

原子分子データ活動に関する研究会
2011.3.11 @ 航空会館 (新橋)

多価炭素イオンと水素原子・分子の 電荷移行断面積

首都大学東京
理工学研究科・物理学専攻
田沼 肇

委託研究課題：

低エネルギー領域における炭素多価イオン (C^{4+}) と水素原子・分子の電荷移行断面積の測定 (励起水素原子も含む)

参考データ：

他の価数 ($q = 2, 5$) の炭素多価イオンと水素分子との電荷移行断面積

CH_4 標的における電荷移行断面積

Charge Exchange : 電荷交換, 荷電變換
Charge Transfer : 電荷移行, 電荷移動
Electron Transfer : 電子移行, 電子移動
Electron Capture : 電子捕獲

Single electron capture, SC :



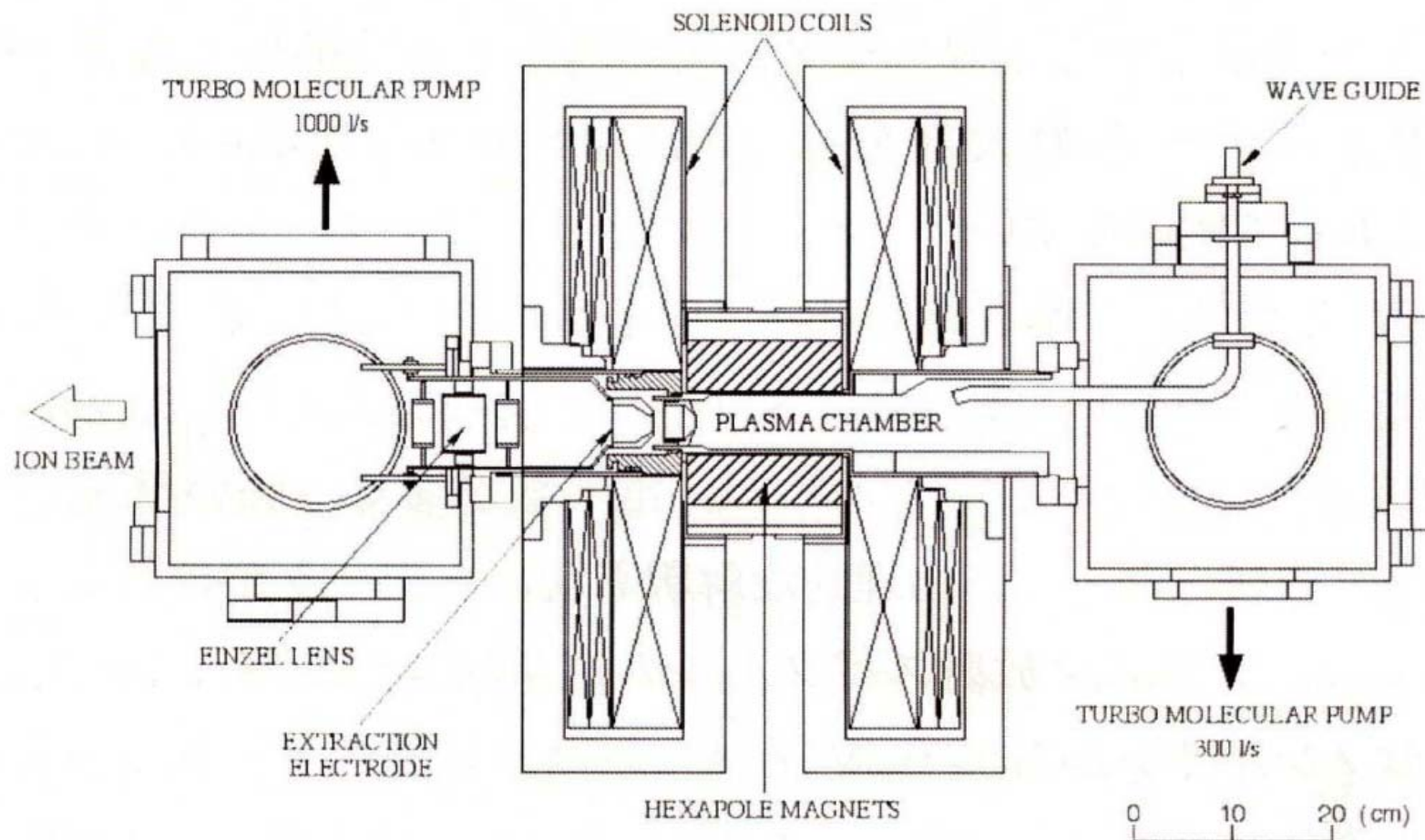
“True” double electron capture, TDC :



Transfer ionization, TI :



