

# Dissociative Recombination of $\text{HeH}^+$ at Large Center-of-Mass Energies

(大きな重心系エネルギーにおける $\text{HeH}^+$ の解離性再結合)

T. Tanabe et al.

Phys. Rev. Lett. 70 (1993) 422

## [内容]

1. 背景
2. 装置
3. 原理・特色
4. 結果
5. まとめ

柴田研究室

99-1740-9 中野健一

# 1. 背景

- 解離性再結合(Dissociative Recombination = DR)

{ 結合 : イオンと電子が結びつくこと ( $A^+ + e^- \rightarrow A$ )  
解離 : 粒子が構成要素に分かれること ( $AB \rightarrow A + B$ )



## オーロラの輝き

太陽風の電子と超高層大気の酸素や窒素とのDR

- HeH<sup>+</sup>のDR  $HeH^+ + e^- \rightarrow He + H$   
小さな重心系エネルギー ( $E_{c.m.} = 0$  eV) におけるHeH<sup>+</sup>のDRは確認されている。大きな重心系エネルギーでは未確認。

- DR過程の起こる頻度(断面積)  
HeH<sup>+</sup>をイオン源から取り出す際にかかる電場の強さに依存  
電場の強さによって励起状態にあるHeH<sup>+</sup>の割合が変化

## 2. 装置

### ・ 貯蔵リングTARN IIと電子冷却装置

場所 東京大学原子核研究所(東京都田無市)

#### イオンビーム( $\text{HeH}^+$ )

エネルギー 9.53 MeV

運動量の幅  $p/p \sim 10^{-3}$

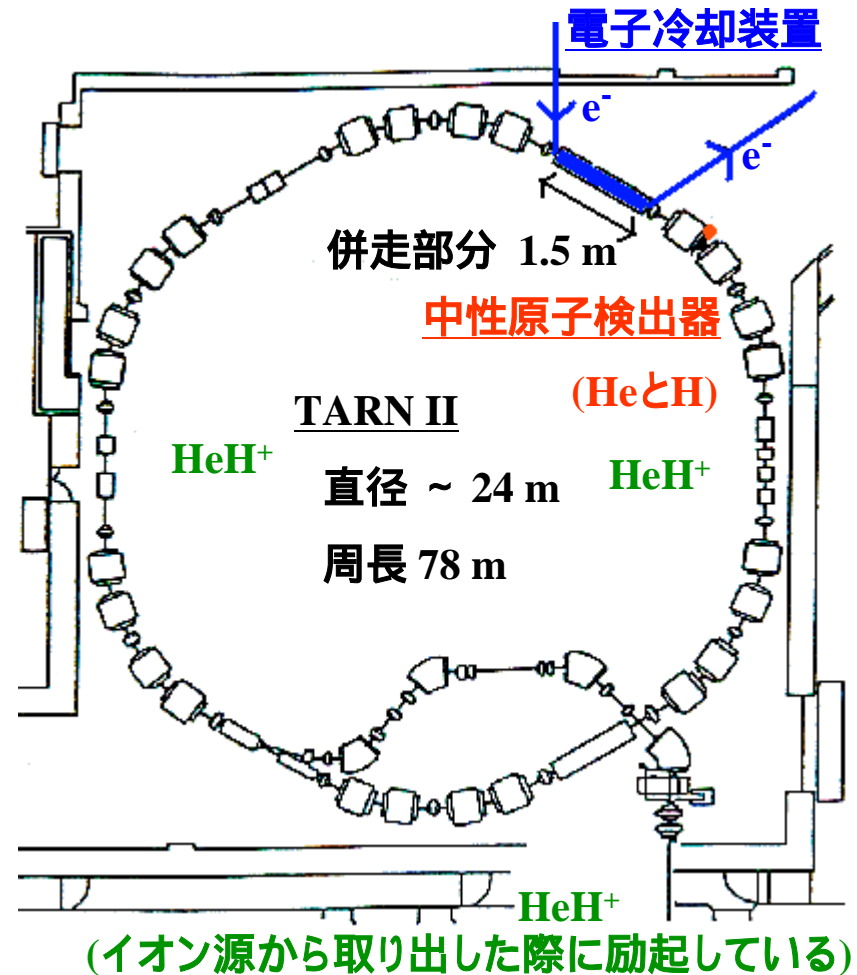
#### 電子ビーム( $e^-$ )

