

## 第VI章 ボーアモデルと[c.p.]

### VI-1. ボーアモデルの再構築

#### VI-1-1. ボーアモデル

この章では[古典力学]を使います。

「原子内の陽子と[電子]が作る[限られた空間] (1-43)の[共有 c.p.] (2-57)と、空間の[s.p.] (1-32)との間で、[共有 c.p.] ⇔ [s.p.] の転化が起こるために、原子スペクトルが観測されます<sup>1</sup>。その一番簡単な例が水素原子のボーアモデルです。」 (6-1)

「原子番号がZの原子の原子核を、 $P_Z$  で表します。原子内の[電子]を、内側から  $e_1 \sim e_Z$  と番号を付けます。したがって  $e_1$  は最内側の[電子]を表し、 $e_Z$  は最外側の[電子]を表します<sup>2</sup>。」 (6-2)

「 $P_Z$ と $e_1$ だけからできている状態の原子を[ $P_Z - e_1$ 原子]、 $P_Z$ と $e_1 \cdot e_2$ だけからできている状態の原子を、[ $P_Z - e_1 e_2$ 原子]と書きます。」 (6-3)

[ $P_Z - e_1$ 原子]の  $e_1$  が円軌道のときのボーアモデルは、次の(6-4)(6-7)(6-8)で与えられます。

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\mu v^2}{r} \quad (6-4)$$

$$\mu = \frac{mM}{m+M} \quad (6-5)$$

Z ; 原子番号...

m, M ; [電子]と原子核の[質量]...

「このレポートでは、 $\mu$  を[電子]の[質量]、さらには[電子]そのものであるかのように扱うときがあります。」 (6-6)

<sup>1</sup> 空間からの[s.p.] (光)が原子に吸収され、原子内の[電気力ペア]に[共有 c.p.]として保持され、原子構造を形作ると『CP物理学』は考えています。

<sup>2</sup> 『CP物理学』ではこれらの電子を区別できると仮定しています。

$$\mu v r = n \cdot h / 2\pi \quad (6-7)$$

n ; ボーアモデルの主量子数...

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} \cdot \frac{\mu e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} \quad (6-8)$$

$E_n$  ; [電子]のエネルギー。

#### VI-1-2. 基底状態

「(6-4)(6-7)(6-8)のボーアモデルで、 $n=1$ ,  $r=r_1$ ,  $v=v_1$ のときに基底状態になると仮定します。」 (6-9)

(6-4)・(6-9)から、基底状態では、

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{\mu v_1^2}{r_1} \quad (6-10)$$

(6-7)・(6-9)から、基底状態では、

$$\mu v_1 r_1 = h / 2\pi \quad (6-11)$$

(6-11)の  $v_1$  を、(6-10)に代入します。

$$\begin{aligned} \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} &= \frac{\mu}{r_1} \cdot \frac{1}{(\mu r_1)^2} \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \\ &= \frac{1}{\mu r_1^3} \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \end{aligned} \quad (6-12)$$

(6-12)から、基底状態のときの  $r_1$  は、

$$r_1 = \frac{4\pi\epsilon_0}{Z\mu e^2} \cdot \left(\frac{h}{2\pi}\right)^2 \quad (6-13)$$

「この式で、 $Z=1$ ,  $\mu \rightarrow m$ (電子の質量)とすれば、ボーア半径が得られ、矛盾しません。」

$$(6-14)$$

(6-13)で、 $\mu \cong m$ とすると

$$r_1 \cong \frac{r_B}{Z} \quad (6-15)$$

$r_1$  ; [ $P_Z - e_1$ 原子] (6-3)の、基底状態での  $e_1$ の軌道半径...

