

ユニットテーマの軸「素過程・相互作用」公聴会

2022年1月24日(月)

ユニットテーマ

『ミュオンと核融合科学の融合』

軸

素過程・相互作用

軸

装置学・技術

岡田 信二 (中部大学)

核融合としての課題

○ 核融合のテーマとして何にチャレンジするか？

Muon Catalyzed Fusion

『ミュオン触媒核融合 (μ CF)』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

- **背景**：近年、ミュオン触媒の効率を引き上げる新たな**素過程**の可能性「In-flight μ CF」(IF μ CF)が、理論的に見いだされた。
- **課題**：IF μ CF 素過程の**検証**、及び、効率的な μ 生成・ μ CF標的に関する**技術基盤開発**

学際的な特徴付け (何の研究か?)

素粒子「ミュオン」の持つ、以下の3つの
特異な性質を利用した**多彩な学際領域研究**：

①量子的性質，**②強い結合力**，**③高い透過力**

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 μ CF過程
(IF μ CF)、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

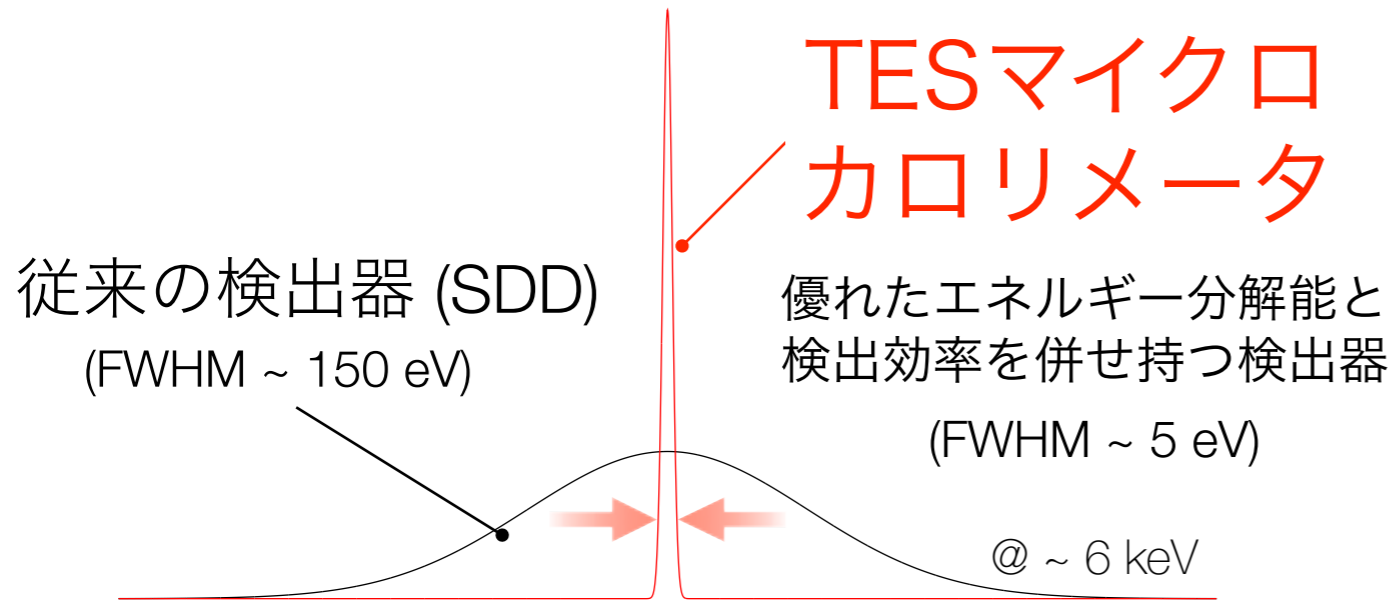
素過程・相互作用 軸

アプローチ

① ミュオン原子・分子科学

- (a) 革新的分光技術の導入
- (b) 新しいミュオン原子分光手法
- (c) ミュオン『分子』高精度分光

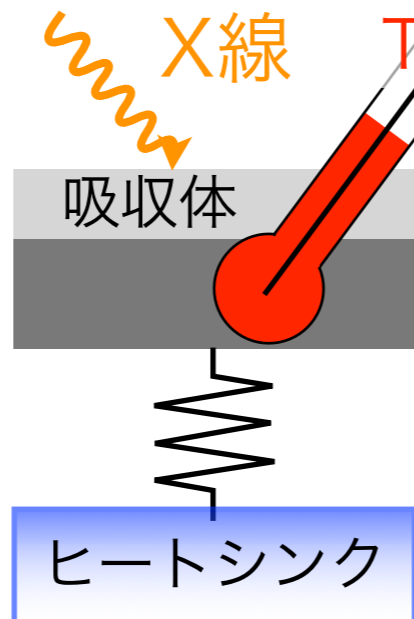
(a) 革新的分光技術の導入



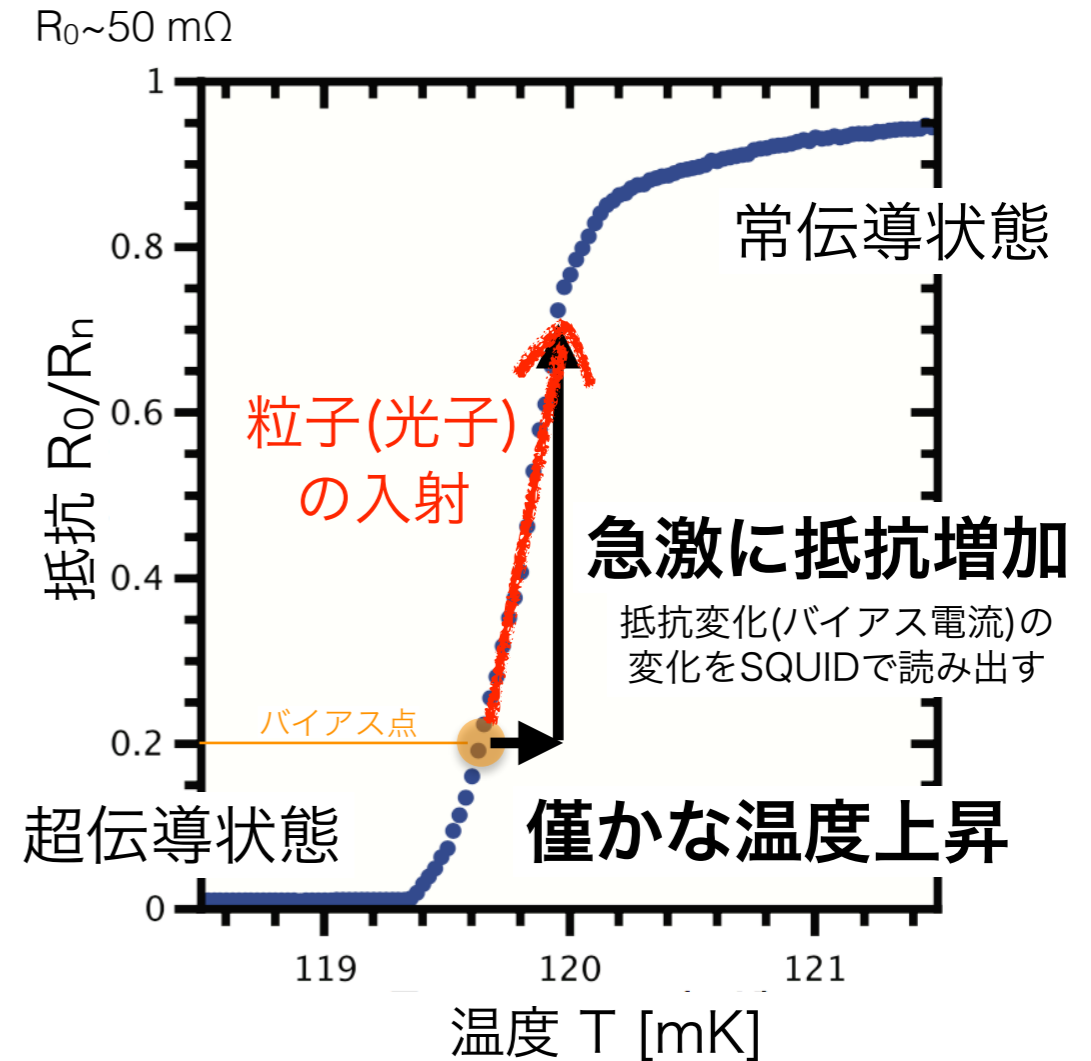
TES microcalorimeters

高感度
温度計
TES

1. 入射粒子が吸収体に吸収される
2. エネルギー ΔE はフォノンに変換
3. **僅かな温度上昇** を高感度温度計 **TES** で測定する



Transition Edge Sensor



高分解能を実現 ($\Delta E / E \sim 10^{-3}$)

(b) 新しいミュオン原子分光手法

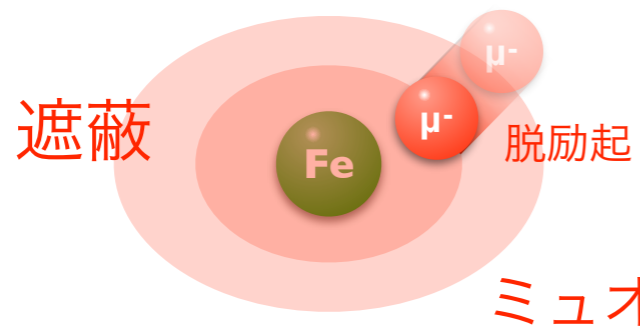
PRL127, 053001 (2021)



Mn ?

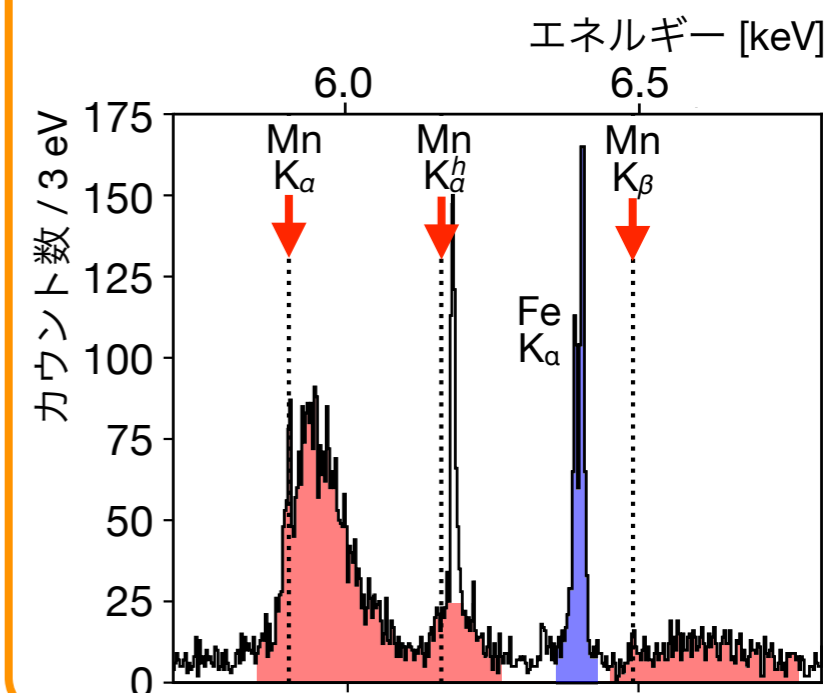
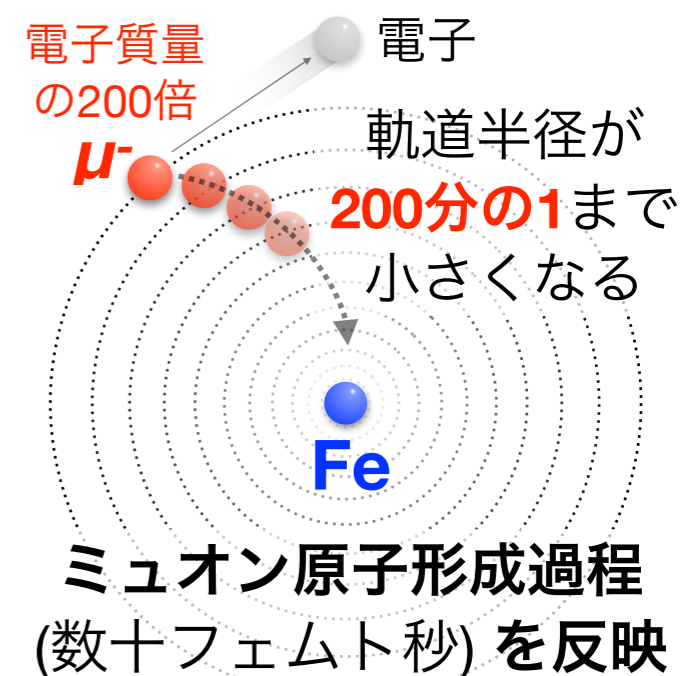
電子特性
X線

