

カラー閉じ込め問題の最近の発展と問題点について

千葉大学・理学部・物理学科 近藤 慶一 (Kei-Ichi Kondo)
Department of Physics, Faculty of Science, Chiba University

1 講演内容

「カラー閉じ込め」の典型的な例として、「ヤン-ミルズ理論」における「クォークの閉じ込め」を議論します。

「ヤン-ミルズ理論」とは、マックスウエル (Maxwell) による電磁気の理論を拡張したもので、特別な場合としてこれを含みます。この理論は、「ゲージ理論」と総称されるクラスに属する理論で、「ゲージ」という名前は「ゲージ変換」に由来します。つまり、ゲージ変換を行っても物理的な帰結には影響を与えないような理論を一般にゲージ理論と呼びます。

Maxwell 方程式に集約される電磁気の理論の美しさは良く知られていると思います。では、なぜそれをわざわざ拡張する必要があるのでしょうか。それは、数学的に拡張が可能というだけでなく、ゲージ理論が、「電気・磁気力」(electro-magnetic interaction) だけでなく、陽子や中性子などを結合して原子核を作る「強い力」(strong interaction) や原子核のベータ崩壊などを引き起こす「弱い力」(weak interaction) も記述する理論と現在では考えられており (実験的にも検証されています)、そのためにはある種の拡張が不可欠なのです。

現在の素粒子論では、物質を構成する根源的な物質は「クォーク」(陽子、中性子、中間子などの元になる素粒子) と「レプトン」(電子、ニュートリノの中間の素粒子) であり、その間に働く力は 4 種類に、つまり、電磁気力、強い力、弱い力と重力に分類できると考えられています。クォーク・レプトンとそれらに働く 4 種類の力を解明すれば、自然界に起こる全ての物理現象は完全に記述できるはずですが、これらの物質と力を記述する理論は広い意味で皆ゲージ論であるといえますが、特に、これらの素粒子間に働く力を記述する理論が「ヤン-ミルズ理論」なのです。

「クォーク閉じ込め」の問題とは、クォークはいつも「色」の異なる 3 つのクォーク (又は反クォーク) の組み合わせ (バリオンと呼ぶ) か、クォークと反クォークの対 (メソンと呼ぶ) という形でしか観測されていない、つまり、クォークはハドロン (バリオンとメソンの総称) の中に閉じ込められていて、未だかつて、単独で観測されたことは無い (いつも無色の組み合わせでしか観測されない) のはなぜかという疑問です。

クォークは物質の究極的構成要素と考えられていながらそれを直接観測した人はいないので (実は、グルーオンもそうです)。もし、単独で観測されたならクォークは電気素量の $1/3$ や $2/3$ といった半端な電荷を持っているはずですが。

この問題は、30 年近く世界中の理論物理学者が取り組んでいるにもかかわらずいまだに未解決の超難問です。

この問題の重要性とその難しさは、ごく最近、クレイ数学研究所 (米国ボストン) が発表した 7 つのミレニアム賞問題 (一問正解につき 100 万米ドルの賞金) [1] のひとつとして取り上げられていることからわかります。

クォーク閉じ込めの超伝導描像に関しては最近大きな発展がありました。講演では、この発展を、我々の最近の研究を中心としてお話しました。今後、さらに一般的な九後・小嶋のカラー閉じ込めに関する判定基準との関係などを明らかにすることが

望まれます。

更に詳しくは、最近の解説 [2,3] や単行本 [4], 拙者ホームページ
<http://physics.s.chiba-u.ac.jp/kondo/>
等をご覧ください。

References

- [1] <http://www.claymath.org/prizeproblems/index.htm>
- [2] 近藤慶一：『ゲージ場の量子論-トーフット, BRS 対称性, 閉じ込め』,
数理科学, 第 454 号, 17-24 頁 (2001).
[別冊・数理科学, 現代数理物理学の展開, 108 - 117 頁 (サイエンス社, 2003)
に改訂版を再録]
http://www.nippyco.co.jp/maga_usemi/ss0203.htm
- [3] 近藤慶一：『ゲージ場の量子論-トーフット, BRS 対称性, 閉じ込め』, 数理科学 (2001 年 4 月号).
<http://www.saiensu.co.jp/magazine-htm/skno-454.htm>
- [4] 近藤慶一, ゲージ場の量子論入門 - 質量ギャップとクォーク閉じ込めの解決に向けて - (サイエンス社, 2006 年 1 月)
<http://www.saiensu.co.jp/magazine-htm/spsk-200601.htm>