$r_B$  ; ボーア半径。

$$(6-11)(6-13)から \quad v_1 = \frac{Ze^2}{2\epsilon_0 h}$$

この  $v_1$  を、微細構造定数  $\alpha$  (5-29)を使って書き換えると、

$$v_1 = Z \alpha c \quad (6-16)$$

「(6-10)(6-12)の最左辺は、基底状態のときのクーロン引力が、 $r_1$ の2乗に反比例

することを表しています。(6-12)の最右辺は(6-10)の右辺と同じなので、基底状態のときの $\mu$  (電子)の円運動による斥力が、 $r_1$ の3乗に反比例することを表しています。

そして(6-10)(6-12)は、 $r=r_1$ の基底状態のときに、左辺の引力と右辺の斥力の大きさが等しいことを表しています。」

#### (6-17)

「(6-12)(6-17)から、 $[P_z-e_1$ 原子]では、 $r < r_1$ のとき、 $P_z \sim e_1$ 間に斥力が働き、 $r > r_1$ のとき、 $P_z \sim e_1$ 間に引力が働くことになります。したがって、 $[P_z-e_1$ 原子]の基底状態は、 $r = r_1$ を中心とする安定な[調和振動状態]であることが、(6-12)によって示されたことになります。」 (6-18)

「 $[P_z-e_1$ 原子]で、 $Z=1$ のときは水素原子、つまり陽子と[電子]が作る、一組の[電気力ペア](5-8)を表しています。(6-18)から、 $r < r_1$ のとき、この[電気力ペア]間に、斥力が働きます。このことから、陽子～[電子]間に常に引力が働くとは限らず、 $r \rightarrow 0$ が、現実には起こらないことになります。

このように『CP物理学』は、陽子と[電子]が合体しないことを、うまく説明できます。さらに(6-18)は、 $r \rightarrow 0$ による発散が、現実には起こらないことを示しています。

そして(5-16)と異なり、マイクロな距離では[電気力ペア]が、波長の異なる2つ以上の[c.p.]を[共有]します。」 (6-19)

「 $r < r_1$ で、陽子と[電子]間に斥力が働くのは、陽子と[電子]が持つ[光子交換]の能力の、光子放出の能力に限界があるためと考えられます。したがって、 $[P_z-e_1$ 原子]の基底状態で、 $r = r_1$ を境に引力と斥力が入れ替わるのは、[光子の交換]が行われたためでなく、[共有]されている[c.p.]が、弾性体として働

いたためと考えられます。(5-17-b)参照。」 (6-20)

「またマイクロな距離では[電気力ペア]が、波長の異なる2つ以上の[c.p.]を[調和振動状態]として[共有]します。これはマイクロな距離では、熱運動を凌駕して2つ以上の[c.p.]が、[調和振動状態]を築くことができる<sup>3</sup>ためと考えられます。ただし同じ波長の[c.p.]を複数個[共有]することはできません(5-15)。

同じ波長の[c.p.]を、複数個[共有]できないこととイオン化を、関連付けて考えることもできます(6-31)。」 (6-21)

### VI-2. $e_1$ のイオン化エネルギー

「(6-10)の左辺は、 $[P_z-e_1$ 原子]に[共有]されている[c.p.]による、クーロン引力を表しています。したがってそのエネルギーは、(5-27)で、 $m=Z$ 、 $n=1$ 、 $r=r_1$ と置けば得られます。」 (6-22)

$$E_L = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_1} = Z \frac{hc}{\lambda_1} \quad (6-23)$$

$E_L$ ; (6-10)左辺の、クーロン引力としてのエネルギー。

$\lambda_1$ ; 1つの[c.p.]の波長。

(6-23)の最右辺は次のことを表しています。

「 $[P_z-e_1$ 原子]が基底状態にあるとき、原子核 $P_z$ と[電子] $e_1$ は、波長 $\lambda_1$ のクーロン引力としての[c.p.]を、原子核内の陽子の数と同じ、 $Z$ 個[共有]しています。なお、 $Z$ 個の[c.p.]を[共有]している陽子の位置が少しずつ異なるので、[排他律](5-15)に反しません。」

#### (6-24)

(6-23)を(6-13)と微細構造定数 $\alpha$ (5-29)を使って書き換えると、

<sup>3</sup> ミクロな距離で[共有]される[c.p.]の波長は短くエネルギーが大きいため、[電気力ペア]の熱運動を凌駕できるからと考えています。

$$E_L = \frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0 r_1} = Z^2\alpha^2\mu c^2 \quad (6-25)$$

