

ユニットテーマ提案書

1. ユニットテーマ

ミュオンと核融合科学の融合 (Muon and fusion science collaboration)

2. 核融合としての課題

「ミュオン触媒核融合 (μCF)」という新しい核融合をテーマに核融合研究の基盤拡充にチャレンジする。近年、ミュオン触媒の効率を引き上げる新たな可能性「In-flight μCF (IF μCF)過程」が理論的に見いだされた。本ユニットは、 μCF 研究における喫緊の課題である IF μCF 素過程の検証、及び、効率的なミュオン生成・ μCF 標的に関する技術基盤開発を、現在、国際的に極めて優位な位置にある、ミュオン科学と核融合科学（理論・実験・工学（後述））の融合により、世界に先駆けて推進する。

3. 学術的な特徴づけ

素粒子「ミュオン」の持つ特異な性質：(1)量子的性質、(2)強い結合力、(3)高い透過力、を利用した多彩な学際領域研究を、NIFS の核融合科学との融合により展開する研究ユニットを提案する。本テーマは、以下の 3 つの柱から構成され、(1)・(2)は粒子加速器による人工生成ミュオンを、(3)は高エネルギー宇宙線起因の地上まで透過してくるミュオンを利用する。

- (1) **ミュオン原子・分子科学**：物質科学に普遍的に潜在する原子分子過程の研究
- (2) **ミュオン触媒核融合**：新たな μCF 過程 (IF μCF) 及び、これを高める反応場の研究
- (3) **宇宙線ミュオン応用**：革新的宇宙天気予報を目指した宇宙線ミュオンの応用研究

4. アプローチ (定式化)

(1) ミュオン原子・分子科学：ミュオン原子・分子とは、原子・分子中の電子をミュオンで置き換えたクーロン束縛系である。ミュオンが原子核に接近することで通常の原子・分子系では小さな量子効果が大きく現れる。その量子状態は、高分解能 X 線分光により探究可能で、物質科学に普遍的に潜在する原子分子過程を浮き彫りにすることができる。核融合科学が育んだ原子分子研究とミュオン科学を融合し、世界最先端 X 線検出器を駆使することで、今まで見えなかった少数量子系の時空構造を解明する。最近、この実現可能性を示し [[PRL\(2021\)](#) (NIFS 加藤太治氏との共同研究)]、分光学において「新しい周期表」をもたらす手法として、極めて広い分野へインパクトを与えうることが分かってきた。 μCF (後述)に代表されるようなミュオン原子・分子反応系は、多様な電荷移行反応の宝庫である。10 年間の目標は、精密な実験と理論によってこれらの反応過程を直接検証し、新しい化学反応機構を開拓することである。

(2) ミュオン触媒核融合：重陽子と三重陽子に負ミュオンを加えて分子をつくると、分子内で核融合が起こる。核融合後に再放出されたミュオンが再び分子を作り次々と核融合反応を繰り返す現象をミュオン触媒核融合(μCF)と呼ぶ。近年、その触媒効率を引き上げる新たな可能性(IF μCF)が理論的に見いだされると共に、核融合中性子を用いた長寿命核分裂生成物の低減/資源化への応用技術として核融合科学の社会的意義を高める役割にも注目が集まっている。核融合科学の先端技術(原子分子科学・プラズマ・水素同位体取扱技術・NBI・レーザー加速)との融合により、IF μCF 及びこれを高め

2 ページ以内で記述し、10.5pt・行間1行を使用してください。

る反応場の研究を推進する。10年間の目標は、IF μ CF 触媒効率の検証、 μ CF 用ミュオン源・ミュオン標的の基盤構築、及び将来の加速器の小型化を目指したレーザー加速器開発である。

(3) 宇宙線ミュオン応用：宇宙線ミュオンを地上より全球観測することで、太陽活動に起因する惑星間空間磁場の変動を網羅的に監視し、その影響を予測する「宇宙天気観測・予報」を展開する。従来の科学衛星による観測とは異なり、地上では宇宙天気の変動の影響を直接受けにくい点、観測点を地上に多数配置することで全天を網羅的に観測できる点、太陽フレアなど人類社会に甚大な損害を与える可能性のある宇宙からの影響をいち早く(約半日前に)観測できるという点で独創的である。近年の研究[PRL(2016), PRD(2018)等]により、現在急速に発展している宇宙天気分野へ重要な貢献ができることが明らかになってきた。核融合科学の「複雑磁場中の荷電粒子運動研究」との連携により、地上ミュオン観測から惑星間空間磁場構造の再構成能力を飛躍的に向上させる。10年間の目標は、本手法を導入することにより宇宙天気予報の分野に質的転換をもたらすことである。

5. 学術的展開

ミュオン触媒核融合研究に加えて、その根幹となる「ミュオン原子分子科学」や「宇宙天気分野」においても、独自の手法により新たな研究領域を開拓する。前者は、近年我々が開発した高分解能ミュオン原子分子分光法による少数量子系時空構造の研究で「物質科学に普遍的に潜在する原子分子過程の研究」という広い学術的テーマへの高分解能化を通じた新展開が期待される。後者は、宇宙線ミュオンを宇宙天気観測に利用するという新しい発想による研究で、現在急速に発展している広い宇宙天気分野に対し質的転換をもたらす重要な貢献が期待される。

6. 独自性、優位性など

本ユニットは、国際的に極めて優位な位置にある「少数多体量子理論・原子分子データベース」(理論)、「高分解能超伝導 X 線検出器を用いたビーム実験研究・宇宙線ミュオン研究」(実験)、「NBI・レーザー加速研究」(工学)を最大限に活かし、独創的で promising なテーマ(1)~(3)を掲げ、新規領域を開拓するところに特徴がある。以下、これらのシナジー効果について付言する。近年、飛躍的に発展した少数多体計算により、励起分子形成プロセスを活用した IF μ CF を含む新しい過程の可能性が拓かれ気運が高まってきているところ、具体的な μ CF 標的[特願 2020-503567]や先進ミュオン源[特願 2021-73711]の提案がなされ、 μ CF 研究は新たな局面を迎えている。(1)原子分子研究と(2) μ CF 研究を、NIFS ユニットにおいて同時に進めることでシナジー効果が得られ、新しい μ CF プロセスをはじめとする革新的な核融合研究を、世界に先駆けて飛躍的に発展させることができる。(3)は、宇宙天気予報の中で、世界的にもユニークで将来性のある課題である。地球惑星科学に加え、宇宙天気予報に関わる応用研究という裾野の広い分野に影響を与えうるテーマであり、核融合研究にて飛躍的に発達した複雑磁場研究成果を活用することで創発的に発展できる。これら(1)~(3)のテーマを、NIFS のユニットとして推進し、最先核融合科学を推進する関連ユニットと連携・協力関係のもとで行うことで、画期的成果が得られると期待される。