

| | |
|-----------------|--|
| 軸 | 素過程・相互作用 |
| ユニット名 (英文名) | プラズマ量子プロセス (Plasma Quantum Processes) |
| 核融合科学の キーワード | 高 Z 多価イオン、非等方非平衡プラズマ、プラズマ物質相互作用、負イオン、レーザープラズマ相互作用、プラズマ相互作用、ミュオン触媒核融合、非等温・非線形・非弾性衝突 |
| 学際的展開の キーワード | 原子分子素過程、ミュオン原子分子、高エネルギー密度プラズマ、天体プラズマ、重元素起源、極端紫外・軟 X 線光源開発、超高压物性科学、レーザー量子ビーム科学、ミュオン科学、クォーク・グルーオン・プラズマ |
| 研究組織 | <p>① 核融合研職員 (氏名, 専門分野)</p> <p>村上 泉、プラズマ原子分子過程</p> <p>加藤 太治、原子物理学 (理論)</p> <p>坂上 裕之、原子物理学 (実験)</p> <p>大石 鉄太郎、プラズマ分光計測</p> <p>鈴木 千尋、プラズマ分光計測</p> <p>舟場 久芳、プラズマ計測</p> <p>武藤 貞嗣、プラズマ計測</p> <p>岩本 晃史、低温工学・核融合炉工学</p> <p>森高 外征雄、プラズマシミュレーション</p> <p>山岸 統、プラズマ輸送理論</p> <p>Priti、原子物理学 (COE 研究員)</p> <p>Shivam Gupta、原子物理学 (COE 研究員)</p> <p>加藤 雅敏、原子分子データベース (研究支援員)</p> |

1. ユニットが掲げる研究目的の概要

本ユニットは、プラズマでのミクロな量子プロセスの総合的研究拠点として国内外の共同研究を推進し、低温から高温、低密度から高密度（縮退も含め）に至る多様なプラズマにおいて、量子プロセスがいかにプラズマ物性を規定し、どのようなプラズマ現象として発現し観測されるかについて明らかにする。これにより、ITER や核融合炉における高 Z 不純物の蓄積量・放射パワー評価や挙動解明のための高 Z 原子多価イオンの原子物理的性質と発光スペクトル、非等方非平衡プラズマにおける原子分子挙動のモデリング、原子・分子と輻射場やプラズマ対向壁との相互作用素過程、Warm Dense Matter の原子過程やエネルギー変換機構、負イオン形成固体表面反応、レーザープラズマ相互作用などの課題を解決する。また、クォーク・グルーオン・プラズマの研究を通し、素粒子の理論・実験の成果を含めて核融合反応を理解するとともに、高エネルギー加速器実験の検出器等から核融合プラズマ実験のための新たな計測のヒントを得ることを目指す。学際的な展開として、様々な天体プラズマ現象（太陽コロナ、太陽風、超新星爆発、キロノバなど）の観測データの解釈、各種プラズマ応用研究で必要とされる多様な原子分子素過程データと物理モデルの構築を行うことにより、多様なプラズマ研究の発展に資する。多価イオン磁場閉じ込めプラズマにおける非等温・非線形・非弾性衝突を含む輸送現象の物理を探求する。

負イオン形成固体表面反応は、中性水素ビーム生成に大きくかかわってくる。Cs 吸着金属表面、あるいは Cs 吸着金属以外の材料表面での負イオン生成過程を探求する。

また、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、特に、ミュオン原子・分子科学において精密な実験と理論による新たな化学反応機構の開拓を目的とした研究を推進する。また、プラズマ装置学ユニット等と連携し、ミュオン触媒核融合 (μCF) に対する研究の基盤拡充を図る。