「(6-10)の右辺は、 $\mu$  (電子)の、円運動による斥力を表しています。その運動エネルギーは、[古典力学](1-27)を使って、次の式で与えられます。」

$$E_R = \frac{1}{2} \mu v_1^2 \quad (6-27)$$

$E_R$ ; (6-10)右辺の、斥力(角運動量)としての運動エネルギー。

(6-27)は、(6-16)(6-25)(6-23)から、次のように書き換えることができます。

$$E_R = \frac{1}{2} \mu v_1^2 = \frac{1}{2} Z^2\alpha^2\mu c^2 = \frac{1}{2} E_L = \frac{Zhc}{2\lambda_1} \quad (6-28)$$

(6-28)の最右辺は次のことを意味します。「基底状態のとき、波長が( $2\lambda_1$ )の斥力としての[c.p.]が、 $Z$ 個存在しています。」

$$(6-29)$$

「(6-28)から、 $[P_Z - e_1]$ 原子の基底状態では、引力としてのエネルギー  $E_L$  と、斥力としてのエネルギー  $E_R$  との比が、2:1になります。」

$$(6-30)$$

そこで(6-21)から次の仮定をします。

「 $[P_Z - e_1]$ 原子が[共有]している、引力としてのエネルギーと斥力としてのエネルギーが等しくなったときに、 $[P_Z - e_1]$ 原子はイオン化します。さらに、励起状態でも引力としてのエネルギーは増えないと仮定します。つまり、励起状態分としてのエネルギーは、すべて斥力として働くと仮定します。すると、 $[P_Z - e_1]$ 原子のイオン化エネルギーは、基底状態のときの引力としてのエネルギーから、基底状態のときの斥力としてのエネルギーを差し引いた、次の値になります。」

$$(6-31)$$

(6-28)・(6-31)から

$[P_Z - e_1]$ 原子のイオン化エネルギー

$$= E_L - E_R = \frac{1}{2} E_L = E_R \quad (6-32)$$

このイオン化エネルギーは、ボーアモデルの式(6-8)からも求めることができます。

微細構造定数  $\alpha$  (5-29)と(6-28)を使って(6-8)を書き換えると、

$$E_n = -\frac{Z^2}{n^2} \cdot \frac{\mu e^4}{8\epsilon_0^2 h^2} = -\frac{1}{n^2} \cdot \frac{1}{2} Z^2\alpha^2\mu c^2 \quad (6-33)$$

ボーアモデルでイオン化エネルギーは、(6-33)式の、 $n = \infty$ と  $n = 1$ との差から求められます。 $E_\infty = 0$ なので、(6-28)を使うと(6-33)と(6-32)から、同じ値のイオン化エネルギーが得られます。」

$$(6-34)$$

### VI-3. 水素原子のS項系列の原子構造

$[P_Z - e_1]$ 原子の原子構造を考えると、次の①～③を考慮する必要があります。

① 「すべての原子は、ボーア半径(6-14)程度の大きさに観測されます。また、(6-15)から、 $Zr_1 \cong r_B$ になります。このことから、最外側の[電子]の軌道半径が、 $r_1$ の $Z$ 倍という原子構造モデルなら、観測値を満足することになります。したがって、 $e_1$ の軌道半径  $r_1$ は、(6-15)の  $r_1 \cong r_B/Z$  を仮定するのが合理的です。」

$$(6-35)$$

② 「イオン化する直前の、S項系列の $[P_Z - e_1]$ 原子が持っている[c.p.]の内訳は、(6-28)(6-32)から  $E_L$  (6-23)(6-25)が50%、 $E_R$  (6-27)(6-28)が25%、イオン化エネルギー(6-32)が25%になります。したがって通常の励起状態では、このイオン化エネルギーの代わりに、励起状態分として0～25%の[c.p.] (エネルギー)を充当させることになります。S項系列の場合のこの[c.p.]を、主量子数  $n$  を使って、 $[n - c.p.]$ と書きます。」

$$(6-36)$$

③ 「励起状態でも、 $E_L$ ,  $E_R$ ,  $[n - c.p.]$ は $[P_Z - e_1]$ 原子に[共有]されて存在しているので、

これらすべてが、 $P_z \sim e_1 \cong r_1$  間で[調和振動状態]にあります。このレポートでは、原子が励起状態になっても、原子核と[電子]間の距離は基底状態のときとあまり変わらない、という原子モデル<sup>4</sup>を主張しています。

