

## 無機化学Ia

2017年10月～2018年2月

11月1日 第3回

1. 原子構造と周期律
2. 分子の構造と結合

担当教員:

1回～8回

福井大学学術研究院工学系部門生物応用化学分野

前田史郎

E-mail: smaeda@u-fukui.ac.jp

9回～16回

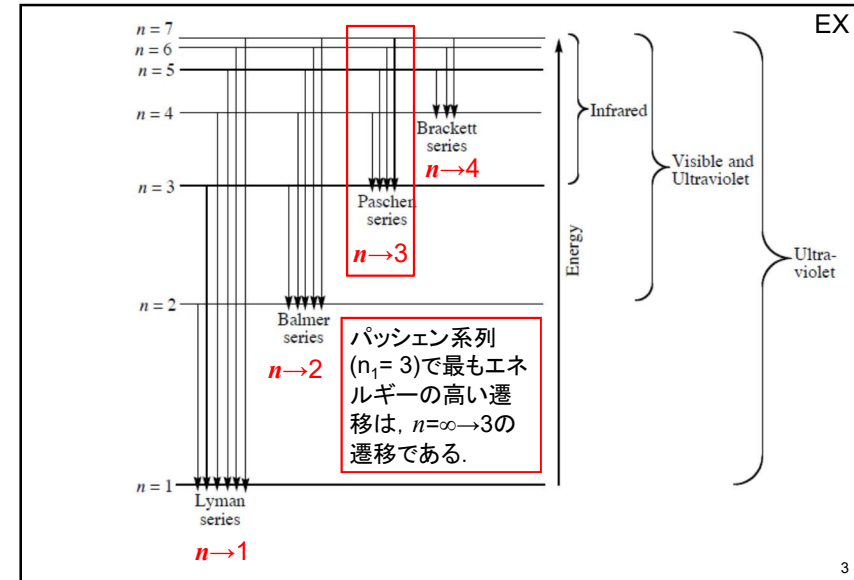
福井大学産学官連携本部

米沢 晋

教科書: 基礎無機化学 下井 守著、東京化学同人

この授業の前半ではカードリーダーによる出席を取ります。各自学生証をカードリーダーに通してから、着席すること。学生証を忘れた人は、当日の授業終了時まで申し出た人だけ出席扱いとします。後日出席の申し出は受け付けません。

1



3

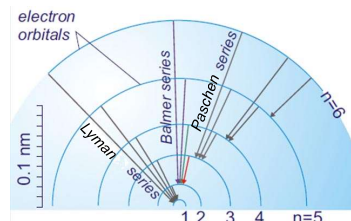
10月18日 パッセン系列 ( $n_1=3$ )の最短波長の遷移にともなって放射される電磁波の波長 $\lambda/\text{nm}$ を計算せよ。

[例解]パッセン系列であるから $n_1=3$ である。“最短波長の遷移”ということは“最もエネルギーが大きい電磁波を放射する遷移”のことを意味しており、 $n_2=\infty$ から $n_1=3$ の準位への遷移である。

$$\tilde{\nu} = R_H \left( \frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{109677}{9} (\text{cm}^{-1})$$

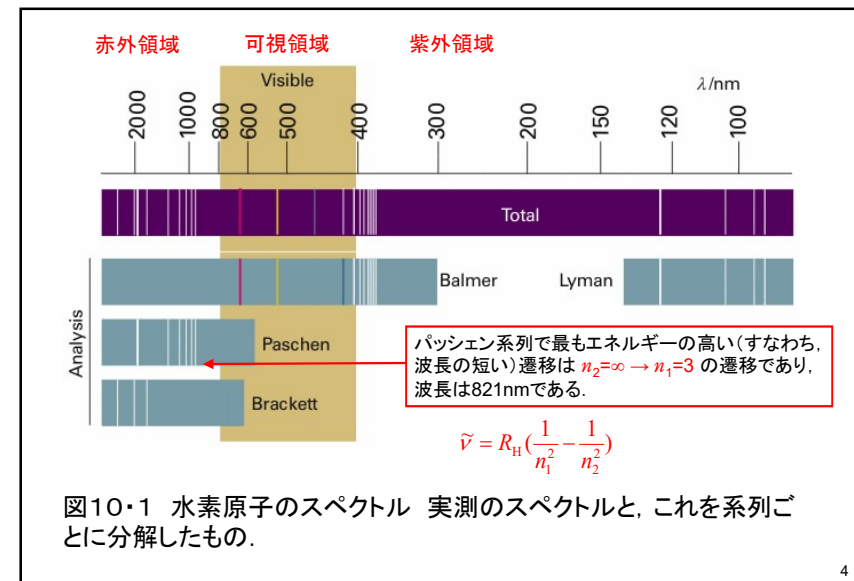
$$\lambda = \frac{1}{\tilde{\nu}} = \frac{9}{109677 \times 10^2} (\text{m}) = 8.21 \times 10^{-7} (\text{m}) = 821 (\text{nm})$$

波長821 nmで、スペクトルの赤外領域にある。



$$\frac{1}{\lambda} = R \left( \frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

2



4

Q. 化学基礎の講義とリンクする点が多くある。化学基礎とかぶっている部分があるので分かり易い。電磁波は高校でもやったので懐かしかったです。高校物理の内容と同じ(多数)。進度をもう少し速くしてほしい。質問に答える問題を選んで授業を長くしてほしい(複数)。

Q. 全てが分かりにくい。見慣れない式や言葉がたくさんでてきてむずかしそうに感じる。同じことをいろいろなグラフなどを使って説明するので混乱しやすい。もう少しいろいろ整理してほしい。高校物理の応用でとても難しいと思った。内容が難しく理解が追いつかない。

A. 高校での学習内容、物質・生命化学科で何を学びにきたのかが人によって違うので全員が満足できる授業は難しいと思います。

Q. 黒板の板書をもっと増やしてほしい。

A. 図や式が多く出てくるので、板書していたのでは時間が足りません。

5

Q. 量子力学を勉強する際におすすめの本はありますか。

A. 後でいくつか紹介します。

Q. スライドが公開されているネットのページが分からない。

A. 学生ポータルサイトにアップするつもりですが準備が遅れています。過去の授業資料等がアップされている授業担当者の「授業資料のページ」にもアップすることになります。「前田史郎」「授業資料」などのキーワードで検索すれば辿り着けると思います。

Q. プリズムのしくみがよく分からない(複数)。

Q. スペクトルとは何なのか分からない。

A. 次の図で説明します。

7

Q. テストの形式はどんなですか。

A. ホームページに過去の問題を公開しています。昨年は、試験期間の数週間前にレポート課題を提出してもらいました。中間テストの問題はこの課題とほぼ同じです。内容は普通のテストです。

Q. シュレディンガーやリュードベリはこのような式を導き出したのか。

A. 突然ひらめいたわけではありません。多数の研究者の、過去のさまざまな研究結果の積み重ねに基づいています。

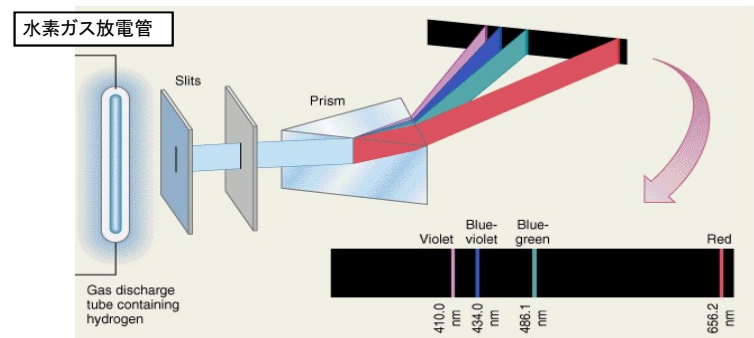
Q. 「量子力学で古典的な粒子の概念にとってかわる波のことを波動関数といい」とありますが、波と粒子の性質を合わせ持つものを波動関数というのですか。

