



ハカセの

宇宙一キビしい

チェック!!



理解できたものに、 チェックをつけよう。

- 質量数と原子番号の関係 $A = Z + N$ を覚えた。
- $1u = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$ を (統一) 原子質量単位と呼ぶ。
- 放射線には α 線・ β 線・ γ 線の3種類があり、それぞれの性質を覚えた。
- α 崩壊では、 α 線を放出するので、質量数が4、原子番号が2減った物体に変化する。
- β 崩壊では、1個の中性子が電子と陽子に変化するので、原子番号が1増えた物体に変化する。
- 半減期の意味を理解し、 $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{t}{T}}$ の式を覚えた。
- 原子核は、原子核そのものの質量よりも陽子と中性子(核子)がバラバラの状態の質量のほうが大きく、その質量差を質量欠損という。
- 質量欠損の式 $\Delta m = Zm_p + Nm_n - M$ の意味を理解した。
- 原子核をバラバラにするのに必要なエネルギーを結合エネルギーといい、 $\Delta E = \Delta mc^2$ である。
- 核反応の前後では、「質量数の総和と原子番号の総和は不変」という関係があることを理解した。

2人とも
ここまでよく
頑張ったのう



長かったわ...



たのしかったよ!



Chapter

14

原子核反応

- 14-1 原子核の構造
- 14-2 放射線
- 14-3 放射性崩壊
- 14-4 半減期
- 14-5 質量欠損と結合エネルギー
- 14-6 核反応
- 14-7 核分裂と核融合

14

原子核反応

はじめに

さあ、ついに最後の章までやってきました。
ラストは原子核反応です。

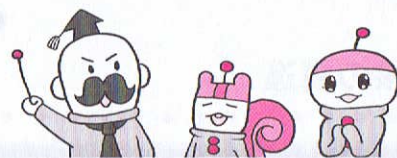
化学反応では、原子や分子どうしの結びつきが変わりますが、
原子核反応は、ある原子核が、別の原子核に変身してしまう反応です。
さらに、1つの原子核が分裂したり、いくつかの原子核が合体したりする、
魔法のような反応が出てきます。

「どれくらいの時間で反応するか」とか「反応の際にどれほどのエネルギーが生じるか」などという話もしていきます。
ここまで読み進めてきた人なら、簡単に理解できるでしょう。
もうひと踏ん張り、頑張りましょう！

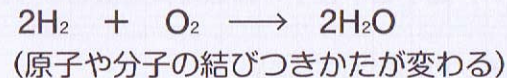
この章で勉強すること

まず、原子核の構造や、それにまつわる用語などを説明します。
そして、原子核に関する現象(崩壊, 原子核反応, etc...)を紹介していきます。

宇宙一
わかりやすい
ハカセの
Introduction



【化学反応】

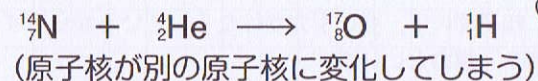


「宇宙一わかりやすい
高校化学」シリーズで
勉強したよ

あからさまな
宣伝ね…



【原子核反応】

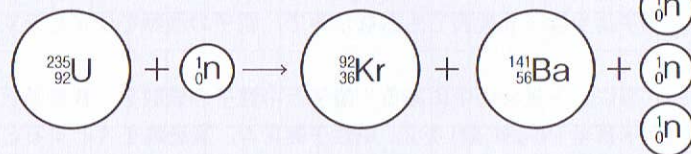


原子の種類が
変わってしまうのが
原子核反応じゃ

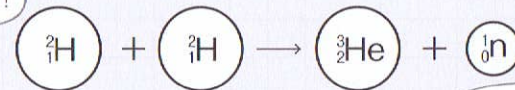


まるで魔法のような原子核反応

分裂しなさい



融合するんじゃ！

ボクも
魔法使いたい！向き不向きが
あるから…

この Chapter の
内容を理解したら
魔法が使えるかも？

Let's
study!!

14-1 原子核の構造

ココをおさえよう!

