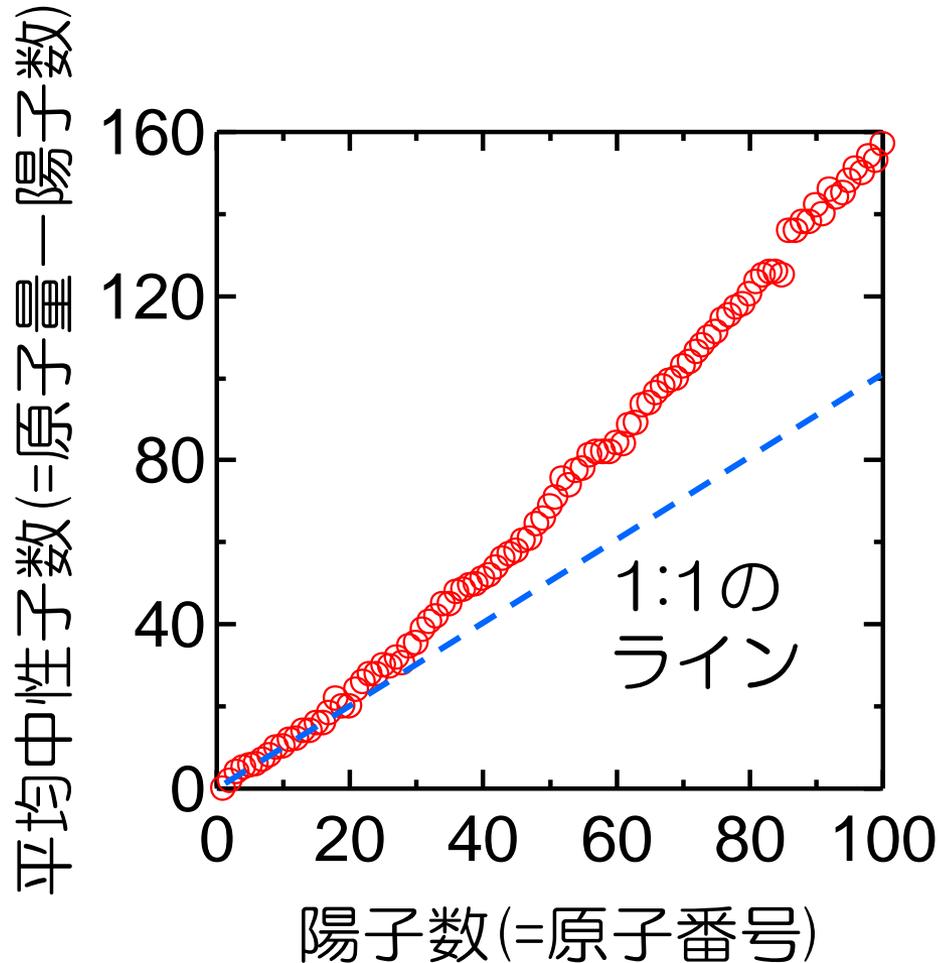
A. 陽子 92個、電子 92個、中性子 $235-92=143$ 個

Q. 問題2.4 ${}^{75}_{34}\text{Se}$ の陽子、中性子、電子数は？

陽子数と中性子数

Q. 陽子と中性子の比は常に1:1か?

→ No



左がP:N = 1:1の原子

^2H 0.015%, ^1H 99.985%

^6Li 7.5%, ^7Li 92.5%

^{10}B 20%, ^{11}B 80%

^{38}K 0%, ^{39}K 93.3%, ^{41}K 6.7%

原子番号大で中性子過多
→質量数大で+電荷の
陽子間の電氣的反発
が強くなるため中性子数
を増して安定化する

原子の相対質量

- ▶ 原子番号は陽子の数を基本としている
- ▶ $^{12}_6\text{C}$ の質量を12としたときの質量を相対質量と呼ぶ
- ▶ $^{12}_6\text{C}$ は12u、 ^1_1H は1.0078u、 $^{16}_8\text{O}$ は15.9949u
- *質量数は陽子と中性子の数の和で核種を区別するもの
- *原子量は同じ元素の全同位体の相対質量の平均値
- *基準のCも $^{12}_6\text{C}$ が98.9%、 $^{13}_6\text{C}$ が1.1%の存在比で12ではない
- *他の原子の相対質量は $^{12}_6\text{C}$ の絶対質量 1.9926×10^{-23} gを用いて算出する