直径 5 cm

電流 0.2 ~ 0.3 A

#### 中性原子検出器

固体検出器(SSD) 34 mm





電子冷却装置

# 3. 原理・特色

- 貯蔵リングの使用

衝突頻度(ルミノシティ)が増加する。  
(単衝突型に比べて $10^3$ 倍程度)

貯蔵時間を変えることにより、  
励起状態にある $\text{HeH}^+$ イオンの割合が変わる。  
(時間経過による崩壊：励起状態 基底状態)

- 重心系エネルギー  $E_{c.m.}$  の決定

- 電子 : 加速電圧  $V_c$  からエネルギー  $E_e$  は一意に決まる。
  - $\text{HeH}^+$  : エネルギーは一定 (9.53 MeV) である。
- 加速電圧  $V_c$  から重心系エネルギー  $E_{c.m.}$  が求まる。

- 中性原子の計数を測定

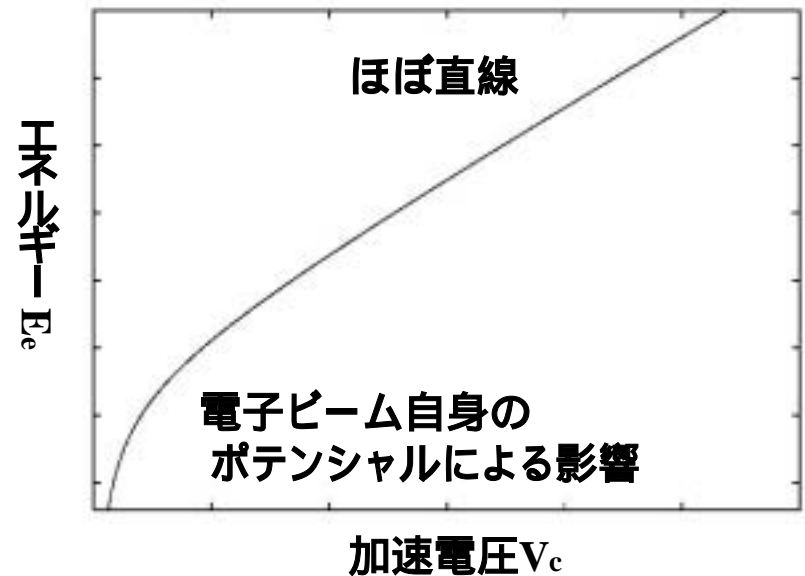
(DR :  $\text{HeH}^+ + e^- \rightarrow \text{He} + \text{H}$ )

