

富山大学(側の)オーバービュー

富山大学 理学部 物理学科 森脇喜紀



富山大学 理学部 工学部

教員組織

大学院理工学研究部 ~200名
(理学), (工学)

教育組織

理学部, 工学部

大学院理工学教育部 (修士・博士, 理学, 工学)

富山大学 五福キャンパス



学科と教員数

理学部

数学科	17
物理学科	14
化学科	13
生物学科	14
地球科学科	13
生物圏環境科学科	12

工学部

電気電子システム工学科	28
知能情報工学科	21
機械知能システム工学科	24
生命工学科	18
環境応用化学科	17
材料機能工学科	15

関連分野

- 光学
- データ解析
- コミッショニング
- サファイア鏡の吸収率を下げる
- 機械損失のないサファイア鏡のつるし方
- マテリアルのクリープ雑音の対処
- デジタル・アナログ回路
- 制御・リモート制御・非線形制御・インテリジェント制御・人工知能
- 低温

物理学科

磁気・低温物理学研究室

石川義和, 桑井智彦, 水島俊雄, 田山 孝, 清水建次
極低温(mK), 希土類金属・合金・酸化物の磁性, 強相関電子系酸化物の磁性

理論物理学研究室

栗本猛, 兼村晋哉, 柿崎充
素粒子物理学, 対称性の破れ, 素粒子の質量起源, 素粒子論的宇宙論

結晶物理学研究室

飯田 敏, 池本弘之
構造物性, 構造不規則系, コヒーレントX線(Spring-8, KEK-PF)

電波物理学研究室

小林かおり, 榎本勝成
マイクロ波, 分子分光, 電波天文, 分子の運動制御

レーザー物理学研究室

松島房和, 森脇喜紀
レーザー分光, テラヘルツ波, 分子分光, 原子・分子・イオンの減速・捕捉

極低温量子科学施設 (ヘリウム液化施設)

地球科学科

地球進化学分野

清水正明(理学部長)
鉱物科学, 鉱床学

電気電子システム工学科

電気電子システム工学	電力システム工学	伊藤弘昭 プラズマ理工学, プラズマ応用, イオンビーム工学, パルス電力技術
	知能ロボット工学	チャピ ゲンツィ, 戸田英樹 ロボティクス
電子物性デバイス工学	表面エレクトロニクス	小野行徳 ナノエレクトロニクス, 量子エレクトロニクス, ナノマテリアル

知能情報工学科

知能システム工学	システム工学	廣林茂樹 音響工学, 信号処理, センサ工学
----------	--------	---------------------------

機械知能システム工学科

設計生産工学	固体力学	石原外美(工学部長) 材料力学, 材料強度学, 摩擦・摩耗, バイオメカニクス, 熱応力
	強度設計工学	小熊規泰, 笠場孝一 材料力学, 破壊力学, トライボロジー, 材料強度学
エネルギー・環境工学	熱工学	手崎 衆 熱工学, 燃焼工学, 工業熱力学, 内燃機関工学, 燃焼反応論
機械制御情報工学	知能機械学	木村弘之, 関本昌紘 機械力学, 耐震, ロボティクス, 解析力学, 制御工学

材料機能工学科

材料機能工学	組織制御工学	松田健二 材料組織工学, ナノ構造解析, 金属工学, 非鉄金属学, 軽金属材料学
	物性制御工学	西村克彦, 並木孝洋 磁性材料学, 物性物理学, 核物性学, 放射線計測学

(注: 5日までにWS参加の連絡をいただいた先生方)

高精度分光を目指したCaH⁺の 生成とトラップ

Motivation

Spectroscopy of $^{40}\text{CaH}^+$

the pure vibrational transition ($\nu=0$, $J=0$, $F=1/2$, $M=\pm 1/2$) \rightarrow ($\nu=1$, $J=0$, $F=1/2$, $M=\pm 1/2$) can potentially be measured with an uncertainty of 10^{-16}

by use of

{ simultaneous trapping with Ca^+ ions
sympathetic cooling
quantum logic measurement

P.O.Schmidt et al.
Science 309, 749(2005)

Application to the test of the time invariance of
fundamental constants e.g. electron-proton mass ratio

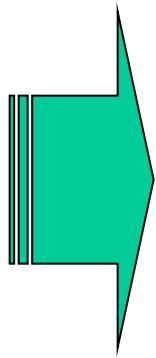
Shelkovernikov et al. PRL100, 150801 (2008)

