

SETUP DRILL 18

原子 設定別ドリル

原子分野を6つの設定に分けた。新課程で共通テストの範囲に入った分野。

覚える式は多くない —— $E = h\nu$ 、 $p = \frac{h}{\lambda}$ 、 $E = mc^2$ 、そしてエネルギー保存。

つまりくのは単位と桁と、「粒子として見るか波として見るか」の切り替え。そこを6回確かめる。

使い方

1周目 設定の見出しと公式を読んでから5問続けて解く。

2周目 式を書く前に「粒子として扱うか、波として扱うか」を言ってから始める。

3周目 見出しを隠して、どの設定かを言い当ててから解く。

プランク定数を h 、光速を c 、電気素量を e とする。

1章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

2章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

3章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

4章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

5章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

6章

- ☐ 1周
☐ 2周
☐ 3周

問題編

解説は後半にまとめてある。先に見ないこと。

粒子か波かを先に決めること。

SETUP 01

光電効果

記号の約束

h プランク定数 ν 光の振動数 W 仕事関数 K_0 光電子の最大運動エネルギー V_0 阻止電圧

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「金属に光を当てる」「飛び出す電子」「仕事関数」
2. → 光を粒（光子）として扱う
3. → 光子1個のエネルギー $h\nu$ を、脱出に W 使い、残りが運動エネルギー

この設定で使う公式

- 光子のエネルギー： $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$
- $K_0 = h\nu - W$
- 限界振動数： $\nu_0 = \frac{W}{h}$ / 阻止電圧： $eV_0 = K_0$

1-1 基本 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

仕事関数 W の金属に、振動数 ν の光を当てた。

1. 光子1個のエネルギーを求めよ。
2. 飛び出す電子の最大運動エネルギーを求めよ。
3. 電子が飛び出す条件を書け。

1-2 強さと振動数 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

光電効果について答えよ。

1. 光を強くすると飛び出す電子の数はどうなるか。
2. 光を強くすると電子の最大運動エネルギーはどうなるか。
3. 振動数を上げるとどうなるか。

1-3 阻止電圧 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

光電管に逆向きの電圧をかけていくと、電圧 V_0 で光電流が 0 になった。

1. V_0 と最大運動エネルギーの関係を書け。
2. K_0 を求めよ。
3. 光を強くすると V_0 は変わるか。

1-4 グラフ ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

いろいろな振動数 ν の光を当てて K_0 を測り、 K_0 - ν グラフを描いた。

1. グラフはどんな形になるか。
2. 傾きは何を表すか。
3. 縦軸の切片と横軸の切片はそれぞれ何か。

1-5 波長で ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

仕事関数 W の金属に、波長 λ の光を当てる。

1. 光子のエネルギーを λ で表せ。
2. 最大運動エネルギーを求めよ。
3. 電子が出る限界の波長を求めよ。

SETUP 02

光子の運動量とX線

記号の約束

p 光子の運動量 λ 波長 $\Delta\lambda$ 波長の変化

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「X線」「コンプトン効果」「光子の運動量」
2. → 光子にも運動量 $\frac{h}{\lambda}$ がある
3. → 運動量保存とエネルギー保存を同時に使う

この設定で使う公式

- 光子の運動量： $p = \frac{h}{\lambda} = \frac{h\nu}{c}$
- X線の最短波長： $eV = \frac{hc}{\lambda_{min}}$
- コンプトン：散乱で波長が長くなる

2-1 運動量 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

波長 λ の光子について答えよ。

1. エネルギーを求めよ。
2. 運動量を求めよ。
3. 2つの関係を書け。

2-2 X線の発生 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

電圧 V で加速した電子を金属に当てて X 線を発生させる。

1. 電子が得る運動エネルギーを求めよ。
2. 発生する X 線の最短波長を求めよ。
3. なぜ「最短」なのか説明せよ。

2-3 固有X線 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

X線のスペクトルには、連続的な部分と鋭いピークがある。

1. 鋭いピークを何というか。
2. それは何で決まるか。
3. 連続部分の最短波長は何で決まるか。

2-4 コンプトン ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

X線を物質に当てると、散乱された X 線の波長が入射より長くなった。

1. この現象を何というか。
2. 何と何が保存すると考えるか。
3. 波長が長くなる理由を述べよ。

2-5 散乱角 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

コンプトン効果について答えよ。

1. まっすぐ通り抜けた（散乱角 0）光子の波長はどうなるか。
2. 真後ろにはね返った光子はどうか。
3. 波長の変化は入射波長によるか。

SETUP 03

物質波（粒子を波として見る）

記号の約束

m 粒子の質量 v 粒子の速さ λ 物質波の波長

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「電子線の回折」「ド・ブROI波長」
2. → 粒子にも波長があると考え
3. → $\lambda = \frac{h}{mv}$ ($p = mv$ を λ に直す)

