論文から導かれた21世紀の物理学

須藤晃俊

1.**プランク定数**hの値は，電子の静止質量m_e，光速度c，電子のコンプトン波長λ_cの積で表わせる．
すなわち，

$$m_e c \lambda_c = h \tag{1}$$

m_e，c，λ_c は直接実験によって測定できる物理量であるが，プランク定数は実験から間接的に決める定数である．

光子あるいは電子，陽子等の量子が持つ運動量と，その量子に付随する波の波長の積 $p\lambda$は，常に一定値を取るが，我々は現在この定数をプランク定数と呼んでいる．

2. 古典力学で水素原子内の電子の運動を記述する際に用いた**ポテンシャル・エネルギー**という物理量には，電子の**静止質量エネルギーの減少分**が対応している．すなわち，

$$V(r) = -\Delta E_0 \tag{2}$$

このことから，水素原子内の電子には立ち入り禁止の境界r_eが存在することが分かった．この**最短近接距離**は，

$$\begin{aligned} r_e &= \frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_0 c^2} \\ &= r_c \end{aligned} \tag{3}$$

で，この値は古典電子半径r_cと一致している．

3. **アインシュタインのエネルギー −運動量の関係式**は，次の式で表される．

$$E^2 = c^2 p^2 + E_0^2 \tag{4}$$

実はこの関係式は原子外の自由空間だけで成立する式であり，原子内の領域では次の関係式が成立する．

$$(E_0 + E_n)^2 + c^2 p_n^2 = E_0^2 \qquad (\text{ただし}, n=1,2,\cdot\cdot\cdot, E_n < 0) \tag{5}$$

$$\left(1-\frac{\alpha^2}{2n^2}\right)^2 E_0^2 + c^2 p_n^2 = E_0^2 \qquad (n = 1, 2, \cdots) \tag{6}$$

ただし，α は微細構造定数，n は主量子数．

4. 式(4)とボーアの量子条件から，次の**水素原子の半径**r_nが求まる．

$$\begin{aligned} r_n &= \frac{1}{4}\frac{e^2}{4\pi\varepsilon_0 m_0 c^2} + \frac{4\pi\varepsilon_0 \hbar^2 n^2}{m_0 e^2} \\ &= \frac{r_\mathrm{e}}{4} + a_\mathrm{B} n^2 \end{aligned} \tag{7}$$

ここで，r_eは古典電子半径，λ_cは電子のコンプトン波長である．

この$r_\mathrm{e}/4$ の項はボーアの理論にはなかったもので，原子核，すなわち陽子の半径と考えられる．

これより，**陽子の大きさ**（直径）は，

$$\begin{aligned} 2r_\mathrm{p} &= r_\mathrm{e}/2 \\ &= 1.41\times10^{-15}\ \mathrm{m} \end{aligned} \tag{8}$$

また，ド・ブロイが物質波の存在を予測したときに使った論法を参考にすると，大きさのない粒子と考えられている電子の大きさについて，議論することが可能となる．

陽子の大きさには電子の質量m_eが関与しているが，同様に電子の大きさには陽子の質量m_pが関与していると仮定すると，**電子の半径**r_elは次の式で表される．

$$\begin{aligned} r_\mathrm{el} &= (1/4)e^2/(4\pi\varepsilon_0 m_\mathrm{p} c^2) \\ &= r_\mathrm{p} m_\mathrm{e}/m_\mathrm{p} = 3.84\times10^{-19}\ \mathrm{m} \end{aligned} \tag{9}$$

5. 量子力学の伝統的な解釈とされている**コペンハーゲン解釈**によれば，ミクロの粒子，すなわち，量子はその位置が観測によって確定するまでは波のように振る舞うが，その位置が観測された瞬間に粒子としての位置が確定する．

しかしながら，本論では陽子と電子の大きさを相互作用を伴う実験によらず，計算によって導いた．

このことは，量子の一種である陽子と電子は、その位置が観測によって確定する以前から，粒子としてある場所に局在化していることを意味している．

ところで，有名な電子による 2 つのスリットを使った干渉実験において，伝統的な解釈は次のようである．

『1 個の独立した電子は，あたかも 2 つのスリットを同時に通過してきたように振る舞う』

しかしながら，本論では次のように結論する．すなわち，

『1 個の電子は，粒子としてどちらか 1 つのスリットを通過するが，検出器によって検出される電子の位置の確率分布は，最終的に干渉模様を描く』

もし本論の予測が正しいとすれば，コペンハーゲン解釈は修正しなければならない．

6. アインシュタインのエネルギー–運動量の関係式に量子化の手続きを施すと，次の**クライン–ゴルドン方程式**が得られる．

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}\psi = -\hbar^2 c^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\right)\psi + m^2 c^4 \psi \tag{10}$$

この方程式は，波動関数を相対論的に解釈したものであるが，この解釈は一般的なシュレーディンガー方程式の波動関数の解釈と，つじつまが合わなかった．

そこで，**ディラック**はこの欠陥を解消するための正しい方程式は，次のような形式であるに違いないと推測した．

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t}\psi = \left\{-i\hbar c\left(\alpha_1 \frac{\partial}{\partial x_1}+\alpha_2 \frac{\partial}{\partial x_2}+\alpha_3 \frac{\partial}{\partial x_3}\right)+\beta\, mc^2\right\}\psi \tag{11}$$

