

無機化学Ia

2017年10月～2018年2月

10月19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

休講通知: 来週10月26日(木)2時間目は休講です。

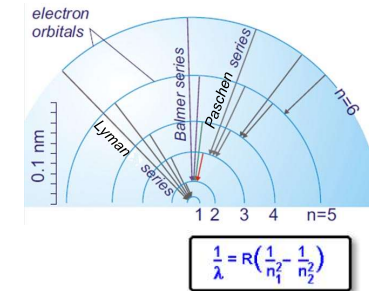
補講通知: 来週10月27日(金)3時間目に118Mで補講を行います。

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

10月12日 パッシェン系列($n_1=3$)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 λ /nmを計算せよ。

[例解] 最短波長ということは最もエネルギーが大きい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。

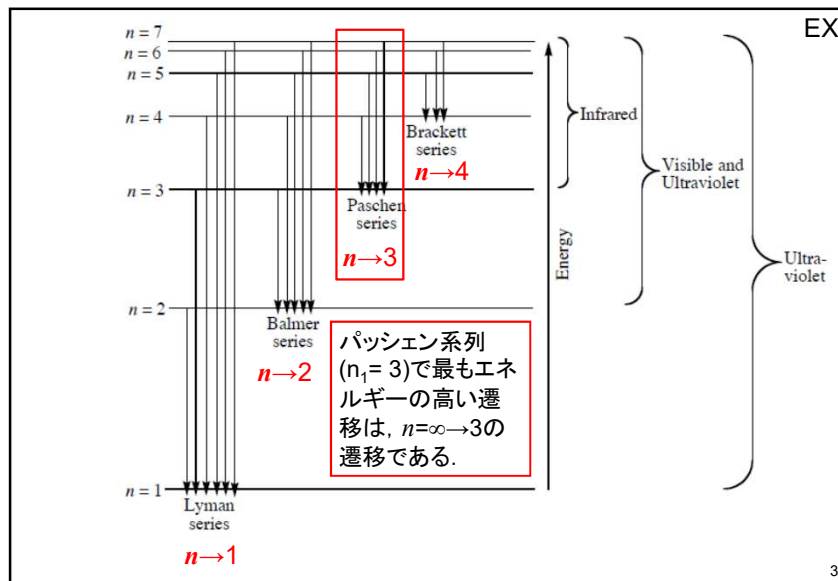


$$\tilde{\nu} = R_H \left(\frac{1}{3^2} - \frac{1}{\infty} \right) = \frac{109677}{9} (\text{cm}^{-1})$$

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

波長821 nmで、スペクトルの赤外領域にある。

2



3

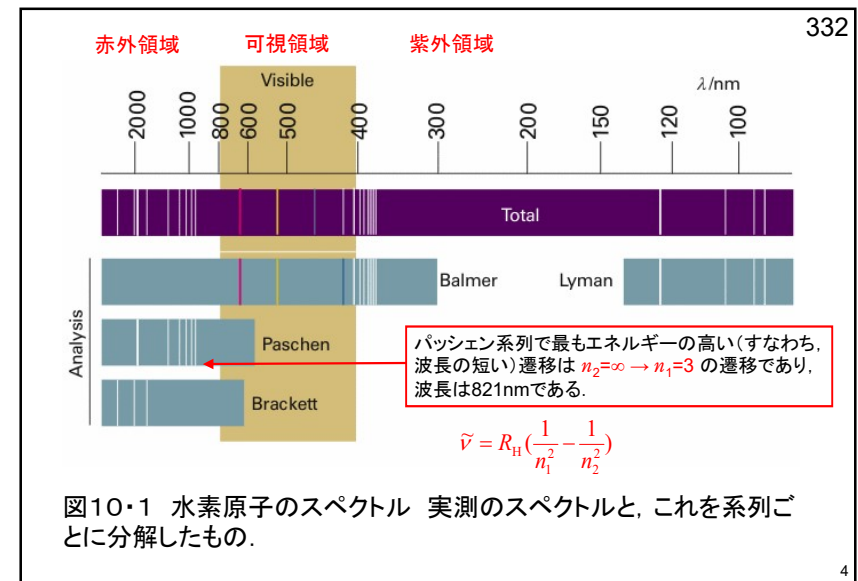


図10・1 水素原子のスペクトル 実測のスペクトルと、これを系列ごとに分解したものの。

4

原子オービタルとそのエネルギー

(a)エネルギー準位

原子オービタルは原子内の電子に対する1電子波動関数である。
水素型原子オービタルは, n, l, m_l という3つの量子数で定義される。

主量子数: $n = 1, 2, 3$
 角運動量子数(方位量子数): $l = 0, 1, 2, \dots, n-1$
 磁気量子数: $m_l = -l, -l+1, \dots, l-1, l$
 エネルギー: $E = -\frac{Z^2 \mu e^4}{32\pi^2 \epsilon_0^2 \hbar^2 n^2}$

