

仮説と物理

仮説と物理

$f=g$ $Af=af$ $\int f^* AgdV = \int f^* AfdV = a \int f^* fdV$ $\int (Af)^* gdV =$



梶川 輝明

$dV = (A \psi_n)^* \psi_n dV$ $(a_n - a_m) \int \psi_m^* \psi_n dV$

はしがき

物理の進歩には、仮説が大きな役割を果たしていた。この本ではおもに4つの仮説を仮定した。粒子の姿として、光の円を仮定し、素粒子の姿を想像した。また、粒子の運動に影響を与えるものとして、空間の波を仮定して、物質の二重性の源を示し、静止質量のローレンツ収縮の可能性を表わした。また、複素数ベクトルを仮定し、ディラック方程式に相当する方程式を示した。そして最後に量子力学においても用いられたように置きかえの方法、たとえば $E \rightarrow i\hbar \frac{\partial}{\partial t}$ 、 $p \rightarrow -i\hbar \frac{\partial}{\partial x}$ のような置きかえがあるが、この方法によってアインシュタインの重力場の方程式を求めた。さらにこの方程式が物質の速度が遅いときに成り立つことを示し、この方程式がテンソルで表わされることも示した。物質の速度が光速度に近づくと別の方程式がこの置きかえの方法によって求めることができる。これらの仮説が正しいかどうかは実験によって決まるだろう。仮説はあくまでも正しいとはいいきれない。それから求められる方程式などを通じて、自然の姿を知ることができるのであろう。

目次

はしがき	3
------------	---

第1章 光波環

§ 1・1 光波環と素粒子	9
§ 1・2 光波環の膨張	18
§ 1・3 ボーア半径	22
§ 1・4 前期量子論	24

第2章 物質波

§ 2・1 物質波と粒子の運動	31
§ 2・2 回折実験	33
§ 2・3 静止質量のローレンツ収縮	35
§ 2・4 物質波の振動	38
§ 2・5 波動方程式	40
§ 2・6 シュレディンガー方程式	41
§ 2・7 物質波の例	43
§ 2・8 粒子のエネルギー	46

第3章 量子力学の基礎

§ 3・1 シュレディンガーの波動方程式	49
§ 3・2 確率密度	52
§ 3・3 固有値と演算子	56
§ 3・4 相対論的な方程式	59

第4章 複素数ベクトル

§ 4・1	ベクトル	63
§ 4・2	ミンコフスキーの4次元世界	72
§ 4・3	相対論的力学	73
§ 4・4	複素数ベクトルと行列	75
§ 4・5	複素数ベクトルでのディラック方程式	77
§ 4・6	電磁場と電子の相互作用	85

第5章 テンソルと重力場の方程式

§ 5・1	テンソル	95
§ 5・2	アインシュタインの重力場の方程式	99
§ 5・3	ディラックタイプの重力場の方程式	102
§ 5・4	ワイルタイプの重力場の方程式	103
参考書	105

第 1 章

光波環

素粒子の構造を仮定する。特に電子やミューオンなどは光波環と考える。光波環とは光が円運動している物と仮定する。光波環は半径を一定にすると、とびとびのエネルギーをもつ。この半径を古典電子半径に一致させるとおもな素粒子の質量が求められる。また、宇宙の膨張によって光波環は大きくなり、相転移によっておもな現在の素粒子が誕生したと考えられるかもしれない。そして、電子などはその後も膨張して現在の質量になっていると考えられるだろう。したがって電子は安定した素粒子なのかもしれない。

§ 1・1 光波環と素粒子

素粒子はレプトン、メソン、バリオンと分けられる。メソンとバリオンはまとめてハドロンの呼ばれる。ハドロンはクォークより成り、メソンは2つのクォークから成り、バリオンは3つのクォークから成り立っている。レプトンには電子やニュートリノなどが存在し、メソンにはパイ中間子などが含まれている。さらにバリオンには陽子や中性子などが含まれている。ハドロンは強い相互作用をし、レプトンは強い相互作用をしない。レプトンは強い相互作用はしないが、弱い相互作用をする。光子は特別で強い相互作用も弱い相互作用もしない。また、ハドロンを形成するクォークは特別に半端な電荷 $\pm\frac{2}{3}e$ や $\pm\frac{1}{3}e$ をもつ。スピンは電子などと同じ $\frac{1}{2}\hbar$ である。ハドロンではクォークがグルーオンによって結び付けられている。この関係はQCDによって表わされている。

