

M46a MSW 効果の漸近解析

高田将郎 (東大理)

太陽から来るニュートリノの検出量が理論値より少ないという太陽ニュートリノ問題の解決案には、太陽模型の不備によるものとするものとニュートリノ物理理論の不備によるものとするものの2つがある。ここでは、ニュートリノ物理理論の変更による解決案のうち、代表的なものの一つである物質中のニュートリノ振動の効果 (MSW 効果) を取り扱う。MSW 効果とは、太陽中心部の熱核反応で発生した電子ニュートリノが太陽物質中を通過するうちに、電子との相互作用によってミューニュートリノに変わってしまい、地球で検出する電子ニュートリノの量が減ってしまうという効果である。この効果が起こるためには電子ニュートリノとミューニュートリノに質量差があり、かつ電子ニュートリノとミューニュートリノが純粋な質量固有状態になっていないことが必要である。これらのことは、素粒子物理の標準理論の枠組では起こり得ない。

物質中のニュートリノ振動を記述する方程式は2階の常微分方程式であり、素粒子物理のパラメータ (質量の2乗差と混合角) 及び太陽の電子密度分布が与えられると解が決まる。実際、電子密度が一様である場合や、指数関数的に変化する場合には解析解が知られている。しかしながら、一般の電子密度分布に対して解析解は存在せず、解析的に近似解を求めるか、数值的に方程式を解くことが必要になる。このうち、解析的な近似解としては、Parke の公式が知られており、混合角が小さい場合には非常によく解を近似する。しかしながら、混合角が大きい場合には、特にニュートリノ振動の波長が長い領域で、近似が悪くなってしまう。

そこで、ここではさらにより解析的な近似解を導出することにする。手法としては、ニュートリノ振動の方程式を標準的なWKB法によって漸近解析する方法を採用した。これは、ニュートリノ振動の波長が太陽半径に比べて十分小さい場合に妥当な近似となる。実際に解析を行ってみると、WKB近似の主要項しか考慮しない場合には、近似解は真の解から1割程度ずれることがわかった。そこで、さらに高次の項をも考慮すると、今度は真の解からのずれが十分小さくなった。ここで求めたWKB近似の解はParkeの公式と異なり、混合角が大きく、ニュートリノ振動の波長が長い領域でも真の解をよく近似することがわかった。