ここでディラックが得た係数α_iとβは，次のようなものであった．

$$\alpha_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \alpha_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & -i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$\alpha_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \beta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{12}$$

ところで，本論では式(5)に量子化の手続きを施したので，クライン–ゴルドン方程式とは異なる次の式が得られた．

$$-\hbar^2 \frac{\partial^2}{\partial t^2}\psi = \hbar^2 c^2 \left(\frac{\partial^2}{\partial x_1^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_2^2}+\frac{\partial^2}{\partial x_3^2}\right)\psi + m^2 c^4 \psi \tag{13}$$

この方程式にディラックの論法を用いると，係数α_iは，式(12)とは異なる次の値となる．

$$\alpha_1 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \alpha_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & i \\ 0 & 0 & i & 0 \\ 0 & i & 0 & 0 \\ i & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$
$$\alpha_3 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \end{bmatrix} \qquad \beta = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \tag{14}$$

7. 式(4)が成立する空間内で相対運動する 2 つの座標系間では，次の**ローレンツの変換式**が適用される.

$$\begin{aligned} x' &= \gamma\,(x - vt) \quad , \quad x = \gamma\,(x' + vt') \\ y' &= y \quad , \quad y = y' \\ z' &= z \quad , \quad z = z' \\ t' &= \gamma\,(t - vx/c^2) \quad , \quad t = \gamma\,(t' + vx'/c^2) \end{aligned} \tag{15}$$

ただし，$\gamma = (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ ，vは座標系Sから見た座標系S′ の速さである.

ところが，式(5)が成立する空間内での座標変換では，次の**新変換式**を用いなければならない.

$$\begin{aligned} x' &= \gamma_a\,(x - vt) \quad , \quad x = \gamma_a\,(x' + vt') \\ y' &= y \quad , \quad y = y' \\ z' &= z \quad , \quad z = z' \\ t' &= \gamma_a\,(t - vx/c^2) \quad , \quad t = \gamma_a\,(t' + vx'/c^2) \end{aligned} \tag{16}$$

ただし，$\gamma_a = (1 + v^2/c^2)^{-1/2}$ ，vは座標系Sから見た座標系S′ の速さである.

ローレンツの変換式に現れる係数は$\gamma\,(v) \geqq 1$ であるが，式(16)に現れる係数は，$1 \geqq \gamma_a(v)$である.

8. 静止状態において長さl_0の粒子が，原子内を速さvで運動，または通過するとき，粒子の進行方向の長さを座標系Sの観測者がlと測定したとする.

本論で得られた新変換式(16)によれば，l_0とlの間には，次の関係が成立する.

$$l = l_0/\gamma_a = l_0(1 + v^2/c^2)^{1/2} \tag{17}$$

原子内の領域を速さ v で運動または通過する**粒子は，進行方向に伸びる**ことが分かる.

また，座標系Sで時間t_0が経過するとき，座標系S′ で時間tが経過するとき，t_0とtの間には，次の関係が成立する.

$$t = t_0/\gamma_a = t_0(1 + v^2/c^2)^{1/2} \tag{18}$$

運動する粒子の座標系では，**時間の経過は早くなる**.
また，運動する粒子の質量については，次の関係が成立する.

$$m = m_0/(1+v^2/c^2)^{1/2} \tag{19}$$

水素原子内の領域を運動または通過する粒子は，**速度が増すと質量は減少する**.
いま，式(19)と式(17)および，式(18)から，ml と mt を求めると，次の関係が成立する.

$$ml = m_0 l_0 = \mathrm{const} \tag{20}$$

$$mt = m_0 t_0 = \mathrm{const} \tag{21}$$

運動する粒子のエネルギーと運動量の関係が，式(4)と式(5)のどちらに従う場合でも，**粒子の質量，またはエネルギーが *n* 倍になると，粒子の進行方向の長さと，その粒子の座標系で経過する時間は，1/*n* 倍になる**.
特殊相対論は，物体の**長さ**とその物体の座標系で経過する**時間**は，物体の**速度に依存する**と主張する.
しかし，事実は，物体の長さとその物体の座標系で経過する時間は，物体の**質量とエネルギーに依存する**.

9. 原子内の電子の速度が増すと質量が減少することから，原子内では，光速が自然界の上限速度として機能しなくなる．全エネルギーE_{ab}が最低値$m_0c^2/2$ を持つときの電子の速さは次の値となる.

$$v = 3^{1/2}\, c \tag{22}$$

電子が原子核に近づくと電子の速さは光速を超えると予想される．このとき，電子は**超光速**で運動する粒子**タキオン**として振舞うことになる．タキオンとは未知の粒子ではなく，既知の粒子がある条件下でタキオンとして振舞うのである.

10. アインシュタインの予想に反し，光源から放出された光が，光源に対して等方的に伝播するか否かを決定できる実験は存在する.
本論中の思考実験では，実験結果を特殊相対論に基づいて予測するが，それにも係わらず，我々は最終的に特殊相対論の予測とは異なる実験結果に到達してしまう.
その原因として，アインシュタインがその存在を否定した**未知の速度ベクトル**の存在を突き止めた.
そして，その速度ベクトルの起点に**「相対的絶対基準系」**の地位を与えた.