エネルギーは主量子数 n だけで決まっている。
 2sと2pオービタルのエネルギーは同じである。
 3s, 3p, 3dオービタルでも同様である(多電子原子ではこれらのエネルギーは同じではない)。

第4の量子数であるスピン量子数 m_s は $\pm \frac{1}{2}$ である。

水素型原子の中の電子の状態を指定するためには, 4つの量子数, つまり, n, l, m_l, m_s の値を与えることが必要である。

また, 電子のオービタル角運動量の大きさは $\sqrt{l(l+1)}$ であり, その任意の軸上の成分は m_l である. すなわち, m_l はオービタル角運動量のz成分の値を決める量子数である. 座標軸は空間に固定されているわけではない. 電場や磁場をかけたときに自動的に空間軸が決まり, それをz軸とする. つまり, m_l は電場や磁場が原子にかかったときに重要な働きをする量子数である。

水素型原子オービタルの1電子波動関数は,

$$\Psi(r, \theta, \phi) = R_{n,l}(r) Y_{l,m}(\theta, \phi)$$

(1)角度部分 θ と ϕ の関数
 $Y_{l,m}(\theta, \phi) = N e^{\pm i m_l \phi} P_l^{|m_l|}(\cos \theta)$: 球面調和関数
 $P_l^{|m_l|}(\cos \theta)$: ルジャンドル陪多項式

(2)動径部分 r の関数
 $R_{n,l}(r) = N_{n,l} \left(\frac{\rho}{a_0}\right)^l L_{n-l}^l e^{-\frac{\rho}{2a_0}}$: 動径波動関数
 $\rho = \frac{2Zr}{a_0}, \quad a_0 = \frac{4\pi\epsilon_0 \hbar^2}{m_e e^2}$
 $L_{n,l}$: ラゲール陪多項式

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 $R_{n,l}(r)$	角度部分 $Y_{l,m}(\theta, \phi)$	球面調和関数
1s	$\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} 2e^{-Zr/a_0}$	$m=0$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2s	$\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{2}} \left(1 - \frac{1}{2} \frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/2a_0}$	$m=0$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
2p	$\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{1}{2\sqrt{6}} \frac{Zr}{a_0} e^{-Zr/2a_0}$	$m=+1$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta e^{+i\phi}$
		$m=-1$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta e^{-i\phi}$
3s	$\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{2}{3\sqrt{3}} \left\{1 - \frac{2}{3} \frac{Zr}{a_0} + \frac{2}{27} \left(\frac{Zr}{a_0}\right)^2\right\} e^{-Zr/3a_0}$	$m=0$	$\frac{1}{2\sqrt{\pi}}$
3p	$\left(\frac{Z}{a_0}\right)^{3/2} \frac{8}{27\sqrt{6}} \frac{Zr}{a_0} \left(1 - \frac{1}{6} \frac{Zr}{a_0}\right) e^{-Zr/3a_0}$	$m=+1$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta e^{+i\phi}$
		$m=0$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \cos \theta$
		$m=-1$	$\frac{1}{2} \sqrt{\frac{3}{\pi}} \sin \theta e^{-i\phi}$
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, 原子核の位置 ($r=0$) でRはゼロではない.
 一方, s軌道以外のp,d,...軌道では, Rはゼロである。

球面調和関数 $Y_{lm}(\theta, \phi)$ 17

l	m_l	Y_{lm}	
0	0	$\left(\frac{1}{4\pi}\right)^{1/2}$	s オービタル
1	0	$\left(\frac{3}{4\pi}\right)^{1/2} \cos \theta$	
1	± 1	$\left(\frac{3}{8\pi}\right)^{1/2} \sin \theta e^{\pm i\phi}$	p オービタル
2	0	$\left(\frac{5}{16\pi}\right)^{1/2} (3 \cos^2 \theta - 1)$	
2	± 1	$\left(\frac{15}{8\pi}\right)^{1/2} \cos \theta \sin \theta e^{\pm i\phi}$	d オービタル
2	± 2	$\left(\frac{15}{32\pi}\right)^{1/2} \sin^2 \theta e^{\pm 2i\phi}$	

9

原子オービタル 340

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。

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

この関数は、 r だけの関数である。 θ と ϕ 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。

10

図10・10 1sと2sオービタルを電子密度を使って表したもの。1sオービタルには節(せつ)がないが、2sオービタルには1つある。図にはないが、3sオービタルには2つの節がある。 341

(a) 1s

(b) 2s

節(node)