この設定で使う公式

- $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{mv}$
- 電圧 V で加速した電子： $\lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$
- 重い・速いものほど波長が短く、波らしさが消える

3-1 基本 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

質量 m 、速さ v の粒子について答えよ。

1. 物質波の波長を求めよ。
2. 速さを2倍にすると波長は何倍か。
3. 質量が大きいほど波長はどうなるか。

3-2 加速した電子 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

電圧 V で加速した、質量 m 、電気量の大きさ e の電子について答えよ。

1. 加速後の速さを求めよ。
2. 運動量を求めよ。
3. 物質波の波長を求めよ。

3-3 電子線回折 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

電子線を結晶に当てると、干渉のような模様ができた。

1. この実験は何を示しているか。
2. 結晶が果たす役割は何か。
3. 光の何と同じ扱いができるか。

3-4 日常の物体 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

物質波の波長について答えよ。

1. 野球のボールの物質波の波長はどのくらいか、定性的に述べよ。
2. なぜ波として観測できないのか。

3-5 使い分け ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

光と電子の扱い方について答えよ。

1. 光を粒として扱う現象を2つ挙げよ。
2. 光を波として扱う現象を2つ挙げよ。
3. 電子を波として扱う現象を挙げよ。

SETUP 04

原子模型と水素のスペクトル

記号の約束

n 量子数 E_n エネルギー準位 r_n 軌道半径 R リュードベリ定数

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「水素原子」「エネルギー準位」「スペクトル線」
2. → とびとびのエネルギーの間を移ると考える
3. → 差がそのまま光子1個のエネルギー

この設定で使う公式

- 量子条件： $2\pi r = n \frac{h}{mv}$ (軌道1周が波長の整数倍)
- 振動数条件： $h\nu = E_{n'} - E_n$
- 水素： $E_n = -\frac{13.6}{n^2} \text{ eV}$

4-1 量子条件 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

ボーアの原子模型では、電子が半径 r の円軌道を速さ v で回っているとする。

1. 電子の物質波の波長を求めよ。
2. 量子条件を書け。
3. その意味を説明せよ。

4-2 振動数条件 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

エネルギー準位 E_2 の状態から E_1 ($< E_2$) の状態に移るとき、光が放出される。

1. 放出される光子のエネルギーを求めよ。
2. 振動数を求めよ。
3. 波長を求めよ。

4-3 準位の式 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

水素原子のエネルギー準位は $E_n = -\frac{E_1}{n^2}$ ($E_1 > 0$) と書ける。

1. 基底状態 ($n = 1$) のエネルギーはいくらか。
2. $n \rightarrow \infty$ ではどうなるか。
3. なぜ負の値なのか。

4-4 電離エネルギー ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

水素原子の基底状態のエネルギーを $-E_1$ とする。

1. 電離させるのに必要なエネルギーを求めよ。
2. $n = 2$ の状態から電離させるのに必要なエネルギーを求めよ。

4-5 スペクトル系列 ★★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

水素の輝線スペクトルは、いくつかの系列に分かれている。

1. 系列を分けているのは何か。
2. $n = 1$ に落ちる系列の光はどの領域か。
3. $n = 2$ に落ちる系列はどうか。

SETUP 05

原子核と放射線・半減期

記号の約束

T 半減期 N_0 はじめの原子核の数 t 経過時間

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「 α 崩壊」「 β 崩壊」「半減期」
2. $\rightarrow$ 崩壊は質量数と原子番号の変化を覚えるだけ
3. $\rightarrow$ 半減期は $\left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$

この設定で使う公式

- α 崩壊: A が 4 減り、 Z が 2 減る
- β 崩壊: A は変わらず、 Z が 1 増える
- 半減期: $N = N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$