ミュオン原子
(μFe)



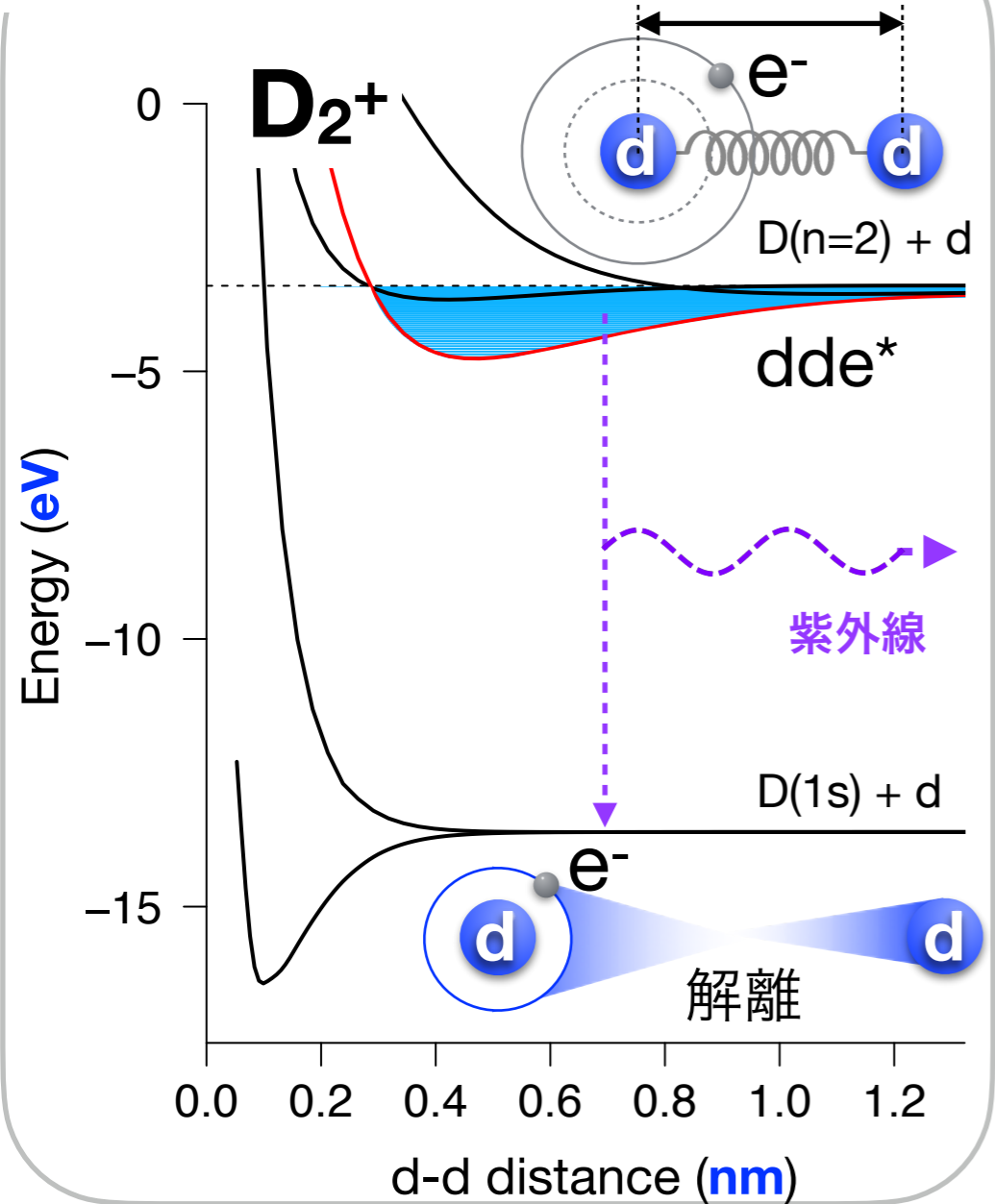
電子の軌道

- ✓ Feの電荷 (+26) は μ^- (-1) によって遮蔽
- ✓ 電子にとっては、原子番号25のMnにみえる
- ✓ μ 原子脱励起中にみると遮蔽具合が変化
- ✓ 『原子形成過程』の全貌を捉えることが可能