(6-37)

ボーアモデルを参考に、(6-11)の両辺を主量子数  $n$  で割った、次の式を考えます。

$$\frac{1}{n} \mu v_1 r_1 = \frac{1}{n} \cdot \frac{h}{2\pi} \quad (6-38)$$

「この式は、基底状態の角運動量の、 $n$ 分の1の角運動量を表しています。

この角運動量が、[ $n-c.p.$ ] (6-36)によって、励起状態分の角運動量として  $\mu$  (電子)に与えられる、と仮定します。」 (6-39)

[ $n-c.p.$ ]も  $r_1$  間で[調和振動] (6-37)しているので、(6-38)を次のように書き換えます。

$$\frac{1}{n} \mu v_1 r_1 = \mu \cdot \frac{v_1}{n} r_1 = \mu v_n r_1 = \frac{1}{n} \frac{h}{2\pi} \quad (6-40)$$

ここで  $v_n = \frac{v_1}{n}$  と置きました。 (6-41)

$n$  ; 主量子数。  $n=1$  は基底状態 (6-11)。

$v_n$  ; [  $n-c.p.$  ]によって与えられた  $\mu$  (電子)の励起状態分の角運動量としての速度。

ここで  $v_1$  と  $v_n$  は互いに垂直方向と考えます<sup>5</sup>。[古典力学]から、

$$E_n = \frac{1}{2} \mu v_n^2 \quad (6-42)$$

$$E_n ; [n-c.p.]のエネルギー。 \quad (6-43)$$

(6-42)を(6-41)・(6-28)を使って書き換えると、

$$E_n = \frac{1}{2} \mu \cdot \frac{v_1^2}{n^2} = \frac{1}{n^2} \cdot \frac{1}{2} Z^2 a^2 \mu c^2 = \frac{Zhc}{n^2 \cdot 2\lambda_1}$$

<sup>4</sup> 『C P 物理学』の原子モデルは、[ $c.p.$ ]の[共有]と[調和振動]で組み立てられています。したがって原子核と電子間の距離がマクロでは、原子構造を維持できません。この事情は、分子構造でも同じです。

<sup>5</sup> このように考えないと、 $v_1$  と  $v_n$  の両者を同時に電子が保持するというモデルを思い描くことができないからです。

(6-44)

「 $E_n$ の符号を変えれば、ボーアモデル(6-8) (6-33)の  $E_n$  に等しくなります。」 (6-45) (6-43) (6-44)から、( $n^2 \cdot 2\lambda_1$ ) が [ $n-c.p.$ ]の波長を表している、と考えることができるので、次の式を定義します。

$$\lambda_n = n^2 \cdot 2\lambda_1 \quad (6-46)$$

$\lambda_n$  ; [  $n-c.p.$  ]の波長。

(6-44) (6-46)から

$$E_n = \frac{Zhc}{\lambda_n} \quad (6-47)$$

「(6-47)で、 $n=1$ は、(6-27)

(6-28)の  $E_R$ 、つまり基底状態の角運動量としてのエネルギーに等しくなりますので整合しています。」 (6-48)

「波長( $2\lambda_1$ )の[ $c.p.$ ] (6-29)と波長( $\lambda_n$ )の[ $n-c.p.$ ] (6-36) (6-46)は、( $P_z \sim e_1$ )  $\cong r_1$  間で[調和振動]しています(6-37)。したがって( $2\lambda_1$ )と $\lambda_n$ のスピンの比は(5-32) (5-33) (5-51) (6-46)から次の式で与えられます。」 (6-49)

$$\frac{2r_1}{2\lambda_1} / \frac{2r_1}{\lambda_n} = \frac{\lambda_n}{2\lambda_1} = n^2 \quad (6-50)$$