A. 全てのものは波動関数で表されます。ただし、大きなものや質量のおおきなものは波の性質が無視できるので古典的な粒子として古典力学で取り扱えます。

6

### 水素原子の構造とスペクトル

気体水素を通して放電を行うとき、 $H_2$ 分子が解離してエネルギー的に励起したH原子ができて、これは離散的な振動数の光を放出する。可視領域では $\lambda = 656, 486, 434, 410 \text{ nm}$ である。



可視領域スペクトル

8

### The spectrograph: emission and absorption spectra

(a) 発光スペクトルと(b)吸収スペクトル

[http://cola.kaist.ac.kr/~buglass/CH101%20General%20Chemistry/CH101\\_Chap4\\_2014.ppt#493,16,The spectrograph: emission and absorption spectra](http://cola.kaist.ac.kr/~buglass/CH101%20General%20Chemistry/CH101_Chap4_2014.ppt#493,16,The spectrograph: emission and absorption spectra)

### 球面調和関数 $Y_{lm}(\theta, \phi)$

$l$	$m_l$	$Y_{lm}$
0	0	$\left(\frac{1}{4\pi}\right)^{1/2}$
1	0	$\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \cos \theta$
1	$\pm 1$	$\mp \left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/2} \sin \theta e^{\pm i\phi}$
2	0	$\left(\frac{5}{16\pi}\right)^{1/2} (3 \cos^2 \theta - 1)$
2	$\pm 1$	$\mp \left(\frac{15}{8\pi}\right)^{1/2} \cos \theta \sin \theta e^{\pm i\phi}$
2	$\pm 2$	$\left(\frac{15}{32\pi}\right)^{1/2} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\phi}$

**S** オービタル  
**p** オービタル  
**d** オービタル

17, 19

11

### 表 1・2 水素の原子軌道の動径部分と角度部分

動径波動関数 $R_{nl}(r)$	球面調和関数 $Y_{lm}(\theta, \phi)$
1s $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} 2e^{-Zr/a_0}$	$m=0$ $\left(\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\right)$
2s $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/2a_0}$	$m=0$ $\left(\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\right)$
2p $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{1}{2\sqrt{6}} \left(\frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/2a_0}$	$m=+1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta e^{+i\phi}$ $m=0$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cos \theta$ $m=-1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta e^{-i\phi}$
3s $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{2}{3\sqrt{3}} \left(1 - \frac{2}{3} \frac{Zr}{a_0} + \frac{2}{27} \left(\frac{Zr}{a_0}\right)^2\right) e^{-Zr/3a_0}$	$m=0$ $\left(\frac{1}{2\sqrt{\pi}}\right)$
3p $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{8}{27\sqrt{6}} \left(\frac{Zr}{a_0}\right) \left(1 - \frac{1}{6} \frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/3a_0}$	$m=+1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta e^{+i\phi}$ $m=0$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cos \theta$ $m=-1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{2\pi}} \sin \theta e^{-i\phi}$
3d $\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{4}{81\sqrt{30}} \left(\frac{Zr}{a_0}\right)^2 e^{-Zr/3a_0}$	$m=+2$ $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{15}{2\pi}} \sin^2 \theta e^{+2i\phi}$ $m=+1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{15}{2\pi}} \cos \theta \sin \theta e^{+i\phi}$ $m=0$ $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{5}{\pi}} (3 \cos^2 \theta - 1)$ $m=-1$ $\frac{1}{2} \sqrt{\frac{15}{2\pi}} \cos \theta \sin \theta e^{-i\phi}$ $m=-2$ $\frac{1}{4} \sqrt{\frac{15}{2\pi}} \sin^2 \theta e^{-2i\phi}$

s軌道では、定数項があるので、原子核の位置 ( $r=0$ ) で  $R_{nl}$  はゼロではない。

一方、s軌道以外のp,d,...軌道では、 $r$ の項があるので原子核の位置 ( $r=0$ ) で  $R_{nl}$  はゼロである。

s軌道では、球面調和関数  $Y_{00}$  が定数であるので角度依存性がなく、球対称である。

一方、s軌道以外のp,d,...軌道では、角度依存性がある。

17

### 原子オービタル

水素型原子の基底状態で占有されるオービタルは1sオービタルである。  $n=1$  であるから、必然的に  $l=m_l=0$  となる。  $Z=1$  の水素原子の場合、次のように書ける。