5-1 崩壊の規則 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

原子番号 Z 、質量数 A の原子核について答えよ。

1. α 崩壊すると Z 、 A はどうなるか。
2. β 崩壊ではどうか。
3. γ 線を出すときはどうか。

5-2 回数を求める ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

質量数 A_1 、原子番号 Z_1 の原子核が、 α 崩壊と β 崩壊をくり返して質量数 A_2 、原子番号 Z_2 になった。

1. α 崩壊の回数を求めよ。
2. β 崩壊の回数を求めよ。

5-3 半減期 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

半減期 T の放射性原子核が、はじめ N_0 個ある。

1. 時間 T 後に残る数を求めよ。
2. 時間 $3T$ 後はどうか。
3. 時間 t 後の一般式を書け。

5-4 年代測定 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ある試料に含まれる放射性原子核の数が、はじめの $\frac{1}{8}$ になっていた。半減期を T とする。

1. 経過した時間を求めよ。
2. $\frac{1}{2^n}$ になっていたら何年か。

5-5 放射線の種類 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

α 線、 β 線、 γ 線について答えよ。

1. それぞれの正体を答えよ。
2. 透過力が最も大きいのはどれか。
3. 電離作用が最も大きいのはどれか。

SETUP 06

質量欠損と核エネルギー

記号の約束

Δm 質量欠損 Z 原子番号 A 質量数

この設定を見分ける手がかり

1. 問題文に「質量欠損」「核分裂」「核融合」「放出されるエネルギー」
2. → 減った質量がエネルギーになる
3. → $E = \Delta m c^2$ に入れるだけ

この設定で使う公式

- $E = mc^2$
- 質量欠損: $\Delta m = (\text{部品の質量の合計}) - (\text{できた核の質量})$
- 結合エネルギー: $\Delta m c^2$

6-1 質量欠損 ★★

3周チェック ☐ ☐ ☐

陽子 Z 個と中性子 N 個からなる原子核がある。陽子の質量を m_p 、中性子を m_n 、原子核全体の質量を M とする。

1. 質量欠損を求めよ。
2. 結合エネルギーを求めよ。
3. M と部品の合計はどちらが大きいのか。

6-2 核反応 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

核反応の前後で、質量の合計が Δm だけ減った。

1. 放出されるエネルギーを求めよ。
2. 質量が増えた場合はどうなるか。

6-3 分裂と融合 ★★★3周チェック ☐ ☐ ☐

核子1個あたりの結合エネルギーは、質量数に対して山型の曲線になり、鉄のあたりで最大になる。

1. 重い原子核が分裂するとエネルギーが出るのはなぜか。
2. 軽い原子核が融合するとエネルギーが出るのはなぜか。
3. 鉄より重い元素は融合でエネルギーを出せるか。