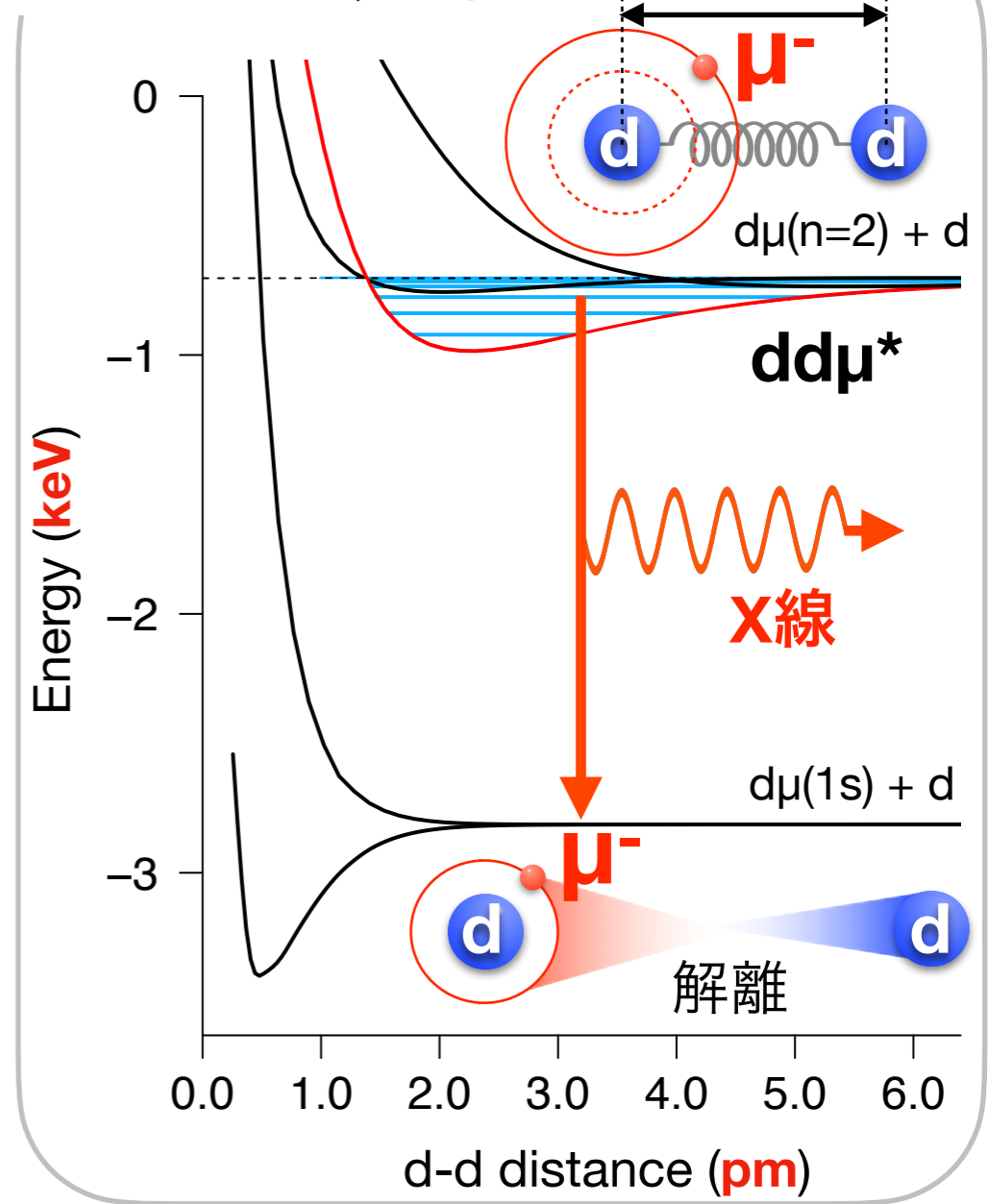


(c) ミュオン 『分子』 高精度分光

通常の分子



ミュオン分子



- 核間距離 1/200倍
- エネルギー 200倍
- dとμの質量が近く断熱近似成立しない
- d d μ*は零点振動が大きく準位間隔が疎

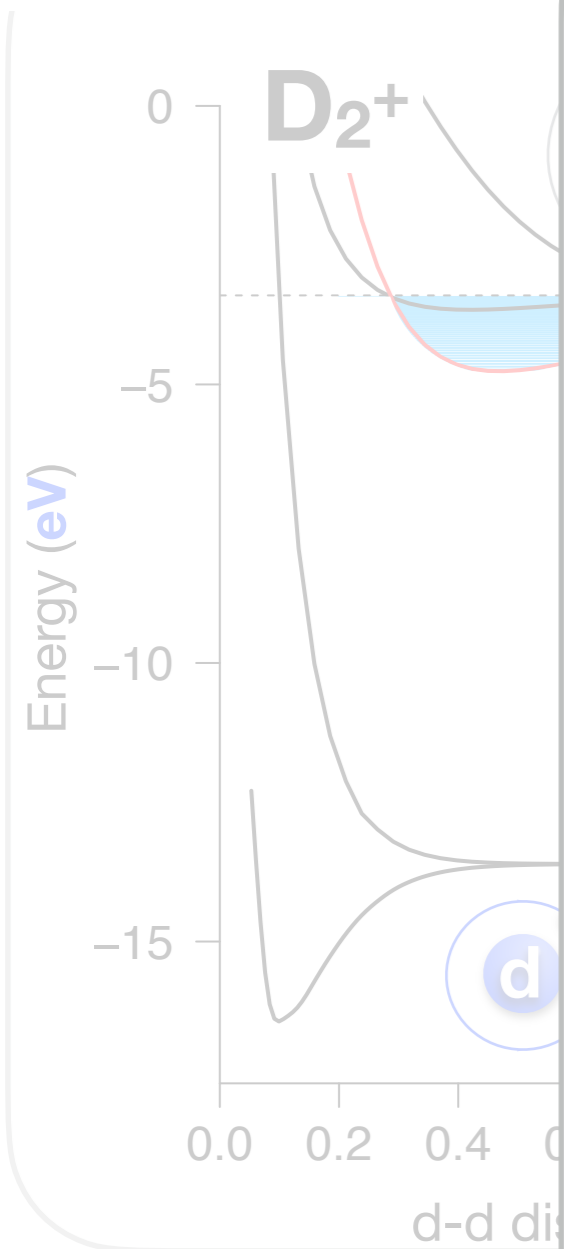
断熱近似の破れ「非断熱性」はあらゆる分子過程に普遍的⇒ **μ導入により顕在化させ検証できる**