電子の加速電圧依存性

重心系エネルギー  $E_{c.m.}$  依存性を求める。

$\text{HeH}^+$  の貯蔵時間依存性

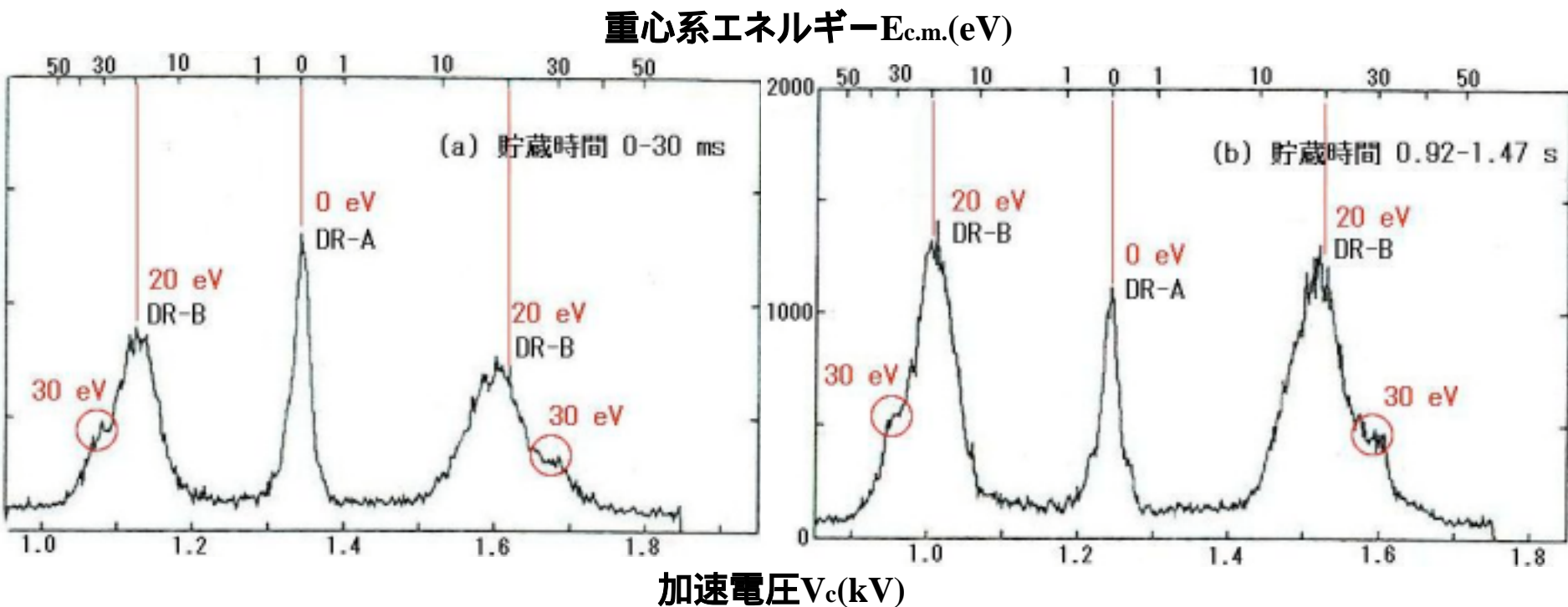
$\text{HeH}^+$  励起状態のDRへの影響を調べる。



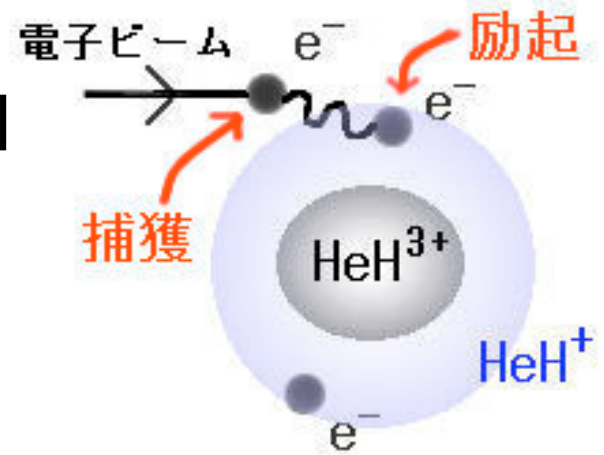
# 4. 結果

- 中性原子の計数の加速電圧依存性

DR-Bは $E_{c.m.} \sim 20$  eVに生じ、 $E_{c.m.} \sim 30$  eVに肩が有る。  
貯蔵時間により、DR-AとDR-Bの計数比が変わる。