電子サイクロトロン共鳴型多価イオン源



MW : 14.25 GHz, 100 - 500 W

Coils & Magnets : $B = 1 \text{ T}$

**14.25 GHz ECR
ion source**

Analyzing magnet

Switching magnet

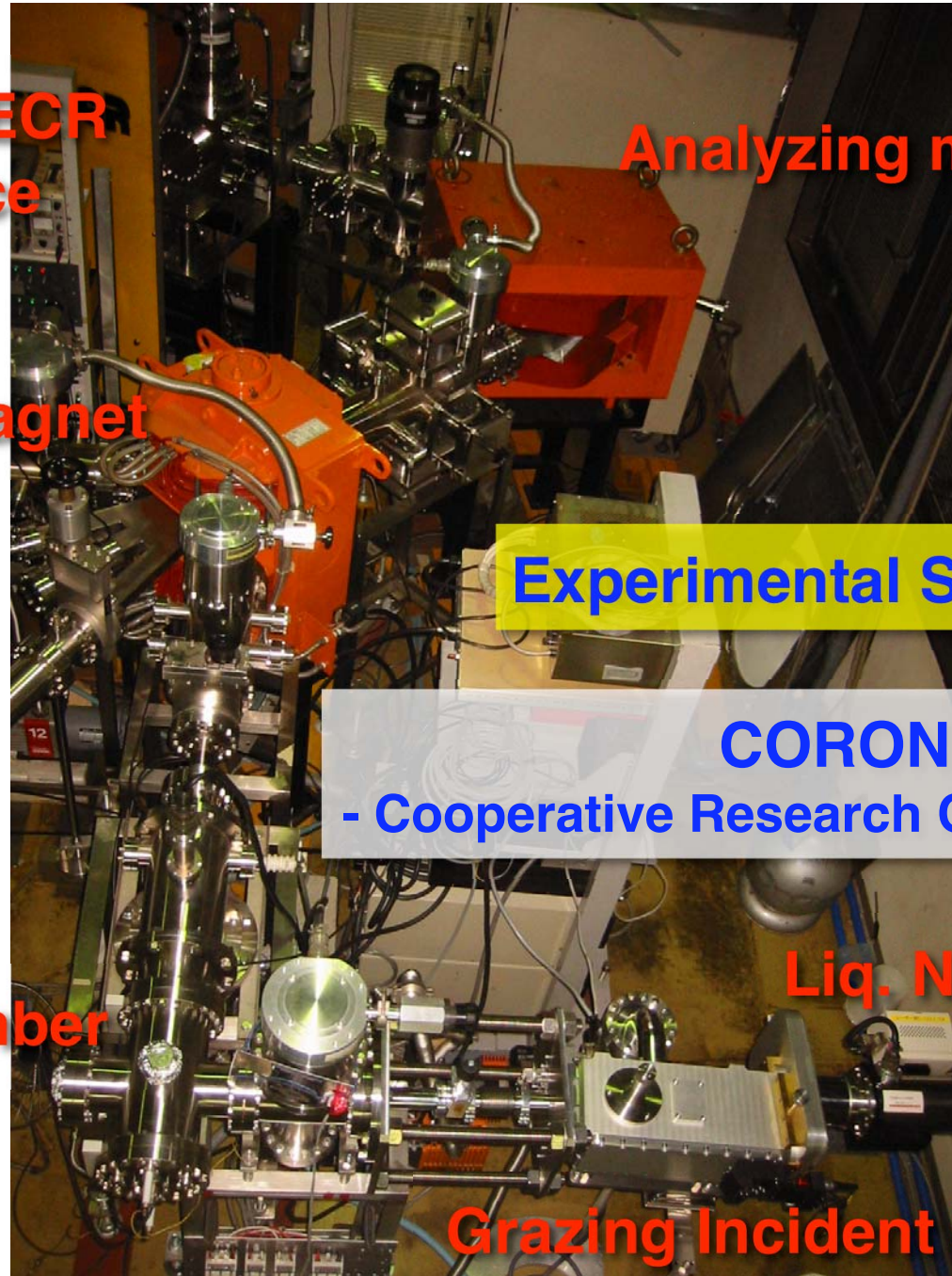
Experimental Setup

**CORONA
- Cooperative Research On Novel Atoms -**

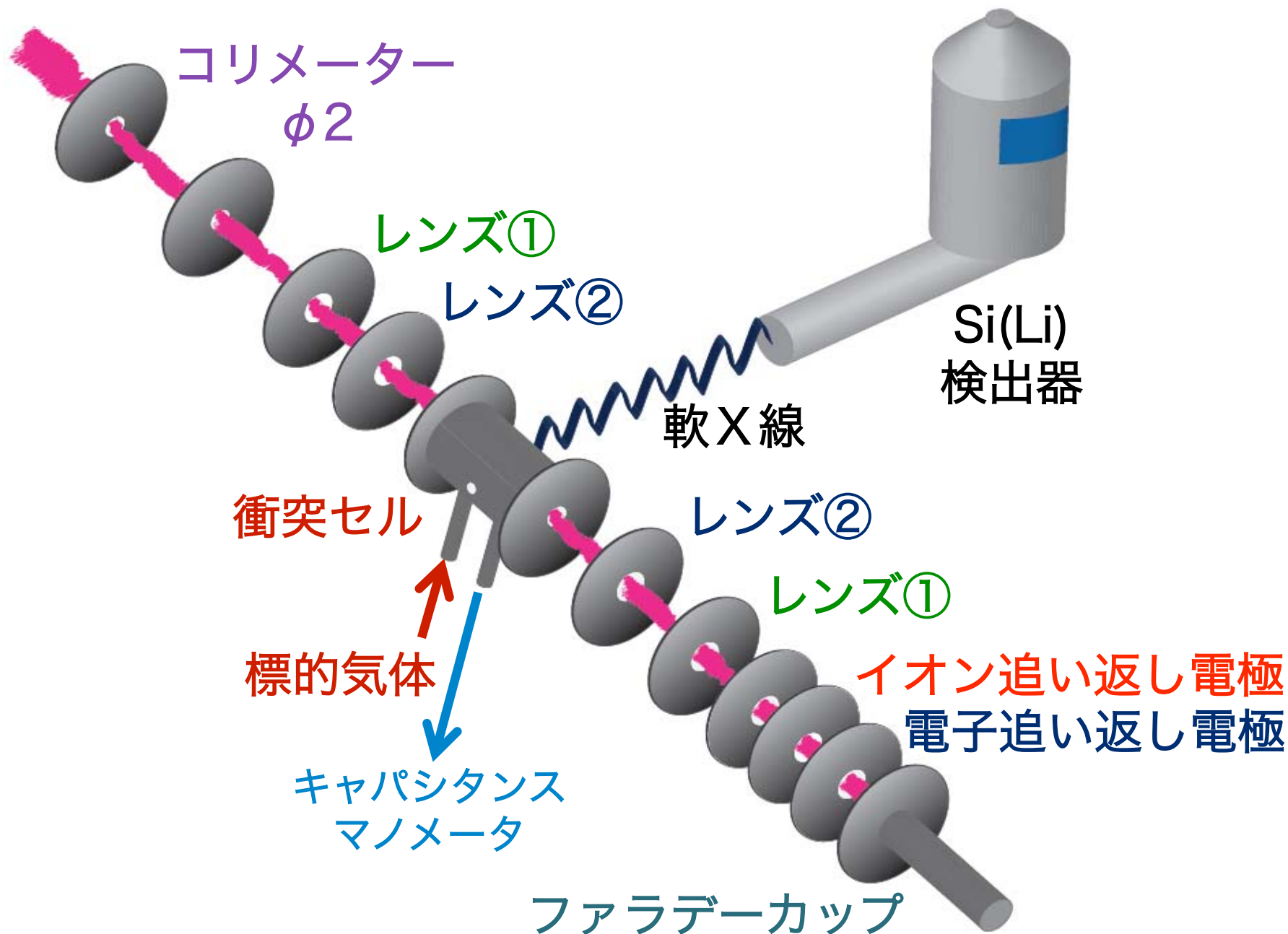
Collision chamber

Liq. N₂ cooled CCD

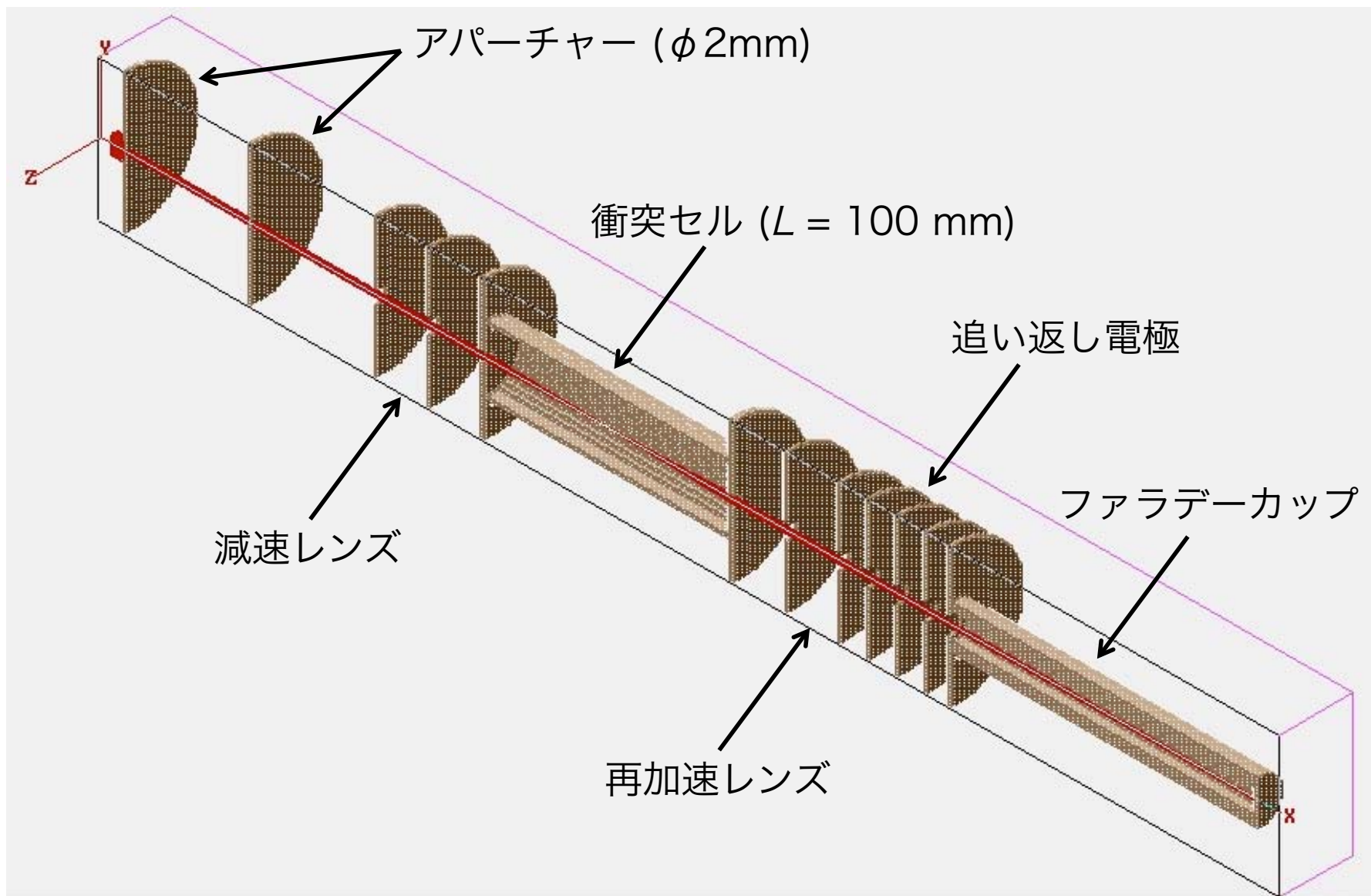
Grazing Incident Spectrometer



測定部の概略



SIMIONによる軌道シミュレーション



減衰法による一電子移行断面積測定

$$\frac{dI}{dx} = -(\sigma_{SC}n)I$$