図10・11 sオービタルの境界面 球の中に電子を見出す確率は90%である。 11

殻と副殻(shell and subshell) 16

n が等しいオービタルは1つの副殻を作る。

$n=1, 2, 3, 4, \dots$

K L M N

n が同じで、 l の値が異なるオービタルは、その殻の副殻を形成する。

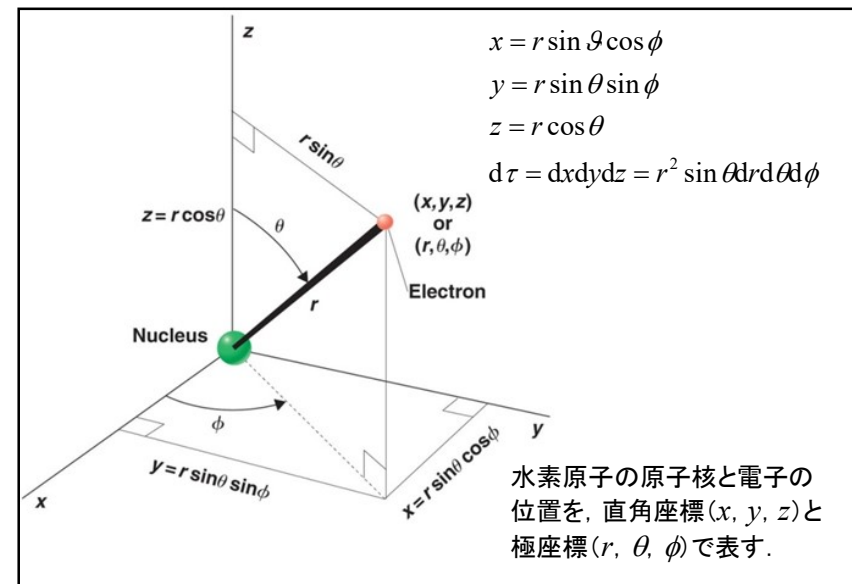
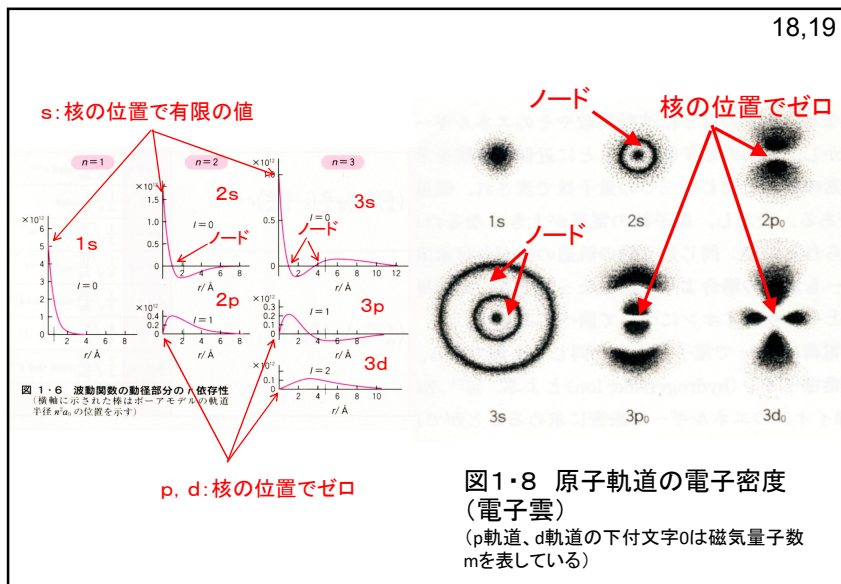
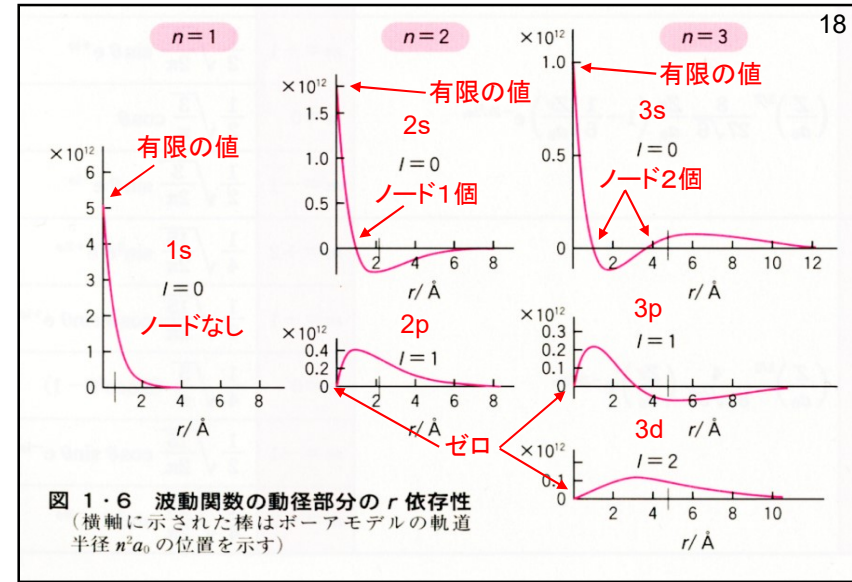
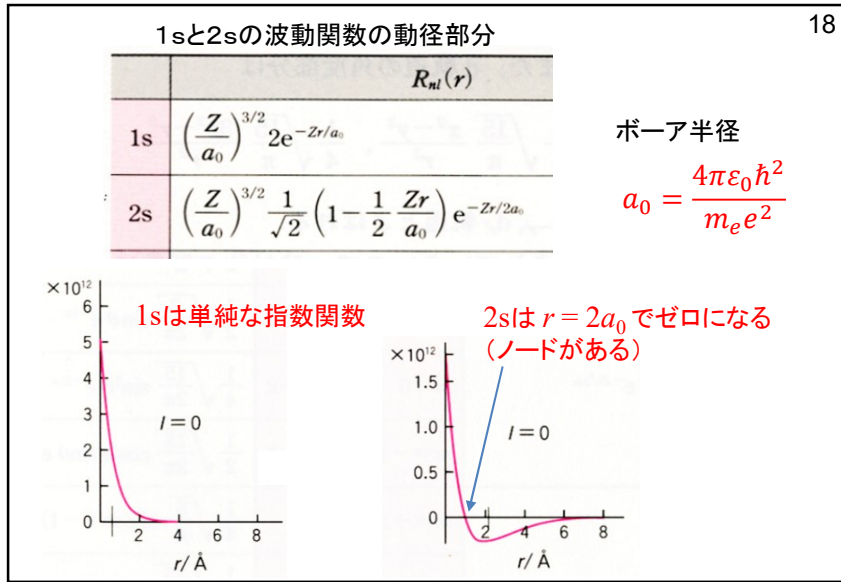
$l=0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, \dots$