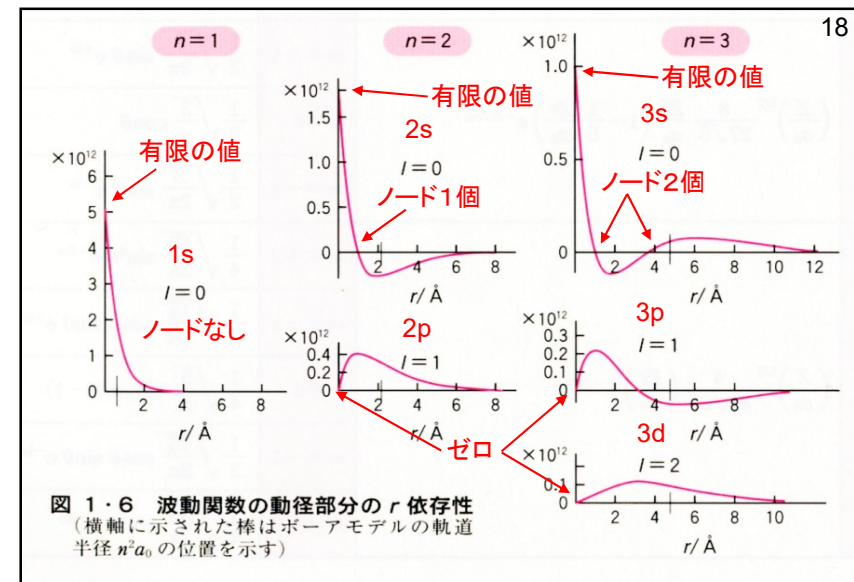
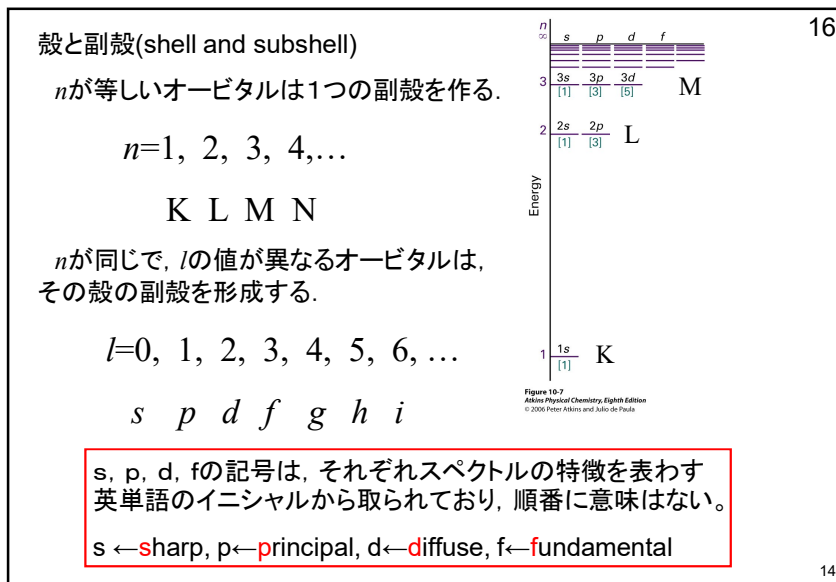
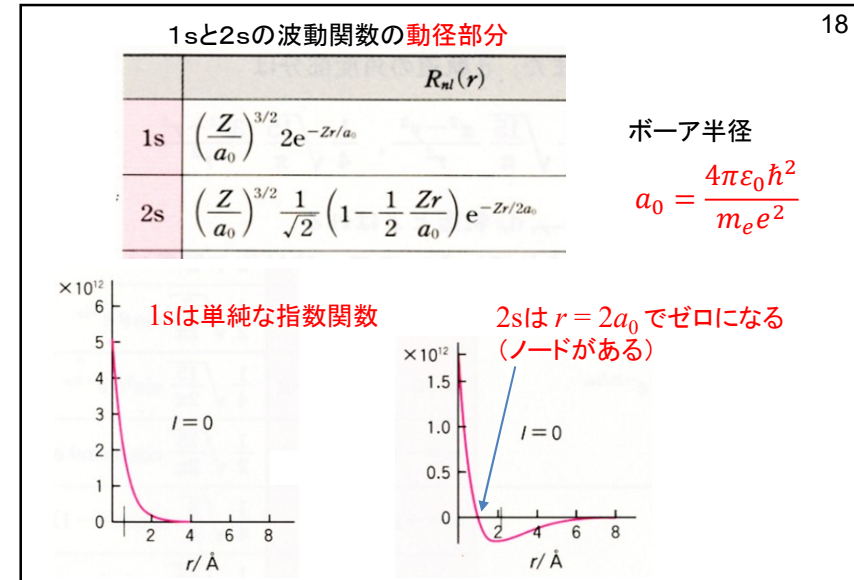
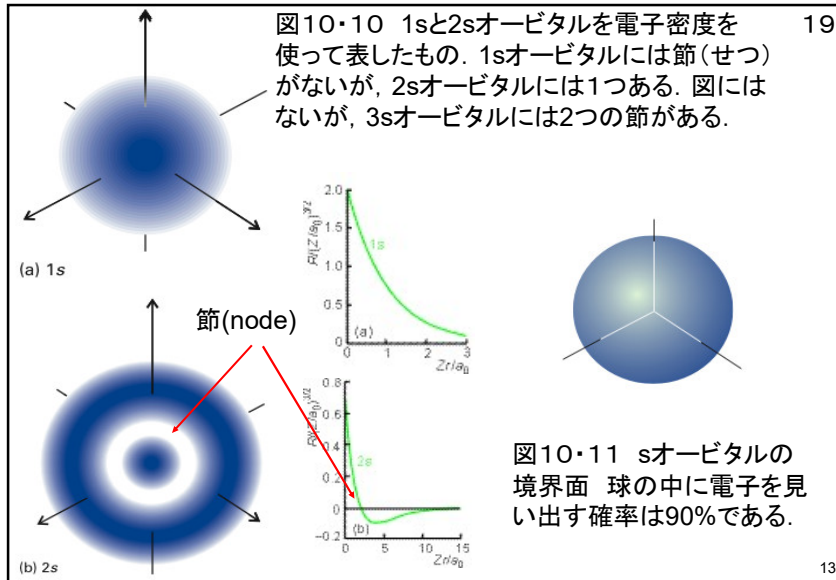
$$\text{水素の1sオービタル} \quad \Psi = \frac{1}{(\pi a_0^3)^{1/2}} e^{-r/a_0}$$

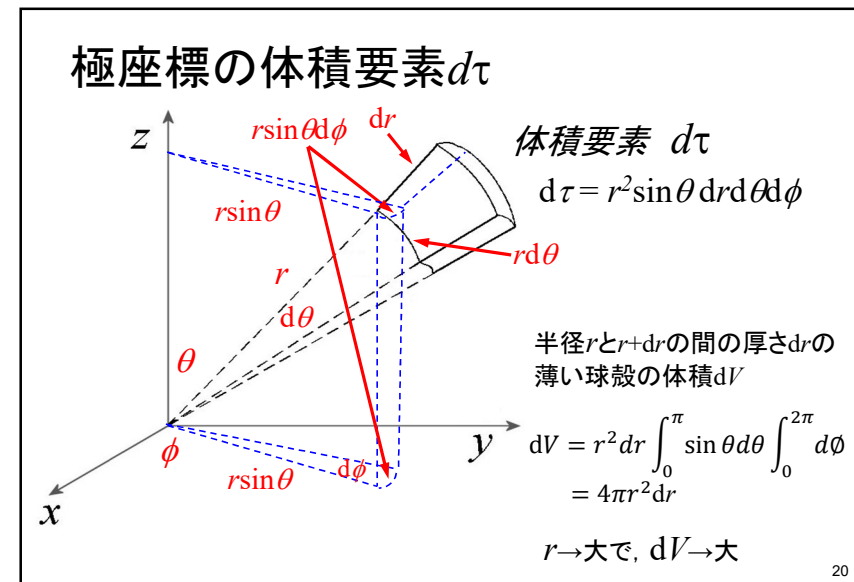
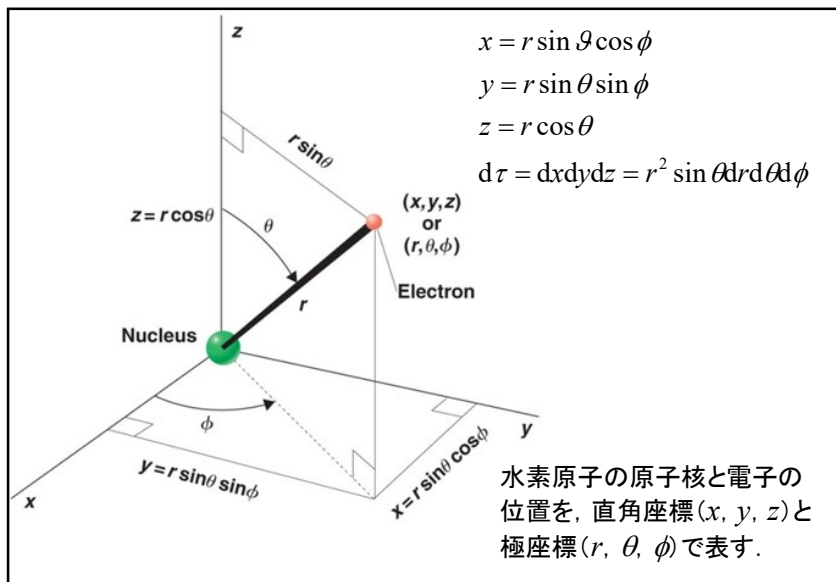
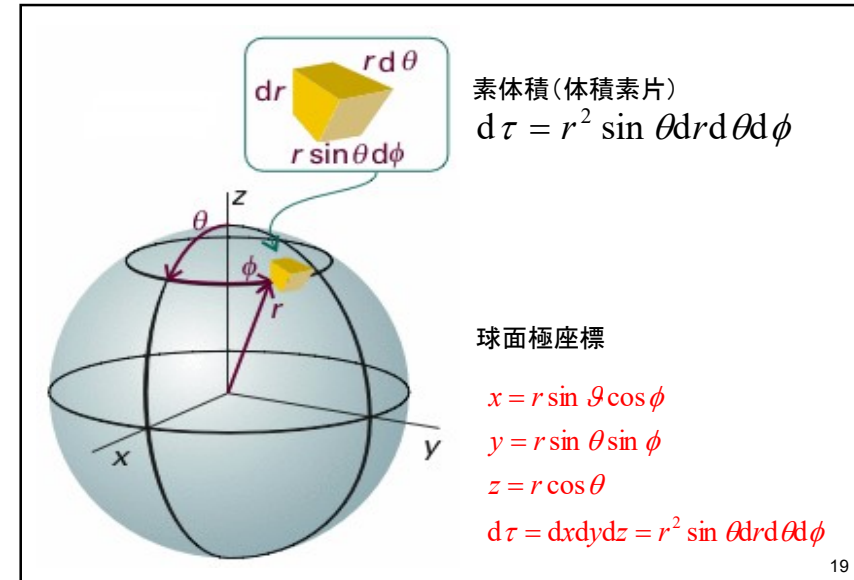
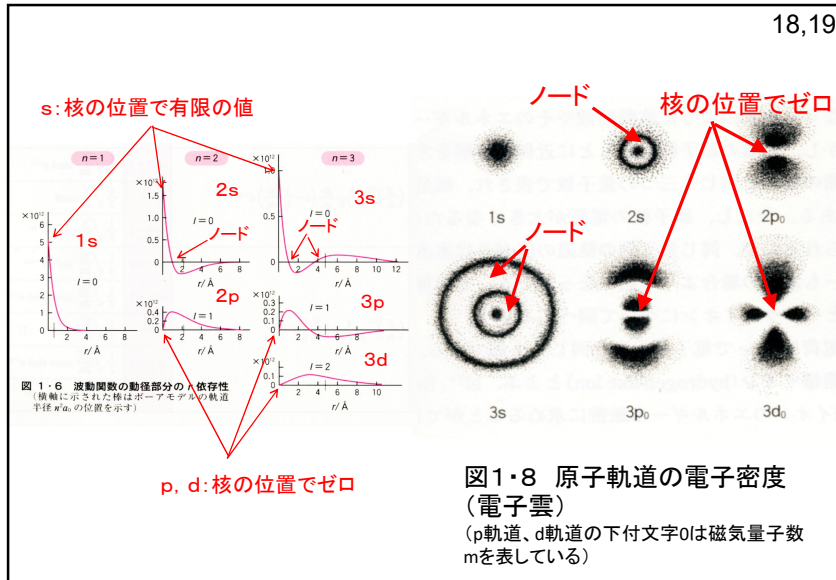
この関数は、 $r$  だけの関数である。  $\theta$  と  $\phi$  を含まないので角度に無関係であって、半径一定のあらゆる点で同じ値を持つ、つまり球対称である。