$$I_x = I_{x=0} \exp(-\sigma_{SC}nx) \approx I_{x=0}(1 - \sigma_{SC}nx)$$

$$\sigma_{SC} \approx \frac{1}{nl} \cdot \frac{I_{q-1}}{I_q} \cdot \frac{q}{q-1}$$

n : 標的気体の数密度

l : 衝突領域の長さ

I_q : 入射イオンの電流値

I_{q-1} : 価数が1つ小さくなったイオンの電流値

多価イオンの電荷移行断面積の計算

量子論：

- AOCC (原子軌道緊密結合法)
- MOCC (分子軌道緊密結合法)

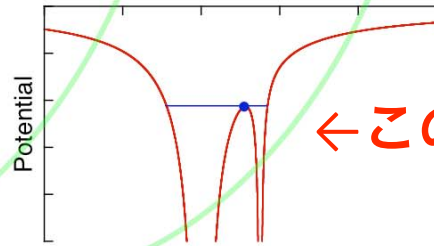
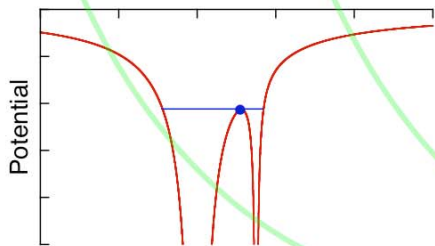
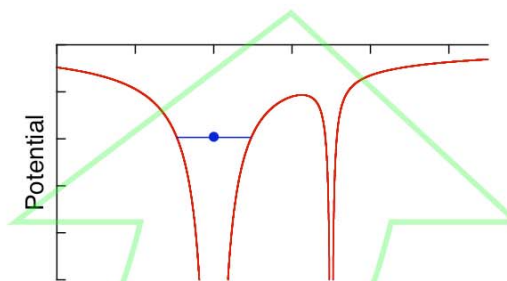
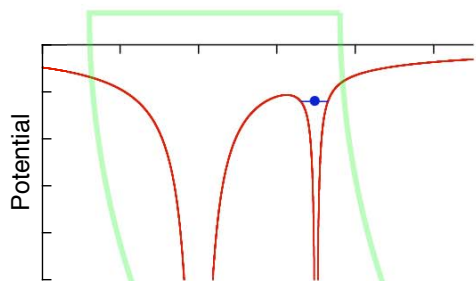
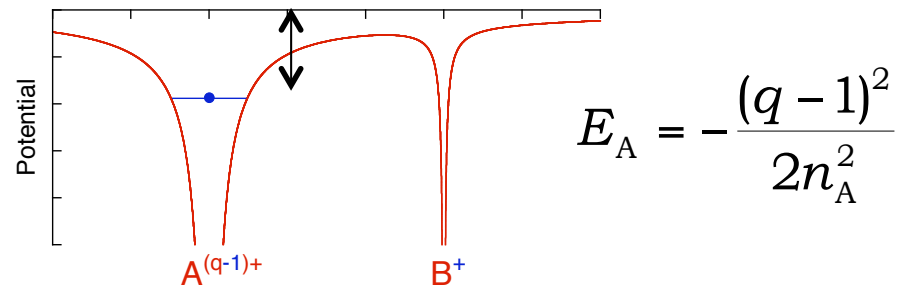
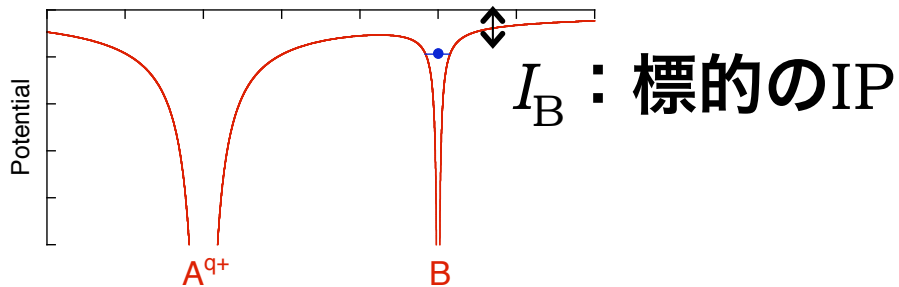
半古典論：