- ❖理論：原子核と重い負電荷粒子の運動を同時に解く厳密な少数多体系計算
 - ❖実験：ミュオンビーム中のX線測定において非常に高いエネルギー分解能
- が要求される。

⇒ 実験/理論の両面で**未踏の領域**

(c) ミュオン 『分子』 高精度分光

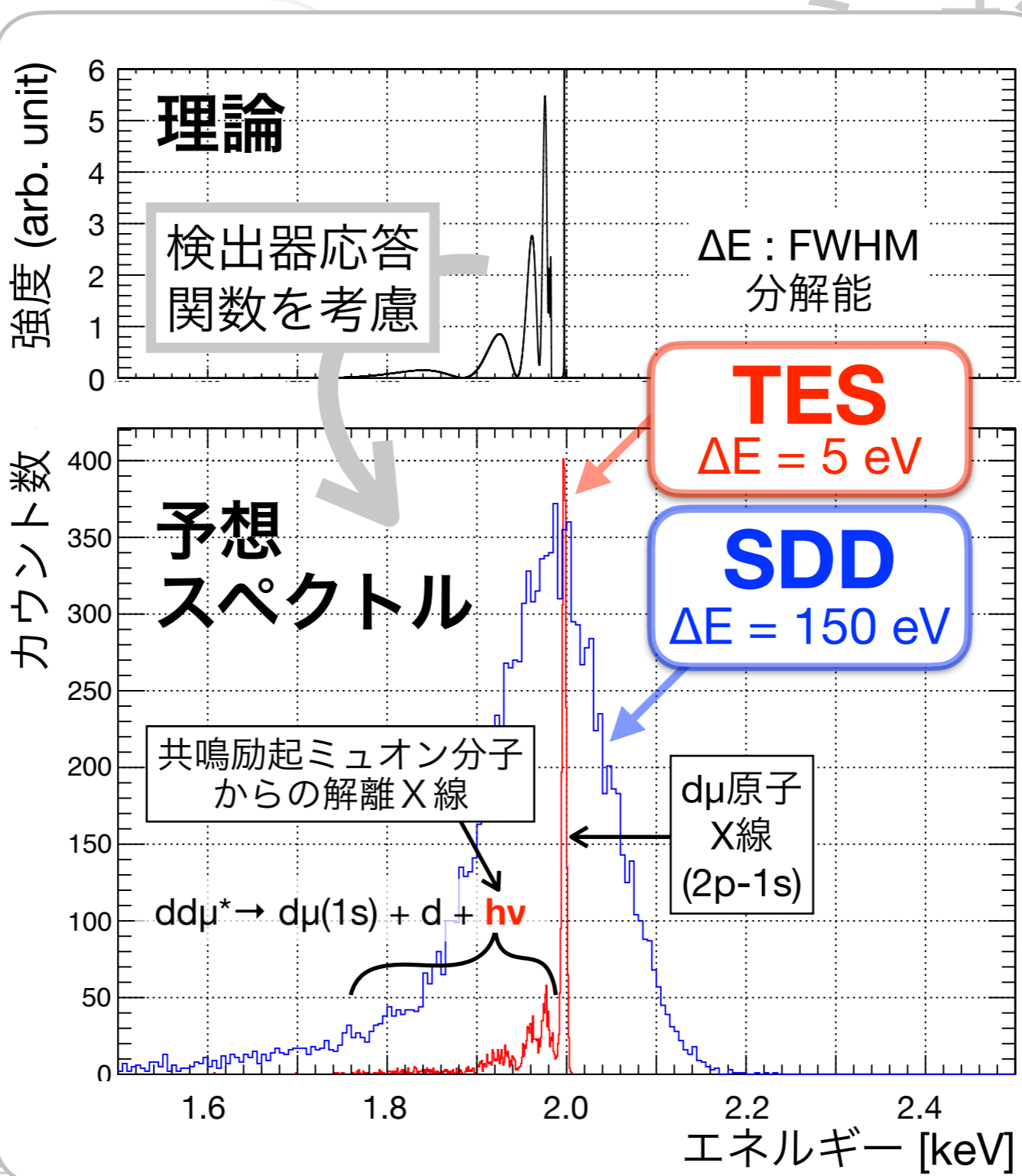
通常の分子



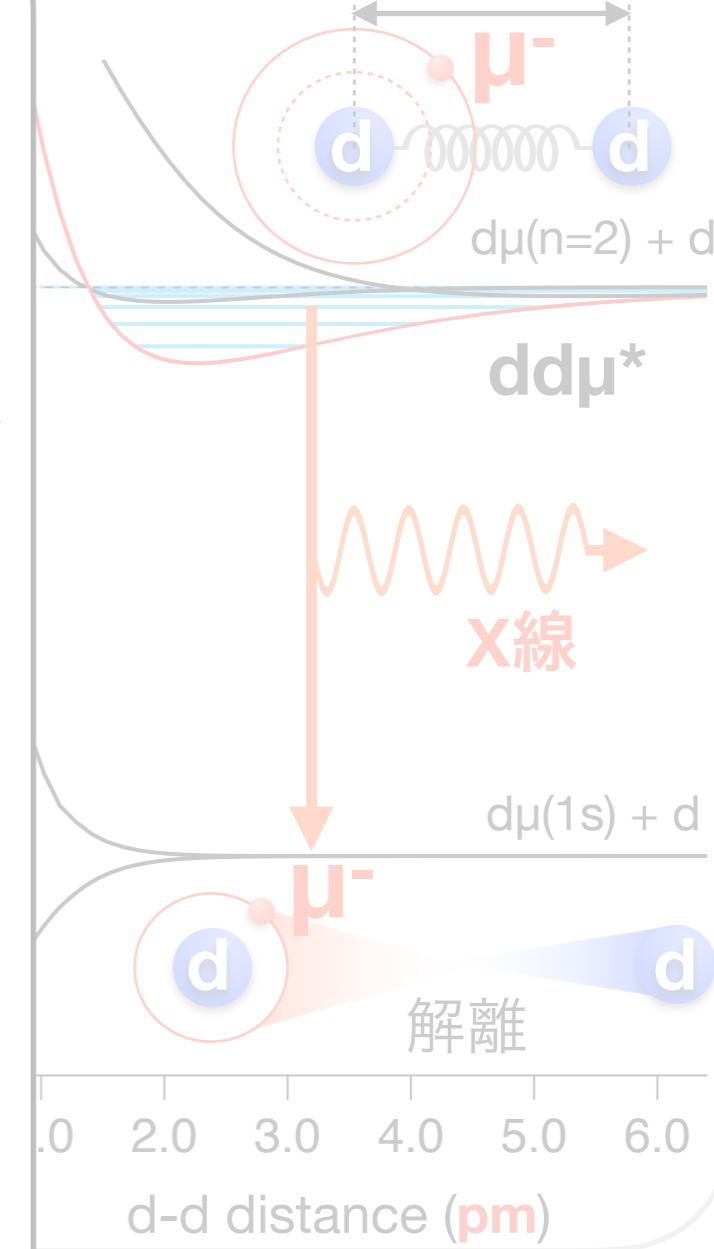
断熱近似の破れ「非

❖理論：原子核と重

❖実験：ミュオンビーム中のX線測定において非常に高いエネルギー分解能



ミュオン分子



より顕在化させ検証できる

系計算 } が要求される。

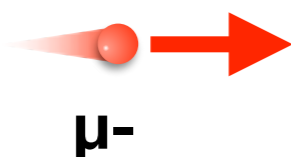
⇒ 実験/理論の両面で未踏の領域