s p d f g h i

s, p, d, f の記号は、それぞれスペクトルの特徴を表わす英単語のイニシャルから取られており、順番に意味はない。
 s ← sharp, p ← principal, d ← diffuse, f ← fundamental

Figure 10-7 Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition © 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

12



素体積 (体積素片)
 $d\tau = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$

球面極座標

$x = r \sin \theta \cos \phi$
 $y = r \sin \theta \sin \phi$
 $z = r \cos \theta$
 $d\tau = dx dy dz = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$

17

極座標の体積要素 $d\tau$

体積要素 $d\tau$
 $d\tau = r^2 \sin \theta dr d\theta d\phi$

半径 r と $r+dr$ の間の厚さ dr の薄い球殻の体積 dV

$$dV = r^2 dr \int_0^\pi \sin \theta d\theta \int_0^{2\pi} d\phi$$

$$= 4\pi r^2 dr$$

$r \rightarrow$ 大で, $dV \rightarrow$ 大

18

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,

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

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。

19

r^2

$f(x) = x^2$

×

e^{-r}

$f(x) = \exp(-x)$

=

$r^2 e^{-r}$

$f(x) = x^2 \exp(-x)$

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。

20

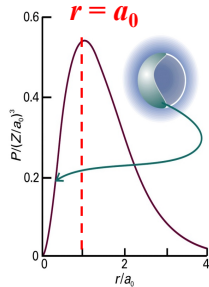
極大点では $\frac{dP(r)}{dr} = 0$ である.

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

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

$$= 0$$

$r = \frac{a_0}{Z}$ で極大となる



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.

