

量子電磁気学による物質構造の解法

○松浦弘幸 1), 中野正博 2), 根本哲也 3)

1) 政研大, 2) 産業医大, 3) 都立高専

我々は、相対論的場の理論の典型である量子電磁気学のラグランジアンのみを出発点として、電子の高次相関作用を計算する方法を研究してきた。それには、場の方程式を平均場で代表される古典的場と、素粒子論で代表される“ゆらぎ”の場である量子場に射影演算子を用いて分離した。量子場は一見すれば、素粒子論の Schwinger-Dyson 方程式 (SD 法) と類似しているが、我々の方法 Atomic Schwinger Dyson 法 (ASD 法) は、SD 法とは大きく異なっている。それは、SD 法では、素粒子を対象とするために、“ゆらぎ”であり、場の量の真空期待値はゼロである。しかし、ASD 法は、平均場による古典的な場が存在するために、真空期待値が存在する。特に、フォトンの真空期待値がゼロでなく、基底状態に凝集した状態が“クーロン場”として表現される。

量子場には、電子の自己エネルギーである、フォトンを出し吸収する過程と、さらに、真空の偏極と呼ばれるフォトンが消滅し、電子と陽電子が生成され、その後、消滅する過程、さらに、電子とホールが生成消滅する過程が含まれている。Hartree-Fock 近似では、その内の最低時次の電子の自己エネルギーが含まれているに過ぎず、真空の偏極は全く考慮されていない。また、RPA 近似では、フォトンと電子の自己エネルギーの最低次のみが含まれているだけである。さらに、ASD 法を電子電荷の次数で展開すれば ASD 法は摂動法となる。つまり、我々の ASD 法は、摂動や RPA, Hartree-Fock 法を包括する方法であり、その手法は、非摂動的に厳密を求める手段である。また、ASD では、古典場で物質の構造を規定し、量子場で平均場 (古典場) からの“ずれ”の補正を行なう。そして、この両方の場が、収束した状態を計算の終了点として処理する構造となっている。次に、我々は ASD 法での繰り込みを行なった。これは、ASD 法が物理的に無矛盾な予測可能理論であるためには、証明し保証されねばならない重要な条件である。これは、古典場を質量とエネルギーに繰り込むことにより完成した。上記の繰り込みと古典場・量子場の形式を用いて ASD の形式論は完成をした。次に、我々は、ASD の具体的な表現を与えることに努力した。電子の自己エネルギーを 3 つに分割し、これを用いて原子の伝播関数を電子、陽電子、ホールに分離した。さらに、フォトンの伝播関数と自己エネルギーを 3 次元の射影表現を用いて表現した。これらの一連の複雑な手続きを経て、ASD の量子場に関しては、“ガンマ行列が運動量に依存しない (温度にして数百万度以下) では、相対論的な量子電磁気学を量子効果を厳密に解くことに成功した。” 換言すれば、基本的に古典場である平均場と、量子場を組み合わせることで、物質の相対論的な効果は厳密に議論できる方針が示された。ASD 法の登場によりラグランジアンのみから出発し、電子の高次相関が自動的に計算される非摂動的に厳密解を得る道筋が、明らかになったといえる。