「(6-50) (5-51)から、 $\lambda_n$ が  $2\lambda_1$ の  $n^2$ 倍回  $r_1$  間を往復運動しながら、[調和振動]している<sup>6</sup>ことが分ります。

このことは、[ $n-c.p.$ ]が(5-30)とは異なった、より高次の[調和振動]条件で[調和振動]していることを示しています。<sup>7</sup>

<sup>6</sup>  $n^2$ をこのように解釈すれば、存在するのは  $r_1$  間内だけになります。したがってマクロな物体が存在しているのも、その物体が存在していると私たちが認識している場所になり、素朴な自然観を満足させる物理学体系を構築できます。

<sup>7</sup> このため[光子交換の法則]を満足させません。したがってこのとき働いている力は、厳格な意味での[電気力]と言えません。

さらに、振動する速度はどんな場合も光速なので(1-39)、高次の[n-c.p.]の[調和振動]では、元の状態に戻るのに、より多くの( $n^2$ 倍)時間がかかることとなります。時間がかかれば、熱運動等により、周囲の状況が変化する確率が高くなります。つまり元の状態に戻れない確率が高くなります。そのため、高次の[n-c.p.]の‘寿命’は短くなります<sup>8</sup>。

このように、[c.p.]の寿命は、確率で表されることとなります。なお、nが非常に大きな[n-c.p.]は周囲の熱運動のために弾き飛ばされて、(5-42-①)のように、[調和振動]できず存在できません。したがって発散は起こりません。」

(6-51)

「(6-32)と(6-47)と準位図表を参考に、 $Z=1$ の水素原子のS項系列の場合について、次の式を仮定します。」

(6-52)

$$E_S = E_1 - E_n = hc \left( \frac{1}{2\lambda_1} - \frac{1}{\lambda_n} \right) = \frac{hc}{2\lambda_1} \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right)$$

(6-53)

$E_S$ ; (6-36)の、0~2.5%のエネルギーを受け持つ、励起状態分のエネルギー。

$E_1$ ; (6-32)の、 $Z=1$ のときのイオン化エネルギー。(6-28)の $E_R$ と同じです。

$E_n$ ;  $Z=1$ のときの[n-c.p.]のエネルギー(6-42)(6-44)(6-47)。

n; ボーアモデルの主量子数。n=1は基底状態。

$\lambda_n$ ; (6-46)で定義した[n-c.p.]の波長。(6-36)(6-53)から、水素原子のS項系列について、次の式が成立します。

$$E_T = E_L + E_R + E_S = \frac{hc}{2\lambda_1} \left( 4 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (6-54)$$

<sup>8</sup> この場合の寿命というのは、[s.p.]に転化して空間に放出されるまでの時間という意味です。[c.p.]は[調和振動]できなくなれば、常に[s.p.]として放出される運命にあります。

$E_T$ ; 水素原子のS項系列の[電子]が、主量子数がnの励起状態のときに持つ全エネルギー。

$E_L$ ;  $Z=1$ のときの(6-23)の $E_L$ 。

$E_R$ ;  $Z=1$ のときの(6-28)の $E_R$ 。

$E_S$ ;  $Z=1$ のときの(6-53)の $E_S$ 。

「上記のモデルは、[ $P_Z-e_1$ 原子]、 $E_L$ 、 $E_R$ 、 $E_S$ のすべてが[調和振動状態]にある、との主張も含まれています。さらに、[n-c.p.]としての $E_n$ が、単独でその[調和振動]に加わるのではなく、 $(E_1 - E_n) = E_S$ という状態の[c.p.]が[調和振動]に加わっている、との主張も含まれています。」

(6-55)

「結論として、主量子数nによって、原子内で[調和振動]している[c.p.]を見つけ出すことができます。(6-7)(6-38)は、その[調和振動]条件を示しています。」

(6-56)

「このレポートの原子モデル(6-54)とボーアモデル(6-8)(6-33)では、定数分の違いがありますが、エネルギーの差が問題になる原子スペクトルの観測に、影響を与えることはありません。」

(6-57)

「[ $P_Z-e_1$ 原子]が持っているエネルギーを、ボーアモデルでは負と考えましたが、このレポートでは、[ $P_Z-e_1$ 原子]が[共有]している[c.p.]のエネルギーなので、正になります(1-107)。」