21

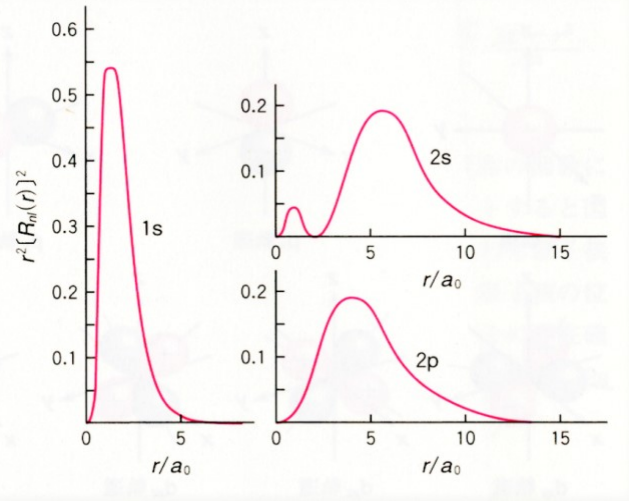


図1・9 1s、2s、2p軌道の動径分布関数

20

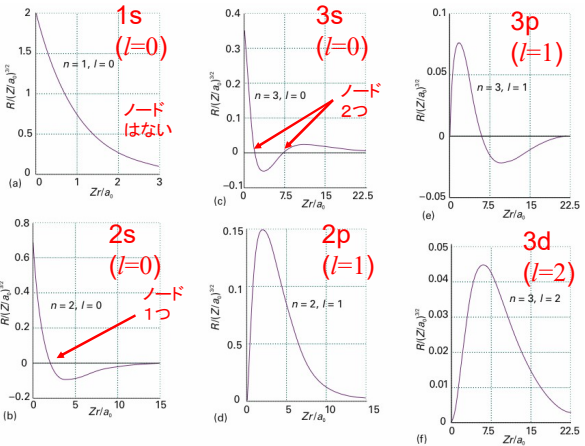


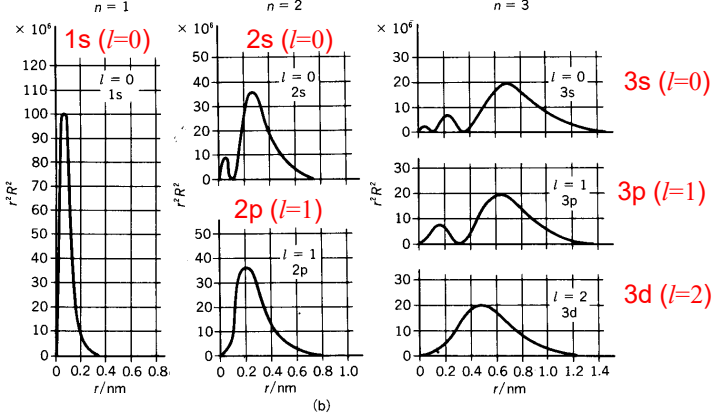
図10・4 原子番号Zの水素型原子の最初の数個の状態の動径波動関数.

(1) s電子($l=0$)は原子核の位置で有限の値. 他の電子($l \neq 0$)ではゼロ.

(2) 1sには節面はない. 2s, 3sはそれぞれ1つまたは2つの節面を持つ.

23

一般的な動径分布関数は, $P(r) = r^2 R(r)^2$ で表される. ここで, $R(r)$ は動径波動関数である.



(b) 動径分布関数 $r^2 R^2$. 電子が核から距離 r と $r+dr$ の間にある確率 (角度変数について平均化した後の) は $4\pi r^2 R^2 dr$ である [G. Herzberg, "Atomic Spectra", Dover, New York (1944)]

(△-ア基礎物理化学)

24

(f) p オービタル

343・344

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

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

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

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

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.

25

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

344

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

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

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.

26

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

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

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

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

$$= -2^{1/2} r \sin \theta \cos \phi f(r)$$

344

$$p_x = -\frac{1}{2^{1/2}} (p_{+1} - p_{-1})$$

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

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

$$= x f(r)$$

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

27

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

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

$$= \frac{1}{2^{1/2}} r \sin \theta f(r) (\cos \phi - i \sin \phi - \cos \phi - i \sin \phi)$$

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

$$= -2^{1/2} r i \sin \theta \sin \phi f(r)$$

344

$$p_y = \frac{i}{2^{1/2}} (p_{+1} + p_{-1})$$

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

$$= r \sin \theta \sin \phi f(r)$$

$$= y f(r)$$

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

28

344

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

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。

29

345

(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, ± 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。

30

345

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。

31

xy面内 yz面内 xz面内 xy面内

図1・7 s、p、d軌道の角度依存性

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、

$$I = hcR_H$$

33

32

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。 $H \rightarrow H^+ + e^-$

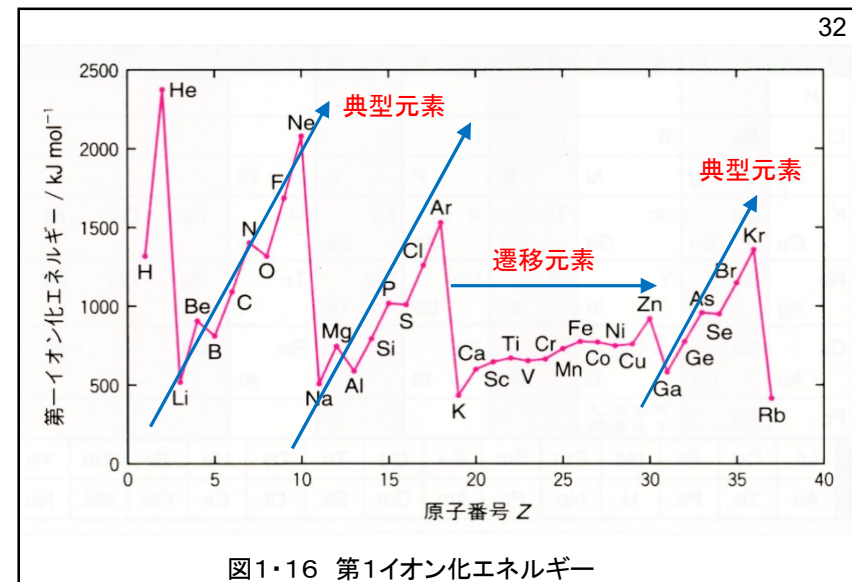
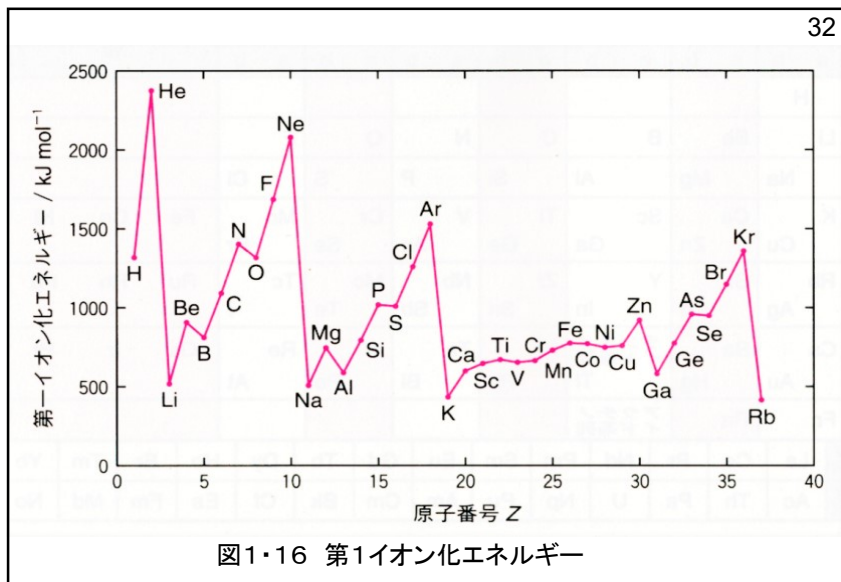
イオン化エネルギー
 $I = hcR_H$