6-4 核分裂 ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

ウランの核分裂について答えよ。

1. 核分裂を起こすきっかけになるものは何か。
2. 分裂のときに何が出るか。
3. 連鎖反応が起こる仕組みを述べよ。

6-5 総まとめ ★★3周チェック ☐ ☐ ☐

原子分野で使う式を整理せよ。

1. 光のエネルギーを求める式は。
2. 粒子の波長を求める式は。
3. 核反応のエネルギーを求める式は。

解説編

各問の冒頭にどちらの見方をしたかを書いてある。

設定 1 光電効果

1-1 エネルギー収支

■(1) $E = h\nu$

■(2) $K_0 = h\nu - W$

■(3) $K_0 > 0$ より $\nu > \frac{W}{h}$

この振動数（限界振動数）より低いと、どんなに強い光でも出ない。

光を波と考えるとこれが説明できない —— だから光は粒でもある。

答 (1) $h\nu$ (2) $h\nu - W$ (3) $\nu > \frac{W}{h}$

1-2 別々に効く

■(1) 増える（光子の個数が増えるから）。

■(2) 変わらない。

$K_0 = h\nu - W$ に光の強さは入っていない。

光子1個が電子1個に当たるので、1個あたりのエネルギーは振動数だけで決まる。

■(3) K_0 が大きくなる。

強さ＝光子の個数、振動数＝光子1個のエネルギー。

この2つを分けて考えるのがすべて。

答 (1) 増える (2) 変わらない (3) 大きくなる

1-3 $eV_0 = K_0$

■(1) 電子が失うエネルギー eV_0 が K_0 に等しくなると届かなくなる

$$eV_0 = K_0$$

■(2) $K_0 = eV_0$

■(3) 変わらない。 K_0 が変わらないから。

光電流の大きさだけが増える。

阻止電圧を測れば K_0 が測れるのが実験の要点。

答 (1) $eV_0 = K_0$ (2) eV_0 (3) 変わらない

1-4 傾きが h

■(1) $K_0 = h\nu - W$ なので直線。

■(2) プランク定数 h 。

■(3) 縦軸切片は $-W$ (仕事関数の符号を変えたもの)、

横軸切片は限界振動数 $\nu_0 = \frac{W}{h}$ 。

金属を変えても傾きは同じ (h は普遍定数) で、

直線が上下に平行移動するだけ。

答 (1) 直線 (2) h (3) $-W$ と $\frac{W}{h}$

1-5 λ に直す

■(1) $E = \frac{hc}{\lambda}$

■(2) $K_0 = \frac{hc}{\lambda} - W$

■(3) $\lambda_0 = \frac{hc}{W}$

波長が短いほど光子のエネルギーが大きいのので、

限界波長より短い光でなければならない。

振動数のときと不等号の向きが逆になるので注意。

答 (1) $\frac{hc}{\lambda}$ (2) $\frac{hc}{\lambda} - W$ (3) $\frac{hc}{W}$

設定 2 光子の運動量とX線

2-1 h/λ

■(1) $E = \frac{hc}{\lambda}$

■(2) $p = \frac{h}{\lambda}$

■(3) $E = pc$

光子は質量 0 だが運動量をもつ。

$p = mv$ は使えない。 $p = \frac{h}{\lambda}$ が光子の定義。

答 (1) $\frac{hc}{\lambda}$ (2) $\frac{h}{\lambda}$ (3) $E = pc$

2-2 全部を光子に

■(1) $K = eV$

■(2) 全部が1個の光子になったときが最大エネルギー＝最短波長

$$eV = \frac{hc}{\lambda_{min}} \rightarrow \lambda_{min} = \frac{hc}{eV}$$

■(3) 電子のエネルギーの一部だけが光子になることも多く、

その場合は波長が長くなる。

全部使い切った場合が上限なのでそれより短い波長は出ない。

最短波長は加速電圧だけで決まり、金属の種類によらない。

答 (1) eV (2) $\frac{hc}{eV}$ (3) 全エネルギーが光子になる場合が上限だから

2-3 金属で決まる**■(1)** 固有X線（特性X線）。**■(2)** 金属（陽極）の種類。

内側の軌道の電子が飛ばされ、外側の電子が落ち込むときに出るので、

その原子のエネルギー準位で決まる。

■(3) 加速電圧。

連続部分＝電圧、ピーク＝物質と対応づける。

答 (1) 固有X線 (2) 金属の種類 (3) 加速電圧

2-4 2つの保存

■(1) コンプトン効果。

■(2) エネルギー保存と運動量保存。

光子と電子の弾性衝突として扱う。

■(3) 光子が電子にエネルギーの一部を渡したから。

$E = \frac{hc}{\lambda}$ でエネルギーが減れば波長は長くなる。

光が粒子として衝突しているという直接の証拠。

答 (1) コンプトン効果 (2) エネルギーと運動量 (3) 電子にエネルギーを渡したから

2-5 角度で決まる

■(1) 電子に何も渡していないので 変わらない。

■(2) 最も大きくエネルギーを渡すので 最も長くなる。

■(3) よらない。

波長の変化 $\Delta\lambda$ は散乱角だけで決まる

$$(\Delta\lambda = \frac{h}{mc}(1 - \cos\theta))。$$

だから可視光ではこの変化が相対的に小さすぎて観測しにくく、

波長の短い X 線で初めて見える。

答 (1) 変わらない (2) 最も長くなる (3) よらない (散乱角だけで決まる)

設定 3 物質波 (粒子を波として見る)

3-1 h/mv

■(1) $\lambda = \frac{h}{mv}$

■(2) $\frac{1}{2}$ 倍

■(3) 短くなる。

だから日常の物体 (重い) では波長が小さすぎて、

波としての性質がまったく観測できない。

答 (1) $\frac{h}{mv}$ (2) 1/2 倍 (3) 短くなる

3-2 V から出す

$$\blacksquare(1) eV = \frac{1}{2}mv^2 \rightarrow v = \sqrt{\frac{2eV}{m}}$$

$$\blacksquare(2) p = mv = \sqrt{2meV}$$

$$\blacksquare(3) \lambda = \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

電圧を上げるほど波長が短くなる。

電子顕微鏡が光学顕微鏡より細かく見えるのはこのため。

$$\text{答 (1)} \sqrt{\frac{2eV}{m}} \quad (2) \sqrt{2meV} \quad (3) \frac{h}{\sqrt{2meV}}$$