- Landau-Zener型ポテンシャル交差モデル

古典論：

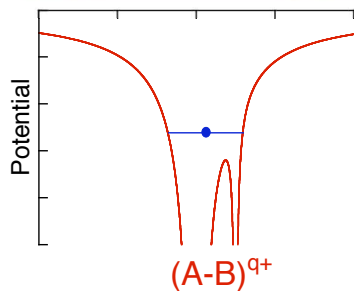
- Classical Trajectory Monte Carlo
- Classical over the Barrier Model

Classical over-the-barrier model



$$\sigma = \pi R_C^2$$

←このときの核間距離が重要



主量子数 : $n_A = \left\{ \frac{1 + 2\sqrt{q}}{2I_B(q + 2\sqrt{q})} \right\}^{\frac{1}{2}} q$

標的によって捕獲準位が異なる

(A. Niehaus, 1986)

Scaling rules for the constant cross section region

Empirical scaling rule :

Mueller-Salzborn : Phys. Lett. **62A** (1977) 391.

$$\sigma_{q,q-1} / \text{cm}^2 = 1.43 \times 10^{-12} \frac{q^{1.17}}{(I / \text{eV})^{2.76}}$$

Scaling rules based on COBM :

M. Kimura *et al.* : J. Phys. B **28** (1995) L643.

$$\sigma_q / \text{cm}^2 = 2.6 \times 10^{-13} \frac{q}{(I / \text{eV})^2}$$

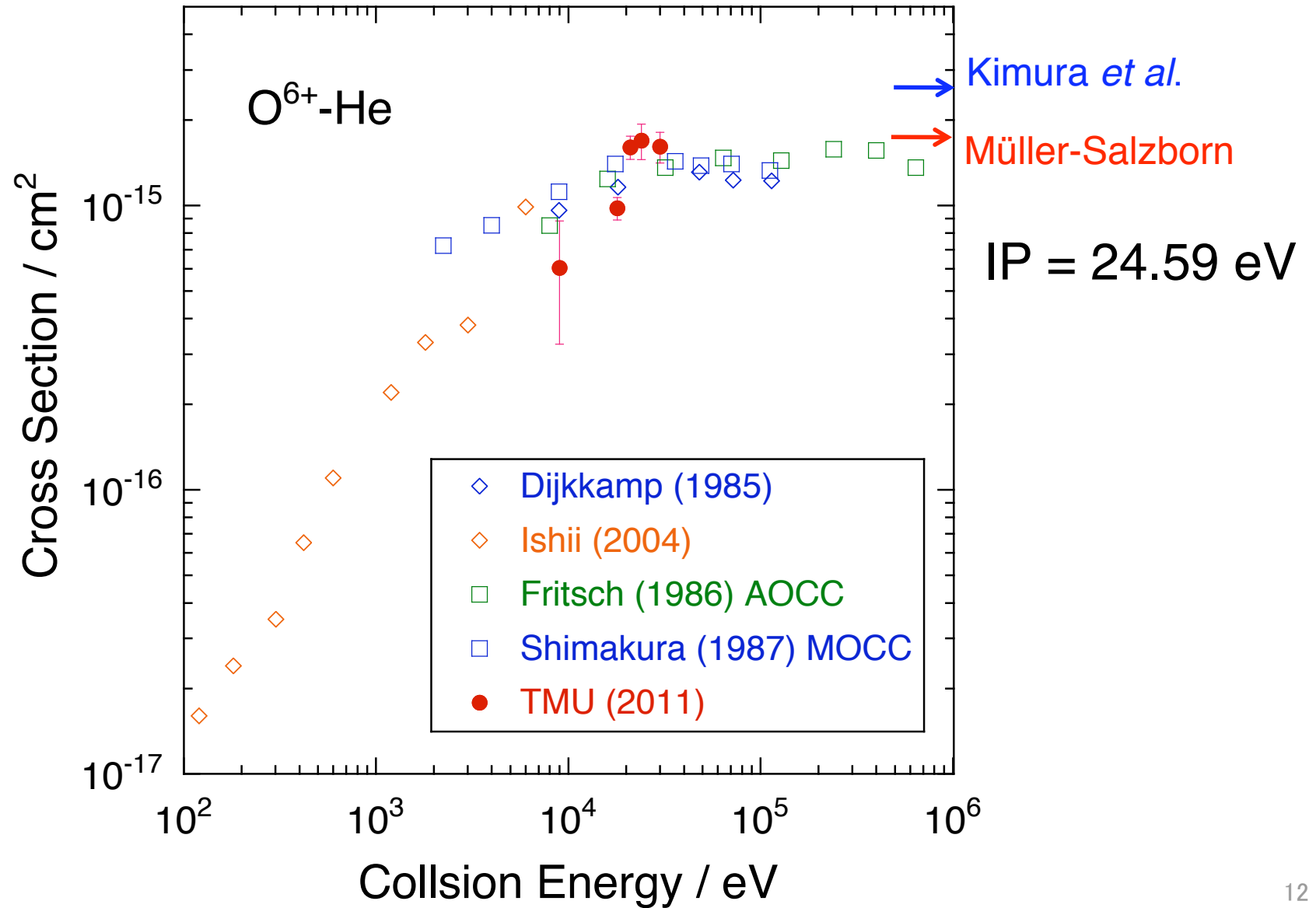
N. Selberg *et al.* : Phys. Rev. A **54** (1996) 4127.