原子核は陽子と中性子から成る。
陽子の数を原子番号といい、陽子と中性子の総数を質量数という。

原子核は、次の2つの粒子が集まって構成されています。

陽子：正電荷 $+e$ (C)をもつ。

中性子：電荷をもたない、中性の粒子。

これらの粒子を総称して、**核子**といいます。

陽子同士は同種の電荷をもつので反発するはずなのに、なぜ陽子と中性子はくっついていられるかという、核子間には、強い引力がはたらいているからです。この、**核子間にはたらく引力**を、**核力**といいます。

原子核内の陽子の数を、**原子番号**といいます。

原子番号 Z の原子には、 Z 個の陽子があるので、原子核は $+Ze$ (C)に帯電しています。

その周りを、 Z 個の電子が回転しているのです。

原子番号は、周期表でもおなじみで、原子の種類を決定しますね。

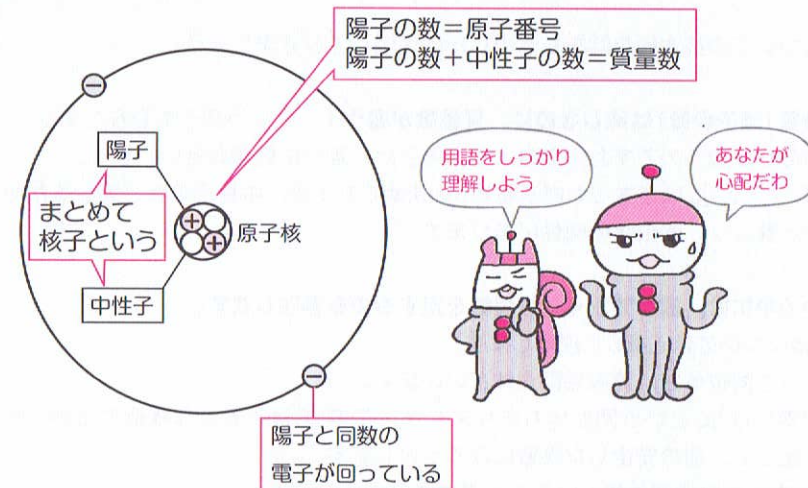
さらに、原子核の中にある、陽子と中性子の総数を、**質量数**といいます。

原子番号(陽子の数)を Z 、中性子数を N 、質量数を A とすると

$$A = Z + N$$

となるわけですね。

原子の構造



原子の表しかた

質量数 = 陽子の数 + 中性子の数



原子番号 = 陽子の数

元素記号

「原子番号 = 陽子の数」によって
元素記号は決まるぞい
ここまでは大丈夫じゃな?



原子についての基本的な話をもう少しだけ説明しておきましょう

原子番号(陽子の数)は同じなのに、質量数が違う! という原子も存在します。
中性子の数が違うのですね。そのような原子は、互いに**同位体**といいます。
例えば、 $^{12}_6\text{C}$ と $^{13}_6\text{C}$ はどちらも原子番号6の炭素Cですが、中性子の数が異なるため質量数が異なり、同位体の関係にあります。

同位体の中には、放っておくと放射線を出すものも存在します。

(放射線についてはp.452で説明します)

そのような同位体を、**放射性同位体**といいます。

実は炭素には $^{14}_6\text{C}$ という同位体もありますが、この $^{14}_6\text{C}$ は不安定な構造のため、放射線を出して、別の安定した物質になろうとします。

$^{14}_6\text{C}$ は炭素の放射性同位体ということですね。

最後に原子核の質量についてお話しておきましょう。

原子の質量は 10^{-27} kgとか、 10^{-26} kgなどと、とても小さいので不便なことがあります。

そこで、 $^{12}_6\text{C}$ の原子1個(電子も含む)の質量の $\frac{1}{12}$ を基準として1 uとしました。

1 u = 1.66×10^{-27} kgで、これを**(統一)原子質量単位**といいます。

質量数がAの原子の質量は、 $A \times 1.66 \times 10^{-27}$ [kg] = A [u]にほぼ等しくなります。
uという単位が出てきたら、「これは質量のことだ」と考えて問題を解きましょう。