(6-58)

#### VI-4. $e_2$ のイオン化エネルギー

[ $P_Z-e_1e_2$ 原子](6-3)の、 $e_2$ (6-2)のイオン化エネルギーを求めます。次の①~⑩で進めます。

① 「[ $P_Z-e_1e_2$ 原子]は、 $e_1-P_Z-e_2$ の順に、直線状に並ぶ構造を持ちます。

$e_1 \sim e_2$ 間に斥力が働いているので、このように仮定します。そして $e_1 \sim P_Z$ 、 $P_Z \sim e_2$ 間の距離を、それぞれ $r'_1$ 、 $r'_2$ とします。」

(6-59)

「現代物理学から見ると、 $P_Z \sim e_2$  間の引力は、 $e_1 \sim e_2$  間の斥力より常に大きいので、このような原子構造は不可能です。しかしこのレポートでは、 $e_1 \sim P_Z$  間と  $P_Z \sim e_2$  間の引力を(6-18)(6-19)のように考えるので、上記の原子構造が可能になります。またこのレポートでは、[光子が交換]されてはじめて[電気力](引力や斥力)が生まれると主張しています。そして[光子の交換]が無い場合は、(5-17-b)(6-18)(6-19)のようになると主張しています。」

- ② (6-31)を参考に、 $[P_Z - e_1 e_2 \text{原子}]$ について、次のモデルを提案します。

( $e_2$ のイオン化エネルギー)

= ( $P_Z \sim e_2$ 間の基底状態の、引力としてのエネルギー) - ( $e_1 \sim e_2$ 間の基底状態の、斥力としてのエネルギー) (6-61)

- ③ このことを式で表すと次のようになります。

$$E_2 = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{Z}{r_2'} - \frac{1}{r_1' + r_2'} \right) \quad (6-62)$$

$E_2$ ;  $e_2$ のイオン化エネルギー。

右辺の第1項;  $P_Z \sim e_2$ 間の、基底状態の、  
引力としてのエネルギー。

右辺の第2項;  $e_1 \sim e_2$ 間の、基底状態の、  
斥力としてのエネルギー。

- ④ 「(6-35)から、(6-62)の $r_1'$ を、 $r_1' = r_B/Z$ と置きます。さらに $r_2' = k r_1'$ と置くと、(6-62)式の未知数は、 $E_2$ と $k$ だけになります。そこで、表(6-72)の $Z$ 毎の $E_2$ の観測値を(6-62)に代入すると、各原子についての $k$ の計算値が得られます。この $k$ の値が、表(6-72)に書いてあります。」

(6-63)

- ⑤ 「表(6-72)の $k$ を見ると、原子番号 $Z$ が大きくなるにしたがって、 $k$ が2に近づくように見えます。このことは、 $k$ の定義

から、 $r_2' = 2 r_1'$ に近づくことを意味します。ところで $[P_Z - e_1 e_2 \text{原子}]$ の原子番号 $Z$ が大きくなっても、 $e_1 \sim e_2$ 間の斥力はほとんど変わりませんが、 $P_Z \sim e_2$ 間の引力は、 $P_Z$ の陽子の数に比例してどんどん増えていきます。」

(6-64)

- ⑥ このことと(6-35)から、 $e_1 \sim e_2$ 間に斥力が存在しないと仮定した場合の基底状態の $e_1 \sim P_Z$ 、 $P_Z \sim e_2$ 間の距離を、それぞれ次のように仮定します。

$$e_1 \sim P_Z \text{間の距離 } r_1 = r_B/Z \quad (6-65)$$

$$P_Z \sim e_2 \text{間の距離 } r_2 = 2 r_1 \quad (6-66)$$

- ⑦ 「しかし現実には、 $e_1 \sim e_2$ 間に斥力が存在します。そのためその斥力によって、 $e_2$ は $r_2$ から $r_2'$ まで、 $e_1$ は $r_1$ から $r_1'$ まで押し広げられて、基底状態としての[調和振動状態]を作ります。」

(6-67)