電子の確率密度を描写する方法の一つは、 $|\Psi|^2$  を影の濃さで表現することであるが、最も単純な手法は境界面だけを示す方法である。この境界面の形は、電子をほぼ90%以上の確率で含むものである。

17

12





**1sオービタルの動径分布関数**

1sオービタルは

$$\psi_{1s} = \frac{4Z^3}{a_0^3} e^{-\frac{2Zr}{a_0}}$$

であるから、

$$P_{1s}(r) = \frac{4Z^3}{a_0^3} r^2 e^{-\frac{2Zr}{a_0}}$$

半径 $r$ と $r+dr$ の間の薄い球殻の体積は $r^2$ に比例する。

Figure 10-14  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

動径分布関数 $P$

$r^2$ の項は $r \rightarrow$ 大で増大するが、指数関数項 $\exp(-2Zr/a_0)$ は $r \rightarrow$ 大で急速に減少し、 $r \rightarrow \infty$ でゼロとなるので、動径分布関数は極大値を持つ。

21

極大点では  $\frac{dP(r)}{dr} = 0$  である。

$$\frac{dP(r)}{dr} = \frac{4Z^3}{a_0^3} \left( 2re^{-\frac{2Zr}{a_0}} + r^2 \left( -\frac{2Z}{a_0} \right) e^{-\frac{2Zr}{a_0}} \right)$$

$$= \frac{4Z^3}{a_0^3} e^{-\frac{2Zr}{a_0}} 2r \left( 1 - \frac{Z}{a_0} r \right)$$

$$= 0$$

$r = \frac{a_0}{Z}$  で極大となる

ボア半径  $r = a_0$

Figure 10-14  
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition  
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

水素原子、すなわち $Z=1$ のときは  $r = a_0$  (ボア半径: 52.9 pm) で動径分布関数  $P(r)$  は極大となる。

基底状態の水素原子で、電子が見い出される確率が最も高い最大確率の半径はボア半径 $a_0$ である。

17

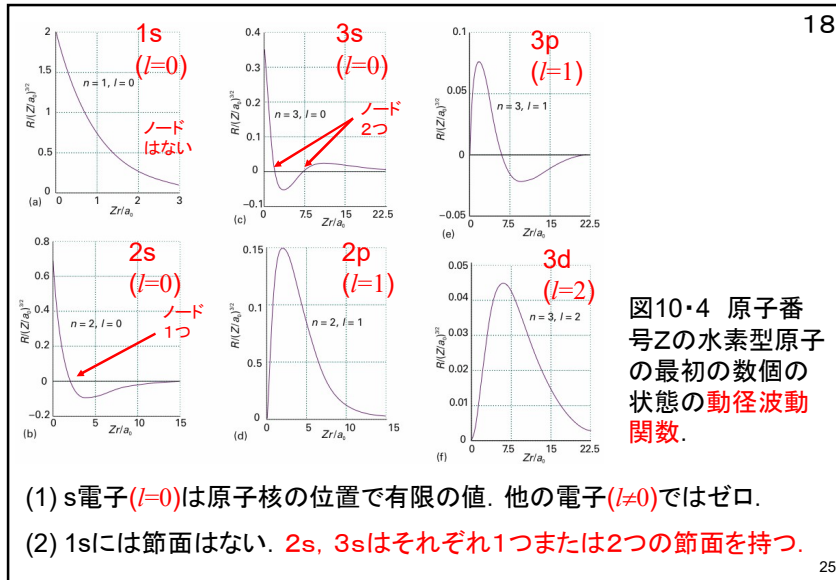
23

$r^2$ の項は $r \rightarrow$ 大で増大するが、  
指数関数項 $\exp(-2Zr/a_0)$ は $r \rightarrow$ 大で急速に減少し、 $r \rightarrow \infty$ でゼロとなる。  
したがって、これらの積 $r^2 \exp(-2Zr/a_0)$ は極大値をもつ。

22

図1・9 1s、2s、2p軌道の動径分布関数

20



18

25

(f) p オービタル

n	l	副殻	$m_l$	副殻の中のオービタルの数
2	1	2p	0, ±1	3

2p 電子では,  $l = 1$ であり, その成分は $m_l = -1, 0, 1$ の3通りがある.  
 $l = 1, m_l = 0$  の 2p オービタルの波動関数は

$$p_0 = R_{2,1}(r)Y_{1,0}(\theta, \phi) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{\frac{5}{2}} r \cos \theta e^{-\frac{Zr}{2a_0}}$$