同位体 …原子番号は同じだけど、中性子の数が違うもの。



原子番号: 6
(陽子の数)
中性子の数: 6

オレたち似てるけど
ちょっと違うぜ



原子番号: 6
(陽子の数)
中性子の数: 7

陽子の数が6だから
Cなのじゃが
中性子の数が違うんじゃ



放射性同位体 …同位体の中で、構造が不安定で放射線を出すもの。

どうせオレなんて…
いや、いいところも
あるんだけどね
でも……



放射線
~~~~~

まるで失恋したときの  
私の精神状態の  
ようだよ

放射線  
出さないでね!



不安定で、放射線を出して  
別の物質になろうとする。

**原子質量単位**

$$1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27} \text{ kg}$$



オレの質量の $\frac{1}{12}$ を  
1 uと定めたぜ

別冊のp.99で  
(J)の代わりに[eV]を用いたじゃる?  
あれと同じで  
[kg]の代わりに[u]を用いる  
というだけじゃ



ここまでやったら

別冊 P. 112へ

## 14-2 放射線

ココをおさえよう!

放射線には、主に $\alpha$ 線、 $\beta$ 線、 $\gamma$ 線の3種類がある。

1896年、ベクレルという学者が「**ウランから、物質を通り抜ける性質をもった『何か』が出ておる!**」ということを発見し、その『何か』は**放射線**と名づけられました。

放射線には、電離作用と、透過という2つの特徴があります。

**電離作用**とは、**原子がもつ電子をはじき飛ばしてしまう**というはたらきです。

**透過**とは、文字通り物質を通り抜ける性質のことです。

「放射線が怖い」といわれるのは、多量の放射線を浴びると、電離作用などによって人間の体内細胞が壊されてしまう恐れがあるからです。

放射線には、主に次の3種類があります。

### ① $\alpha$ 線

$\alpha$ 線の正体は、ヘリウム ${}^4_2\text{He}$ の原子核です。

ヘリウムの原子番号は2ですから、2個の陽子をもっていますね。

したがって、 $\alpha$ 線は、 $+2e(\text{C})$ の電荷をもっています。

$\alpha$ 線は、強い電離作用をもつ一方、透過力は弱いです。

### ② $\beta$ 線

$\beta$ 線の正体は、電子です。なので、 $\beta$ 線は $-e(\text{C})$ の電荷をもっています。

$\beta$ 線は、 $\alpha$ 線と、次に紹介する $\gamma$ 線の間ぐらいの電離作用と透過力をもちます。

### ③ $\gamma$ 線

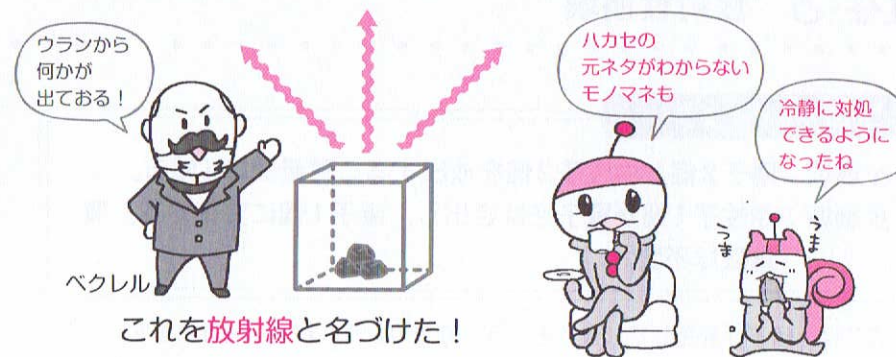
$\gamma$ 線の正体は、電磁波です。

$\gamma$ 線は中性であり、弱い電離作用をもち、強い透過力をもちます。

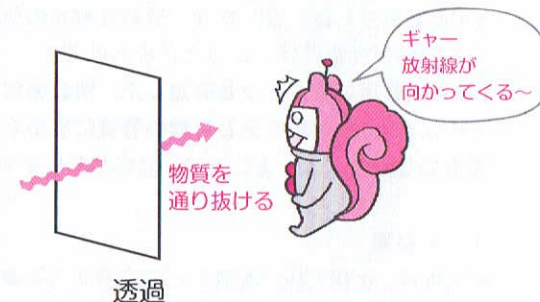
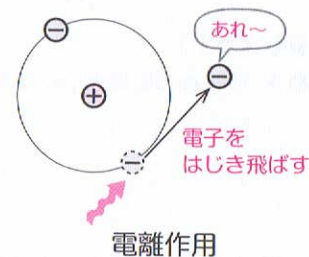
ウランやラジウムは、放っておいても勝手に放射線を出してしまいます。

そのような、**自然に放射線を出す性質を放射能**といいます。