アプローチ

② ミュオン触媒核融合

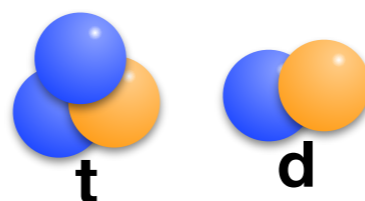
(a) ミュオン源

大強度ミュオンビーム

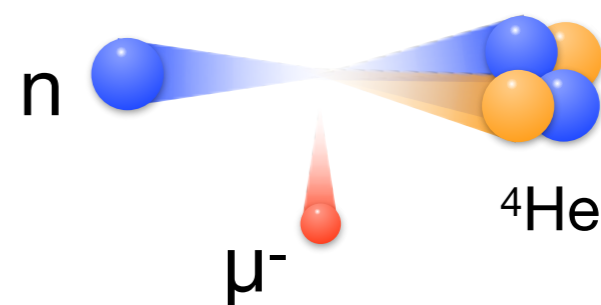


(b) ミュオン標的

高密度・定常循環



(c) 素過程の理解



(a) ミュオン源開発 (イオン源/加速器)

(b) μ CF標的開発 (定常循環型標的)

(c) 素過程に関する理解

装置学
・技術

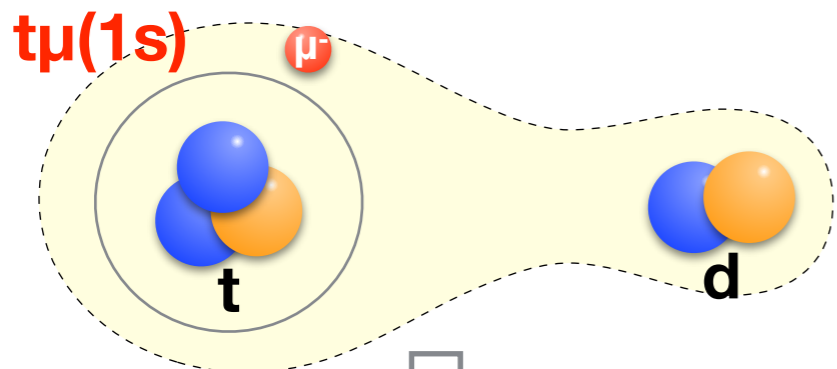
素過程・相互作用

軸

ミュオン触媒核融合 「新たな素過程」

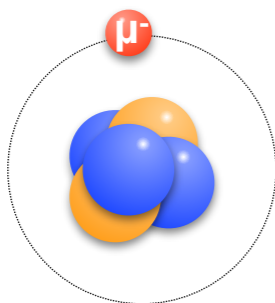
従来

(Vesman 機構)