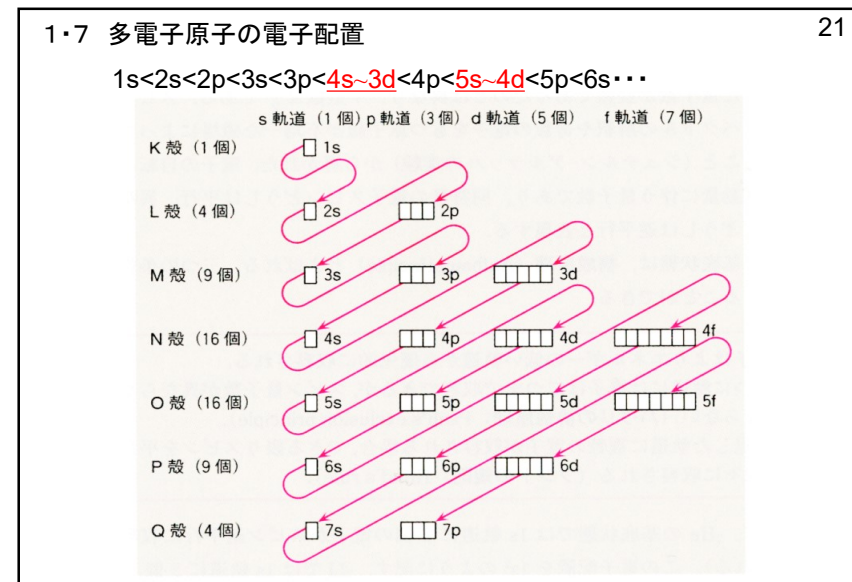
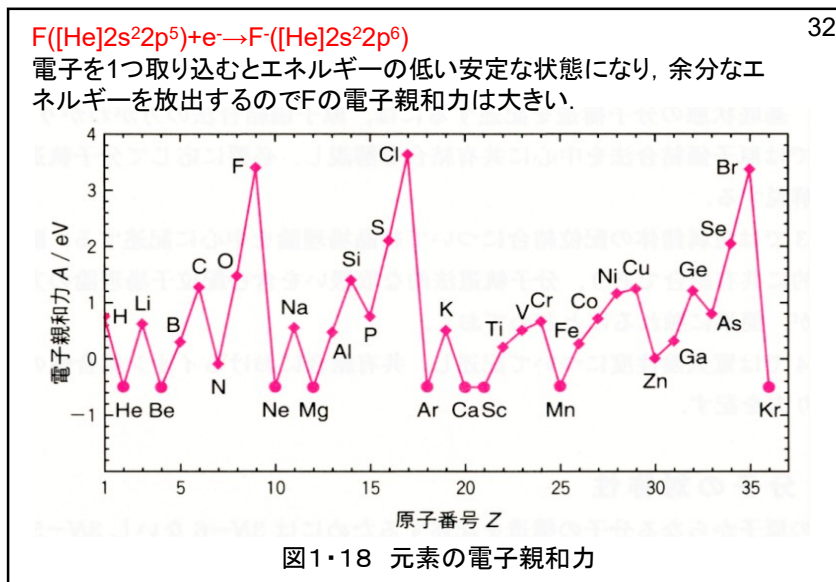
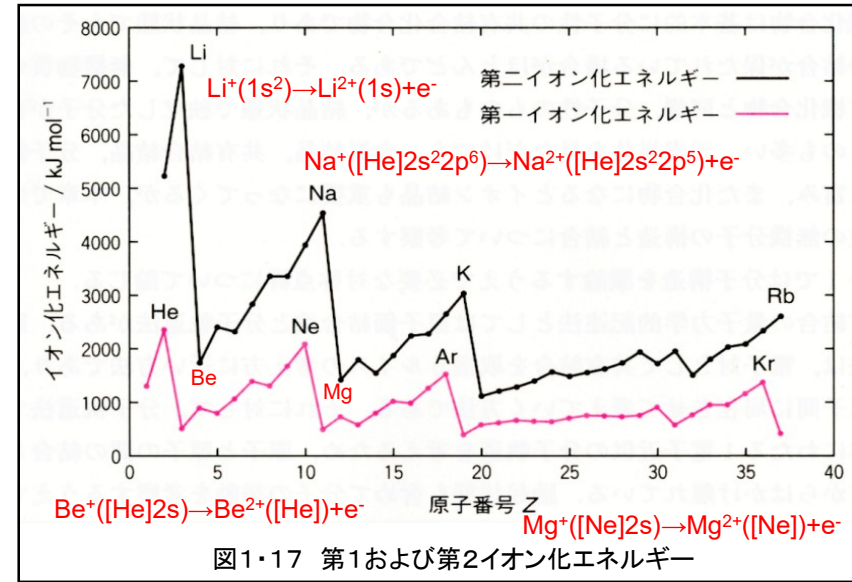
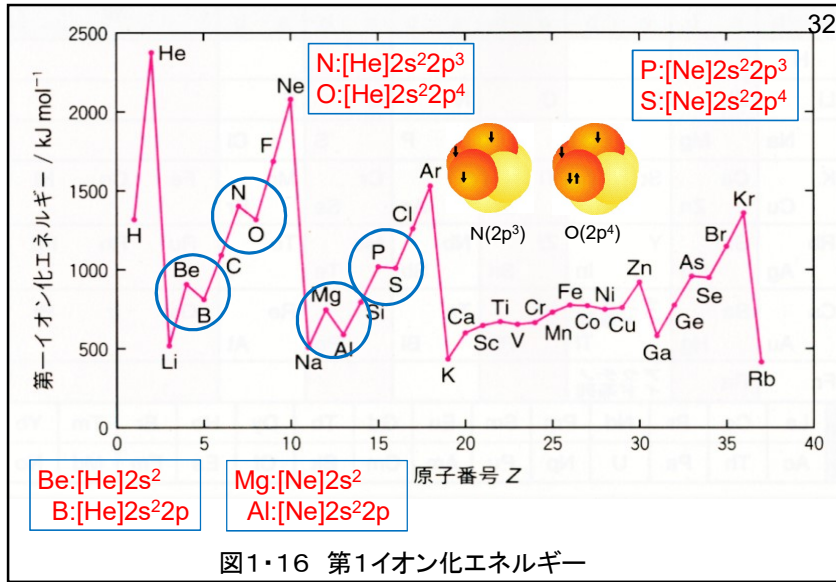
水素原子のエネルギー準位。