また、**放射能の性質をもった物質のことを、放射性物質**といいます。



### 放射線の特徴



### 放射線の種類



|            | 正体          | 電荷    | 電離作用 | 透過力   |
|------------|-------------|-------|------|-------|
| $\alpha$ 線 | <br>ヘリウム原子核 | $+2e$ | 強    | <br>弱 |
| $\beta$ 線  | <br>電子      | $-e$  | 中    | <br>中 |
| $\gamma$ 線 | <br>電磁波     | 0     | 弱    | <br>強 |

# 14-3 放射性崩壊

## ココをおさえよう!

**α崩壊**：陽子2個と中性子2個を放出する。質量数は4減る。  
**β崩壊**：中性子1個が電子をはき出し、陽子1個に変化する。質量数は不変。

ここでは、原子が変身してしまうという、魔法のような現象を紹介します。

p.450でも少し話しましたが、放射性物質の原子核は非常に不安定です。そこで放射性物質は、こう考えるわけです。

**「放射線を出して、もっと安定した、別の物質に変身しよう！」**

このような、放射線を出して別の物質に変身する現象を、原子核の**崩壊**といいます。変身のしかたには、主に次の2種類があります。

### ① α崩壊

α崩壊は、α線( ${}^4_2\text{He}$ )を放出して変身する現象です。つまり、**陽子2個、中性子2個を放出して、それに対応した原子に変身する**のです。質量数が4、原子番号が2減った物質に変身するわけですね。  
 (例) ウラン238のα崩壊  ${}^{238}_{92}\text{U} \longrightarrow {}^{234}_{90}\text{Th} + {}^4_2\text{He}$

### ② β崩壊

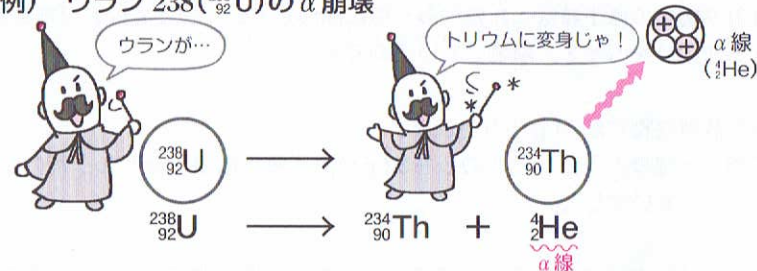
β崩壊はもっと不思議で、**1個の中性子が電子と陽子に変化**します。そして**電子が放出される**のです。そのため、**原子番号が1増えた物質に変身**してしまうのです。放出された電子が、β線として観測されます。  
 (例) 鉛210のβ崩壊  ${}^{210}_{82}\text{Pb} \longrightarrow {}^{210}_{83}\text{Bi} + {}^0_{-1}\text{e}$

α崩壊や、β崩壊は1度しかなかったわけではなく、何度か行われたりします。「α崩壊は、 ${}^4_2\text{He}$ が放出され、質量数が4減少、原子番号が2減少する」「β崩壊は、電子が放出され、質量数は不変だが、原子番号が1増加する」ということです。別冊で問題の解きかたに慣れてくださいね。

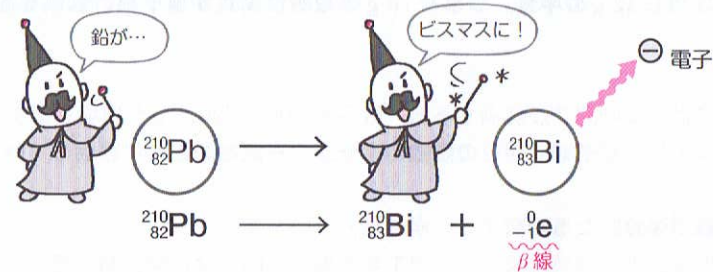
## 放射性崩壊

不安定な原子核が放射線を出して、安定した別の原子核になること。

- ① **α崩壊**：α線( ${}^4_2\text{He}$ )を放出する崩壊  
 (例) ウラン238( ${}^{238}_{92}\text{U}$ )のα崩壊



- ② **β崩壊**：中性子1個が、陽子と電子に変わり、電子が放出される崩壊  
