

天文学 定数最前線 (10)

ニュートリノ質量

ニュートリノの質量を定数と呼ぶのがふさわしいかどうか疑問をもたれる方も多いことでしょう。そもそも、ニュートリノに質量があるかどうかもわかっていないのですから。ここでは理論的に質量があるかどうかはさておいて、とりあえずニュートリノの歴史を振り返ってみることにしましょう。

ニュートリノは 1956 年にライネスとコーワンによって原子炉で作られた反ニュートリノを陽子と衝突させることにより、初めてその存在が実験的に確かめられました。しかし、その存在はパウリが 1930 年に原子核の β 崩壊の際に放出される電子の連続スペクトルを説明するために予言していました。また、パウリの予言のすぐ後にフェルミの β 崩壊の理論がでて非常に成功を収めたため、ニュートリノの存在は発見当時確信されています。フェルミの理論は現在私たちが弱い相互作用と呼んでいる力を記述する標準理論となったのです。標準理論はその後いくつかの変更をうけ、電磁相互作用と弱い相互作用を統一したワインバーグ・サラム理論へと発展してきました。また実験的にも電子ニュートリノの他にミューニュートリノ・タウニュートリノも発見され、ニュートリノは基本的な素粒子であることが確立されました。その間、基本的にニュートリノの質量はゼロであると仮定されてきました。ここで強調しておきたいのは標準理論においてニュートリノが小さな質量をもっていたとしても、理論の成功点はほとんど失われないということです。そこで、実験的にニュートリノの質量を検出してやろうという努力が今でも盛んに行われています。

ここで現在知られている 3 種類のニュートリノそれぞれについて質量探しの方法と最新データを紹介します。

1) 電子ニュートリノ

電子ニュートリノの質量探しにはトリチウムの β 崩壊が使われています。トリチウムが β 崩壊の際に放出される電子のスペクトルは、もしニュートリノに質量があれば、ない場合に比べて高エネルギー側で質量の大きさ程度ずれます。このずれを測定することによって質量が求められるわけです。いくつかのグループがこの実験を行っており、特にソ連の ITEP グループが $17 < m < 40$ eV (1987 年) と有限の質量を求めているのが注目されますが、この結果は世界の他のどのグループにも確認されておらず、 < 28 eV (原子核研究所, 1987), < 27 eV (ロスアラモス, 1987), < 18 eV (チューリッヒ, 1986)

という上限が求められているだけです。

2) ミューニュートリノ

このタイプの質量測定には中間子がミューオンとミューニュートリノに崩壊する反応が使われます。電子ニュートリノの場合と同じように放出されるミューオンのエネルギースペクトルを求め、質量がゼロのとき期待されるスペクトルとのずれを探します。この方法で SIN のグループが 0.25 MeV という質量の上限を求めています。(ただし、この実験は大きなシステムティックエラーを含んでいる可能性があり質量の上限は 0.5 MeV とした方がよいという人もいます。)

3) タウニュートリノ

このタイプの質量の上限を求めるのには、タウレプトンの崩壊で、特に π 中間子 5 個 (あるいは 3 個) とタウニュートリノに崩壊する反応を見つけ、そのとき放出される π 中間子の総エネルギーを求め、最初のタウレプトンのエネルギーから差し引くという方法が使われます。この方法で HRS のグループは 84 MeV, ARGUS のグループは 70 MeV といった上限を求めています。

以上ニュートリノの質量探しの現状を紹介しましたが、電子ニュートリノの場合のソ連の報告を除いて有限の質量は測定されておらず、現状ではニュートリノの質量は定数とはいえないでしょう。

もし、ニュートリノに質量があると宇宙物理学にはどういった意味があるのでしょうか。まず初めに考えられるのがニュートリノによって宇宙が閉じてしまうかもしれないということです。実際、ニュートリノが数十 eV 以上の質量をもてば臨界密度を超えて宇宙が閉じることが分かっています。現在宇宙にはダークマターと呼ばれる物質が臨界密度に近いぐらい存在することが観測で分かっているので、ニュートリノが数十 eV 程度の質量をもてばこの観測事実とうまく合うこととなります。逆に、質量が大き過ぎて臨界密度の何倍にもなってしまっても観測と矛盾するので、このことからニュートリノの質量に対する宇宙論的の上限が得られます。そのほかにニュートリノに質量があればニュートリノ自身が崩壊することもできて、その際に光子を出せば宇宙背景輻射やニュートリノが関係するいろいろな宇宙物理的現象に影響を及ぼすと考えられます。

現在のところ実験で飛躍的に質量の上限が小さくなることも、有限の質量が見つかってそれが確立されることもなさそうなので、むしろ宇宙物理・宇宙論的考察からニュートリノの質量を制限していくことが重要であるように思われます。(川崎雅裕)

昭和 62 年 9 月 20 日 発行人 〒181 東京都三鷹市東京天文台内
印刷発行 印刷所 〒162 東京都新宿区早稲田鶴巻町 565-12
定価 450 円 発行所 〒181 東京都三鷹市東京天文台内
電話 (0422) 31-1359

社団法人 日本天文学会
啓文堂 松本印刷
社団法人 日本天文学会
振替口座 東京 6-13595