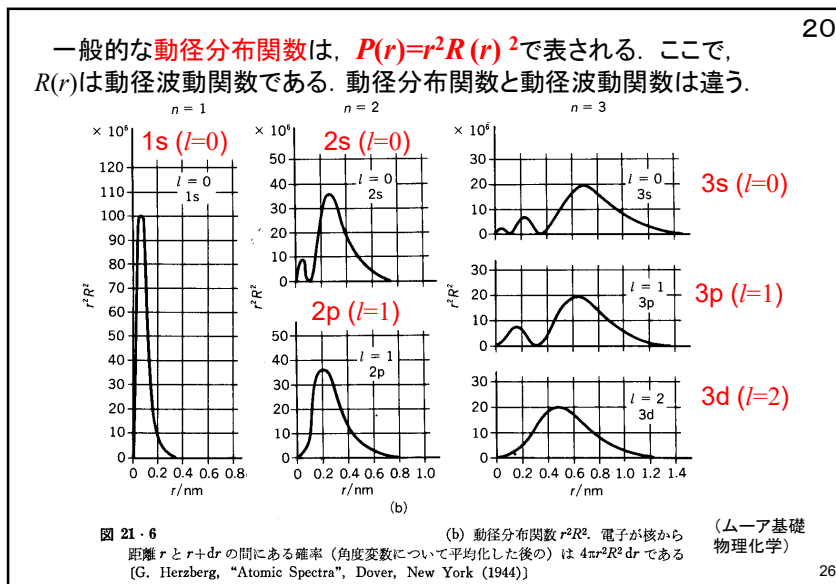
$$= r \cos \theta f(r)$$

$$f(r) = \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{\frac{5}{2}} e^{-\frac{Zr}{2a_0}}$$

極座標では  $r \cos \theta = z$  であるから, このオービタルは $P_z$ 軌道ともいう.

18

27



20

26

$l = 1, m_l = \pm 1$  の 2p オービタルの波動関数は次の形を持つ.

$$p_{\pm 1} = R_{2,1}(r)Y_{1,\pm 1}(\theta, \phi) = \mp \frac{1}{8\pi^{1/2}} \left(\frac{Z}{a_0}\right)^{\frac{5}{2}} r e^{-Zr/2a_0} \sin \theta e^{\pm i\phi}$$

$$= \mp \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta e^{\pm i\phi} f(r)$$

この波動関数はz軸のまわりに時計回りか, 反時計回りの角運動量をもつ粒子に対応する. これらの関数を描くには, 実関数になるように一次結合,

$$p_x = -\frac{1}{2^{1/2}} (p_{+1} - p_{-1}) = r \sin \theta \cos \phi f(r) = x f(r)$$

$$p_y = \frac{i}{2^{1/2}} (p_{+1} + p_{-1}) = r \sin \theta \sin \phi f(r) = y f(r)$$

をとるのが普通である.

18

28

$$\begin{aligned}
 p_{+1} - p_{-1} &= -\frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta e^{i\phi} f(r) - \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta e^{-i\phi} f(r) \\
 &= -\frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (e^{-i\phi} + e^{i\phi}) \\
 &= -\frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (\cos \phi - i \sin \phi + \cos \phi + i \sin \phi) \\
 &= -\frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (2 \cos \phi) \\
 &= -2^{1/2} r \sin \theta \cos \phi f(r) \\
 p_x &= -\frac{1}{2^{1/2}} (p_{+1} - p_{-1}) \\
 &= -\frac{1}{2^{1/2}} \{-2^{1/2} r \sin \theta \cos \phi f(r)\} \\
 &= r \sin \theta \cos \phi f(r) \\
 &= x f(r)
 \end{aligned}$$

$$p_x = -\frac{1}{2^{1/2}} (p_{+1} - p_{-1}) = r \sin \theta \cos \phi f(r) = x f(r)$$

18

29

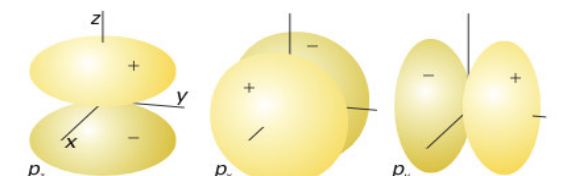
$$\begin{aligned}
 p_x &= -\frac{1}{2^{1/2}} (p_{+1} - p_{-1}) = r \sin \theta \cos \phi f(r) = x f(r) \\
 p_y &= \frac{i}{2^{1/2}} (p_{+1} + p_{-1}) = r \sin \theta \sin \phi f(r) = y f(r) \\
 p_z &= \frac{1}{4\sqrt{2\pi}} (Z/a_0)^{5/2} r \cos \theta e^{-Zr/2a_0} = r \cos \theta f(r) = z f(r)
 \end{aligned}$$


図10・15 pオービタルの境界面。節面は原子核をよぎり、それぞれのオービタルの2つのローブを分断する。暗い部分と明るい部分は、波動関数の符号が互いに反対の領域を表している。

19

31

$$\begin{aligned}
 p_{+1} + p_{-1} &= -\frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta e^{i\phi} f(r) + \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta e^{-i\phi} f(r) \\
 &= \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (e^{-i\phi} - e^{i\phi}) \\
 &= \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (\cos \phi - i \sin \phi - \cos \phi - i \sin \phi) \\
 &= \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (-2i \sin \phi) \\
 &= -2^{1/2} r i \sin \theta \sin \phi f(r) \\
 p_y &= \frac{i}{2^{1/2}} (p_{+1} + p_{-1}) \\
 &= \frac{i}{2^{1/2}} \{-2^{1/2} r i \sin \theta \sin \phi f(r)\} \\
 &= r \sin \theta \sin \phi f(r) \\
 &= y f(r)
 \end{aligned}$$

$$p_y = \frac{i}{2^{1/2}} (p_{+1} + p_{-1}) = r \sin \theta \sin \phi f(r) = y f(r)$$

18

30

## (g) dオービタル

$n$	$l$	副殻	$m_l$	副殻の中のオービタルの数
3	0	3s	0	1
3	1	3p	0, $\pm 1$	3
3	2	3d	0, $\pm 1, \pm 2$	5

$n=3$ のとき、 $l=0,1,2$ を取ることができ、このM殻は、1個の3sオービタル、3個の3pオービタル、5個の3dオービタルから成る。

19

32



19

座標軸方向にローブが伸びている

座標軸の二等分線方向にローブが伸びている

図10・16 dオービタルの境界面. 2つの節面が原子核の位置で交差し, ローブを分断する. 暗い部分と明るい部分は波動関数の符号が互いに反対であることを示している.

33

32

イオン化エネルギー

元素のイオン化エネルギー  $I$  は, その元素の原子の基底状態, すなわち最低エネルギー状態から電子を1個取り除くのに必要な最小のエネルギーである.