 (例) 鉛210( ${}^{210}_{82}\text{Pb}$ )のβ崩壊



|     | 質量数   | 原子番号 |
|-----|-------|------|
| α崩壊 | 4減少   | 2減少  |
| β崩壊 | 変わらない | 1増加  |

これは重要だよ

β崩壊は中性子→陽子+電子なので電子が放出されて原子番号(陽子の数)は+1なのよ

# 14-4 半減期

ココをおさえよう!

半減期ごとに、残る原子核の半分が崩壊していく。

放射性物質の原子核は、ただやみくもに崩壊していくわけではありません。ある法則性をもって、崩壊していくのです。

ある放射性物質が64 gあるとします。

時間  $T$  が経つと、この物質のうち32 gが原子核の崩壊を起こし、別の原子核に変身してしまいました。

さらに時間  $T$  が経過すると、残る32 gの放射性物質のうち、何gが原子核の崩壊を起こすでしょうか。

「最初に32 gが原子核の崩壊をしたから、今度も32 gじゃない？」

いえ、それが違うのです。

今度は残る32 gの半分、つまり16 gの放射性物質が原子核の崩壊を起こすのです。

そしてさらに時間  $T$  が経過すると、残る16 gの半分の8 gが崩壊します。

このように、原子核は残りの個数の半分が、一定時間ごとに崩壊していきます。

原子核が半分になる時間  $T$  を、半減期といいます。

半減期は原子の種類によって、何千年の場合もあれば、何日間の場合もあります。

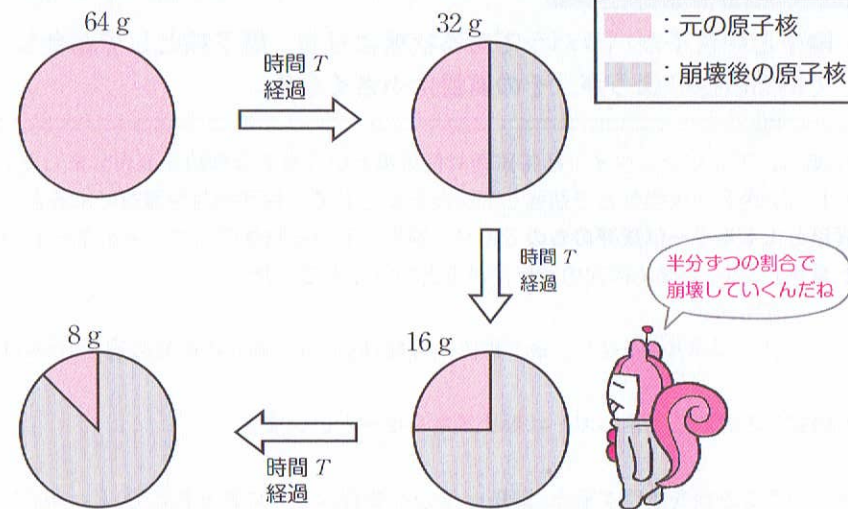
最初の原子核の数を  $N_0$ 、半減期を  $T$ 、経過した時間を  $t$  とすると

$t$  経過後に崩壊しないで残っている原子核の個数  $N$  は、次のように表されます。

$$N = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$

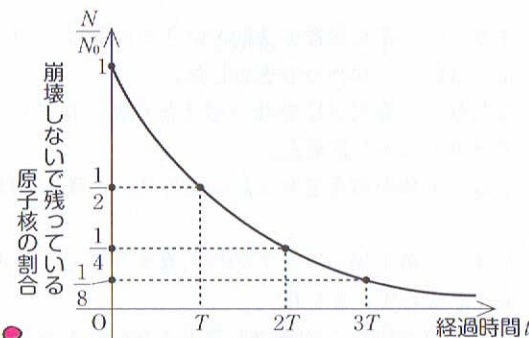
**半減期** …原子核が崩壊して、元の半分の量になる時間。

(例) 64 gの放射性物質



最初の原子核の数を  $N_0$ 、半減期を  $T$ 、経過時間を  $t$  とすると

$$N = N_0 \left( \frac{1}{2} \right)^{\frac{t}{T}}$$



式はややこしく見えるかもしれんがやっていることは簡単じゃ



グラフにするとこんな感じなのね

ここまでやったら

別冊 p. 115へ

## 14-5 質量欠損と結合エネルギー

## ココをおさえよう!

陽子と中性子がバラバラである状態よりも、原子核として結合している状態のほうが、その質量は小さくなる。

1905年、アインシュタインは特殊相対性理論という有名な理論を発表しました。くわしい内容は大学などで勉強していただくとして、特殊相対性理論によると**質量とエネルギーは同等のもの**であり、静止している物体のもつエネルギー  $E$  [J] と質量  $m$  [kg] の間には次の関係があるということでした。

$$E = mc^2$$

( $E$ : エネルギー [J]  $m$ : 物体の質量 [kg]  $c$ : 真空中の光の速さ [m/s])