$$\sigma_q^r / \text{cm}^2 = 2.7 \times 10^{-13} qr / \left[I_1^2 I_r^2 \sum_{j=1}^N (j / I_j^2) \right]$$

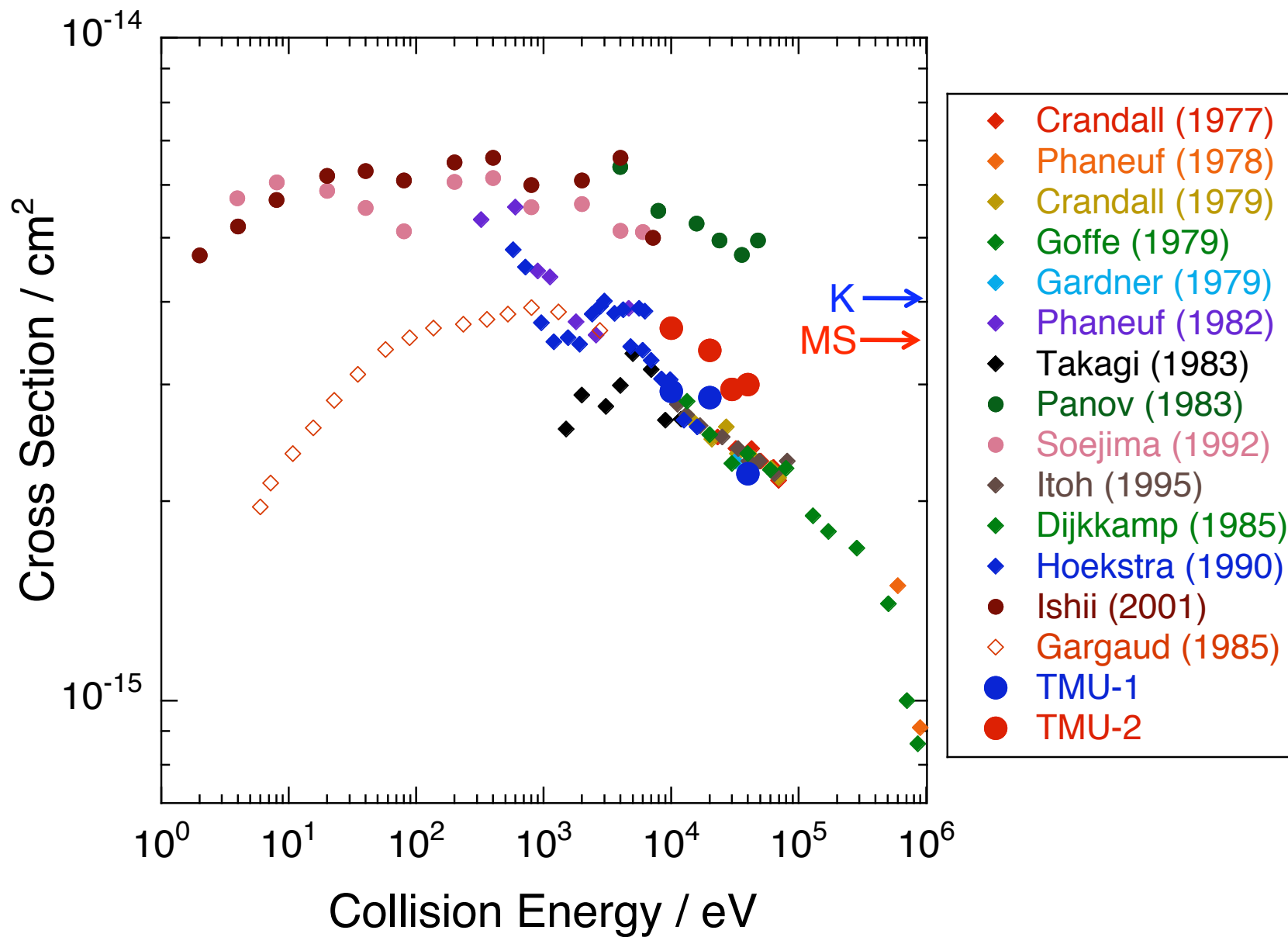
I_j : The j -th ionization energy in eV

N : # of outer shell e^- (2 for He, 8 for Ar and Xe)