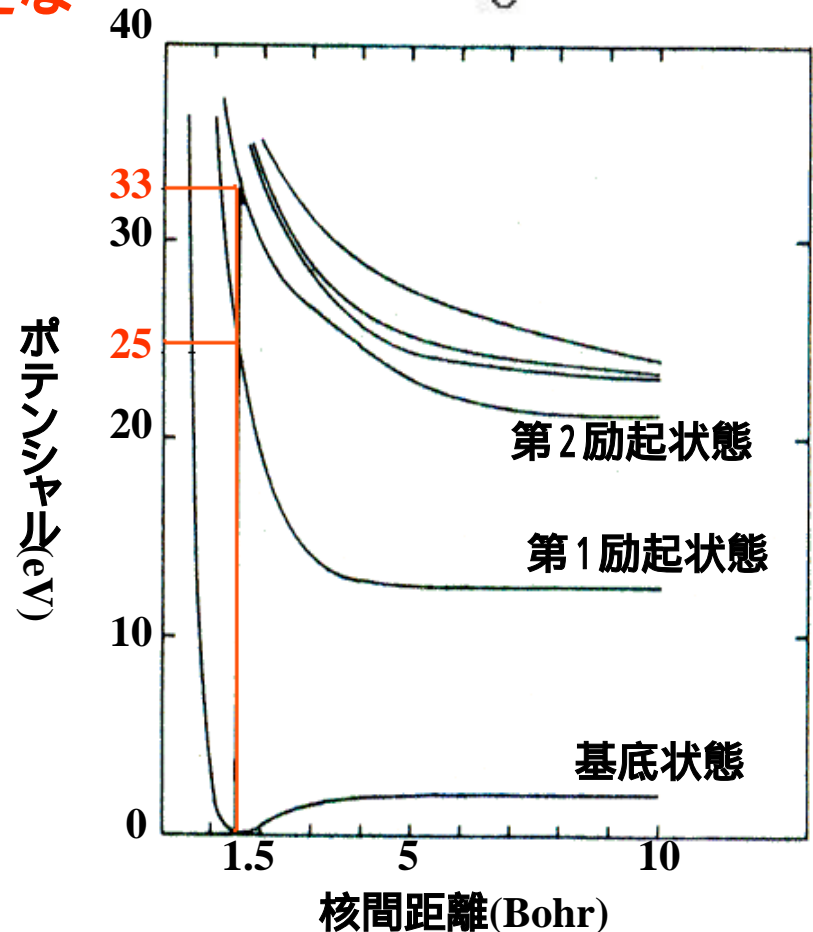


- DR-Bのピークと肩が生じる理由  
電子の励起を伴ったDR



反応前、HeH<sup>+</sup>イオンのHe原子核とH原子核の核間距離は、安定な1.5 Bohr付近にある。

核間距離1.5 Bohrにおいて、  
 { 第1励起状態・・・25 eV  
 { 第2励起状態・・・33 eV  
 DR-Bの測定値とほぼ一致  
 { ピークの位置 ~ 20 eV  
 { 肩の位置 ~ 30 eV