- ⑧ 上の⑤、⑥、⑦から次のモデルを使います。

「 $e_1 \sim e_2$ 間に、実際には存在している斥力としての[c.p.]のエネルギーと、その斥力によって、 $e_2$ が $r_2$ から $r_2'$ まで押し広げられたと仮定したときに失った引力としての[c.p.]のエネルギーが等しくなった地点で、 $[P_Z - e_1 e_2 \text{原子}]$ の基底状態の、[調和振動状態]が形成されます。<sup>9)</sup>」

(6-68)

- ⑨ このエネルギーの関係を式で表すと、基底状態の方程式は次のようになります。

$$\frac{Ze^2}{4\pi\epsilon_0} \left( \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_2'} \right) = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0(r_1' + r_2')}$$

(6-69)

(6-69)の左辺は、 $e_2$ が $r_2$ から $r_2'$ まで押し広げられたときに失った引力としてのエネルギーで、右辺は、 $e_1 \sim e_2$ 間の斥力としてのエネルギーです。

<sup>9)</sup> これはさまざまな試行錯誤の結果、こうすればうまくいくという方法で、その物理的意味は分かりません。

⑩ 「 $r'_1 \cong r_1$ と置き、(6-65)と(6-66)を(6-69)に代入すると、未知数は $r'_2$ だけになるので、原子番号 $Z$ 毎の $r'_2$ の値が得られます。その $r'_2$ の値を $Z$ とともに(6-62)に代入すると、このモデルを使い $r'_1 \cong r_1$ としたときの $E_2$ ( $e_2$ のイオン化エネルギー)が得られます。

この $E_2$ の計算値が、表(6-72)に書いてあります。」 (6-70)

⑪ 「この表から、上記の①~⑩の $[P_Z - e_1 e_2$ 原子]モデルは、近似として成立していると考えられます。」 (6-71)

$[P_Z - e_1 e_2$ 原子]の $e_2$ のイオン化エネルギー。  
(イオン化エネルギーの単位は eV です。)

	観測値	計算値	k の値
He	24.587	25.26	2.80
Li	75.638	75.47	2.47
Be	153.893	152.73	2.32
B	259.368	257.14	2.26
C	392.077	388.72	2.21
N	552.057	547.51	2.18
O	739.315	733.49	2.16
F	953.886	946.68	2.14
Ne	1195.797	1187.07	2.12

表(6-72)

(注)観測値は、Gerhard Herzberg(著)堀健夫(訳)原子スペクトルと原子構造(平成8年)(p212),丸善(株)からの引用です。

## VI-5. [c. p.]の算出

「ボーアモデルから出発した量子力学は、量子数が[調和振動]条件を満足することを利用して、[c. p.]を算出しました。しかし数学的に算出された[c. p.]が、実際に[調和振動状態]として存在しているかどうかは別問題(5-42-1)(6-51)です<sup>10</sup>。

量子電気力学は、

①[c. p.]が存在する空間、つまり(1-43)の言う[限られた空間]を徹底的に探し出し、②不確定性関係を活用して[調和振動]条件を見付け、[c. p.]を算出しました。」

(6-73)

「ここで[調和振動状態]の一例として、[電子]の新たなスピンを書き加えます。

[電子]は(1-51)の構造を持っています。そのためこの構造の円筒内も、[限られた空間](1-43)になっていると考えることができます。そこに[電気力]としての[c. p.]が[調和振動]していれば、(5-52)からそのスピンは、 $(\alpha/\pi)$ になります。このスピンはド・ブローイの物質波と同様、[電子]のスピンのように観測されます。

そのため[電子]は、 $(\frac{1}{2})$ のスピンの他に、 $(\alpha/\pi)$ のスピンをしていると観測されることになります。」 (6-74)

「(6-74)の[c. p.]は、[電気力]としての[c. p.]でない、つまり $(\alpha/\pi)$ でないスピンの可能性もあります。また(6-51)で説明されているような、より高次の[c. p.]も、この[c. p.]と一緒に[調和振動]している可能性もあると考えます。」 (6-75)

<sup>10</sup> 『CP物理学』では[調和振動]できなければ、存在していません。