

15章 WebにLink! 解説

*1 + α プラスアルファの補足 (p. 222)

発見者であるヴィルヘルム・レントゲンが、フィリップ・レーナルトによって製作された真空放電を行うレーナルト管を譲り受けて、放電実験を行った。1895年11月8日、ヴュルツブルク大学においてレーナルト管と同様の機能が期待できるクルックス管を用いて陰極線の研究をしていた。レントゲンは、可視光などとは違う何らかのものが装置から出ており、蛍光紙の上に暗い線が表れたのに気付いた。従来と異なる何かを“未知数”を表す「X」の文字を使い仮の名前としてX線と命名した。

*3 Let' s try (p. 223)

同素体とは単体のうち、原子の配列(結晶構造)や結合様式の関係が異なる物質同士の関係をいう。同素体は同じ元素から構成されるが、化学的・物理的性質が異なるもののこと。
例) ダイヤモンドと黒鉛(グラファイト)など

*6 Let' s try (p. 224)

α 線、 β 線、 γ 線の発見をはじめこの分野で多くの業績を残したアーネスト・ラザフォード(Ernest Rutherford)は、「元素の崩壊および放射性物質の性質に関する研究」により1908年にノーベル化学賞を受賞している。ラザフォード散乱とよばれる金属箔に α 線を照射する実験で、それによる散乱から現象から原子核を発見した。さらに、原子核の人工変換なども行っている。また、ラザフォードの指導を受けたチャドウィックが中性子を発見している。

*11 Let' s try (p. 226)

例題15-5をもとに考える。 α 線、 β 線、 γ 線を放出する放射性原子を図15-3のように平行電極P,Q(間隔距離 d [m], 長さ L [m])の手前に設置し、電極の出口に x 軸に垂直に平面スクリーンを設置する。放射線を x 軸に沿って入射する。電極P,Q間に一様な電界を生じる電圧 V [V]の電位を与える。 α 線、 β 線の質量をそれぞれ m_α, m_β とし、個々の放射線のエネルギーを W [J]として、平面スクリーン上で α 線、 β 線、 γ 線のそれぞれが当たる点の $y_\alpha, y_\beta, y_\gamma$ 座標を求める。

α 粒子、 β 粒子の質量をそれぞれ m_α, m_β とし、 α 線と β 線の電極間に入るときに速度ならびに x 軸方向に距離 L [m]を移動するのに要する時間をそれぞれ v_α [m/s], v_β [m/s], t_α [s], t_β [s]とする。電極間に入る前の各粒子のエネルギー W は保存されるので、次式が成り立つ。

$$W = \frac{1}{2} m_\alpha v_\alpha^2 = \frac{1}{2} m_\beta v_\beta^2 \quad (15S-1)$$

$$v_\alpha = \sqrt{\frac{2W}{m_\alpha}}$$

$$v_\beta = \sqrt{\frac{2W}{m_\beta}} \quad t_\beta = \frac{L}{v_\beta} = L\sqrt{\frac{m_\beta}{2W}} \quad (15S-2)$$

$$t_\alpha = \frac{L}{v_\alpha} = L\sqrt{\frac{m_\alpha}{2W}} \quad (15S-3)$$

電圧 V によって電荷が受ける力 F によりそれぞれの粒子に生じる y 軸方向の加速度を a_α , a_β , y 軸方向の座標を y_α , y_β とする。 α 粒子, β 粒子の電荷はそれぞれ $+2e$, $-e$ であるから, 次式を得る。

$$F = a_\alpha m_\alpha = \frac{2eV}{d} \quad F = a_\beta m_\beta = \frac{-eV}{d} \quad (15S-4)$$

$$y_\alpha = \frac{1}{2} a_\alpha t_\alpha^2 \quad y_\beta = \frac{1}{2} a_\beta t_\beta^2$$

$$= \frac{1}{2} \frac{2eV}{m_\alpha d} L^2 \frac{m_\alpha}{2W} \quad = \frac{1}{2} \frac{-eV}{m_\beta d} L^2 \frac{m_\beta}{2W}$$

$$= \frac{1}{2} \frac{2eV}{m_\alpha d} L^2 \frac{m_\alpha}{2W} \quad = \frac{1}{2} \frac{-eV}{m_\beta d} L^2 \frac{m_\beta}{2W}$$

$$y_\alpha = \frac{1}{2} \frac{eV}{dW} L^2 \quad y_\beta = -\frac{1}{4} \frac{eV}{dW} L^2$$