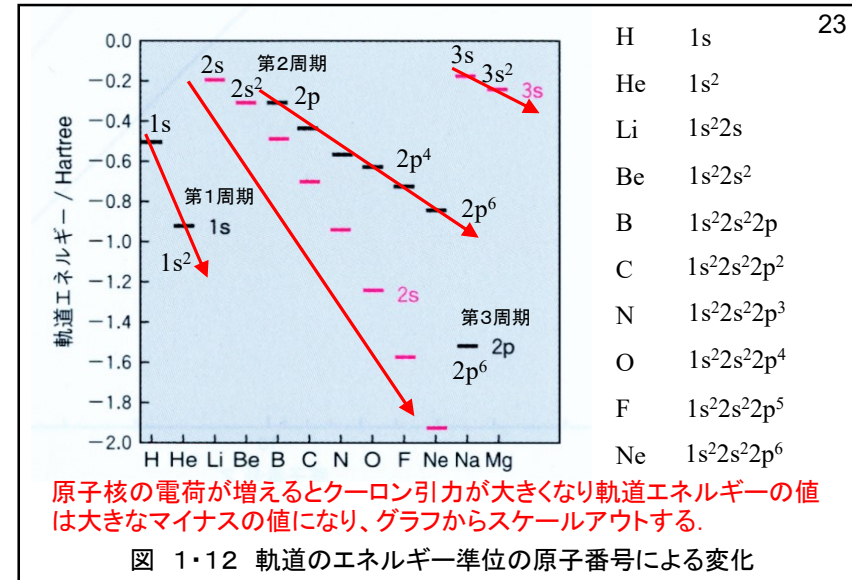
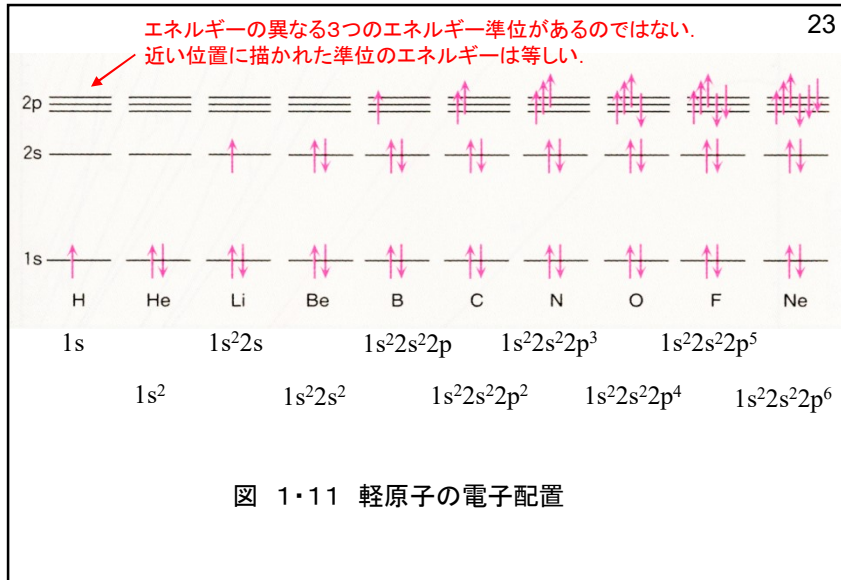
準位の位置は、プロトンと電子が無限遠に離れて静止している状態を基準にした、相対的なものである。