水素型原子のエネルギーは, 量子数  $n$  だけに依存し, 次式で表される.

$$E = -\frac{Z^2 \mu e^4}{32 \pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2 n^2} = -\frac{Z^2}{n^2} hcR_H \quad R_H: \text{リュードベリ定数}$$

水素原子では,  $Z = 1$  であるから,  $n = 1$  のときの最低エネルギーは,

$$E_1 = -hcR_H$$

したがって, 電子を取り除くのに必要なイオン化エネルギー  $I$  は,

$$I = hcR_H$$

35

19

図1・7 s、p、d軌道の角度依存性

33

16

電子が陽子(水素原子核)から無限遠に離れたとき(全く相互作用がないとき)のエネルギーをゼロとする.  $H \rightarrow H^+ + e^-$

イオン化エネルギー

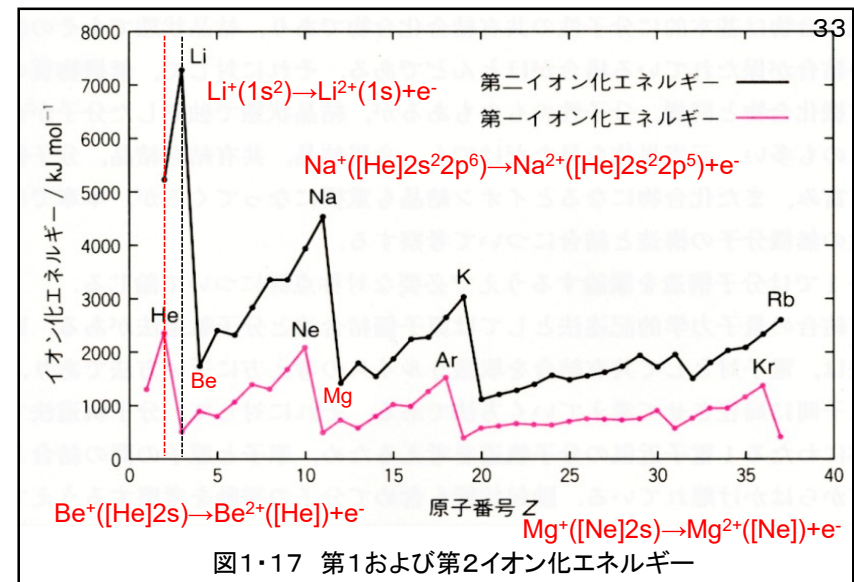
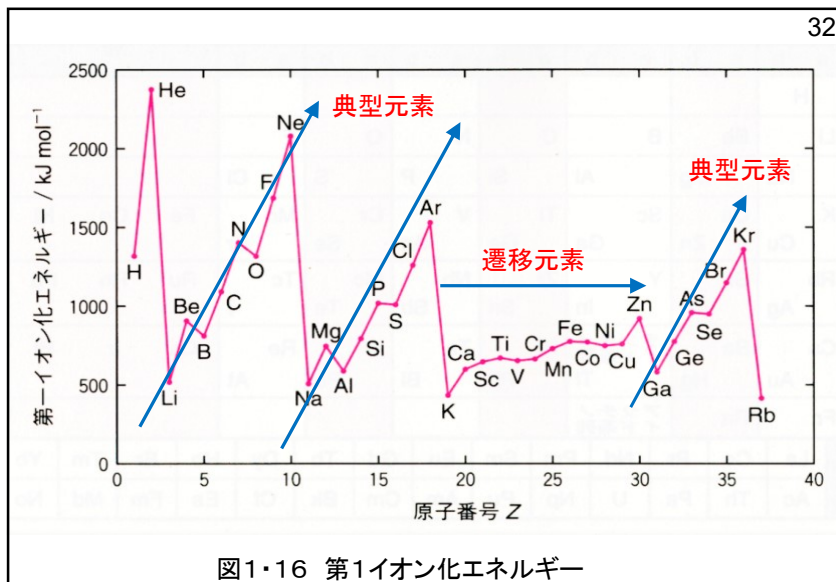
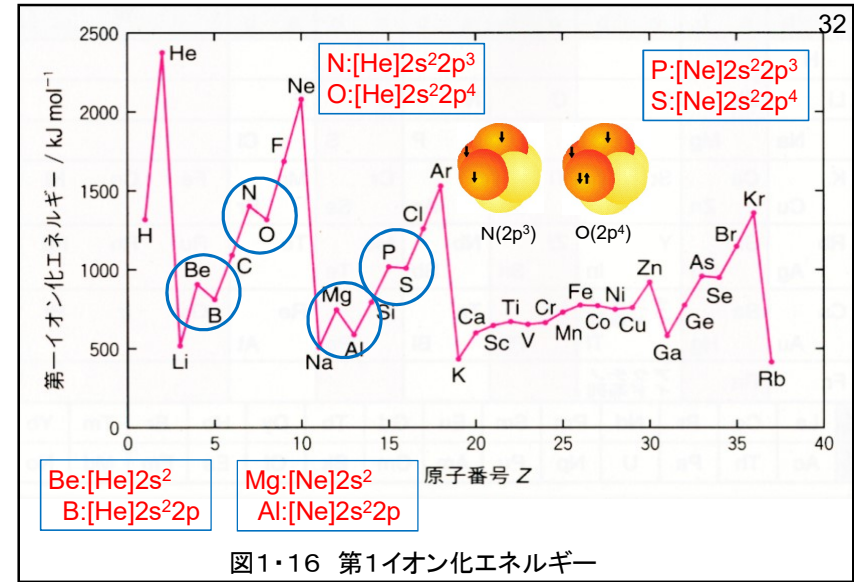
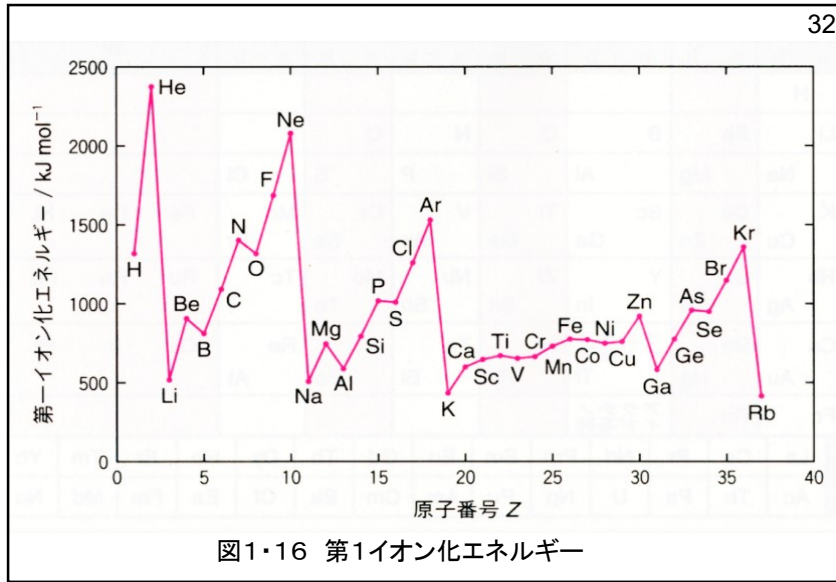
$$I = hcR_H$$