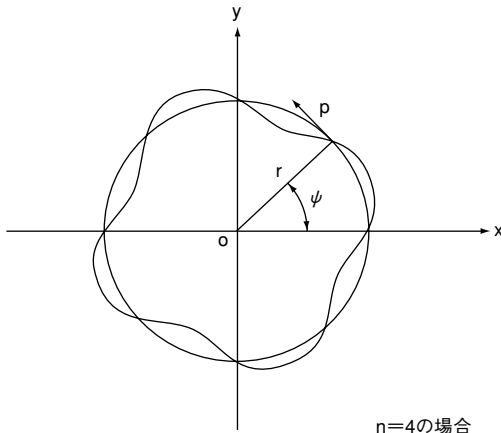


Fig-1

素粒子のレプトンなどは構造をもたない点と考えられている。しかし超ひも理論などでは、もっとも本質的なものは1次元の超ひもと考えられている。その長さは 10^{-33}cm である。ここでは光のリングを意味する光波環を用い、レプトンや光子などは光波環と考え、ハドロンはクォークの複合粒子と考えよう。クォークは電荷の大きさが $\frac{1}{3}e$ とか $\frac{2}{3}e$ であるので、クォークが光波環で表わされるか問題である。クォークは複合粒子の可能性もある。現実的にこのような考え方にはいろいろと問題があり、無意味な方法かもしれないが、この方法で素粒子のいろいろな性質を考えてみよう。

光子のエネルギーは $h\nu$ で表わされる。 h はプランク定数であり、 ν は光子の振動数である。また光子の運動量 p は

$$p = \frac{h}{\lambda}$$

である。 λ は光子の波長である。光波環は光のリングを意味するからそのエネルギー E は半径を r で表わすと

$$E = h\nu = h \frac{c}{\lambda} = \frac{hc}{2\pi r/n} = \frac{nhc}{r} \quad (1)$$

ここで $\hbar = h/2\pi$ 。 n は

$$n\lambda = 2\pi r \quad (n = \frac{1}{2}, 1, \dots)$$

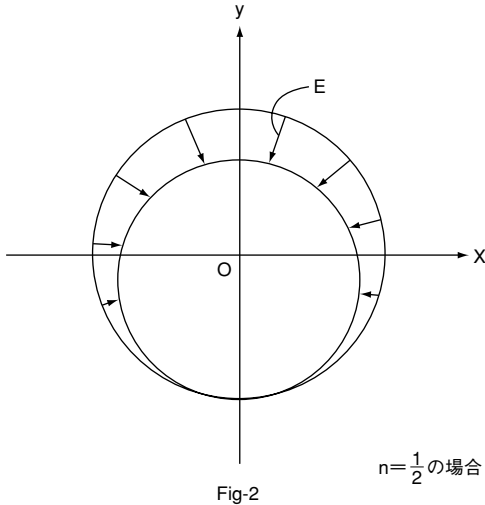
光波環のスピン S は

$$S = pr = \frac{h}{\lambda} r = \frac{h}{\lambda} \frac{n\lambda}{2\pi} = n\hbar \quad (2)$$

である。ここで pr は角運動量を示す。電子の場合 $n = 1/2$

$$S = \frac{h}{2}$$

である。この場合、電子は点電荷ではなく、構造をもつ。しかし電子の速度が光速に近づくと電子の半径は小さくなり点電荷になる。ハドロンはクォークの複合粒子であるから、速度が光速近くになっても小さくはならないかもしれない。



マクスウェルの方程式から、電場 \mathbf{E} は

$$\operatorname{div} \mathbf{E} = \frac{\rho}{\epsilon_0} \quad (\text{M.K.S.A. 単位系}) \quad (3)$$

の関係にある。 ρ は電荷密度である。この式は光波環にはあてはまらない。電子の内部には (3) 式は成り立たない。電子は構造をもつので電子の電荷を最小の電荷と考え、たとえば ρ は電子密度に対する電荷とみなし、電子の内部には (3) 式

は考えないことにしよう。そこで素粒子論のように、電子は光子の交換力によって電磁相互作用をおこなうと考えよう。電子は構造をもつため電子の電荷 Q は次のようになる。

$$Q = \int_0^\pi -e \sin \theta \, d\theta = -2e \quad (n=1/2)$$

ここで θ は円運動している光の位相である。
光子の場合、 $n = 1$ なので

$$Q = \int_0^{2\pi} -e \sin \theta \, d\theta = 0$$

一般に

$$Q = \int_0^{2n\pi} \pm e \sin \theta \, d\theta$$

この式は電荷 $\frac{1}{3}e$ や $\frac{2}{3}e$ をもつクォーク、複合粒子やニュートリノなどにはあてはまらない。陽電子は $Q = 2e$ である。

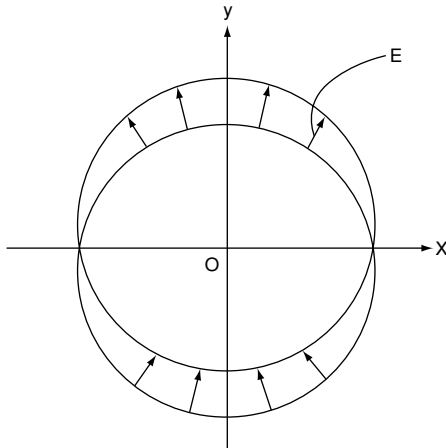


Fig-3

さて、電子の磁気モーメント μ は半径 r の円電流の磁気モーメントと考え

$$\mu = IS/c$$

$$I = -2ec/2\pi r$$

であるから

$$\mu = \frac{-2ec}{2\pi rc} \pi r^2 = -e \frac{\hbar}{2mc}$$

ここで $r = \frac{nhc}{E} = \frac{\hbar}{2mc}$ である。また、 S は πr^2 で表わされ円電流 I の面積である。磁気モーメントは電子の速度が増すにしたがって、電子の質量が大きくなるから小さくなる。