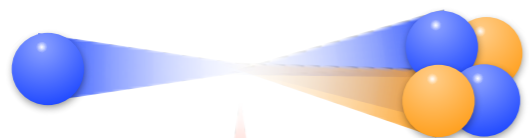
dt fusion

分子内で
核融合



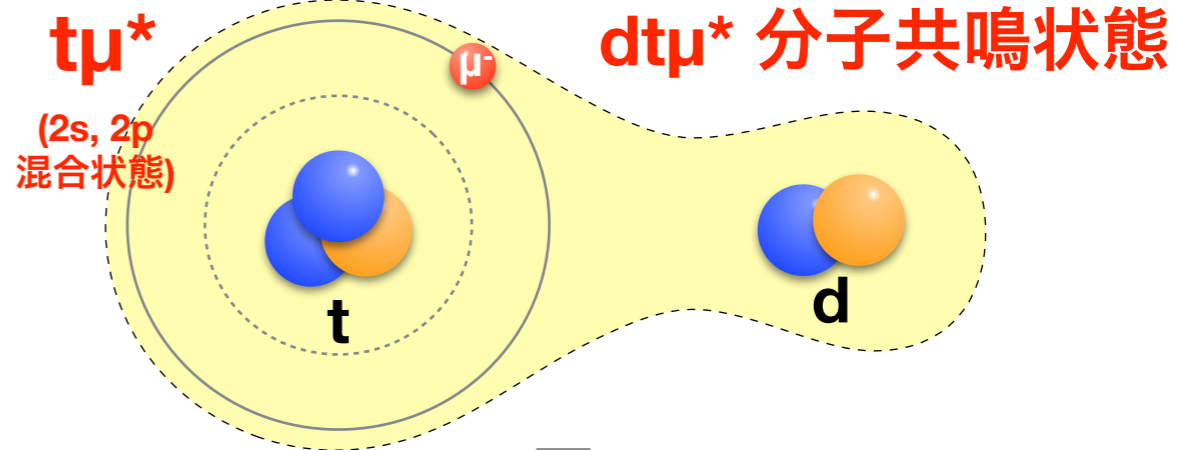
n

⁴He



μ⁻

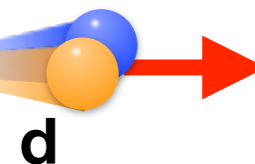
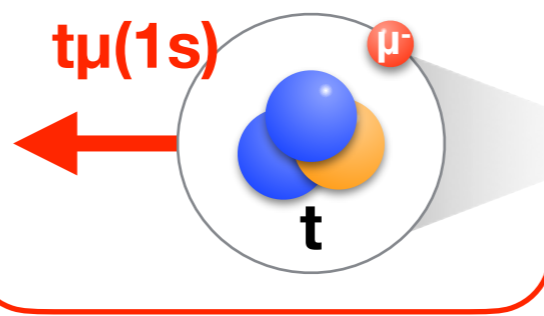
新たな素過程 (IF-μCF)



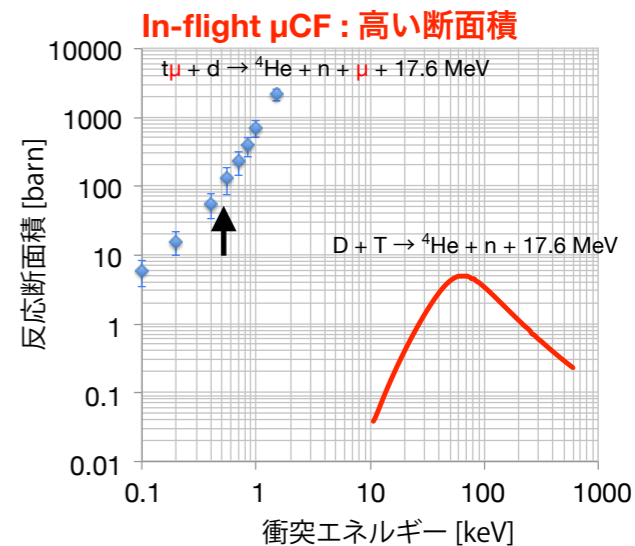
解離

1 keV tμ原子

tμ(1s)