γ 線は電荷がないので, $y_\gamma = 0$ 。

*12 Let' s try (p. 226)

トリウム系列は $4n$ の系列であり, トリウム $^{232}_{90}\text{Th}$ を親核種とし, それから生じる系列である。 $232=4 \times 58$ で, これが α 崩壊して, $228, 224, 220, 216 \cdots$ と変わる。 $^{232}_{90}\text{Th}$, $^{228}_{88}\text{Ra}$, $^{224}_{88}\text{Ra}$, $^{220}_{86}\text{Rn}$, などである。理科年表などにわかりやすい図がある。

*13 Let' s try (p. 227)

放射性元素の N 個の原子のうち dN 個だけ dt 時間に変化するとすれば, 崩壊の速さは $-dN/dt$ で示される。原子核の崩壊は個々の原子核においてひとりでの任意に起こるのであるから, 単位時間に壊れる原子の数 (崩壊の速さ) は, その時に存在する放射性の原子の

数に比例する。

$$-\frac{dN}{dt} = \lambda N \quad (15S-5)$$

ここで、 λ は比例定数で、崩壊定数と呼ばれる。 $t=0$ の時に、 N_0 個（初期値）であったとすると、上式は積分して解くことができる。

$$-\frac{1}{N} \frac{dN}{dt} = \lambda \quad (15S-6)$$

$$\int \frac{1}{N} dN = -\lambda dt \quad \log_e N = -\lambda t + C$$

• (15S-7)

$t=0$ で $N=N_0$ であるので、積分定数 C は、次のように求まる。

$$C = \ln N_0 \quad \cdot (15S-8)$$

これらの値を入れて式を解くと、次式を得る。

$$\ln N - \ln N_0 = -\lambda t \quad \cdot (15S-9)$$

これを整理すると、本文の式（15-3）と一致する次式となる。

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad 15-3$$

*15 Let' s try (p.227)

式 15-4 を導出してみよう。

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad 15-3$$

半減期 $t_{1/2}$ のある放射性原子の現在の数を N_0 個、半減期 $t_{1/2}$ の n 倍の時間 t 後の放射性原子の数を N 個とすると、次式が得られる。

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (15S-10)$$

半減期 $t_{1/2}$ の場合 $t = t_{1/2}$ であり、

$$N = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \quad (15S-11)$$

$$\exp(-\lambda t_{1/2}) = \frac{1}{2} \quad (15S-12)$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2} \quad (15S-13)$$

式 15-A2 より,

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (15S-14)$$

式 15-A6 と 15-A7 より,

$$-\lambda = \frac{1}{t} \ln \frac{N}{N_0} = \frac{1}{t_{1/2}} \ln \frac{1}{2}$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = \frac{t}{t_{1/2}} \ln \frac{1}{2}$$

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

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

$$N = N_0 \times \left(\frac{1}{2} \right)^n \quad 15-4$$

ただし $n = t / t_{1/2}$ である。

*16 Let' s try (p.227)

