

1 やさしい素粒子物理学

電子が発見されてから、約百年が経過した。物質の基本的な性質を探るという、ごく単純な動機にしたがって進められた研究によって、我々の到達した現在までを概観し、今後このような動機にしたがった研究はどこへ向かうのかを明らかにしたい。

2 現在まで

2.1 電子の発見と原子のスケール

電子の発見はイギリスのケンブリッジ大学キャベンディッシュ研究所において、なしとげられた。この時測定されたのは、電荷と電子質量の比であった。その後電子の電荷を測る実験が行なわれたが、2桁以上の精度でその値を求めたのはアメリカのミリカンという人であった。素電荷の計測によって、原子の大きさが 10^{-10}m であることがわかった。

2.2 原子核の発見と核エネルギー

1911年から1913年にわたってイギリスのマンチェスター大学でラザフォードたちによって行なわれた実験によって、原子核の存在が明らかになった。原子の質量はそのほとんどが原子から見れば点にしか過ぎない 10^{-15}m の領域に集中していることが明らかになった。1932年にキャベンディッシュ研でチャドウィックが中性子を発見してから10年後に原子エネルギーを人為的に取り出すことができるようになり、世界の歴史は大きく転換した。原子核を結び付ける媒介粒子として、核子の10分の一程度の質量を持つ粒子の存在が湯川によって予言され、宇宙線で見られ、加速器の実験でその性質が明らかにされた。

2.3 量子論と相対論

原子核の発見によって古典力学では、原子の安定性を説明することができないことが明らかになった。1913年には電子の波動性を考慮して、水素原子のスペクトル公式を説明する理論がボーアによって作られた。プランク定数という、量子論の中で重要な値を正確に測定したのは、またもやミリカンで1916年のことである。原子の世界の現象を完全な形で記述する基礎は、1925年と1926年にハイゼンベルクとシュレディンガーによって築かれた。この理論を発展させると、点状で構造のない電子の波の理論である場の理論となる。場の理論で物理量を精密に計算しようとする、点状であることが障害となって計算ができなくなる。この障害を取り除く計算法が、ファインマン、シュウイングー、朝永によって考案された。

1905年の論文でアインシュタインが作りあげた、特殊相対論が明らかにしたもっとも重要な予言は、質量の中に巨大なエネルギーが隠されていることである。この理論を導いたのは、相対運動によって光が異方性を持って伝搬することに対するナイーブな疑念である。特殊相対論によると運動する物体の時間はゆっくりと経過するように見えることも予言される。

また、重力によって落下する星や銀河に対する考察をすすめると、空間の性質が物質の存在によって変化するというを想定することができる。この理論を一般相対論という。

2.4 巨大加速器とクォーク

1950 年から 1970 年にかけて巨大な加速器が次々と作られた。これによって核子と中間子の性質が詳しく調べられ、それらが複合粒子であることが明らかになった。基本粒子として分数電荷を持つクォーク模型が 1962 年にゲルマンとツバイクによって提唱された。クォークを核子の状態に結合させる媒介粒子の存在が明らかになり、グルーオンと呼ばれている。

2.5 原子核を転換させる弱い力

太陽がなぜ 100 億年もの間安定に燃え続けるのかという問いに答えることができるようになったのは、核子に働く強い力と弱い力の性質がわかったからである。弱い力こそ、我々がその存在を知らなくても、宇宙のあり方を決定している面白い例である。

また弱い力には、粒子反粒子の対称性を破るという性質がある。現在の宇宙はすべて粒子からできていると考えられている。 K_L^0 の粒子反粒子の非対称性はクォークが 6 種類あることで始めて成り立つということが小林と益川によって示された。

2.6 粒子物理学と宇宙論

星がなぜ光輝くのかという答を与えたのは粒子物理学であった。パルサーの発見によって、太陽ほどの星がたった一個の原子核になってしまった星があることがわかった。また放射性原子核の性質を知ることによって地球が 50 億年ほど前にできたこともわかった。

3 21 世紀の粒子物理学、特に最初の 20 年

3.1 物質反物質の非対称性のなぞ

K_L^0 の粒子反粒子の非対称性が小林と益川理論によって説明されるか否かは、まだ完全に検証されたわけではなく、21 世紀の最初の 10 年において日本とアメリカの実験施設で明らかにされると期待される。しかしながら、核子の粒子反粒子非対称性を実験的に観測した例はない。日本とアメリカの巨大な水チェレンコフ検出器の実験データがその鍵を握っている。気球や衛星を使った実験によって、反銀河があるかどうかともわかるかも知れない。

3.2 質量の起源を求めて

1999 年から、フェルミ研では現在のテバトロンの衝突頻度を 10 倍以上あげることのできる加速器を運転する。この実験で動く測定器開発の仕事を行なっている。2005 年から、10 年間運転される巨大加速器は Large Hadron Collider と呼ばれるものである。テバトロンの測定器開発によって蓄えた力を利用してさらに強力な測定器が作り上げられる予定である。

3.3 粒子物理学の検出器による宇宙観測

1980 年代に核実験の監視用に衛星が打ち上げられた。この衛星が観測したのは地上の核実験でなく宇宙空間で発生する類似の現象である。これは数年の間軍事機密にされ、銀河系内の星での核戦争と解釈されたこともあったという。このなぞを明らかにすべく 2005 年頃に γ 線衛星が打ち上げられる。