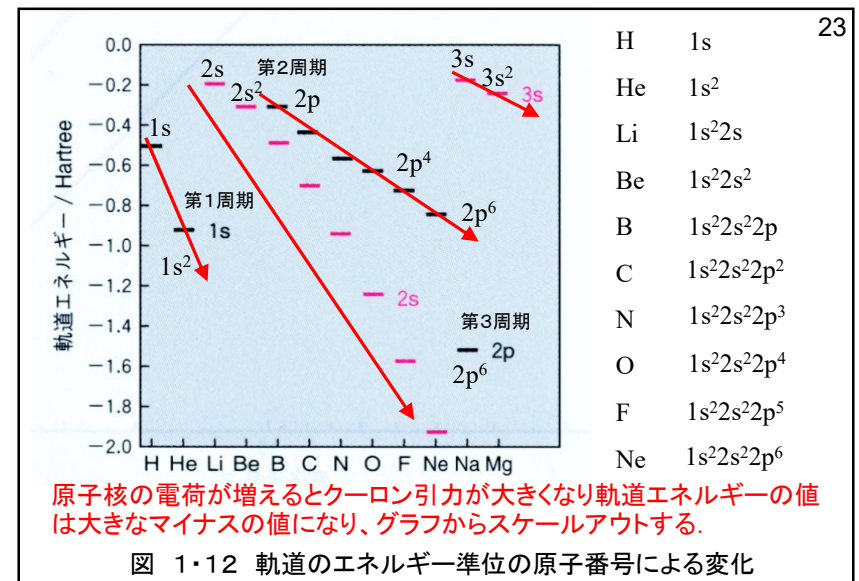
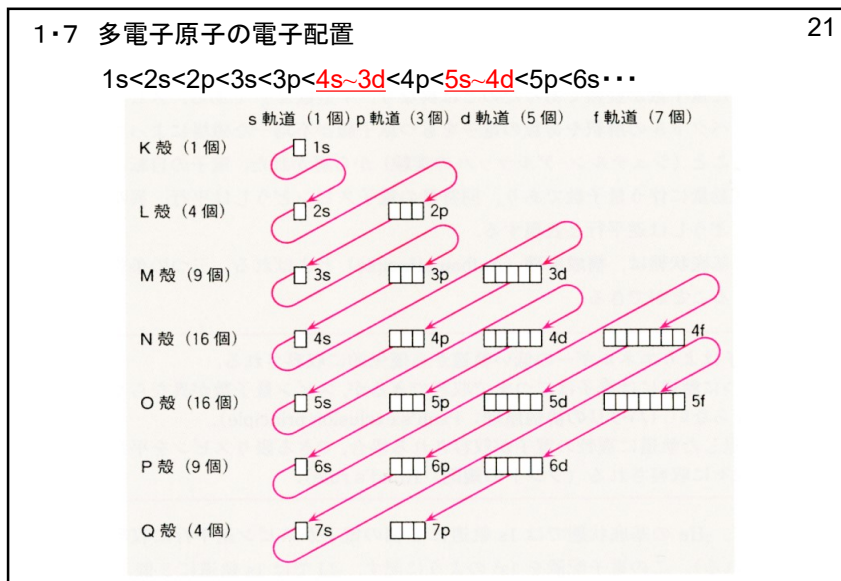
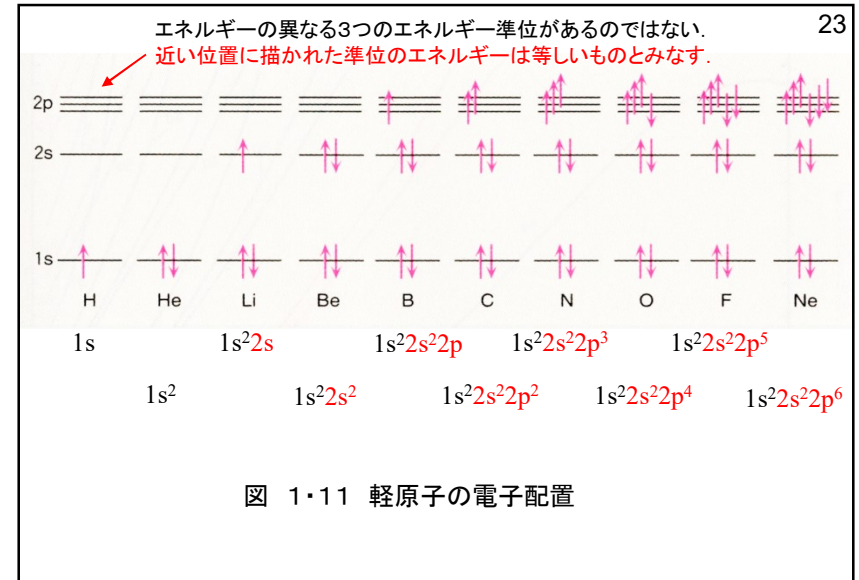
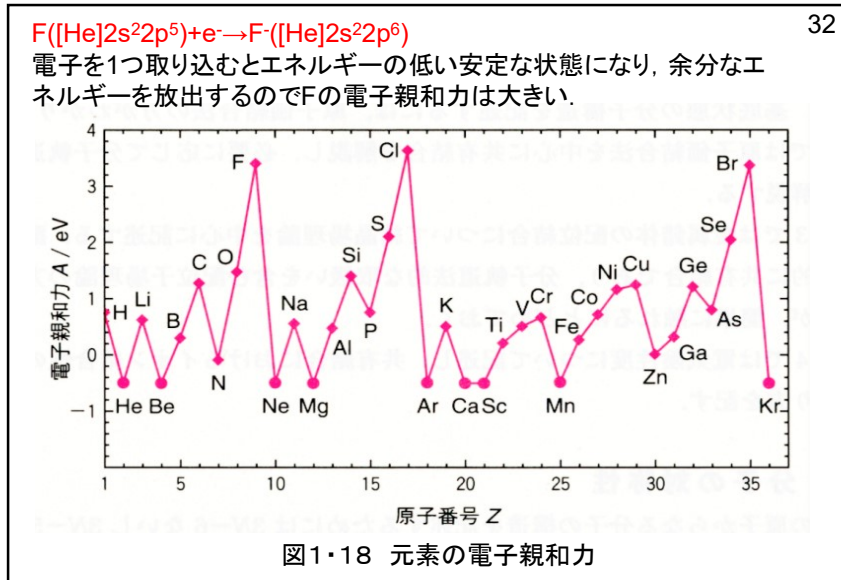
水素原子のエネルギー準位.

準位の位置は, プロトンと電子が無限遠に離れて静止している状態を基準にした, 相対的なものである.

水素原子Hのときが最もエネルギーが低い.

