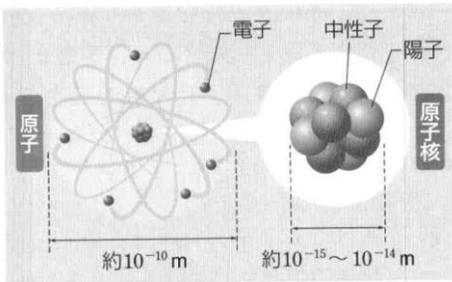


〇はじめに

特殊相対性理論からの帰結の1つである、質量-エネルギー等価原理「E=mc²」について考える。質量を持つことはエネルギーを持つことである、ということが分かったわけだが、質量からどうエネルギーを取り出すのかを考えてみる。例えば大きな石から質量を取り出そうとする。質量が小さくなれば、小さくなった分の質量が取り出せるのだが、小さく砕いたところで小さな質量の多数の破片に割れるだけで、質量を消し去ったことにはならない。このように物理的に分割しても、あるいは燃焼などの化学反応、気化などの状態変化を起こしても質量の合計は変わらず、質量が無くなるわけではない。もし、質量を減少させ、その分のエネルギーを取り出そうと思ったら、減少させる分の質量は完全にこの時空から消さなければならない。その方法は、「原子核反応」を利用することである。

〇原子核とは

原子は電子・陽子・中性子という3種類の粒子で構成される。



原子	原子核	陽子…… 電気量+e, 質量 1.673×10 ⁻²⁷ kg
		中性子… 電気量 0, 質量 1.675×10 ⁻²⁷ kg
		電子…………… 電気量-e, 質量 9.109×10 ⁻³¹ kg

図1：原子を構成する粒子

原子核に含まれる陽子の数が原子の種類を決める原子番号であり、陽子の数で原子の種類が決まる。(知つてのとおり、1つずつの原子はお互いに大きく異なった性質を持つ。陽子の数が違うだけでこんなにも多様な性質を持つことは、大変興味深い)

1 H 水素																	2 He ヘリウム	
3 Li リチウム	4 Be ベリリウム																	10 Ne ネオン
11 Na ナトリウム	12 Mg マグネシウム																	18 Ar アルゴン
19 K カリウム	20 Ca カルシウム	21 Sc スカンジウム	22 Ti チタン	23 V バナジウム	24 Cr クロム	25 Mn マンガン	26 Fe 鉄	27 Co コバルト	28 Ni ニッケル	29 Cu 銅	30 Zn 亜鉛	31 Ga ガリウム	32 Ge ケイ素	33 As リン	34 Se 硫黄	35 Br 塩素	36 Kr 臭素	
37 Rb ルビウム	38 Sr ストロンチウム	39 Y イットリウム	40 Zr ジルコニウム	41 Nb ニオブ	42 Mo モリブデン	43 Tc テクネチウム	44 Ru ルテチウム	45 Rh ロジウム	46 Pd パラジウム	47 Ag 銀	48 Cd カドミウム	49 In インジウム	50 Sn スズ	51 Sb アンチモン	52 Te テルル	53 I ヨウ素	54 Xe キセノン	
55 Cs セシウム	56 Ba バリウム	57 La ランタン	58 Ce セリウム	59 Pr プラセオジム	60 Nd ネオジム	61 Pm プロメチウム	62 Sm サマリウム	63 Eu ユークリウム	64 Gd ガドリウム	65 Tb テルビウム	66 Dy ジスプロシウム	67 Ho ホウミウム	68 Er エルビウム	69 Tm テールビウム	70 Yb イテビウム	71 Lu リュウテチウム		
87 Fr フランシウム	88 Ra ラジウム	89 Ac アクチン															101 Md メンデルレービウム	
																	102 No ノボロジウム	
																	103 Lr ローレンシウム	
104 Rf ラザフォード	105 Db ドブニウム	106 Sg シーゴロジウム	107 Bh ブヘリウム	108 Hs ヘンリウム	109 Mt ミッターリウム	110 Ds ダース	111 Rg ローレンス	112 Uub ユビウム	113 Uut ユウタニウム	114 Uuq ユウキウ	115 Uup ユウピリウム	116 Uuh ユウヘン	117 Uu ユウ					

図2：元素の周期表

また、原子のおよその質量を示す**質量数**は、(3粒子の中で電子が極端に軽く、陽子と中性子の質量がほぼ等しいことから)陽子と中性子の数の合計で書く。例えばこの後に出てくる「ウラン 235」の「ウラン」は元素名、「235」は質量数を指す。その中で電子は比較的取りはずしたり取り込んだりということが起こりやすく、これにより原子がイオン化(電気を持つこと)する。それに比べて原子核は人工的に変化させることは格段に難しい。

○原子核反応とは

一般に**化学反応**を考えるときには原子のレベルの大きさで現象を考える。化学反応は分子どうしの間での原子の組み換えであり、原子が消滅したり生成したり、別の原子に変化したりということは起こらない。

(例) $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$

しかし、原子が別の原子になる、つまり原子どうしの間で(電子)・陽子・中性子の組み換えが起こる、原子核反応という現象も存在する。**原子核反応**は自然に起こる以外に人工的に起こすこともできるが、一般に高いエネルギーが必要で、その制御が容易ではない。この反応においてわずかに質量が変化し、その分のエネルギー $E=mc^2$ を取り出すことができる。

○原子核反応からエネルギーを取り出す(原子力発電の例)

一般に、原子核の質量はそれを構成する陽子と中性子の質量の合計よりもわずかに小さく、その組み合わせによって質量の差は異なる。例えば、原子力発電に使われる原子核反応の一例、

「ウラン 235 + 中性子 → クリプトン 92 + バリウム 141 + 中性子(3個)」

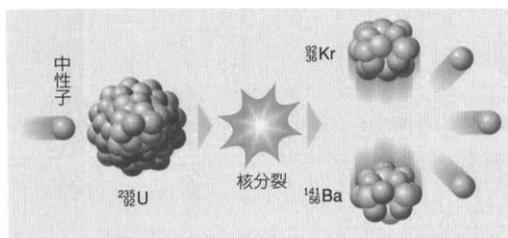


図3：ウラン 235 の核分裂

というものを考えたとき、(反応前の合計質量)>(反応後の合計質量)である。つまり、この反応で幾らかの質量がこの時空から消え(**質量欠損**という)、その分のエネルギーが取り出される。

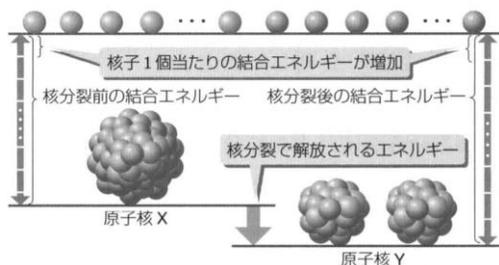


図4：核分裂前後での合計質量の関係

具体的にはウラン原子1つは自身の0.1%ほどの質量を失い、 $200\text{MeV} (=3.2 \times 10^{-11}\text{J})$ ほどのエネルギーを放出する。例えばウラン原子は235gでおよそ 6.0×10^{23} 個であるから、1gあたり 2.6×10^{21} 個である。ゆえに、0.001g程度の質量を失い、およそ $(3.2 \times 10^{-11}) \times (2.6 \times 10^{21}) = 8.3 \times 10^{10}\text{J}$ のエネルギーが生じる。つまりおよそ風呂の浴槽(200L)×500個分の0℃の水を沸騰させるだけのエネルギーが取り出せる。