式(15-5)を導出してみよう。

半減期 $t_{1/2}$ のある放射性原子の現在の数を N_0 個, 半減期 $t_{1/2}$ の n 倍の時間 t 後の放射性原子の数を N 個とすると, 次式が得られる。

$$N = N_0 \exp(-\lambda t) \quad (15S-15)$$

半減期 $t_{1/2}$ の場合 $t = t_{1/2}$ であり,

$$N = N_0 \exp(-\lambda t_{1/2}) = \frac{N_0}{2} \quad (15S-16)$$

$$\exp(-\lambda t_{1/2}) = \frac{1}{2} \quad (15S-17)$$

$$\ln \frac{1}{2} = -\lambda t_{1/2} \quad (15S-18)$$

$$\lambda t_{1/2} = \ln 2$$

$$\lambda = \frac{1}{t_{1/2}} \ln 2$$

***17 Let' s TRY! (p. 227)**

大気中の ^{14}C の ^{12}C に対する割合はほとんど変化しないと考え、放射性崩壊の性質を利用して、遺跡の出土物や地層中に含まれる物質のできた年代を推定できる。その場合、 ^{14}C を用いることが多い。 ^{14}C は、地球に降り注ぐ一次宇宙線から生成する二次宇宙線に含まれる中性子と大気中の窒素原子核の衝突によって年間約 7.5 キログラム生成する。生成した ^{14}C は、酸素と結合し二酸化炭素となる。それらは、植物の光合成により植物に吸収される。 ^{14}C の半減期が 5.730×10^3 年であり、大気中での生成量と分解量がほぼ同じであり、大気中の ^{14}C の ^{12}C に対する割合はほとんど変化しないと考えられる。

***21 Let' s TRY! (p. 229)**

<説明例>

半導体検出器が、電子-正孔対を 1 個作り出すのに必要なエネルギーは、ガス形式の検出器の約 50 分の 1 であり、検出精度が高い。

他の放射線検出器に比べ優れたエネルギー分解能を有し、精密測定に適している。バックグラウンドレベルの放射能もノイズとなるので、検出器を遮蔽体で覆う必要がある。

***22 Let' s TRY! (p. 229)**

第 1 種及び第 2 種放射線取扱主任者免状は、原子力規制委員会又は原子力規制委員会の登録を受けた者（登録試験機関）の行う放射線取扱主任者試験に合格し、かつ、原子力規制委員会又は原子力規制委員会の登録を受けた者（登録資格講習機関）の行う講習を修了した者に対し、原子力規制委員会より交付される。また、第 3 種放射線取扱主任者免状は、原子力規制委員会又は登録資格講習機関の行う第 3 種放射線取扱主任者講習を修了した者に対し、原子力規制委員会より交付される。

***23 Let' s TRY! (p. 230)**

医療分野では、人体の多くの部位または全体に対する診断に用いられている。また、工業の分野では、材料の内部亀裂などを調べる非破壊検査に利用されている。

***24 Let' s TRY! (p. 230)**

集中的な放射線の照射は、がん細胞内に熱を発生させ、その熱による高温が、がん細胞の DNA や RNA を破壊して細胞分裂を抑止し、アポトーシスをより強力にすすめてがん細胞を減らす。

***27 Let' s TRY! (p. 230)**

内部被曝とは、経口摂取、吸引などにより体内に取り込んだ放射性物質が体内の原子と置き換わり、長期間体内に留まり放射線を放射しつづけることによる被曝のことであり、ストロンチウムやセシウムなどを経口摂取することで起こる可能性がある。

***28 Let' s TRY! (p. 231)**

中性子は電荷を持たない。そのため、+荷電を持った陽子を含む原子核と容易に衝突させることができる。このような性質を利用して、中性子が原子核に取り込まれる現象や、中性子が原子核を破壊する現象が発見された。

***31 Let' s TRY! (p. 232)**

原理的には、原子炉の起動時、核燃料棒の間に挿入されていた制御棒を徐々に引き抜き、炉内の中性子数を増加させる。新たな核分裂を引き起こす中性子の数の平均値は、**実効中性子増倍率 (effective neutron multiplication factor) k** と呼ばれる。原子炉内で核分裂により高速で放出される中性子が増大し、 $k = 1$ の時、反応は臨界状態に達したと考える。原子炉を停止する場合、制御棒を核燃料棒の間に挿入し、中性子を吸収することで核分裂反応を減少させる。