この式で表されるエネルギーは**静止エネルギー**といいます。

どういうことかを説明すると、質量  $m$  [kg] の物体はそこにあるだけで、 $E = mc^2$  [J] の静止エネルギーをもっているということです。

$m$  が大きい物体は、それだけで静止エネルギーが大きいということなので、「質量とエネルギーは同等のものだよ」とアインシュタインは発表したのです。

化学では、質量保存の法則というのがあり、「化学反応の前後で物質の総質量は変化しない」と教わってきました。

たしかに、質量がいきなり増えたり減ったりするような不思議なことは、私たちの日常ではありません。

(「なんで体重増えちゃったんだろ?」と嘆く人は、必ず何かを食べています)

しかし、原子核レベルでの反応を考えると、説明できないような不思議な質量の変化が起きていました。

アインシュタインの提唱した  $E = mc^2$  によって、その不思議な質量の変化は説明されるのです。p.460 でくわしく見ていきましょう。

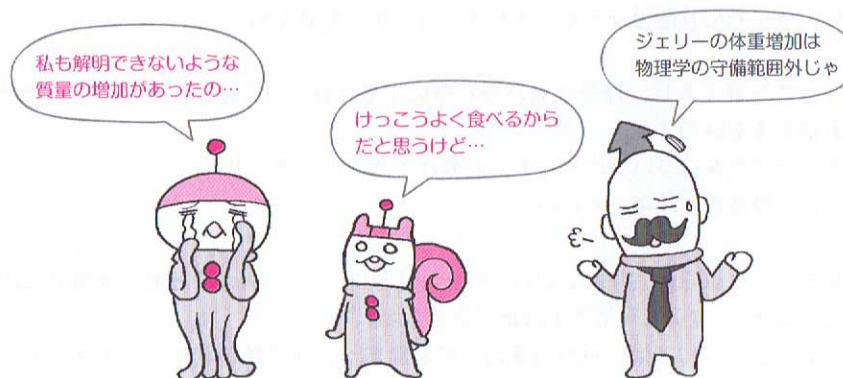
## 静止エネルギー

$$E = mc^2$$



この理論によって  
原子核反応の謎であった  
不思議な質量変化が解明される

⇒p.460へ





質量  $M$  の原子核があります。

この原子核は、陽子  $Z$  個、中性子  $N$  個が集まって構成されたものです。

陽子の質量を  $m_p$ 、中性子の質量を  $m_n$  としたとき、

1 粒ずつの重さの合計  $Zm_p + Nm_n$  と原子核の質量  $M$  は同じになるはずですよね？

しかし、不思議なことに  $M < Zm_p + Nm_n$  となります。

**陽子と中性子が集まった原子核の状態より、バラバラの状態のほうが重いのです。**

どれくらいの差があるかは、次の式で表されます。

$$\Delta m = (\text{バラバラの状態}) - (\text{集まった状態}) = Zm_p + Nm_n - M$$

この  $\Delta m$  のことを、**質量欠損** といいます。

また、 $E = mc^2$  の関係を考えて、 $m$  の大きいほうがエネルギーも大きいのですから、原子核の状態よりも、バラバラの状態のほうがエネルギーは大きいということです。

$$\Delta E = \Delta mc^2$$

だけ、原子核の状態のほうがエネルギーは小さいですね。

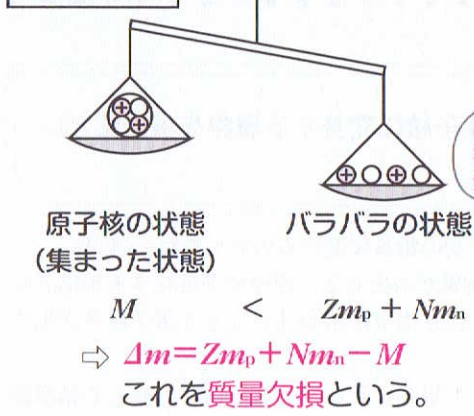
いかたを変えれば、**原子核をバラバラにするには、 $\Delta E$  のエネルギーをあげなければならないのです。**

この、原子核をバラバラにするのに必要なエネルギーのことを、原子核の**結合エネルギー** といいます。

日常生活では 60 kg、10 kg、20 kg の合わせて 90 kg の 3 人がまとめて体重計のると、80 kg になるなんてことはありませんね。

しかし原子レベルでは、バラバラの状態と集まった原子核の状態ではエネルギーに差があるために、質量が変わってしまうのですよ。

**質量欠損**



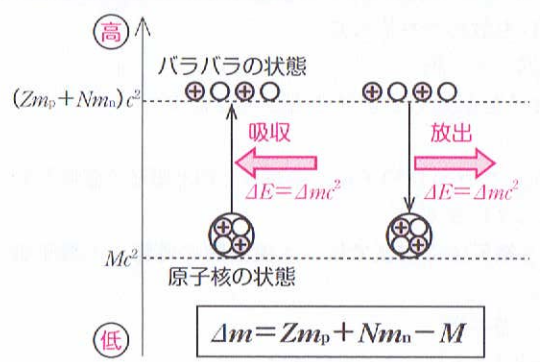
同じものなのに状態によって質量が違うの？

