

トロイダルモーメントを含む光と物質の相互作用理論: 遷移特性

Theory of Light-Matter Interaction Including Toroidal Moments:

Properties of Transitions

向後 敬志, 石川 陽, 小林 潔

山梨大学大学院

Takashi Kougo, Akira Ishikawa and Kiyoshi Kobayashi

University of Yamanashi

E-mail: g17tz005@yamanashi.ac.jp

ナノテクノロジーの進歩により, 量子ドット等の量子ナノ物質や, メタマテリアルと呼ばれる人工的に設計された新奇な誘電率および透磁率を持つ物質が作製され, 通常は見られない特異な電磁的性質の観察/分光とその応用が可能となっている. 例えば, メタマテリアルナノ構造では極性トロイダル双極子(図1)の寄与が観察され [1], 一方, 光合成細菌における電気双極子のヘッド-テール構造からは軸性トロイダル双極子(図2)の存在が示唆されている [2]. このような状況では, トロイダル多重極子を含む光と物質の相互作用を考察することが必要不可欠である. 本発表では, 巨視的なマクスウェル方程式に基づき, 極性および軸性トロイダル多重極子を含む電磁場の多重極展開が可能であることを示し, トロイダル双極子 (TD) 遷移の特性を議論する.

次式のように, 電磁ソースとして, 分極 \mathbf{P} および磁化 \mathbf{M} の回転を頭に考慮することにより, 軸性および極性トロイダル多重極子を含んだ多重極展開が可能となる.

$$T_{\ell m} = -\frac{ik}{\ell+1} \int j_{\ell}(r) Y_{\ell m} \nabla \cdot \{\mathbf{r} \times \mathbf{M}\} d^3 r, \quad G_{\ell m} = -\frac{ik}{\ell+1} \int j_{\ell}(r) Y_{\ell m} \nabla \cdot \{\mathbf{r} \times \mathbf{P}\} d^3 r.$$

ここで $j_{\ell}(r)$ は Bessel 球関数, $Y_{\ell m}$ は球関数である.

古典的に定義されたトロイダル多重極子を含む電磁相互作用ハミルトニアンを量子版を用いて, トロイダル遷移に関わる物質応答 (エネルギー, 角運動量, パリティ等依存性) を求めることができる. 当日は, 具体例を用いて, 極性および軸性トロイダル遷移におけるスピン反転などの光学遷移におけるスピン特性を議論する. さらに, 近接場領域での特徴を用いた応用の可能性に触れる.

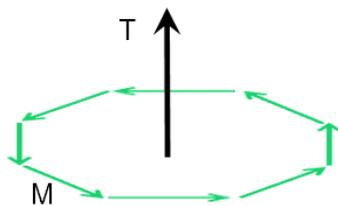


図1: 極性トロイダル双極子

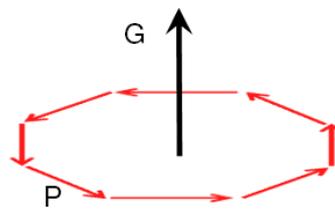


図2: 軸性トロイダル双極子

[1] A.E.Miroshnichenko, A.B.Evlyukhin, et al, Nature Comm. 6 (2015) 8069.

[2] R.J.Cogdell and J.Köhler, Bio.chem.J. 422 (2009) 193.