強電場現象を用いた散乱の量子論に現れる特異点の普遍性に関する研究

Singularity in the scattering theory and its universal behavior

東大物性研 [1]，モスクワ物理工科大 [2]，電通大

°水野 智也 [1]，楊 添淇 [1]，栗原 貴之 [1]，石井 順久 [1]，金井 輝人 [1]，Oleg I. Tolstikhin[2]，森下 亨 [3]，板谷 治郎 [1]

ISSP, Univ. Tokyo. [1], Moscow Institute of Physics and Technology [2], Univ. Electro-Comm.[3]

°Tomoya Mizuno[1], Tianqi Yang[1], Takayuki Kurihara[1], Nobuhisa Ishii[1], Teruto Kanai[1], Oleg I. Tolstikhin[2], Toru Morishita[3], Jiro Itatani[1]

E-mail: mizuno.tomoya@issp.u-tokyo.ac.jp

特異点は相転移やバンド接点など様々な物理過程に現れる。力学系においても作用の特異点とそれに付随する焦点集合(caustic)の近傍において普遍的な振る舞いが現れることが判明してきた。焦点集合とは焦点近傍での光の強度分布に現れる普遍性を力学系に一般化した概念であり、ハミルトン形式における作用 S の特異点に対応する観測量（光電子の運動量や高調波の周波数など）を集めたものである。量子力学において焦点集合近傍での普遍性は以下の振動積分の中にある位相 S の特異点のトポロジカルな性質から生じている。

$$f(k)=\int_{-\infty}^{\infty} g(t)\exp[iS(t;k)]\,dt. \quad (1)$$

ここで t は時間、k はパラメーターであり観測量を示している。（本研究では光電子の終状態での運動量)。フーリエ変換や散乱振幅も振動積分であり作用 $S(t;k)$は経路に沿った光や波動関数の位相変化である。作用 $S(t;k)$の特異点 t_0 と焦点集合 k_0 は次式で定義される。

$$\frac{\partial S(t_0,k_0)}{\partial t}=\frac{\partial^2 S(t_0,k_0)}{\partial t^2}=0. \quad (2)$$

$\frac{\partial S(t_0,k)}{\partial t}=0$は鞍点方程式であり、その解は古典的な経路に対応しており、焦点集合 k_0 とは鞍点方程式が重根を持ち、二つ以上の古典的経路が縮退する場所の事である。この場所では積分(1)の鞍点法を用いた半古典的な漸近形は発散する。作用 S が R-k-確定するまでテイラー展開を行い、最急降下法を用いて積分(1)を評価すると特異点の同値類(class)に固有な普遍的な分布構造が現れる。再衝突過程においては long 軌道と short 軌道が縮退するため二重に縮退した焦点集合が存在しており、再散乱光電子[1]でも高次高調波発生[2]でもそのカットオフ近傍ではエアリー関数的な振る舞いが現れる。この振る舞いはトポロジカル不変な性質であり力学系の詳細（ハミルトニアンの形）にはあらわに依存せず、特異点の同値類(class)によって決まっている。本発表では再散乱過程に現れる高次の焦点集合の近傍での振る舞いについても特異点理論を用いて考察を行う。

参考文献

[1] T. Morishita *et al.* PRA **96**, 053416 (2017), T. Mizuno *et al.* PRA **103**, 043121 (2021).

[2] M. V. Frolov *et al*. J. Phys. B 42, 035601 (2009).