

核融合反応と核エネルギー () 組 () 番 氏名 ()

2つ以上の原子核同士を合体させてひとつの原子核にすると、核分裂反応と同じように核エネルギーを取り出すことができる。核融合で核エネルギーを取り出すためには、軽い原子を核融合させる。代表的なものが、水素、重水素、三重水素、リチウムなどを核融合させる。現在、融合反応を大規模に起こし、核エネルギーを取り出すのに成功している例は、核兵器としての「水素爆弾」が唯一のものである。

核融合させるには、正の電気をもつ原子核同士を原子核の大きさまで近づけるには、原子核の運動エネルギーを非常に大きくする必要がある。(温度に換算して1億度) また、核反応を起こしやすくするためには原子密度を高める必要がある。大きな壁をどのように突破するため、世界中の科学者、技術者が研究・開発の競争をしている。

核融合をさせるための容器 → 物理的な力で閉じ込める

1億度になるような高温に耐える容器は物質では作れない。太陽も水素の核融合反応をおこし光を発しているが、このときの容器は「重力(万有引力)」である。地球上ではこの容器は使えない。核兵器である水素爆弾は「慣性閉じ込め」方式という方法を使っている。また、磁場を使って「ローレンツ力」で閉じ込める方法もある。

核融合の条件

- 1 軽い元素(重水素、三重水素)を材料とする。(水素、重水素なら海水からいくらでも生成可能、海水は無尽蔵)
- 2 高温、高密度の条件を作り出す仕組み(非常に困難)
磁場閉じ込め型(世界の主流) → 「トカマク型核融合炉」
慣性閉じ込め型(傍流) → 「レーザー核融合炉」
- 3 核分裂反応のような連鎖反応を制御する必要はないので、核融合炉のコントロールは比較的容易。
- 4 核分裂反応で生じたエネルギー(熱エネルギー)を効率良く取り出す(冷却水の循環・管理)
- 5 反応後の生成物はヘリウムと中性子だから、ウランの核分裂と比べると放射性廃棄物の発生量は格段に少なくなる。核融合で発生した中性子が炉壁などに使われている材料に吸収されて、材料を構成している原子が放射性同位元素になるのは避けられない。ことによる放射性物質の管理が必要。(周辺環境に漏れないように管理)

基本 重水素原子核同士を正面衝突させて、互いの距離が原子核の大きさ(1.0×10^{-14} [m])になり、原子核が接触し合体するのに必要な重水素の運動エネルギーは最低いくらになるか。ただし、重水素原子の原子量を2.0、電気量を 1.6×10^{-19} [C]、クーロンの法則の比例定数 9.0×10^9 [Nm²/C²]、アボガドロ数 6.0×10^{23} とする。(電気の範囲)

基本 核融合反応 $4\text{H} \rightarrow \text{He} + 2e^+ + \text{ニュートリノ}$ (この反応を起こさせるのは非常に難しい) において、ニュートリノの質量がゼロとみなせる。このとき、水素原子 1 kg が核融合反応を起こし、完全にヘリウムになったとき、得られる核エネルギーはいくらになるか。ただし、質量は、水素が 1.0073u、ヘリウムが 4.0015u、陽電子が 0.00055u、光速が 3.0×10^8 [m/s] であるとする。(頻出の問題です!)

応用 前問で「水素原子4個の核融合反応 $4\text{}^1_1\text{H} \rightarrow \text{}^4_2\text{He} + 2e^+ + \text{ニュートリノ}$ 」の反応を起こさせるのは非常に難しいとあるが、なぜだろうか。将来の実用レベルの核融合の方法として有望な、重水素と三重水素の核融合反応 $\text{}^2_1\text{H} + \text{}^3_1\text{H} \rightarrow \text{}^4_2\text{He} + n$ と比較して、反応が難しくなる理由を説明しなさい。(化学反応論と同じ!)

