

クレブシュ双対場の量子化によるドレスト光子モデルの導出

Dressed Photon Model Based on the Quantization of Clebsch Dual Field

ドレスト光子研究起点 ○ 佐久間弘文、小嶋泉、大津元一

Research Origin for Dressed Photon, ○ Hirofumi Sakuma, Izumi Ojima, Motoichi Ohtsu

E-mail: sakuma@rodrep.or.jp

ドレスト光子 (DP) は、「光と物質 (電子、励起子) 場との相互作用から生じる特異な電磁場であろう」とする視点から、相互作用で中心的な役割を担う仮想光子に焦点を当て、更には場の相互作用の記述には空間的運動量の寄与が必須であるという数学的帰結と小嶋のミクロ・マクロ双対理論 [1] に注目すると、U(1) ゲージボゾン (U1GB) としての仮想光子の古典的モデルが Clebsch 変数を用いて構築できる事を発表者は示した ([2],[3])。また、光の共形不変性が破れると、亜光速の物質粒子が現れる様に、空間的運動量の領域にも Einstein 方程式の左辺の曲率項という意味において、時間的エネルギー運動量と双対なトレースが負となる構造が存在できる事を示し、U1GB とそれとの和集合を Clebsch 双対 (CD) 場と呼んだ。すなわち、この波動的 CD 場が、相互作用に関わる任意の空間的運動量場を表現する為の動的“フーリエ”基底の役割を果たしている事を示した ([4],[5])。

本発表においては、まず CD 場の量子化は Dirac 方程式: $(i\gamma^\nu \partial_\nu + m)\Psi = 0$ が包含する「空間的 Majorana 場」の存在を導入する事で、比較的容易に実現できる事を説明する [5]。長らく「幻の粒子」と見做されていた Majorana 粒子に関しては、昨年物性物理の分野でその存在の間接的証拠が示されたとの報告があり [6] 注目を集めている。本報告での Majorana 場は空間的という意味において、時間的な Majorana 粒子とは区別されるべきものであり、それは上記の Dirac 方程式中の m を ik_0 で置き換えた Majorana 場である。因みに、その様な場は、CD 場の中心的な構成式を成す空間的 Klein-Gordon(KG): $(\partial^\nu \partial_\nu - (\kappa_0)^2)\lambda = 0$ の“平方根”と見做す事ができる。

CD 場を用いた古典的表現に対する大きな問題点は以下の 2 点である。(1) 上記の KG 方程式に現れる係数 κ_0 は何に起因するものであ

るのか? (2) CD はそれぞれが空間的 KG 方程式を満たす一組の Clebsch 変数 (λ, ϕ) により表現され、このペアは直交条件: $\partial^\nu \lambda \partial_\nu \phi = 0$ を満たすものと仮定されるが、それは何故か? 本発表では、(1) は既知の光の場が持つ量子条件: $E = \hbar\nu$ に対応するもの、(2) はフェルミオンに対する Pauli の排他律として自然に説明され得る事を示す。図 1 に DP が表れる典型的な状況を示すが、導出した量子的モデルで off-shell 的な DP がどの様にして図 1 に示された球状の境界面に出現するのかを議論して発表を締め括る。

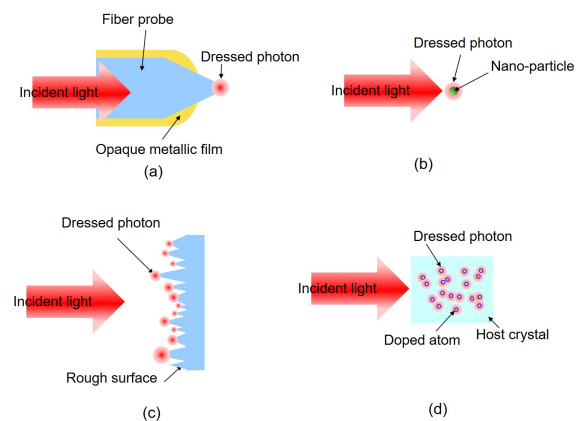


図 1: Four typical situations where DPs emerge

参考文献

- [1] 小嶋泉、量子場とミクロ・マクロ双対性、(2013) 量子数理シリーズ 4 丸善出版
- [2] H. Sakuma, I. Ojima, M. Ohtsu, (2017) Applied Physics A, 123:750
- [3] H. Sakuma, I. Ojima, M. Ohtsu, (2017) Progr. Quantum Electron. 55, 74-87
- [4] H. Sakuma, (2018) Progr. in Nanophotonics 5 (pp. 53-77) Springer Nature Switzerland AG
- [5] M. Ohtsu, I. Ojima, H. Sakuma, (2019) Progr. in Optics in press
- [6] Y. Kasahara et al. (2018) Nature, Doi:10.1038/s41586-018-0274-0