ところで電子は構造をもたない点と考えられている。そこで以上の考察は間違っているように思われるかもしれない。しかし、電子の電荷はいわば有効電荷と呼ばれるものである。また、電子が点であれば無限大のエネルギーをもつことになる。

$$r = \frac{\hbar c}{2E}$$

より、 $E \rightarrow \infty$ であれば $r \rightarrow 0$

電子の半径が $r_e = \hbar/2m_e c$ のとき

$$E = \frac{\hbar c}{2r_e} = m_e c^2$$

となる。 $\hbar/m_e c$ は電子のコンプトン波長である。有効電荷で表わされるのは電荷の遮蔽が起こるためである。すなわち QED によれば電子は点であっても実際には、電子の自己エネルギーは無有限大にはならない。電子の静止質量は、0.51 MeV である。

光波環の方程式により、半径 r が定数であるならば、その質量はとびとびの値をとる。陽子の大きさは 10^{-13}cm ぐらいあり、古典電子半径も 10^{-13}cm ぐらいである。さらに強い力の作用範囲は 10^{-13}cm ぐらいであるので素粒子の質量や Q 値はとびとびの値をとるかもしれない。有効電荷が $+e$ と考えられる陽電子やそれが $-e$ と考えられる電子の半径は古典電子半径に等しくなるかもしれない。古典電子半径 r_e は

$$r_e = \frac{e^2}{m_e c^2} = 2.8 \times 10^{-13} \text{ cm}$$

である。有効電荷が $-e$ であるミュオンや電子の半径は質量が電磁エネルギーによると仮定すると、それは古典電子半径に等しくなる。このとき光波環のエネルギーは

$$E = \frac{n\hbar c}{r} = \frac{n\hbar c}{e^2/m_e c^2} = \frac{n}{\alpha} m_e c^2$$

ここで $\alpha = e^2/\hbar c$ は微細構造定数である。

電子の場合 $n = \frac{1}{2}$ であるから

$$E = 35 \text{ MeV}$$

ここで $\alpha = 1/137$ である。この値は電子の静止質量エネルギーよりもかなり大きい。

$n = 3/2$ のとき光波環のエネルギーは

$$E = 105 \text{ MeV}$$

これはミュオンの質量に等しい。またスピンは $S = n\hbar$ であるから、ミュオンのスピンは $s = \frac{3}{2}\hbar$ になってしまう。そこで光波環の半径を

$$r = \frac{n\hbar c}{E} = \frac{n\hbar c}{\frac{n'}{\alpha} m_{\mu} c^2} = \frac{n\hbar c}{m_{\mu} c^2} = \frac{\hbar c}{2m_{\mu} c^2}$$

と考える。ミューオンの場合 $n = \frac{1}{2}$ 、 $n' = \frac{3}{2}$ となる。これはミューオンの半径であり、スピンは $\hbar/2$ となる。実際のミューオンは構造をもたない点と考えられる。また、ミューオンの磁気モーメント μ は

$$\mu = \frac{IS}{c} = -e\hbar = -\frac{e\hbar}{2m_\mu c}$$

となる。 m_μ はミューオンの質量である。

$n=2$ のとき、光波環のエネルギーは 140MeV である。それは π 中間子の静止質量に相当する。 π 中間子はクォークの複合粒子であるので、光波環からスピンを求めることはできない。半径も光波環からは求められない。以上のほかにもいろいろな粒子の質量が求まり、また多くの Q -値も求められる。ただ電子やニュートリノの質量は求められない。それらをまとめると表1のようになる。ここでは、とびとびの質量で表わされるハドロンは構成粒子であるクォークがとびとびの質量をもつと考えられる。しかしハドロンの共鳴状態ではその質量はレッジ軌跡で示され、光波環の考えは通用しなくなるだろう。クォークとそれを引き付けるグルーオンの世界は量子色力学によって表わされる。

途中省略

仮説と物理

2001年6月30日 電子出版発行

著者 かじかわ てるあき
梶川 輝明

発行者 瓜谷 綱延

発行所 株式会社 文芸社

〒160-0022 東京都新宿区新宿 1-10-1

電話 03-5369-3060 (編集)

03-5369-2299 (販売)

<http://www.boon-gate.com>

© Teruaki Kajikawa 2001. Corded in Japan.

ISBN 4-8355-0635-9 C0042

(文芸社発行の通常書籍 (紙の本) については、全国書店でお尋ねいただくか、「文芸社ON-LINE」
サイト <http://www.bungeisha.co.jp> を御参照ください。)

新 01.06.15 Y.H.