原子の相対質量

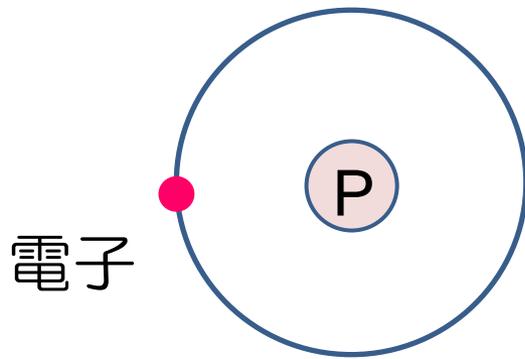
Q. 例題2.5を理解し、問題2.7(Cuの原子量)を解いてみる

*ここでは、 ${}_{29}^{63}\text{Cu}$ (存在比69.15%, 相対質量62.93)と
 ${}_{29}^{65}\text{Cu}$ (存在比69.15%, 相対質量62.93)の2種類の同位体のみ
としている

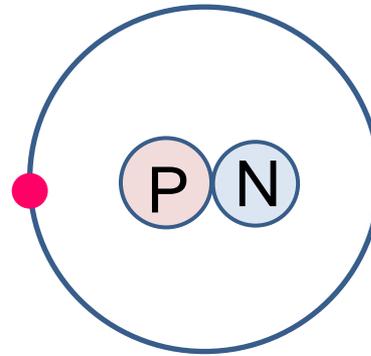
本日の最重要ポイント

A
Z X

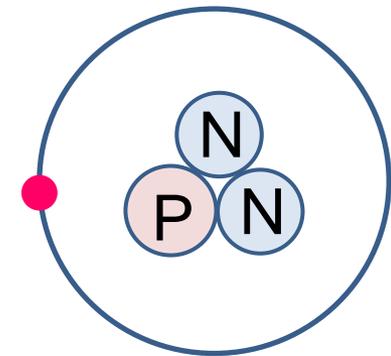
原子番号、陽子数、中性子数、質量数、
相対質量、同位体、同素体の意味を理解し、
原子量を計算することができる



軽水素
(プロチウム)



重水素
(ジュウテリウム)



三重水素
(トリチウム)

第2回まとめ

今回は、原子の構造について

- 化学反応における各古典法則
- 原子の構造
- 原子番号、陽子数、中性子数、質量数、
相対質量、同位体、同素体、原子量

を学んだ

次回は「原子の周期性と電子構造」についてを
学びます *2.8, 2.9は別の回(放射線化学)にて
今回の構造図はVESTAを用いています

一般化学 第2回小テスト

Q1. 第2回のキーワードを記しなさい

Q2. 原子番号、陽子数、中性子数、質量数、相対質量、同位体の関係をシンプルに説明せよ

Q3. Kの原子量を求めよ。

^{39}K は陽子19個、中性子20個、相対質量38.96で、存在比93.26%、 ^{41}K は陽子19個、中性子22個、相対質量40.96で、存在比6.73%、他の同位体は0%とする

一般化学 第2回レポート

〈グループ学習〉 5名のグループによるレポート

アイザック・アシモフ 著

化学の歴史 (ちくま学芸文庫) 中の

錬金術、転換期、気体、原子、周期表の章から一つを選び、興味を持った点について5枚のスライドにまとめこと。各人が1ページを担当し、名前と学籍番号を記入する。欠員が出た場合は、リーダーがフォローする。締め切りは1か月後、次の回で評価を公開する。提出で5点、上位優秀5Grにさらに5~1点を加算する。ボーナスポイント扱い。最低1回は、ZOOM上で全員が議論すること。