3-3 波の証拠

■(1) 電子が波としての性質をもつこと。

■(2) 原子が規則正しく並んでいるので回折格子のはたらきをする。

格子面の間隔が、ちょうど電子の波長と同じくらいの大きさ。

■(3) X線回折とまったく同じ扱い（ブラッグの条件）。

光は粒でもあり、電子は波でもある —— これが量子論の出発点。

答 (1) 電子の波動性 (2) 回折格子のはたらき (3) X線回折

3-4 桁を見る

■(1) m が 0.1 kg、 v が 数十 m/s とすると

$$\lambda = \frac{h}{mv} \text{ の分子が } 10^{-34} \text{ 程度なので、}$$

原子より何桁も小さい値になる。

■(2) 波としての性質（回折・干渉）は、

波長と同じくらいの大きさのすきまがないと現れない。

そんな小さなすきまは存在しないので観測できない。

h が非常に小さいことが、日常で量子性が見えない理由。

答 (1) 極端に短い (2) 波長と同程度のすきまが存在しないから

3-5 粒か波か

■(1) 光電効果、コンプトン効果。

■(2) 干渉（ヤング・薄膜）、回折。

■(3) 電子線回折、電子顕微鏡、ボーアの量子条件。

相手が1個の粒子とやりとりするなら粒、
広がって重なるなら波として扱うのが目安。

答 (1) 光電効果・コンプトン効果 (2) 干渉・回折 (3) 電子線回折など

設定 4 原子模型と水素のスペクトル

4-1 定常波として

■(1) $\lambda = \frac{h}{mv}$

■(2) $2\pi r = n\lambda = \frac{nh}{mv} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$