O⁶⁺ - He



C⁴⁺ - H₂



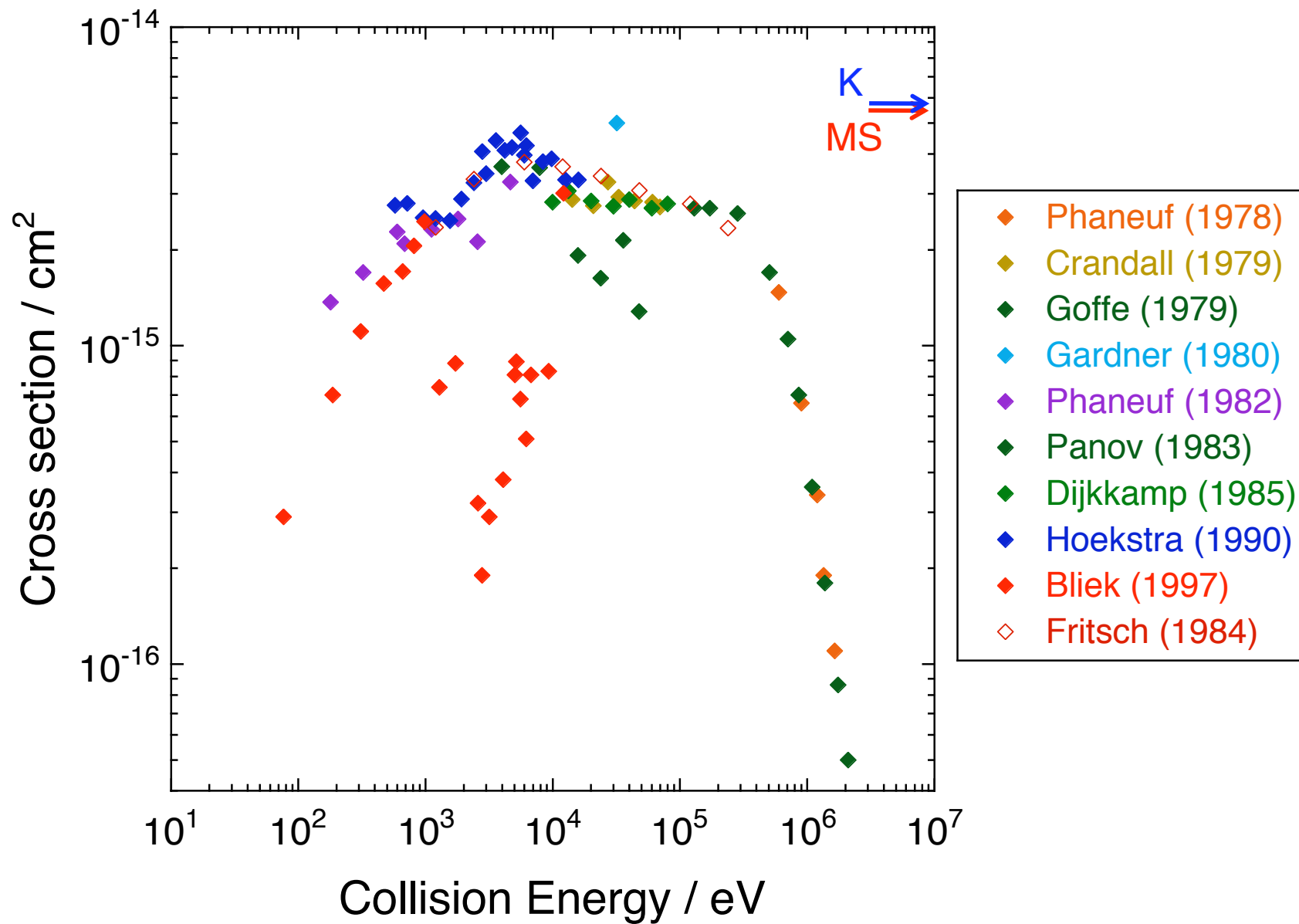
水素原子標的の生成：

- ・ マイクロ波放電
 - ・ 熱解離
-
- ・ 十分に高い標的密度
 - ・ 正確な標的密度の測定
- 何れも困難 = 今後の課題

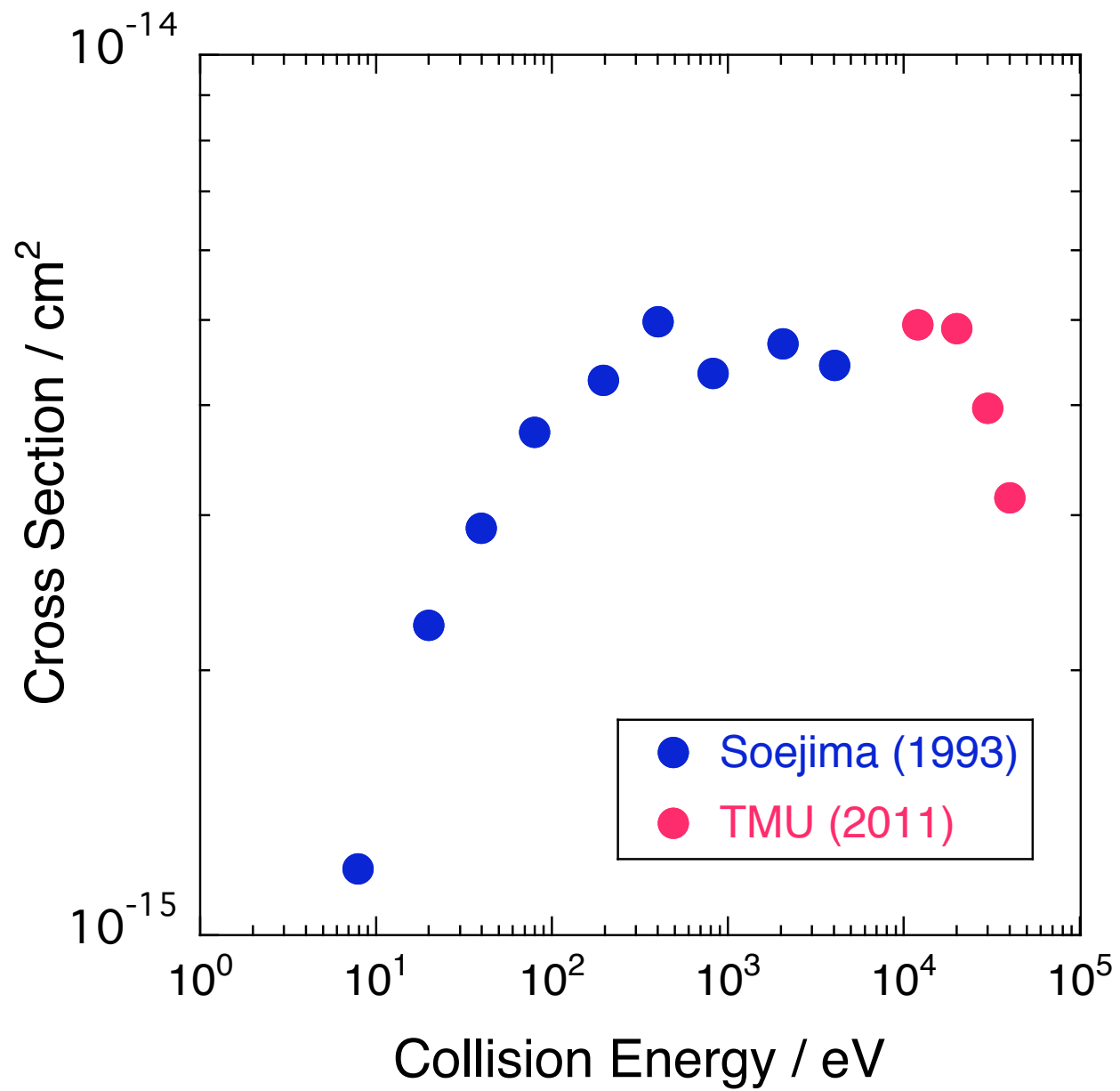
スケーリング則の利用：

- ・ 同じIPであれば，断面積は等しい (?)
- ・ **H**と**CH₄**のIPはともに 13.6 eV

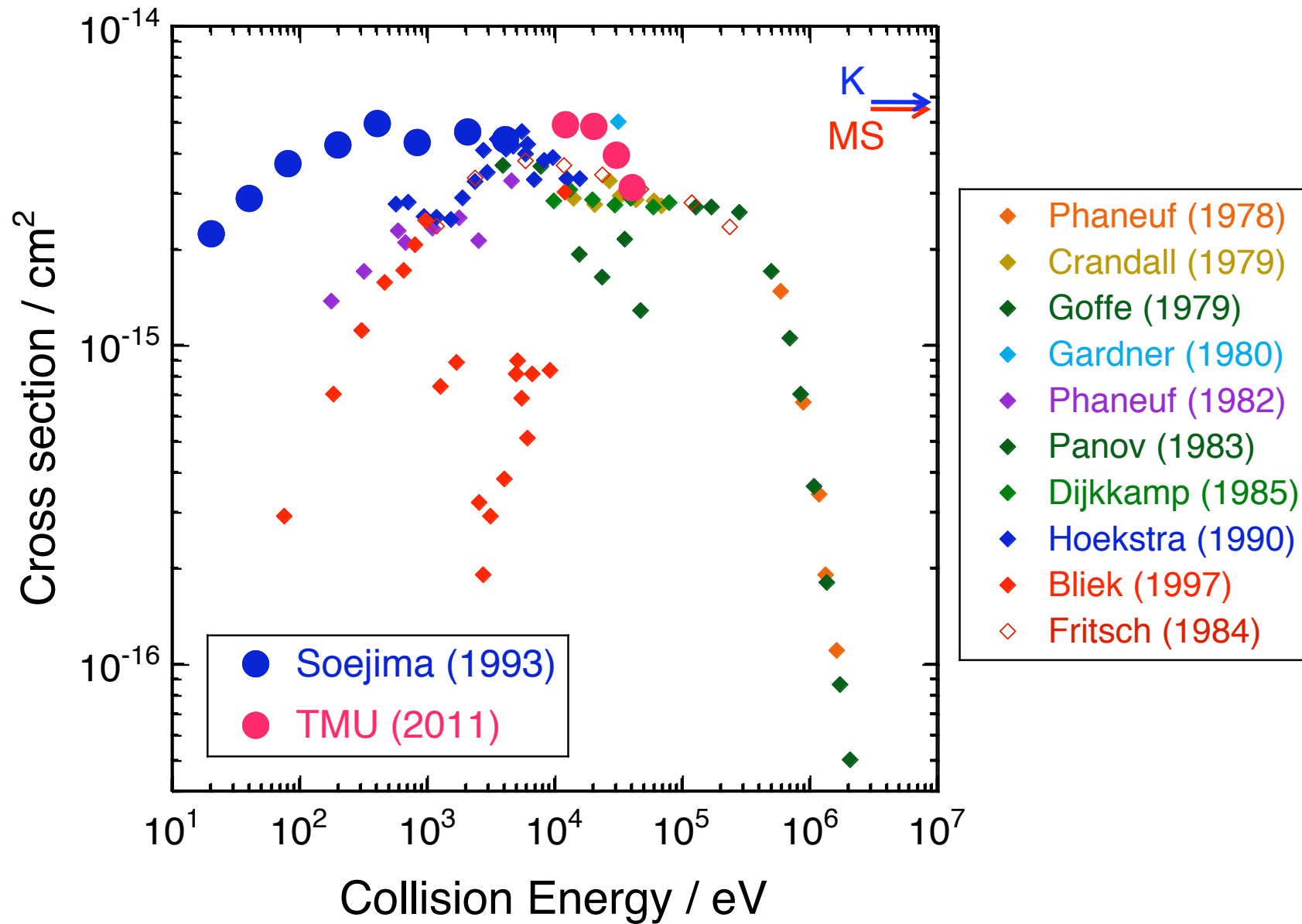
C⁴⁺ - H