核融合反応と核エネルギー（解説）（ ）組（ ）番氏名（ ）

2つ以上の原子核同士を合体させてひとつの原子核にすると、核分裂反応と同じように核エネルギーを取り出すことができる。核融合で核エネルギーを取り出すためには、軽い原子を核融合させる。代表的なものが、水素、重水素、三重水素、リチウムなどを核融合させる。現在、融合反応を大規模に起こし、核エネルギーを取り出すのに成功している例は、核兵器としての「水素爆弾」が唯一のものである。

核融合させるには、正の電気をもつ原子核同士を原子核の大きさまで近づけるには、原子核の運動エネルギーを非常に大きくする必要がある。（温度に換算して1億度）また、核反応を起こすためには原子密度を高める必要がある。この2点の大きな壁をどのように突破するのかで、世界中の科学者、技術者が研究・開発の競争をしている。

核融合をさせるための容器

1億度になるような高温に耐える容器は物質では作れない。太陽も水素の核融合反応をおこし光を発しているが、このときの容器は「重力(万有引力)」である。地球上ではこの容器は使えない。核兵器である水素爆弾は「慣性閉じ込め」方式という方法を使っている。また、磁場を使って「ローレンツ力」で閉じ込める方法もある。

核融合の条件

- 1 軽い元素(重水素、三重水素)を材料とする。(水素なら海水からいくらでも生成可能、資源は無尽蔵)
- 2 高温、高密度の条件を作り出す仕組み(非常に困難)
磁場閉じ込め型 → 「トカマク型核融合炉(核融合研究の本流)」
慣性閉じ込め型 → 「レーザー核融合炉(阪大工学部レーザー核融合研究)」
- 3 核分裂反応のような連鎖反応を制御する必要はないので、核融合炉のコントロールは比較的容易だ。
- 4 核分裂反応で生じたエネルギー(熱エネルギー)を効率良く取り出す(冷却水の循環・管理)
- 5 反応後の生成物はヘリウムと中性子だから、ウランの核分裂と比べると放射性廃棄物の発生量は格段に少なくなる。核融合で発生した中性子が炉壁などに使われている材料に吸収されて、材料を構成している原子が放射性同位元素になる。ことによる放射性物質の管理になる。(周辺環境に漏れないように管理)

基本 電気力による位置エネルギーの公式 $U = k \frac{q_1 q_2}{r}$ であるから、重水素原子核の運動エネルギーを E_k と

すると、力学的エネルギー保存の法則より、 $2E_k = k \frac{e^2}{r} = 9.0 \times 10^9 \cdot \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{1 \times 10^{-14}} = 2.3 \times 10^{-14}$ だから、

$E_k = 1 \times 10^{-14}$ [J] になる。

基本 核融合反応 $4\text{H} \rightarrow \text{He} + 2e^+ + \text{ニュートリノ}$ (この反応を起こさせるのは非常に難しい) において、ニュートリノの質量がゼロとみなせる。このとき、水素原子 1 kg が核融合反応を起こし、完全にヘリウムになったとき、得られる核エネルギーはいくらになるか。ただし、質量は、水素が 1.0073u、ヘリウムが 4.0015u、陽電子が 0.00055 u、光速が 3.0×10^8 [m/s] であるとする。(教科書の問 10 と同一問題)

この反応の質量欠損は $1.0073 \times 4 - 4.0015 - 0.00055 = 0.02715$ である。したがって、1kg の水素の場合の質量欠損は $1 \times \frac{0.02715}{1.0073 \times 4} = 6.87 \times 10^{-3}$ [kg] になる。よって、解放される核エネルギーは $E = mc^2$ に代

入して、 $E = 6.87 \times 10^{-3} \times (3.0 \times 10^8)^2 = 6.18 \times 10^{12}$ [J] になる。

よって、たった 1kg の水素で 1,500,000,000,000 cal (1兆5千億カロリー)の熱を取り出すことができる。

応用 化学反応のときと同じで、反応するためには原子核が衝突合体しなければならない。水素密度を [H] とすると、水素4つが同時に衝突する確率は $[H]^4$ (密度の4乗)に比例するので非常に小さくなる。重水素と三重水素の密度をそれぞれ[D]、[T] とすると、重水素と三重水素の核融合反応では2つの水素の衝突の確率は $[D] \cdot [T]$ (密度の2乗)に比例するのではるかに起こり易い事象である。