水素原子Hのときが最もエネルギーが低い。

34







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

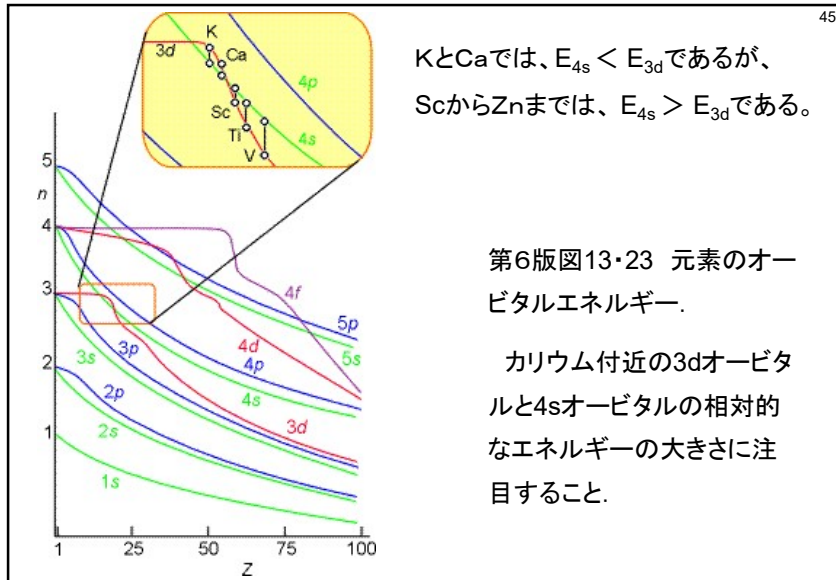
赤線で囲った元素(典型元素)は ns^2np^x ($x=1 \rightarrow 6$)と規則的であるが、
緑線で囲った元素(遷移元素)は nd^xns^2 ($x=1 \rightarrow 10$)にはなっていない。

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 ²
21	Sc	[Ar] 3d4s ²
22	Ti	[Ar] 3d ² 4s ²
23	V	[Ar] 3d ³ 4s ²
24	Cr	[Ar] 3d ⁵ 4s
25	Mn	[Ar] 3d ⁵ 4s ²
26	Fe	[Ar] 3d ⁶ 4s ²
27	Co	[Ar] 3d ⁷ 4s ²
28	Ni	[Ar] 3d ⁸ 4s ²
29	Cu	[Ar] 3d ¹⁰ 4s
30	Zn	[Ar] 3d ¹⁰ 4s ²

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:
d⁵とd¹⁰電子配置は球対称であり、d⁴4s¹とd⁹4s¹よりも安定になる。



第5周期4d遷移元素(Y-Pd)

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

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：
d⁵とd¹⁰電子配置は球対称であり、d⁴4s¹とd⁹4s¹よりも安定になる。

46

第6周期ランタニド(稀土類元素)La-Yb

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

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：
f⁷電子配置は球対称であり、4f⁸よりも安定になる。

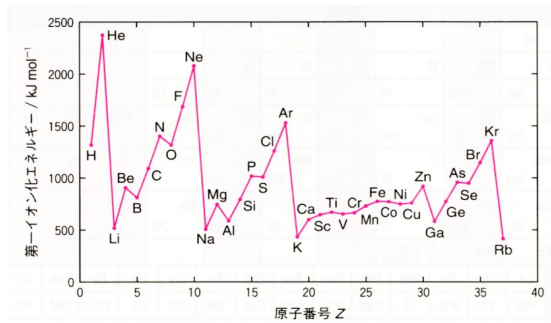
47

元素の周期表(2009)

(裏表紙) 長周期表

10月18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。