

○質量とエネルギーの等価性

静止している質量 m の物体は、

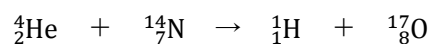
$$E = \underline{\hspace{2cm}} \quad \text{c: 光速}$$

と表されるエネルギーを持っている。

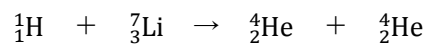
○原子核の反応（現代の錬金術）

原子核の反応が起こるとき、陽子と中性子の数の和は _____。

（例）人工的に起こした最初の核反応（1919年）



（例）加速器を使った最初の核反応（1932年）

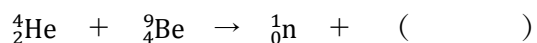


この反応が起こると、原子核の質量の和が減少する。

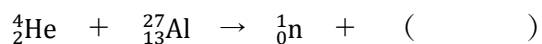
→ その分のエネルギーは、発生する ${}^4_2\text{He}$ の

_____ に変換される。

（練習）チャドウィックは、ベリリウムの原子核に α 粒子を衝突させる実験により、中性子を発見した。このときの核反応式を完成させよ。



（練習）イレーヌ・キュリーと夫のフレデリック・ジョリオは、アルミニウム 27 に α 粒子を衝突させる実験で、世界で始めて放射性同位体を人工的に作ることに成功した。このときの核反応式を完成させよ。



○原子核の結合エネルギー

原子核の結合エネルギー = 核子を _____ にするのに必要なエネルギー

(例) ${}^4_2\text{He}$ を (陽子 2 個 + 中性子 2 個) にするにはエネルギーが必要

… エネルギーの大小関係: ${}^4_2\text{He}$ _____ (陽子 2 個 + 中性子 2 個)

… 質量の大小関係 : ${}^4_2\text{He}$ _____ (陽子 2 個 + 中性子 2 個)



質量欠損 Δm = (陽子 2 個 + 中性子 2 個) の質量 - ${}^4_2\text{He}$ の質量

- … {
 - ${}^4_2\text{He}$ が (陽子 2 個 + 中性子 2 個) になると、質量が Δm だけ _____ する。
 - (陽子 2 個 + 中性子 2 個) が ${}^4_2\text{He}$ になると、質量が Δm だけ _____ する。



- {
 - ${}^4_2\text{He}$ が (陽子 2 個 + 中性子 2 個) になるとき、
_____ だけエネルギーを吸収する。
 - (陽子 2 個 + 中性子 2 個) が ${}^4_2\text{He}$ になるとき、
_____ だけエネルギーを放出する。

(練習) ${}^4_2\text{He}$ を構成する核子 1 個あたりの結合エネルギーは約 7 MeV である。

${}^4_2\text{He}$ を構成する核子をすべてバラバラにするのに必要なエネルギーはおよそ何 MeV か。

※ 核子 1 個あたりの結合エネルギーが最大なのは ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ である。

… ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ は最も安定な原子核であり、他の原子核は ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ に近づこうとする。

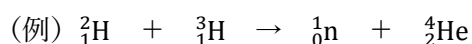
… ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ より小さい原子核は _____ をし、

${}^{56}_{26}\text{Fe}$ より大きい原子核は _____ をする。

○核融合

核融合 = 小さい原子核どうしが融合して、エネルギーを _____ する。

最安定（エネルギーが最小）の ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ に近づくため。



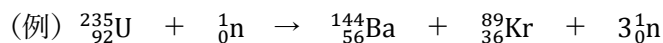
※ 太陽の内部では ${}^1_1\text{H}$ の核融合が起こっていて、巨大なエネルギーを生み出している。

… 毎秒約 6000 億 kg の水素がヘリウムになっている
(約 40 億 kg の質量欠損)

○核分裂

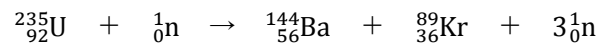
核分裂 = 大きい原子核どうしが融合して、エネルギーを _____ する。

最安定（エネルギーが最小）の ${}^{56}_{26}\text{Fe}$ に近づくため。

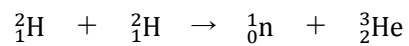


※ 上の例のように、原子核に _____ が衝突して核分裂が起こることが多い。

(練習) 核子 1 個あたりの結合エネルギーは、 $^{235}_{92}\text{U}$ が 7.591 MeV、 $^{144}_{56}\text{Ba}$ が 8.266 MeV、 $^{89}_{36}\text{Kr}$ が 8.617 MeV である。次の式で表される核分裂反応で放出される核エネルギーを MeV 単位で求めよ。



