

(B1) の最後

MT 65 07 28

©2022 YHAL, YITP, Kyoto University
京都大学基礎物理学研究所 湯川記念館史料室
Research Institute for Fundamental Physics
Kyoto University

湯川秀樹

対称性の背後にあるもの (1)
湯川秀樹

対称性として物理学で取りあつかわれ始めたものには、大きく分けて 2 種類がある。

第 1 種は、時空・空間の性質に直接関係した対称性である。時空が homogeneous であることから displacement に対する物理法則の不変性がでてきた。それが (運動量、エネルギー) の保存則を導出した。空間の isotropy から角運動量の保存則が、また時空が 4次元 Minkowski 空間であることから、場の量子論の性格が強く制約される。同時に、多くの議論も引き寄せられた。

しかし、このほかにも時空・空間との関連が (あつ) いた対称性が、素粒子論の発展で、いろいろ現われてきた。これらを一括して第 2 種の対称性と呼ぶことにする。早くから知られていたものの中には、荷電対称性であろう。物理法則が荷電の符号の逆転に対して不変であるとか、あるいは charge conjugation C と空間反転 P の積 PC に対して不変であるとかいうことは、時空的対称性以上のものらしく見える。つまり物質のあり方の対称性にも関係している。こういう種類の対称性は中微子や π 中間子の発見以後、ますます重要になってきた。例えば物理法則が荷電独立性を持つことと関連して、isospin の概念が重要となり、通常の物質と異なる isospin 空間が想定されるようになった。 Λ 粒子、 K 中間子などの新粒子の発見以後、この種の対称性の数がふえたと同時に、それらを統括しい対称群 $U(3)$, $SU(3)$ などによりまとめあげようという試みも盛んになってきた。

そこで問題になるのは、これらの 2 種類の対称性 + 崩壊定数でしゃべったのを菅野氏がメモしてくれていた。これは見ながら書いていたうちに、すっかり違ったものになってしまった。

043-006-004

(2)

は、はっきりと区別されるものかどうかということである、
これに関して、先ず考えられるのは、第1種の対称性
といえども、時空の性質だけに関係しているの
でなく、いつも考察の対象となる物質のあり方にも
依存しているという事である。例えば時空が
homogeneous だといって、displacement
operators の具体的な形は、物質のあり方によって
きまめられていくわけだから、場の量子論では
displacement operators は量子化された場の
特定の波数の空間積分としてあらわされる。
そういう事では、第2種の対称性に関連して
全荷電が量子化された場の運動量の空間積分
としてあらわされるのと、変わりが無い。

しかしそれからといって、時空の性質との関連は全然
度外視して、無制限に第2種の対称性を拡大
してゆくだけでは話はおさまらない。それ19世紀
に化学元素のそれぞれを永久不変なものとして、その
存在を認めさせたのと似た話になる。20世紀に
なつて原子の構造がわかり、量子力学が確立した
結果として、群論の応用が盛んになり、原子の結
核の相当部分が、対称性のあらわれとして
定性的に理解されることになった。その場合の
対称性のほとんど全部は第1種の対称性で
あった。ただ Fermi 統計か Bose 統計かとい
う問題だけが、第2種の対称性に関連して
いた。19世紀において、もうひとつ深刻な問
題になっていたのは、光や電磁気の本質が何
であるかであった。つまり Newton 流の古典力学
の枠の中で光や電磁気を完全に理解できるか
どうかという問題であった。エーテルに過ぎな
く学理的性質をあたえることになって電気力学を
力学の枠内に入れるのに、19世紀の人たち苦心

~~その~~

(以後)

(3)

さした人(た。相対論の出現によって) そういう努力は
怠らざらして(まった。これに反して熱現象の方向は古典
力学の枠の中で相違程度まで理解できた。特に
Boltzmannは 気体の分子を微視的系と見て、
それらの衝突によって 気体の熱力学的状態を
説明することに成功した。しかし、ここで統計力学
の基礎に關する考え方において、孤立した力学系の
運動だけを問題とするという、狭い意味の力学系の
枠からはみだす必要があった。この点では Gibbsの方
が問題の性格をよりよく把握していたという見方もあ
ろう。しかし統計力学を基礎から立て直したのには、
この二人のどちらでもなく、Planckであった。しかし
Planckの ~~熱力学~~ 熱物相の量子論にはまだ熱力学の
問題のあらわは出ていなかった。単に振動子の
エネルギー単位が discreteで "等間隔的" という
ことだけを假定すればよかったのである。Bohrと
Einsteinは エネルギー量子を、光子という粒子にま
で"実体化"し、その代り粒子の個性の一部を捨てて
新しい統計を考えた。さらに(して) 古典力学
の立場からは、光子の交換に対する状態函数の
対称性と関係されるようになった。この結果は
古典力学の相対記述から、"量子的" 遠さ" による
よって、第2種の相対論に到達したという意味
で、興味がある。

