

「発展的研究計画スタート支援」(2023年9月)報告書

- 氏名 : 後藤勇樹
所属ユニット : プラズマ・複相間輸送ユニット
研究テーマ : 電子サイクロトロン運動とその放射場の解の探求

1. 研究の目的・意義

本研究の目的は、減衰過程を含む電子サイクロトロン運動と電子サイクロトロン放射に着目し、場と粒子の相互作用を減衰も含めた全系の力学として理論的に論じ、時間対称性を破る古典的減衰現象を解析することである。これはサイクロトロン運動(放射)という核融合科学に偏在する現象を、より基礎的な側面から考察する核融合分野における学際的な研究である。

2. これまでの研究成果および進捗状況、今年度の研究計画

z 方向に一様静磁場が印加されている円筒導波管内において、サイクロトロン運動する電子からの放射を古典的 Friedrichs モデルを用いて解析を行った。古典的 Friedrichs モデルとは古典的 Bogoliubov 変換で対角化可能な双線形型をしたハミルトニアンであり、量子系で励起準位の崩壊による光の自然放出の力学的根拠を明らかにした Friedrichs モデルの古典版である。本研究では電子のサイクロトロン周波数が導波管の遮断周波数近傍に設定されている場合に注目した。よく知られている通り、導波管内での波の分散関係は非線形なバンド構造しており、各バンド端では状態密度が発散している。この点を古典的 Van Hove 特異点と呼ぶ。解析の結果、この古典的 Van Hove 特異点近傍では放射される光の強さが、特異点から十分離れた領域と比較して 1 万倍程度に増幅されることが明らかになった。また円柱導波管の場合、管内の伝搬モードは方位角に依存した光渦モードとなっており、この古典的 Van Hove 特異性を利用すれば所望の光渦成分を取り出せることも明らかになった。

今年度以降はこの古典的 Friedrichs モデルを更に深掘りし、古典力学での自然放出機構の”説明”を目指す。一般的な量子力学の教科書や Wikipedia をみると、自然放出は電磁場を量子化することで説明が可能であり、古典力学では説明が不可能との記述が散見される。それは自然放出を論じる場合、第二量子化された形式で論じられていること及び量子真空の揺らぎの存在が根拠となっているからである。しかし古典的 Friedrichs モデルは量子的 Friedrichs モデルと代数的に等価であり、古典力学でも自然放出の記述が可能であると考えている。

3. 支援を受けた金額及び主な用途

本研究を米国で遂行するための出張旅費として 700 万円程度の支援を受けた。これ

らは往復の航空券代、現地滞在費(アパート代)、APS 旅費、保険、VISA 申請費用に使用した。

4. これまでの客観的成果とそれぞれの項目の今年度の予定

4.1 共著を含む投稿論文、著書(著者名、論文名、出版社、accepted date)

2022 年度は論文出版までたどり着かなかったが、2023 年度の早い段階で本テーマでの論文出版を目指す。

4.2 国際・国内学会等での発表(発表者、タイトル、会議名、招待講演・口頭・ポスターの区分)

2022 年度の学会発表を以下に示す。

[1] Y. Goto *et al.*, “Optical Vortex emitted by Classical Radiation Dumping due to Classical Van Hove Singularity near Cut-off Frequency of a Waveguide,” APS March Meeting 2023, March 5-10, 2023, Las Vegas, USA (Poster).

2024 年度の学会発表予定は以下の通りである。

[1] 後藤勇樹 他、日本物理学会年次大会、2023 年 9 月 22 日～25 日、東北大学

[2] Y. Goto *et al.*, APS March Meeting 2024, March 5-10, 2024, Minneapolis, USA.

4.3 科研費や他の外部資金への応募・獲得結果(直接経費の配分額)及び今年度の応募予定(科研費は年度、種目、不採択の場合は評価値)

2022 年度に獲得した外部資金を以下に示す。

[1] 日本学術振興会・科学研究助成事業・若手研究 (2023-2028), 「ヘリカル波面を持つ電子サイクロトロン放射の発生とその応用」、直接経費 3,500 千円、間接経費 1,050 千円

※2022 年度採択だが本事業による渡米のため 2022 年度は保留扱い。

2023 年度は論文執筆に注力し、その後民間財団への研究助成の申請(例えば住友財団・基礎科学研究助成など)及び他機関との共同研究を拡大していく。

4.4 特許等

該当なし。

4.5 その他、成果として報告すべきもの(あれば)

該当なし。

5. 達成度に対する自己評価及びその理由、研究支援に対する要望等(自由記述)

2022 年度は論文投稿までを目標にしていたため、達成度は 50%程度と自己評価す

る。しかし上述した通り、減衰過程を含む電子サイクロトロン運動と電子サイクロトロン放射という非常に基礎的な現象に着目した結果、特異点効果による光の増幅といった非常に面白い現象を見出すことが出来た。この結果は論文投稿に値すると確信しており、早急に論文執筆を行う。

研究支援に対する要望は特にない。本研究を遂行するため、研究力強化戦略室及び関係者の方々に多大なるご支援を頂き、ここに感謝申し上げます。

以上