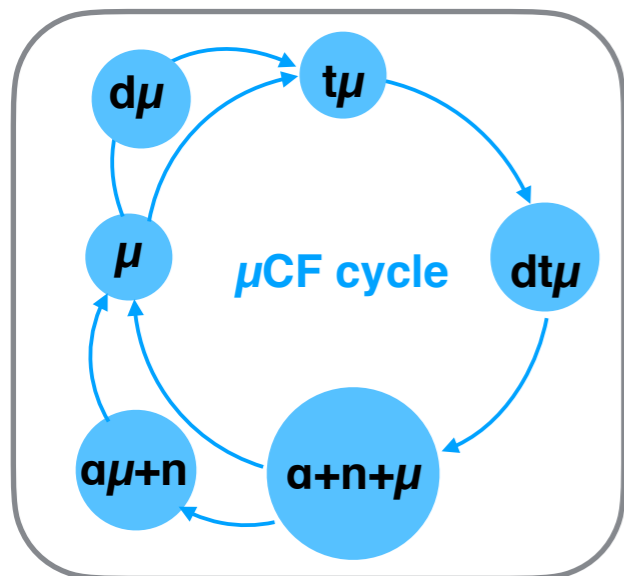


他のD₂ガスに衝突し
高い断面積で
「In-flight」による
核融合を起こす

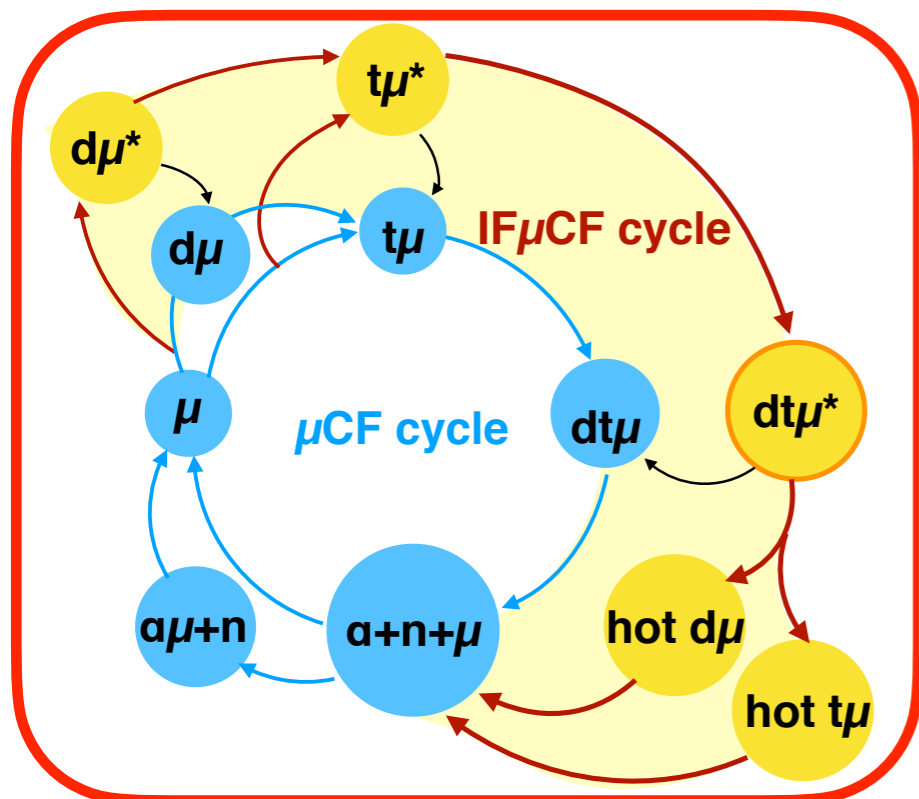


IF- μ CF 素過程の研究

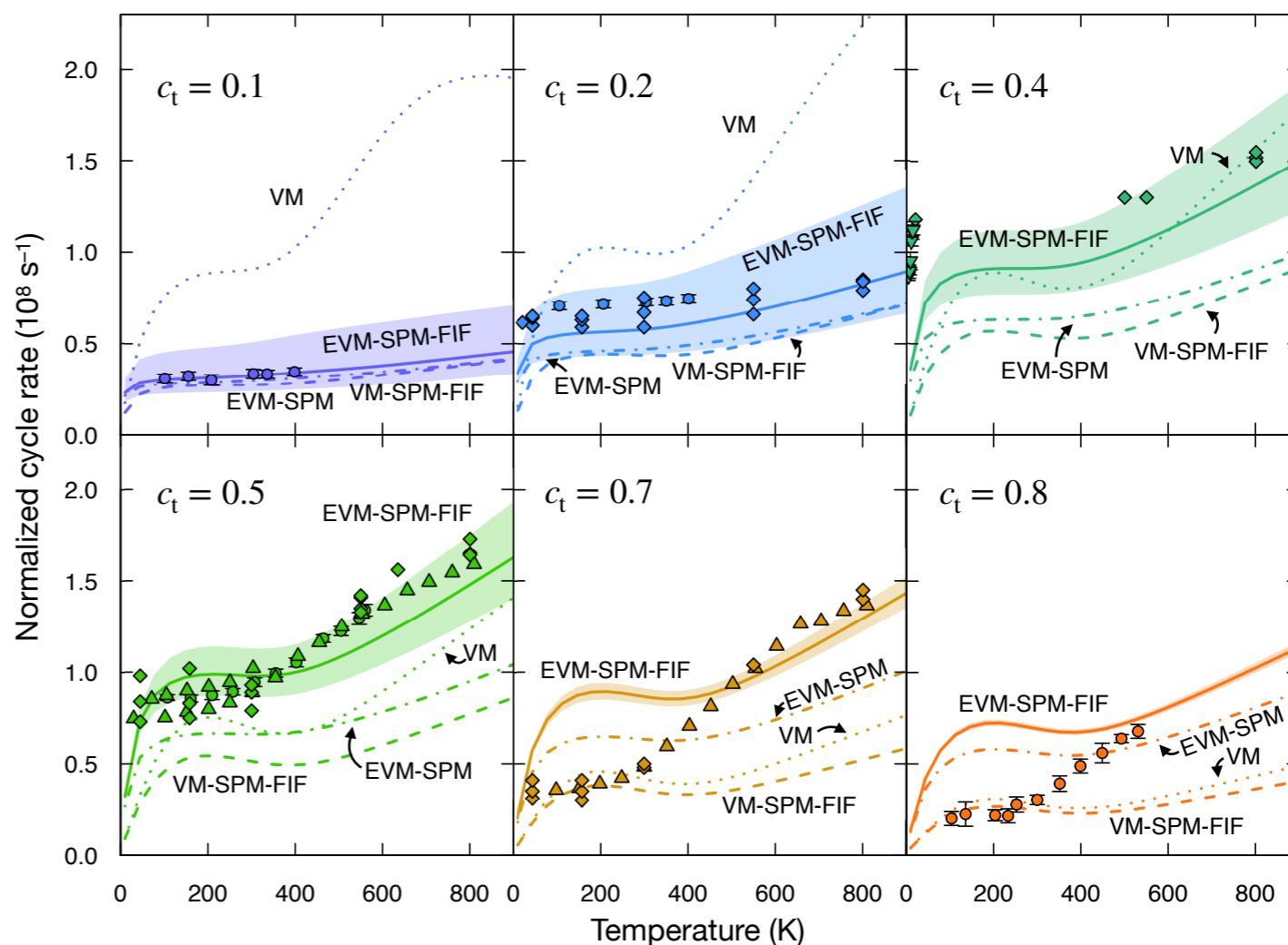
従来の μ CFサイクル



新しい μ CFサイクル



断熱近似を脱却した新しい少数多体系計算: $(dt\mu^*)e \rightarrow$ 電子も含めた4体計算



論文投稿済 (東北大: 山下・木野 他)

従来の μ CFサイクルでは説明できなかった
反応速度の温度依存性を説明することに成功!

⇒ 直接的な実験検証を目指す

($dd\mu^*$ 精密分光実験はその第一歩)

学際的展開

- ミュオン触媒核融合(μ CF)
- 核融合の意義
- 核融合科学の基盤強化

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



共通焦点

核融合科学

ミュオンを用いた 多彩な分野への拡がり

● 焦点

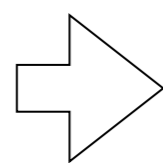
- エキゾチック原子分子科学
- 新しい分光学
- 災害予知・宇宙天気

独自性・優位性など

国際的に極めて優位な位置にある：

- 理論：「少数多体量子理論・原子分子データベース」
- 実験：「超伝導検出器を用いたビーム実験研究・宇宙線ミュオン研究」
- 工学：「イオン源 (NBI)・レーザー加速研究」

を最大限に活かし、新規領域を開拓する。



2つの軸：
 ✓素過程・相互作用
 ✓装置学・技術
 にて提案。

近年、IF μ CF という新過程の可能性が拓かれ気運が高まってきた。

「原子分子研究」と「 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過程をはじめとする、
 「核融合研究を豊かにする」革新的な研究を世界に先駆けて展開する。