

平成 2 1 年度（放射線と環境）過去問

問 1 (1)

ベクレル→1 秒間に原子が崩壊する数を表す単位

また、原子が Δt 秒の間に崩壊する確率 p は、次のように表される。

$$p = \lambda \Delta t (\lambda = \text{崩壊定数} (s^{-1}))$$

したがって、 N 個の原子が 1 秒の間に崩壊する個数が $-dN/dt$ に等しいと考えて、

$$-\frac{dN}{dt} = N \times \lambda \cdots (1)$$

これを解くと $N = N_0 e^{-\lambda t} \cdots (2)$ (N_0 : 定数)
となる。

また、半減期は $N = N_0/2$ となる t であるから、半減期を t_1 とすると、

$$t_1 = \log 2 / \lambda \cdots (2)$$

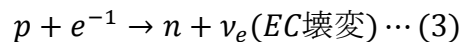
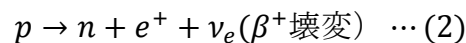
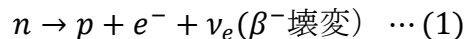
$$t_1 = 5.3 (\text{年}) = 1.671 \times 10^8 (\text{秒}) \text{ であることから、} \lambda = 4.15 \times 10^{-9} (s^{-1})$$

$$\text{したがって、} {}^{60}\text{Co } 1g \text{ の原子数は、} 6.02 \times 10^{23} \times \frac{1}{60} = 1.0 \times 10^{22} (\text{個}) \cdots (3)$$

であるので、原子が 1 秒で崩壊する数は、(1)~(3)より、

$$p = 1.0 \times 10^{22} \times (4.15 \times 10^{-9}) \times 1 (\text{秒}) = 4.15 \times 10^{13} \text{ 個 となるので、} 4.15 \times 10^{13} (Bq) \text{ となる。}$$

(2) β 壊変を表す 3 つの化学式は下のようになる。



(1)式は、中性子が陽子になる際に電荷（電子）を放出し、そのとき、ニュートリノも放出する現象を表している。

(2)式は、陽子が中性子になる際に、電荷が負に偏るので、その際に陽電子とニュートリノを放出する現象を表している。

(3)式は、陽子が電子を受け取って、中性子になり、その際にニュートリノが放出する現象を表している。

(3) β 線のエネルギーにおいて、電子とニュートリノのエネルギーの総和は等しく、 β 線（電子）のエネルギーは、上の条件のもといくらでも値をとり続けることができるので、連続スペクトルとなる。一方、1 つのエネルギー値しか持たない α 線と γ 線は、スペクトルも一定の値しかとらないので線スペクトルとなる。

(4)制動放射→荷電粒子が電場で減速されるときや、曲げられたときに失ったエネルギー分だけ電磁波放射をする現象のこと

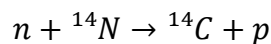
陽電子消滅→陽電子は陰電子と合わさって、2つの等しいエネルギーの光量子(m_0c^2)を正反対の方向に出す。このとき、陽電子の消滅は一般に陽電子の運動が熱平衡になった後に起こる。

(5)速度論的同位体効果は、ある反応物質を同位体に置き換えると質量差によって、原子の運動状態（振動量子、慣性モーメントなど）が異なることから、化学反応の反応速度が変わる効果。一般に、重い同位体に置換すると反応速度は遅くなる。

(6)中性子は α 線や β 線などと異なり、電荷を持っておらず、電子や原子核と電磁気的な相互作用をせずに、原子核に直接近づいて衝突して相互作用をする。衝突の際に中性子のエネルギーは失われて、その失われたエネルギーと衝突相手の原子核に応じて、さまざまな核反応を引き起こす。その核反応は中性子捕獲や核分裂反応などが挙げられる。

問 2(1)

・ [1] ^{14}C :



・ のように、天然の窒素原子に中性子（宇宙線）が加わることで、自然界に放射性炭素が発生している。大半は生体物質などの地球の物質内に蓄積されている。

・ [2] ^{232}Th : 半減期が非常に長い（宇宙の寿命くらい）なので、蓄積されたトリウムがほとんど減少していない。

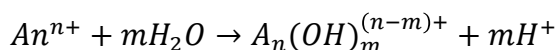
・ [3] ^{222}Rn : ウランの半減期はトリウム同様に半減期が非常に長く（約45億年）、ウランも天然に存在している。ラドンは、ウランが崩壊してできるもので、ウランが存在していることから、一定の割合のウランはラドンに変化している。

・ (2)トリウムの錯体は、海水に溶けにくいので、海水中の濃度は小さくなる。

・ (3)[1]酸化還元反応は、2原子間において、電子のやりとりがある状態で、電子を与える側が酸化、受け取る側が還元となる。放射性核種の挙動において、酸

化還元反応が重要である理由は、アクチノイドの酸化状態がpHに依存し、酸化還元電位によっても決定されることから

[2]加水分解とは、反応物に水が加わって分解されて生成物が得られることを表す。放射性核種の挙動において、加水分解が重要である理由はアクチノイドの加水分解の化学式は下のよう表され、



この式は、アクチノイドの酸化状態に大きく影響することとなる (A_n の酸化数が m, n により変化する) ことから。

(4)自然中においては、自然界にあるラドンや、私たちが普段食べている食物から主に放射線を吸収している。

問3(1)印加電圧 (2)電離箱 (3)電子なだれ (4) (放射線の)エネルギー

(5)比例計数管 (6)数え落とし (7)GM計数管 (8)67

(9)エネルギースペクトル (10)光電ピーク (11)コンプトンエッジ

(12) 1.77 (13) 電子対創生 (14)陽電子 (15)0.51

[参考]

(8)計数率の実測値 $n[s^{-1}]$, 真の計数率 $N[s^{-1}]$, τ : 分解時間 $[s]$ とすると、

$N = n + n\tau N$ となる。したがって、 $\tau = 4 \times 10^{-4}[s]$, $n = 1000[s^{-1}]$ より、 $N = 1667[s^{-1}]$ となり、67%もの数え落としをしている。

(12)(11)のエネルギーの式は、

$$E_r = 1.96E^2(1 + \cos\theta)/(1 + 1.96E(1 + \cos\theta))$$

で、 $\theta = 180^\circ$ の時最大になる。

この問題は、5/29の講義資料から出されている。

前半は、15~18ページ、後半は37~39ページくらい。

問 4 (1)

1) 正当化： 社会にとって、明らかにプラスの利益を生むものでなければならない。

2) 最適化： 放射線を使う正当な理由がある場合でも、被ばく線量は合理的に達成できる限り低く制限しなければならない。

3) 線量限度： 放射線を扱う職業人や一般公衆の被ばくを、勧告した線量以下に抑えなければならない。

(2)職業被ばくの実効線量限度は、5年間で100mSv以下かつ1年間で50mSv以下である。根拠としては、この値を守って行動すれば、目と皮膚以外の組織が「確定的影響」（あるしきい値以上の放射線を浴びると、体に必ず何かしらの悪影響を生じること）を確実に引き起こさずにすむからである。

(3)重粒子線や陽子線は、X線やγ線と比べて、がんの病巣でない場所は相対線量が少なく、病巣に対応する部分は相対線量が多い。これは、がんに侵されていない組織を傷つけることなく、がんにあたる部分だけ濃度の高い放射線で効率よく殺せることを表している。