36



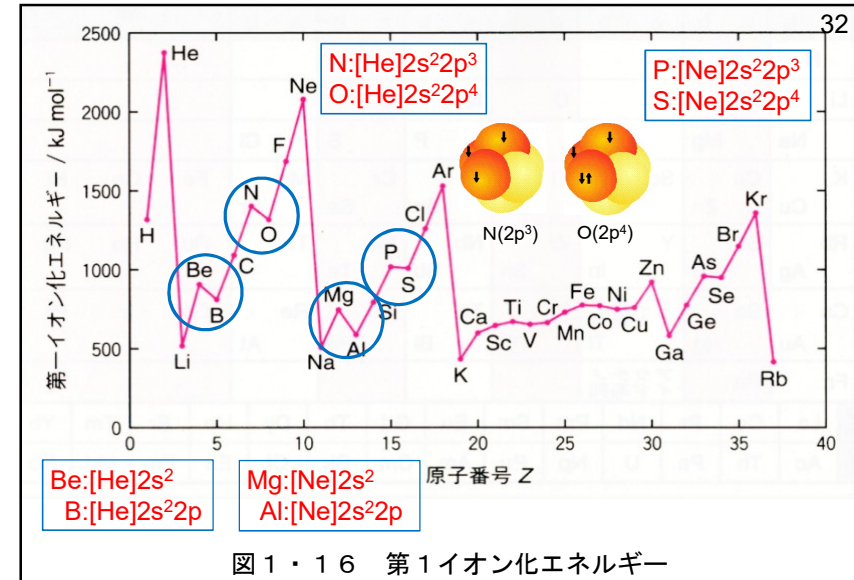


30

Z	元素	電子配置	Z	元素	電子配置	Z	元素	電子配置
1	H	1s	19	K	[Ar]4s	37	Rb	[Kr]5s
2	He	1s <sup>2</sup>	20	Ca	[Ar]4s <sup>2</sup>	38	Sr	[Kr]5s <sup>2</sup>
3	Li	1s <sup>2</sup> 2s	21	Sc	[Ar]3d4s <sup>2</sup>	39	Y	[Kr]4d5s <sup>2</sup>
4	Be	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup>	22	Ti	[Ar]3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>	40	Zr	[Kr]4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>
5	B	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p	23	V	[Ar]3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>	41	Nb	[Kr]4d <sup>4</sup> 5s
6	C	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	24	Cr	[Ar]3d <sup>5</sup> 4s	42	Mo	[Kr]4d <sup>5</sup> 5s
7	N	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	25	Mn	[Ar]3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>	43	Tc	[Kr]4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>
8	O	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>	26	Fe	[Ar]3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>	44	Ru	[Kr]4d <sup>7</sup> 5s
9	F	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	27	Co	[Ar]3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>			
10	Ne	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>	28	Ni	[Ar]3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>			
11	Na	[Ne]3s	29	Cu	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s			
12	Mg	[Ne]3s <sup>2</sup>	30	Zn	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>			
13	Al	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p	31	Ga	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p			
14	Si	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	32	Ge	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>			
15	P	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>	33	As	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>			
16	S	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>	34	Se	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>			
17	Cl	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	35	Br	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>			
18	Ar	[Ne]3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>	36	Kr	[Ar]3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>			

赤線で囲った元素(典型元素)は $ns^2np^x(x=0\rightarrow6)$ と規則的である。

緑線で囲った元素(遷移元素)は $nd^xns^y(x=1\sim 10, y=1\text{か}2)$ と不規則的である。



周期表と電子配置

1・2族典型元素は $ns^x(x=1,2)$  13-18族典型元素は $ns^2np^x(x=0\rightarrow6)$

族番号	1	2	3-12	13	14	15	16	17	18
1	H 1s <sup>1</sup>								He 1s <sup>2</sup>
2	Li 2s <sup>1</sup>	Be 2s <sup>2</sup>		B 2s <sup>2</sup> 2p <sup>1</sup>	C 2s <sup>2</sup> 2p <sup>2</sup>	N 2s <sup>2</sup> 2p <sup>3</sup>	O 2s <sup>2</sup> 2p <sup>4</sup>	F 2s <sup>2</sup> 2p <sup>5</sup>	Ne 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup>
3	Na 3s <sup>1</sup>	Mg 3s <sup>2</sup>		Al 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>	Si 3s <sup>2</sup> 3p <sup>2</sup>	P 3s <sup>2</sup> 3p <sup>3</sup>	S 3s <sup>2</sup> 3p <sup>4</sup>	Cl 3s <sup>2</sup> 3p <sup>5</sup>	Ar 3s <sup>2</sup> 3p <sup>6</sup>
4	K 4s <sup>1</sup>	Ca 4s <sup>2</sup>	Sc-Zn 3d <sup>1-10</sup> 4s <sup>2</sup>	Ga 4s <sup>2</sup> 4p <sup>1</sup>	Ge 4s <sup>2</sup> 4p <sup>2</sup>	As 4s <sup>2</sup> 4p <sup>3</sup>	Se 4s <sup>2</sup> 4p <sup>4</sup>	Br 4s <sup>2</sup> 4p <sup>5</sup>	Kr 4s <sup>2</sup> 4p <sup>6</sup>

典型元素 遷移元素 典型元素

遷移元素は $nd^xns^y(x=1\sim 10, y=1,2)$

46

26

第4周期3d遷移元素(Sc-Zn)

原子番号	元素記号	電子配置
19	K	[Ar] 4s
20	Ca	[Ar] 4s <sup>2</sup>
21	Sc	[Ar] 3d4s <sup>2</sup>
22	Ti	[Ar] 3d <sup>2</sup> 4s <sup>2</sup>
23	V	[Ar] 3d <sup>3</sup> 4s <sup>2</sup>
24	Cr	[Ar] 3d <sup>5</sup> 4s
25	Mn	[Ar] 3d <sup>5</sup> 4s <sup>2</sup>
26	Fe	[Ar] 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
27	Co	[Ar] 3d <sup>7</sup> 4s <sup>2</sup>
28	Ni	[Ar] 3d <sup>8</sup> 4s <sup>2</sup>
29	Cu	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s
30	Zn	[Ar] 3d <sup>10</sup> 4s <sup>2</sup>

電子は4sオービタルに順番に入る

4sオービタルが詰まった後、電子はdオービタルに順番に入る

例外:  
d<sup>5</sup>とd<sup>10</sup>電子配置は球対称であり、d<sup>4</sup>4s<sup>1</sup>とd<sup>9</sup>4s<sup>1</sup>よりも安定になる。

48

**第5周期4d遷移元素 (Y-Pd)** 26

原子番号	元素記号	電子配置
37	Rb	[Kr] 5s <sup>1</sup>
38	Sr	[Kr] 5s <sup>2</sup>
39	Y	[Kr] 4d <sup>1</sup> 5s <sup>2</sup>
40	Zr	[Kr] 4d <sup>2</sup> 5s <sup>2</sup>
41	Nb	[Kr] 4d <sup>4</sup> 5s <sup>1</sup>
42	Mo	[Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>1</sup>
43	Tc	[Kr] 4d <sup>5</sup> 5s <sup>2</sup>
44	Ru	[Kr] 4d <sup>7</sup> 5s <sup>1</sup>
45	Rh	[Kr] 4d <sup>8</sup> 5s <sup>1</sup>
46	Pd	[Kr] 4d <sup>10</sup>
47	Ag	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>1</sup>
48	Cd	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>

電子は4sオービタルに順番に入る  
5sオービタルが詰まった後、電子はdオービタルに順番に入る

例外:  
d<sup>5</sup>とd<sup>10</sup>電子配置は球対称であり、d<sup>4</sup>4s<sup>1</sup>とd<sup>9</sup>4s<sup>1</sup>よりも安定になる。

49

元素の周期表 (2009)

(裏表紙) 長周期表

**第6周期ランタニド (稀土類元素) La-Yb** 26

原子番号	元素記号	電子配置
57	La	[Xe] 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
58	Ce	[Xe] 4f <sup>1</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
59	Pr	[Xe] 4f <sup>3</sup> 6s <sup>2</sup>
60	Nd	[Xe] 4f <sup>4</sup> 6s <sup>2</sup>
61	Pm	[Xe] 4f <sup>5</sup> 6s <sup>2</sup>
62	Sm	[Xe] 4f <sup>6</sup> 6s <sup>2</sup>
63	Eu	[Xe] 4f <sup>7</sup> 6s <sup>2</sup>
64	Gd	[Xe] 4f <sup>7</sup> 5d <sup>1</sup> 6s <sup>2</sup>
65	Tb	[Xe] 4f <sup>9</sup> 6s <sup>2</sup>
66	Dy	[Xe] 4f <sup>10</sup> 6s <sup>2</sup>
67	Ho	[Xe] 4f <sup>11</sup> 6s <sup>2</sup>
68	Er	[Xe] 4f <sup>12</sup> 6s <sup>2</sup>
69	Tm	[Xe] 4f <sup>13</sup> 6s <sup>2</sup>
70	Yb	[Xe] 4f <sup>14</sup> 6s <sup>2</sup>

6sオービタルが詰まった後、電子は4fオービタルに順番に入る

例外:  
f<sup>7</sup>電子配置は球対称であり、4f<sup>8</sup>よりも安定になる。

50

11月1日 学生番号 氏名

(1) 第1イオン化エネルギーの原子番号依存性から、基底状態の電子配置についてどのようなことが分かるか説明しなさい。

(2) 本日の授業について、疑問、質問、意見等を書いてください。