

第3章 原子の構造と性質

3.1 電子の発見

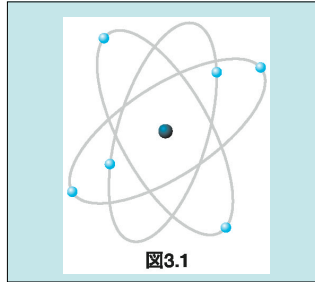


図3.1

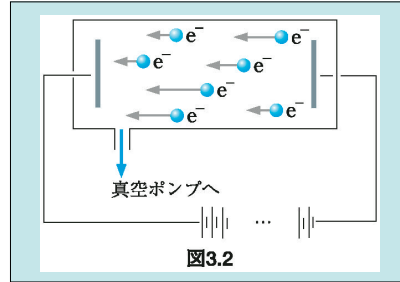


図3.2

- ・ファラデー: 電気分解の研究, ファラデーの法則
- ・ストーニー: 電気の基本単位として, 電子という名称を提案
- ・陰極線(放電管を使っての実験, 陰極から発生するもの)
- ・トムソン: 放電管, 電場・磁場  
負電荷をもつ電子の発見, 電荷と質量の比一定  
トムソンの原子模型(プディングモデル)
- ・ミリカン: 電荷量の決定(ミリカンの油滴実験)→質量の決定

3.2 核をもつ原子

- ・ラザフォード:  $\alpha$ 線の発見 ( $\text{He}^{2+}$ )
- $\alpha$ 粒子の散乱実験(ガイガー, マースデン)

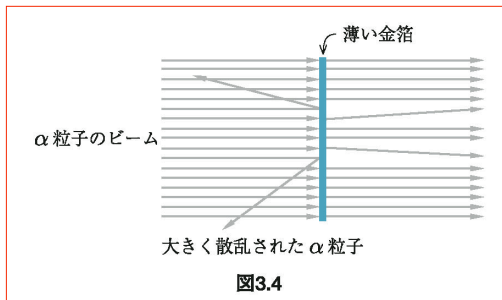


図3.4

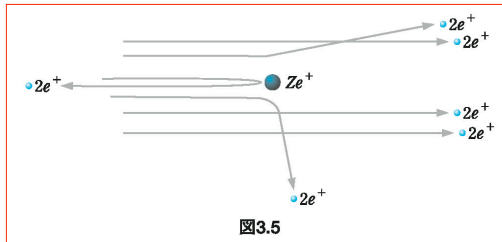


図3.5

- 原子 (原子核)
- ・  $\alpha$ 粒子と反発: 正電荷をもつ
  - ・ 正電荷をもつ粒子の質量は大
  - ・ 正電荷をもつ重い粒子は大変小さい。
  - ・ 原子の体積の大部分は電子以外存在しない空間
- ・ 金の原子核  
電荷:  $(100 \pm 20)e^+$  (推定)  
半径:  $10^{-14}$  m  
(原子半径:  $10^{-10}$  m)

### 3.3 プロトンの発見(原子核中の粒子)

- ・ラザフォード:  $\alpha$ 粒子を使用  
水素の原子核と同じ質量と同じ電荷をもつ粒子の発見(陽子)  
(核に存在する粒子の最初の発見—プロトン)
- ・中性子の発見: チャドウィック

### 3.4 水素原子から出る光

- ・原子発光スペクトル (線スペクトル)—水素放電管, 分光(波長 $\lambda$ , 振動数 $\nu$ )

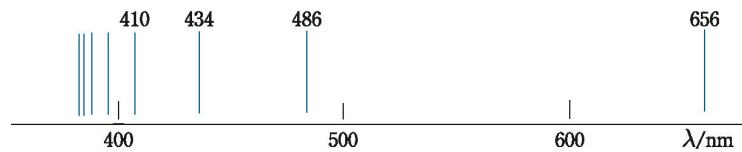


図3.6

$$\nu = 3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{4} - \frac{1}{n_1^2} \right) \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (n_1 > 2) \quad (3.1) \quad [\nu(\text{s}^{-1}) = c_0 / \lambda]$$

$$\nu = 3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (n_1 > n_2) \quad (3.2)$$

#### ・水素放電管の発光原理

- (1) 高速で飛行する電子が水素分子 $\text{H}_2$ と衝突する。
- (2) 電子が持つ大きな運動エネルギーが水素分子に与えられる。
- (3) 水素—水素結合が切れる(水素原子の生成)。かつ, 水素原子中の電子が高いエネルギー状態(励起状態)になる。
- (4) 励起された電子は, 安定な状態(基底状態)に戻る。(エネルギー差 $=\Delta E$ )  
その際, エネルギーを光の形で放出する。(  $\Delta E = h\nu$  )

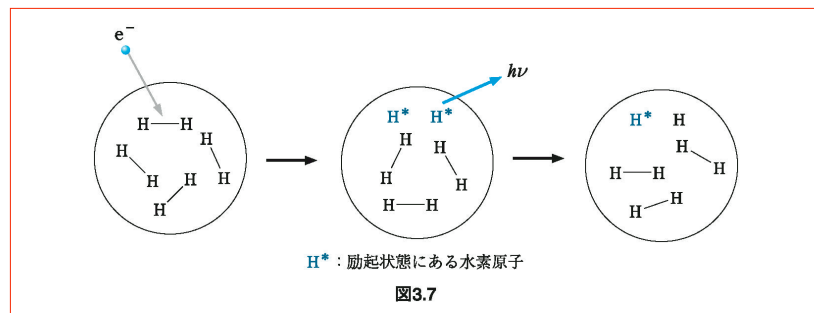


図3.7

○電磁波(光)  $[\nu(\text{s}^{-1}) = c_0 / \lambda]$   $E = h\nu$   $\bar{\nu} = \nu / c_0$