そうなんじゃバラバラの状態のほうが質量が大きいので  $E = mc^2$  よりエネルギーも大きいのじゃ



**結合エネルギー**

$\Delta E = \Delta mc^2$  (質量欠損の分の静止エネルギー)



バラバラの状態のほうがエネルギーが高い (質量が大きい) から  $\Delta E$  のやり取りが必要なのね



ということは私たち3人で一緒に体重計にのれば軽くなるってこと？

そんなのでやせるわけじゃないじゃろ！

体重なんてあまり気にしないのがいちばんだよ



## 14-6 核反応

## ココをおさえよう!

原子核が粒子と衝突し、別の原子核に変身する現象を核反応という。

原子核が $\alpha$ 崩壊や $\beta$ 崩壊を起こすと、別の物質に変わるのでしたね(p.454)。これらは $\alpha$ 線( ${}^4_2\text{He}$ )や $\beta$ 線(電子)を物質が放出して、原子核が変化する反応でしたが、 $\alpha$ 線や $\beta$ 線、または中性子線などを物質にぶつけることで原子核を変化させることもできます。

このように原子核の間で陽子と中性子の組み換えが起こる反応を、概して**核反応(原子核反応)**といいます。

1919年、物理学者のラザフォードは、窒素の原子核( ${}^{14}_7\text{N}$ )に、 $\alpha$ 線( ${}^4_2\text{He}$ )をぶつけてみました。するとどうでしょう、窒素が酸素( ${}^{17}_8\text{O}$ )に変身してしまったのです。このとき、酸素の他に、陽子( ${}^1_1\text{H}$ )も放出されました。



(核反応式では、陽子を ${}^1_1\text{p}$ 、中性子を ${}^1_0\text{n}$ などと表すことがあります)

この反応では、 $\alpha$ 線 ${}^4_2\text{He}$ は窒素にぶつかった拍子に、中性子2個と陽子1個を奪われてしまったために陽子 ${}^1_1\text{H}$ になっています。

しかし、反応式を全体的に見ると**核反応の前後では、①質量数の総和、②原子番号(陽子の数)の総和は不変**です。

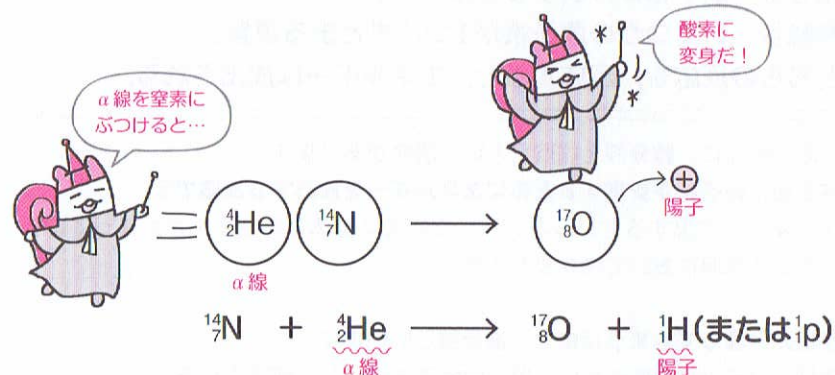
質量数は  $14 + 4 = 17 + 1 = 18$  で不変、

原子番号(陽子の数)は  $7 + 2 = 8 + 1 = 9$  で不変ですね。

核反応では、 $\alpha$ 線 ${}^4_2\text{He}$ をぶつける以外にも、陽子 ${}^1_1\text{H}$ (または ${}^1_1\text{p}$ )や $\beta$ 線(電子 $-e$ )、中性子線( ${}^1_0\text{n}$ )などをぶつけることもあります。「核反応の前後で質量数の総和と原子番号(陽子の数)の総和が同じ」という原則にしたがえば問題は解けます。

別冊で確認してみてくださいね。

**核反応** …原子核の間で、陽子と中性子の組み換えが起こる反応の総称。

【窒素 ${}^{14}_7\text{N}$ と $\alpha$ 線( ${}^4_2\text{He}$ )の核反応】

## 〈反応のメカニズム〉



## Point

核反応では、反応の前後で