電子のスピンの問題も、量子力学の出現の直前に
あらわらした。それは σ の回転という 2値的描像
と結びついていた。しかし量子力学以後は、
回転群の 2値表示というような抽象概念
によって理解されることになった。

これらの例からわかるように、相対論的記述とい
うても、量子力学や場の量子論の結核では、
抽象化が常に進んでいくので、第1種と第2

かつて

この事情を (4)

粒の境界が^{むしろ}ひびきにくく残っている。
Heisenberg は量子力学の出現によって第1性質と
第2性質の区別がなくなったこと~~に言及し~~ 物理の
~~つたことがある。~~

しかし、区別が完全になくなったとはいえない。元来
第1性質、第2性質という概念は Locke によって定立
されたもので、形やひびきや運動は、ふたつ以上
の感覚刺激によって知られるが故に客観性をもち、
色や音や味などは特定の感覚刺激によってだけ
知られるが故に主観的であると考えられた。物理学
の発展に伴って、形とかひびきとか運動とか
いう概念も、17世紀とはむしろ違った意味に意味
あるという振返りがなされてきたから、何らかの
意味で区別がなくなってきたのか、第1性質として、
第2性質と区別すること、今日が無意味ではない。

むしろ物質と symbol というふたつの概念の区
別が曖昧になった点の方に、より注目すべきで
はないかと思う。たとえば電子は物質粒子である
が、それが Fermi 統計に従うということ、電子
が symbol 的性質をもつと解するに意味がある。
symbol 的性質のうちのひとつの典型は文字が
ある。letter という6個のローマ字がならんで
ひとつの言葉を表現している場合、その中にでてくる
ふたつの e という文字、あるいはふたつの t という文
字を、入れかえて何の変わりもないだけで、入れか
え前の letter という言葉と入れかえた後の
それとは同一で、~~ふたつ~~ ひとつしかない、ひとつ
しかないと思う点では Fermi 統計と同じである。
ところが e とか e とか
t とか書いた紙ぎれをたくさん用意して、それらを
はらべて letter という組合せをつくらせる。
この場合にも e と書いてある紙ぎれを入れかえると

(5)

~~素粒子論~~ 進った ^{物質} ~~物質~~ 状態 ~~類~~ に ~~な~~ り、古来
統計における状態の数え方と一致する。
素粒子が物質の構成要素であると同時に、
symbol 的存在でもあるという ~~非~~ 尋常な
性質の存在に現れるものの外、物理の世界を
ひとつの大きなホテルと見做すのが微視である。
そしてこのホテルには、ひじょうにたくさんの、~~入り~~
進った ~~な~~ さや構造の部屋がある。ホテルに泊る
人たちが誰々であるかは一切問題にしてない。
ただ、ある時刻において、どの部屋とどの部屋が
つながっており、どの部屋とどの部屋が
を問題にするという ~~こと~~ ~~は~~ ~~な~~ い、 ~~な~~ り ~~な~~ り ~~な~~ り。
ホテル経営者のこういう考え方は、~~素~~ 素粒子
論の世界についての私たちの考え方に近いの
である。ちがうところは、素粒子の動きは
空間が多次元連続体で、しかも正統的理論で
は素粒子に大きさを持たせまいとする案である。
これはホテルの部屋を無限に小さく分割して
しまう場合にあたり、経営者の方は泊り
客の心持が劇大変で、電子計算機をつかって
間にあわないうこととなる。収入も支出もともに
無限大となり、有限の資本では、こんなホテルは
経営できないということになりそうである。将来の
consistent な素粒子論は、恐らく有限の資本
で経営可能なホテルに、よりよく似たものに
なるのであろう。昔、荘子は「天地の
万物の逆宿、光陰は西代の過客」と言った。
この言葉は現代の私たちに、甚だ示唆的だ
である。(逆宿という言葉は宿屋のことである。)