2. 取り組む研究課題

本ユニットで取り組む研究課題と具体的なテーマを以下に記す。

- (1) 高 Z 多価イオンの基礎研究: 高 Z 多価イオンの原子構造計算と分光モデル開発、実験との比較検証、不純物嘘うモデルへの取り組み、多価イオン原子過程実験研究、高強度軸フリー電子ビームイオントラップ装置（新型 EBIT）開発とこれを用いた光一多価イオン相互作用実験研究、特にレーザー吸収分光法による精密分光実験、原子データ整備によるキロノバ研究、原子分子データベース構築と多様なプラズマへの応用
- (2) 高 Z 多価イオンのプラズマ分光計測: プラズマ分光計測、不純物研究、レーザー生成プラズマの分光計測
- (3) 複雑系量子過程の表現に関する研究: 統計理論の適用、新規表現法の研究: 量子多体系の第一原理計算への機械学習の応用、数学との連携
- (4) 負イオン生成過程、表面相互作用（プラズマ装置学ユニットとの連携研究）
- (5) プラズマ計測技術開発: トムソン散乱計測、X線イメージング計測機器開発及び解析用

ソフトウェア開発

- (6) 原子過程を考慮したプラズマ理論・シミュレーション研究：プラズマ熱輸送解析及び不純物輸送解析、非等温・非線形・非弾性衝突輸送理論・シミュレーション、高強度場におけるプラズマダイナミクス、周辺プラズマの運動論シミュレーション
- (7) レーザー物質相互作用での素過程・相互作用・構造形成、レーザー生成プラズマの物性と分光、その応用：レーザー生成プラズマと EUV 光源開発研究、レーザー生成プラズマによる高 Z 多価イオン赤外・EUV 分光と天体プラズマ応用、レーザーを用いた反粒子生成に関する研究、非線形レーザープラズマ物理研究、輻射流体プラズマ、特に超高密度縮退プラズマの物性研究、プラズマ相互作用、ターゲット材料の物性研究とターゲットデザイン
- (8) 極限プラズマ物性：クォーク・グルーオンプラズマと核融合のかかわりの検討
- (9) ミュオン原子分子過程：ミュオン原子分子の少数量子系の時空構造の解明、ミュオン触媒核融合にかかる新しい化学反応の開拓、飛行中 μ CF 過程の実証と μ CF 用標的・ミュオン源の基盤構築、負ミュオン源用加速器のデザイン

3. 期待される研究成果、学術的価値、波及効果

磁場閉じ込めプラズマ中の不純物タンゲステン発光スペクトルの中性から高価数までの分光データ及び原子データ・分光モデルの蓄積・構築・整備は、周辺からコアへ至る不純物挙動・放射パワーの基礎研究、放射量評価の精度向上のみならず、複雑な疑似連続スペクトルの解明による量子力学における電子相関、相対論効果の検証、複雑な原子構造のより見通しの良い表現方法の新解釈など、あらたな展開が期待できる。多価イオン研究は、基礎科学分野から工学分野に至るまで波及効果が期待できる（太陽コロナ、キロノバ、次世代リソグラフィ光源、生体顕微鏡など）。

負イオン生成研究では、Cs 吸着面からイオン性プラズマ中のシース電位内における荷電粒子ダイナミクスの解明、これにより NBI、加速器、プロセスプラズマ、宇宙航行用スラスタ分野への波及効果が期待される。

高強度場中の量子電磁気学過程がプラズマダイナミクスへもたらす効果の体系化を行うことにより、核融合周辺プラズマや天体・宇宙プラズマにおける弱電離プラズマの理解と制御法の展開、超高強度レーザーを用いた再現実験を通し、高エネルギープラズマ現象への多角的アプローチの実現を目指す。

多価イオン輸送研究において、非等温・非線形・非弾性衝突過程のモデル化や運動論シミュレーション手法の発展によって理論分野に貢献し得ると共に、開発した数値コードによる非軸対称性をもつトカマク配位などにおける輸送係数の高精度計算などを通じて、従来詳細を調べるのが困難だった多価電離した複数高 Z イオン群の輸送特性や主プラズマへの影響など、応用面においても貢献しうる。

ミュオン原子分子科学の基盤理論研究や新たなミュオン源の開発は、ミュオン触媒核融合に加え、負ミュオン非破壊分析などの様々な応用分野での進展が期待される。