■(3) 軌道1周が波長の整数倍になる軌道だけが許される。

そうでないと波が1周して自分と打ち消し合ってしまう。

円周上にできた定常波だと考えるとよい。

これが「エネルギーがとびとびになる」理由。

答 (1) $\frac{h}{mv}$ (2) $2\pi r = \frac{nh}{mv}$ (3) 軌道1周が波長の整数倍

4-2 差が光子

■(1) $E_2 - E_1$

■(2) $\nu = \frac{E_2 - E_1}{h}$

■(3) $\lambda = \frac{hc}{E_2 - E_1}$

エネルギー準位がとびとびだから、出る光の波長もとびとび。

これが線スペクトルの正体。

答 (1) $E_2 - E_1$ (2) $\frac{E_2 - E_1}{h}$ (3) $\frac{hc}{E_2 - E_1}$

4-3 $1/n^2$

■(1) $-E_1$ (最も低い)。

■(2) $E_n \rightarrow 0$ 。

これは電子が原子から離れた状態 (電離) にあたる。

■(3) 無限遠を基準 (0) に取っているから。

束縛されている状態は基準より低いエネルギーになる。

万有引力の $-\frac{GMm}{r}$ とまったく同じ考え方。

答 (1) $-E_1$ (2) 0 に近づく (電離) (3) 無限遠を 0 に取っているから

4-4 0 まで上げる

■(1) 0 まで上げればよいので E_1

■(2) $E_2 = -\frac{E_1}{4}$ なので $\frac{E_1}{4}$

励起状態のほうが電離させやすい。

水素では $E_1 = 13.6 \text{ eV}$ 。

答 (1) E_1 (2) $\frac{E_1}{4}$

4-5 どこに落ちるか

■(1) どの準位に落ち込むか (終わりの n)。

■(2) エネルギー差が最も大きいので紫外線 (ライマン系列)。

■(3) 差が小さくなり可視光 (バルマー系列)。

さらに $n = 3$ に落ちる系列は赤外線 (パッシェン系列)。

落ちる先が深いほど、エネルギー差が大きく波長が短い。

答 (1) 落ち込む先の準位 (2) 紫外線 (3) 可視光

設定 5 原子核と放射線・半減期

5-1 A と Z を追う

■(1) α 粒子（ヘリウム原子核）が出るので

$$Z \rightarrow Z - 2, A \rightarrow A - 4$$

■(2) 中性子が陽子に変わって電子が出るので

$$Z \rightarrow Z + 1, A \text{ は変わらない}$$

■(3) どちらも変わらない。

余ったエネルギーを電磁波として出すだけ。

答 (1) $Z - 2, A - 4$ (2) $Z + 1, A$ そのまま (3) どちらも変わらない

5-2 連立で解く

α を x 回、 β を y 回とする。

■(1) 質量数は α でしか変わらない

$$A_1 - 4x = A_2 \rightarrow x = \frac{A_1 - A_2}{4}$$

■(2) $Z_1 - 2x + y = Z_2$

$$y = Z_2 - Z_1 + 2x = Z_2 - Z_1 + \frac{A_1 - A_2}{2}$$

まず質量数で α の回数を決める (β が効かないから)。

そのあと原子番号で β を出す。この順序が定石。

答 (1) $\frac{A_1 - A_2}{4}$ (2) $Z_2 - Z_1 + \frac{A_1 - A_2}{2}$

5-3 半分ずつ

■(1) $\frac{N_0}{2}$

■(2) $\frac{N_0}{8}$

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

半減期は「半分になるまでの時間」で、

何個から始めても、何回目でも同じ時間で半分になる。

答 (1) $\frac{N_0}{2}$ (2) $\frac{N_0}{8}$ (3) $N_0 \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T}$

5-4 逆に解く

$$\blacksquare(1) \left(\frac{1}{2}\right)^{t/T} = \frac{1}{8} = \left(\frac{1}{2}\right)^3$$
$$\frac{t}{T} = 3 \rightarrow t = 3T$$

$$\blacksquare(2) t = nT$$

$\frac{1}{2}$ の何乗かを数えるだけ。

炭素14（半減期 5730 年）による年代測定はこの計算。

答 (1) $3T$ (2) nT

5-5 性質を比べる

■(1) α : ヘリウム原子核、 β : 電子、

γ : 波長の短い電磁波。

■(2) γ 線（鉛や厚いコンクリートで止める）。

■(3) α 線（紙1枚で止まるが、当たった相手を強くイオン化する）。

透過力と電離作用は逆の順になる。

止まりやすい＝その場でエネルギーを渡している、ということ。

答 (1) He 原子核・電子・電磁波 (2) γ 線 (3) α 線

設定 6 質量欠損と核エネルギー

6-1 引き算する

$$\blacksquare(1) \Delta m = Zm_p + Nm_n - M$$

$$\blacksquare(2) E = \Delta m c^2 = (Zm_p + Nm_n - M)c^2$$

■(3) 部品の合計のほうが大きい。

ばらばらにするにはエネルギーを与えなければならず、

その分だけくっついた状態のほうが軽い。

安定な状態ほど質量が小さい。

答 (1) $Zm_p + Nm_n - M$ (2) $(Zm_p + Nm_n - M)c^2$ (3) 部品の合計

6-2 前後の質量差

■(1) $E = \Delta m c^2$

■(2) エネルギーを与えないと起こらない反応になる（吸熱反応）。

c^2 が非常に大きい (9×10^{16}) ので、

わずかな質量差でも莫大なエネルギーになる。

これが核エネルギーが化学エネルギーより桁違いに大きい理由。

答 (1) $\Delta m c^2$ (2) エネルギーを与えないと起こらない

6-3 曲線の山を見る

■(1) 分裂して山の頂上に近づくと、

核子1個あたりの結合エネルギーが増える＝より安定になるから。

■(2) 融合しても山の頂上に近づくので同じ理由。

■(3) 出せない。

融合すると山から遠ざかってしまう。

どちらの向きでも「鉄に近づく」ならエネルギーが出る。

星が鉄より重い元素を作れなくなって終わるのはこのため。

答 (1)(2) どちらも鉄に近づき安定になるから (3) 出せない

6-4 連鎖反応

■(1) 中性子（電荷がないので原子核に近づける）。

■(2) 2つの中くらいの原子核と、2～3個の中性子、

そして大きなエネルギー。

■(3) 出た中性子が次のウランを分裂させ、それがまた中性子を出す。

1回の分裂が次の分裂を複数引き起こすので

ねずみ算式に広がる。

原子炉では制御棒で中性子を吸収し、この数を1に保っている。

答 (1) 中性子 (2) 中性子とエネルギー (3) 出た中性子が次の分裂を起こす

6-5 式を選ぶ

■(1) $E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$

■(2) $\lambda = \frac{h}{mv}$

■(3) $E = \Delta m c^2$

この3本と、あとはエネルギー保存だけ。

光電効果も、スペクトルも、核反応も、

「前のエネルギー＝後のエネルギー」を書けば式が立つ。

答 (1) $h\nu$ (2) $\frac{h}{mv}$ (3) $\Delta m c^2$