種類	波長 $\lambda/\text{m}$	振動数 $\nu/\text{s}^{-1}$	波数 $\bar{\nu}/\text{m}^{-1}$
X線	$1 \times 10^{-10}$	$3 \times 10^{18}$	$1 \times 10^{10}$
紫外線	$2 \times 10^{-7}$	$1.5 \times 10^{15}$	$5 \times 10^6$
可視光線	$5 \times 10^{-7}$	$6 \times 10^{14}$	$2 \times 10^6$
赤外線	$1 \times 10^{-5}$	$3 \times 10^{13}$	$1 \times 10^5$
マイクロ波	$1 \times 10^{-2}$	$3 \times 10^{10}$	$1 \times 10^2$
ラジオ波	$3 \times 10^3$	$1 \times 10^5$	$3 \times 10^{-4}$

○原子発光スペクトル

$$\nu = 3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) [\text{s}^{-1}] \quad (n_1 > n_2) \quad (3.2)$$

### 3.5 ボーアの水素原子モデル

#### (1) 定常状態の仮説

水素原子中の電子は、 $n$ 番目の円軌道上を安定に運動している(エネルギー放出なし)。[ $m_e$ : 電子の質量,  $r_n$ : 円軌道の半径,  $v_n$ : 電子の速度]

[遠心力]  
(加速度:  $v_n^2/r_n$ )

$$\frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}$$

[核-電子間のクーロン引力]  
( $ze$ : 核の電荷, 水素原子 $z=1$ )  
( $\epsilon_0$ : 真空中の誘電率)

#### (2) 量子仮説

電子の角運動量は  $(h/2\pi)$  の整数倍(量子化条件)

$$m_e v_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

[ $n$ : 量子数]  
( $h$ : プランク定数)

#### (3) 遷移仮説

電子が高いエネルギー( $E_n$ )の軌道から、低いエネルギー( $E_1$ )の軌道に遷移するとき、そのエネルギー差( $\Delta E$ )に相当する光を放出する。  
(外からエネルギーを受け取ると、高いエネルギーの軌道に遷移)

$$\Delta E = E_n - E_1 = h\nu \quad (\nu: \text{光の振動数}, h: \text{プランク定数})$$

○ボーアモデルによる水素原子中の電子エネルギーの計算

- (1) 等速円運動の条件 (2) 量子化条件

$$\frac{m_e v_n^2}{r_n} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r_n^2}$$

$$m_e v_n r_n = \frac{nh}{2\pi} \quad (n = 1, 2, 3, \dots)$$

(3) (1)・(2) より,  $n$ 番目の円軌道の半径 $r_n$ と電子の速度 $v_n$ を求める。

$$v_n = \frac{e^2}{2\epsilon_0 h n} \quad (e: \text{電気素量}, \epsilon_0: \text{真空中の誘電率}, (2)\text{式の } m_e v_n \text{を}(1)\text{式に})$$

$$r_n = \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2} n^2 = a_0 n^2 = (5.29 \times 10^{-11}) n^2 \text{ m} \quad (a_0 = r_1: \text{ボーア半径})$$

- (4)  $n$ 番目の円軌道上に存在する電子のエネルギー $E_n$   
 (a) 電子の運動エネルギー(正)とポテンシャルエネルギー(負)との和

$$E_n = \frac{1}{2} m_e v_n^2 + \left( -\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} \right)$$

(b) 量子化条件を取り入れた(3)での半径 $r_n$ と速度 $v_n$ を, (a)の式に代入

$$E_n = -\frac{m_e e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \frac{1}{n^2} = -\frac{2.18 \times 10^{-18}}{n^2} \text{ J}$$

$E_n$ の特徴:  
 $n$ で決まる・不連続・負の値

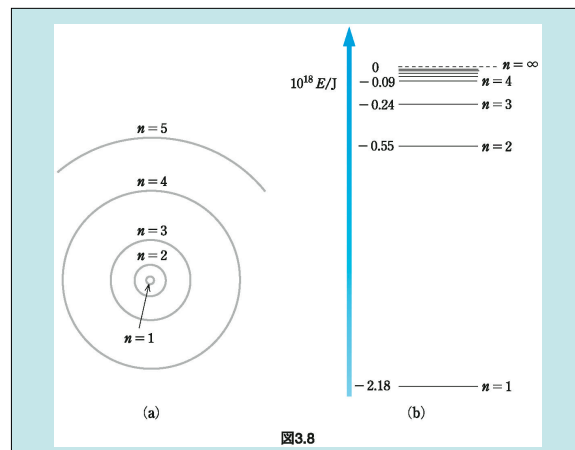


図3.8

## ○水素原子の発光スペクトルとボーアの水素原子モデル

・遷移仮説

$$\Delta E = E_{n_2} - E_{n_1} = h\nu$$

・(4)-(b) より

$$\Delta E = h\nu = E_{n_2} - E_{n_1} = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^2} \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) \quad [n_2 > n_1] \quad (\text{注意})$$

$$\therefore \nu = -\frac{m_e e^4}{8\varepsilon_0^2 h^3} \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right) = -3.29 \times 10^{15} \left( \frac{1}{n_2^2} - \frac{1}{n_1^2} \right)$$

## ○ボーアの原子モデル

・革新的な考え: 角運動量の量子化 (→エネルギーの量子化)

ただし, その意味は不明(問題点)

・1電子系の原子発光スペクトルを完全に説明

[原子番号(=陽子の数)  $z$  のイオンでは,  $E_n$  および  $\nu$  は  $z^2$  倍になる]

・多電子系の原子発光スペクトルは説明できない。(問題点)