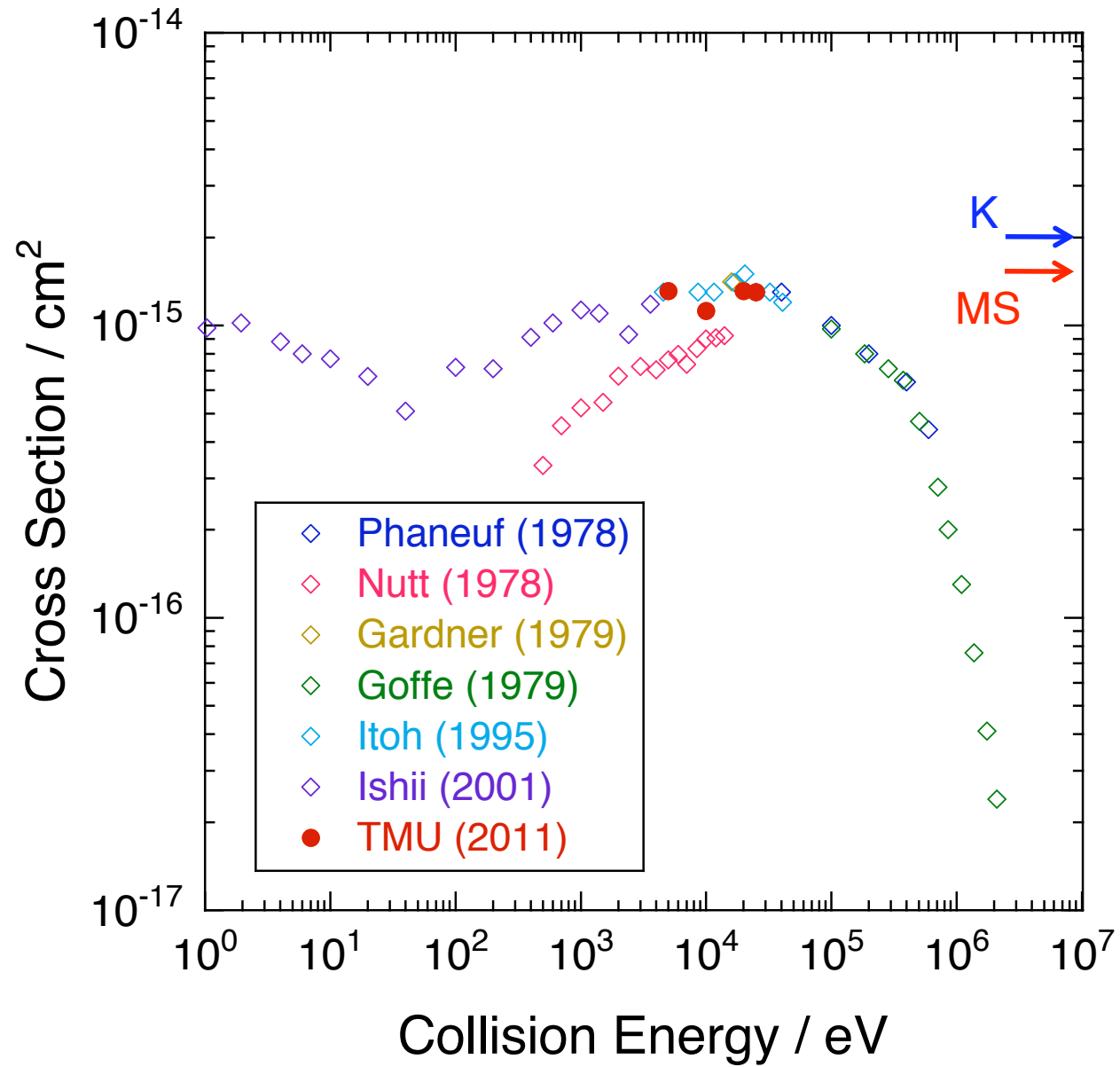
C⁴⁺ - CH₄



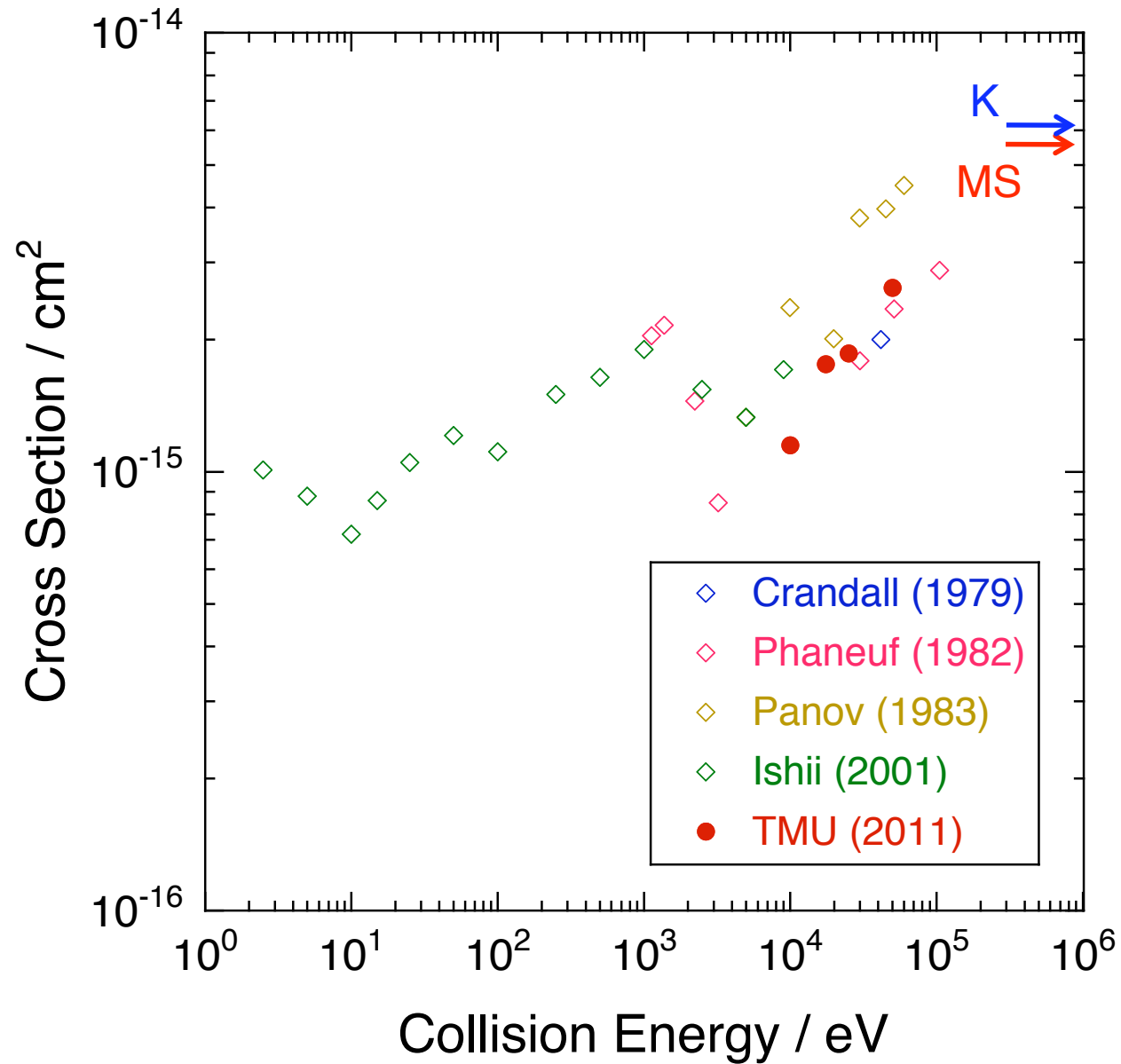
C⁴⁺ - H / CH₄



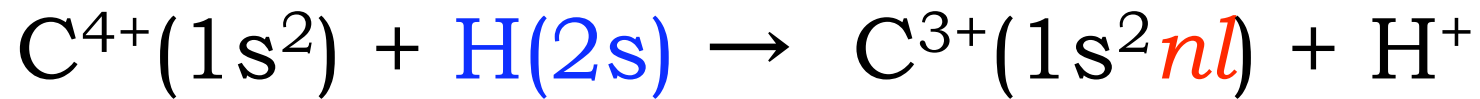
$C^{2+} - H_2$



$C^{5+} - H_2$



準安定励起標的 H ($2s\ ^2S_{1/2}$) に対する予想



$$IP = 13.6\text{ eV} - 10.2\text{ eV} = 3.4\text{ eV}$$

Müller-Salzborn : $2.47 \times 10^{-14}\text{ cm}^2$

Kimura *et al.* : $9.0 \times 10^{-14}\text{ cm}^2$

Sakaue *et al.* : $3.6 \times 10^{-14}\text{ cm}^2$

(アルカリ原子標的の場合)

まとめと課題：

- 減衰法による電荷移行断面積測定装置の開発
- C^{q+} ($q = 2, 4, 5$) - H_2 衝突における測定
- C^{4+} - CH_4 衝突における測定
- スケーリング則に基づく考察
- $H(2s)$ 標的に関する予測
- H原子標的を用いた実験の検討
- 多電子捕獲断面積の測定

謝辞：

- 装置開発ならび測定を実行してくれた石田卓也くん(首都大M1) に深く感謝します。