- ①質量数の総和
  - ②原子番号(陽子の数)の総和
- } が不変!

ここまでやったら

別冊 p. 117へ

## 14-7 核分裂と核融合

## ココをおさえよう！

核分裂：原子核が分裂する現象。

核融合：いくつかの原子核が1つにまとまる現象。

どちらの反応も、反応すると、エネルギーは放出される。

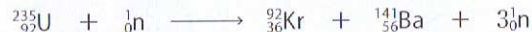
核反応の一種に、**核分裂**と**核融合**という現象があります。

どちらも、**原子核が安定するためにエネルギーを放出する反応**です。

エネルギーを放出するということは、反応後は全体で質量が小さくなっているということを念頭においておきましょう。

原子核が分裂してしまう反応を、**核分裂**といいます。

例えば、ウランUの原子核に、遅い中性子を飛ばして衝突させると、ウランU原子核は分裂し、クリプトン(Kr)とバリウム(Ba)が発生します。それと同時に3つの中性子が放出されるので、この変化は、次のように書けます。



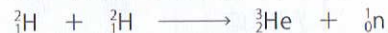
このとき、質量は ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_0^1\text{n}$ より ${}_{36}^{92}\text{Kr} + {}_{56}^{141}\text{Ba} + 3{}_0^1\text{n}$ のほうが小さくなります。軽くなった質量 $\Delta m$ の分が、エネルギー $E = \Delta mc^2$ として放出されるのですよ。

ウランの核分裂では3つの中性子が放出されますが、それを他のウラン原子にぶつけて、連続的に核分裂を起こすことができます。これを**連鎖反応**といいます。原子爆弾では連鎖反応により核分裂を急激に起こして、爆発的なエネルギーを発生させており、原子力発電ではこの反応を制御しながらエネルギーを得ているのです。

いくつかの原子核が1つに合体してしまう反応を**核融合**といいます。

超高温、高密度の条件のもとで、重水素（中性子をもつ水素 ${}^2_1\text{H}$ のこと。普通の水素 ${}^1_1\text{H}$ は中性子をもちません）が、2つ集まると、それらが合体しヘリウム原子核に変身してしまいます。

このとき、中性子1個が放出されます。

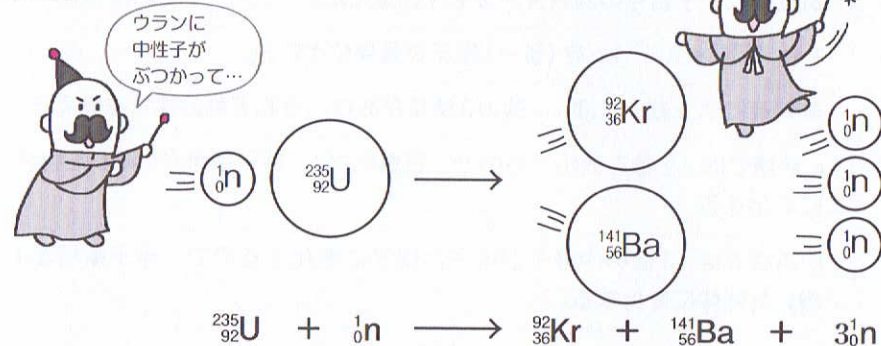


ここでも、反応後のほうが質量は小さくなるので、エネルギーが放出されます。

核分裂と核融合は、どちらもエネルギーを放出する核反応！  
反応後は全体で質量が小さくなる！

これを基本に  
考えていくよ

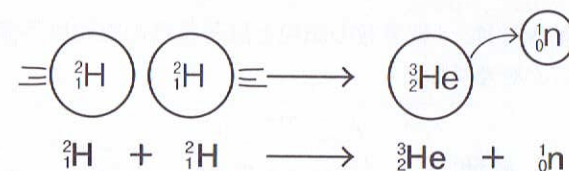
**核分裂** …原子核が分裂する反応。



分裂のときに出た  
中性子を他のウランに  
ぶつけて、次々と  
核分裂が起こることを  
連鎖反応というよ

取り扱いに  
注意しないとね

**核融合** …いくつかの原子核が1つに合体する反応。



コスプレも  
最後じゃと  
さみしいのう

これで本編は  
終わりじゃ〜

やったー

やりきったわ！  
自分をほめて  
あげたい

ここまでやったら

別冊 P. 118へ