- ピークの計数の貯蔵時間依存性

各プロットの横棒 = 時間間隔

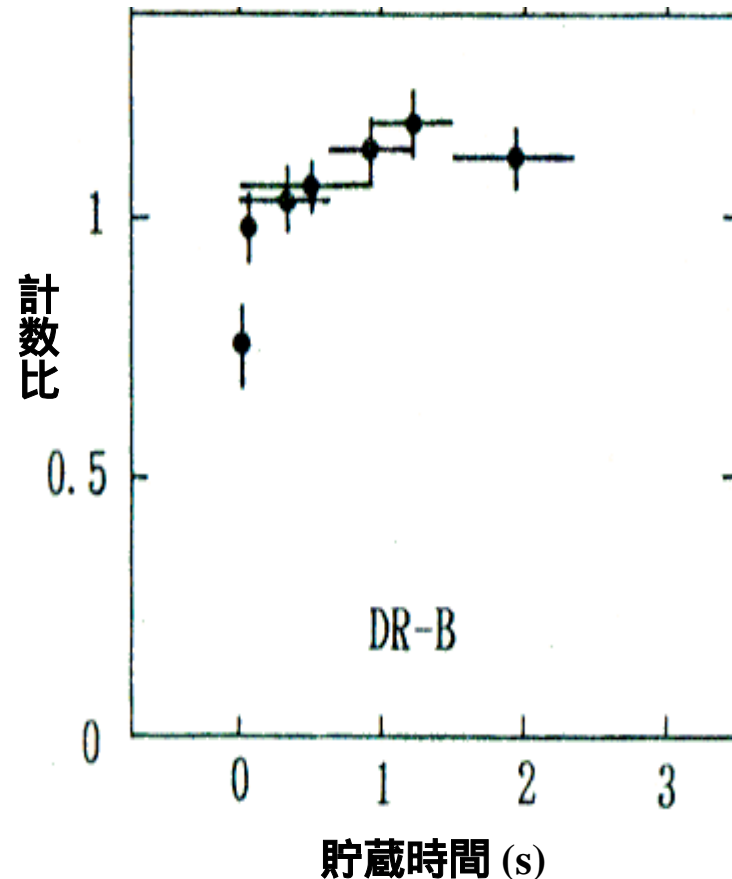
DR-Bは0秒近傍で小さい

HeH<sup>+</sup>が励起状態にある

波動関数は節状で拡散している

反応後の波動関数との  
重なりが小さい

遷移する確率が小さい

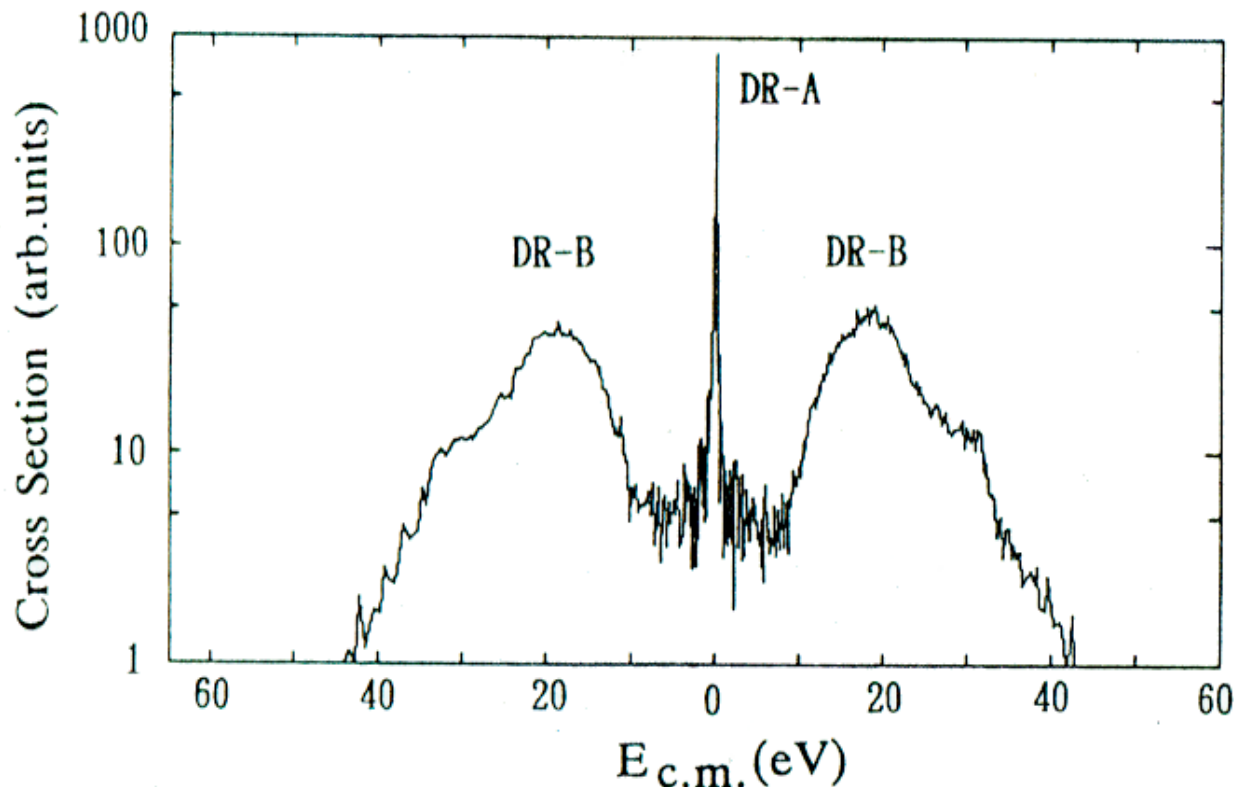


• 計数率 $C_n$ から断面積 を求める

$$\sigma = \frac{C_n e^2}{I_i I_e L} \cdot \left| \frac{V_i V_e}{V_i - V_e} \right| \cdot F$$

I: 電流、V: 速度 (i: イオン、e: 電子)  
 L: 衝突区間長、F: 有効衝突面積  
 $C_n$ : 信号計数率

比較すべき理論は今後研究されるべきものである。



## 5. まとめ

- HeH<sup>+</sup>の解離性再結合(DR)に、2種類目のピークが発見された。
  - DR-A  $\cdots E_{c.m.} \sim 0$  eV (既知)
  - DR-B  $\cdots E_{c.m.} \sim 20$  eV
- DR-Bは電子の励起を伴った過程である。断面積を算出することも出来た。比較できる理論計算の研究が望まれる。
- ピークの計数の貯蔵時間依存性は、HeH<sup>+</sup>イオンが励起状態から基底状態に崩壊することに起因する。

1994年に仁科賞を受賞

田辺徹美「クーラーリングを用いた電子・分子イオン衝突の精密測定」

## 6. 質問・回答(後日追加)

- 電子冷却装置とは何か(3枚目)

冷却とはビーム内粒子の運動量のばらつきを減少させることであり、この装置は電子ビームを用いて他のビームを冷却する。今回の実験ではHeH<sup>+</sup>イオンビームを冷却することが目的ではないので、本来とは違った使い方をしていることになる。

- グラフのDR-Bの位置について(7枚目)

6枚目の説明にあるように、加速電圧 $V_c$ (下)から重心系エネルギー  $E_{c.m.}$  (上)は一意に求まる。だがその関係は、 $E_{c.m.} = 0$  eVについて対称となっているわけではない。このグラフは $V_c$ (下)が基準なので、DR-Bが左右対称でないように見えるだけである。

- ピークの計数の貯蔵時間依存性について(9枚目)  
HeH<sup>+</sup>イオンが**励起状態にある割合**は、貯蔵開始時が最も大きく、以後**減少していく**。説明してあるように、**励起状態ではDRが起こりにくい**ので、貯蔵時間が長くなって励起状態が減少すれば、計数は増加するはずである。