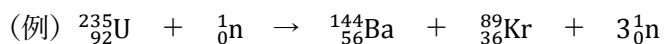
(練習) 等しい運動エネルギーを持った 2 個の重陽子 ${}^2_1\text{H}$ が正面衝突して、



という核反応を起こした。この核反応によって放出される核エネルギーは何 MeV か。ただし、 ${}^2_1\text{H}$ 、 ${}^3_2\text{He}$ の原子核と ${}^1_0\text{n}$ の質量を 2.0136 u、3.0150 u、1.0087 u、真空中の光速を 3.0×10^8 m/s、 $1 \text{ u} = 1.66 \times 10^{-27}$ kg、 $1 \text{ eV} = 1.60 \times 10^{-19}$ J とする。

(練習) ^{235}U の原子核 1 個が核分裂する際に放出するエネルギーに相当する質量は 0.215 u である。 ^{235}U の原子核 1 個の質量を 235 u として、 1.0 kg の ^{235}U がすべて核分裂したときに得られるエネルギーは何 J か。また、これと同じ量のエネルギーを石油の燃焼によって得るには、何 kg の石油を燃焼させる必要があるか。ただし、石油 1 kg が燃焼するときが発生する熱を $4.2 \times 10^7\text{ J}$ 、真空中の光速を $3.0 \times 10^8\text{ m/s}$ とする。

○核分裂の連鎖反応



のように、核分裂が起こると複数の中性子が飛び出す。



飛び出した中性子は別の ${}_{92}^{235}\text{U}$ に当たり、次の核分裂を起こす。

… 核分裂が _____ に起こる (連鎖反応)。

※ 中性子が

核分裂に使われて消失する量 = 核分裂によって生み出される量

となった状態を、_____ 状態という。

原子力発電では、 ${}_{92}^{235}\text{U}$ を臨界状態で核分裂させる。

※ 天然のウランのほとんどは ${}_{92}^{238}\text{U}$ であり、 ${}_{92}^{235}\text{U}$ は 0.7% ほどしかない。

… これでは、臨界状態を保てない。



${}_{92}^{235}\text{U}$ が 4% ほどになると臨界状態を保てる：原子力発電

${}_{92}^{235}\text{U}$ が 4% を超えると、爆発的に核分裂が起こる (超臨界)：原子爆弾

※ 原子力発電 (原子炉) では、

核分裂で発生するエネルギーを使って水を加熱し、蒸気を発生させる。



発生する蒸気力でタービンを回し (→タービンと連結した発電機も回転する)、発電する。

というように、核分裂で発生するエネルギーを利用している。

※ 核分裂で生じる (分裂後の) 原子核は、放射性同位体である。

… 原子炉内では放射性同位体が増えていくことになる。

○素粒子

物質を構成する粒子（素粒子）の探究は続いている。

素粒子の分類

ハドロン	{	バリオン（例：陽子、中性子） … 3つのクォークできている。
	{	メソン（例： π 中間子） … 2つのクォークできている。
レプトン	{	電子・ミュー粒子・タウ粒子 … 電荷を持つ。
	{	ニュートリノ … 電荷を持たない。
ゲージ粒子	{	グルーオン \Rightarrow 強い力を媒介する。
	{	ウィークボソン \Rightarrow 弱い力を媒介する。
	{	光子 \Rightarrow 電磁気力を媒介する。
	{	グラビトン \Rightarrow 万有引力を媒介する。

- ※（例） 陽子 = uクォーク \times 2 + dクォーク \times 1
 中性子 = uクォーク \times 1 + dクォーク \times 2
 π^+ 中間子 = uクォーク \times 1 + 反dクォーク \times 1

※ 強い力と弱い力は、ミクロの世界でだけ顔を出す力である。

日常レベルで感じるのは、電磁気力と万有引力（重力）だけである。

※ 強い力：クォークどうしを結び付けてハドロンを構成する力。

到達距離は 10^{-15} m 程度。

弱い力： β 崩壊に関係する力。

到達距離は 10^{-17} m 程度。

※ 強さの比較：強い力 \gg 電磁気力 \gg 弱い力 \gg 万有引力

※ 4つの力は宇宙誕生時には同じものであったが、その後に（宇宙誕生から1sよりずっと短い時間が経ってから）4つに分離したと考えられている。