Vibrational transition of SF_6 $\Delta\nu/\nu \sim 10^{-14}$

Proposal: High precision measurements of the pure vibrational transition of $^{40}\text{CaH}^+$

Kajita and Moriwaki J. Phys. B **42**, 154022(2009)

- Simultaneous trapping of a $^{40}\text{CaH}^+$ and a $^{40}\text{Ca}^+$ in a linear trap



- ✓ Long interaction time reduces the **homogeneous linewidth**
- ✓ Ions in a **crystal** state inside a linear trap **are free from Stark shift**
- ✓ Some transition frequencies of molecular ions **are free from Zeeman shift**

Estimated frequency uncertainty (order of 10^{-16})

CaH^+ ($\nu = 0, J = 0, F = 1/2, M = \pm 1/2$)

$\rightarrow (\nu = 1, J = 0, F = 1/2, M = \pm 1/2)$ transition

$f = 42.24 \text{ THz}$ ($7.1 \mu\text{m}$)

(1) Natural linewidth **2.5 Hz**

(2) Zeeman shift (magnetic field $< 1 \text{ G}$) **$< 1.3 \times 10^{-17}$**

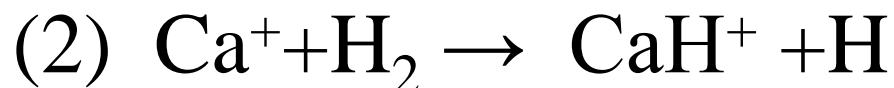
(3) Stark shift induced by the trapping electric field **$< 10^{-17}$**

(4) Electric quadrupole shift is **zero** because of **$F = 1/2$**

(5) Stark shift induced by probe laser light is most dominant
 $\sim 1.2 \times 10^{-16}$ with saturation power (32 mW/cm^2)

Production of CaH⁺

(1) Laser ablation of Ca containing solids



Georgiadis et al. J. Chem. Phys. **92**, 7060
(1988)

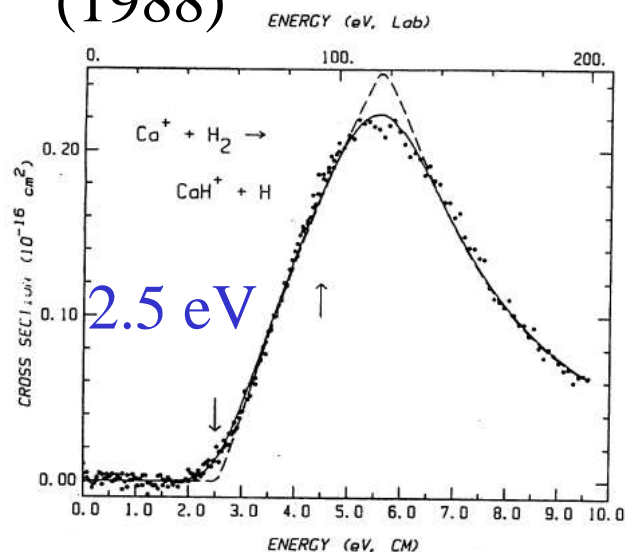
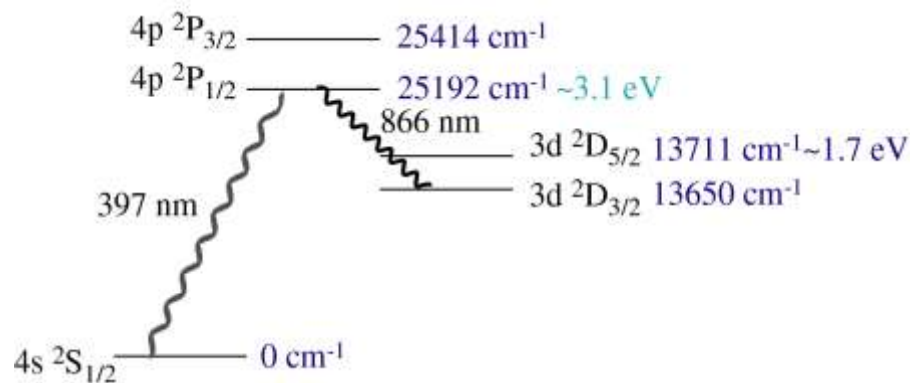
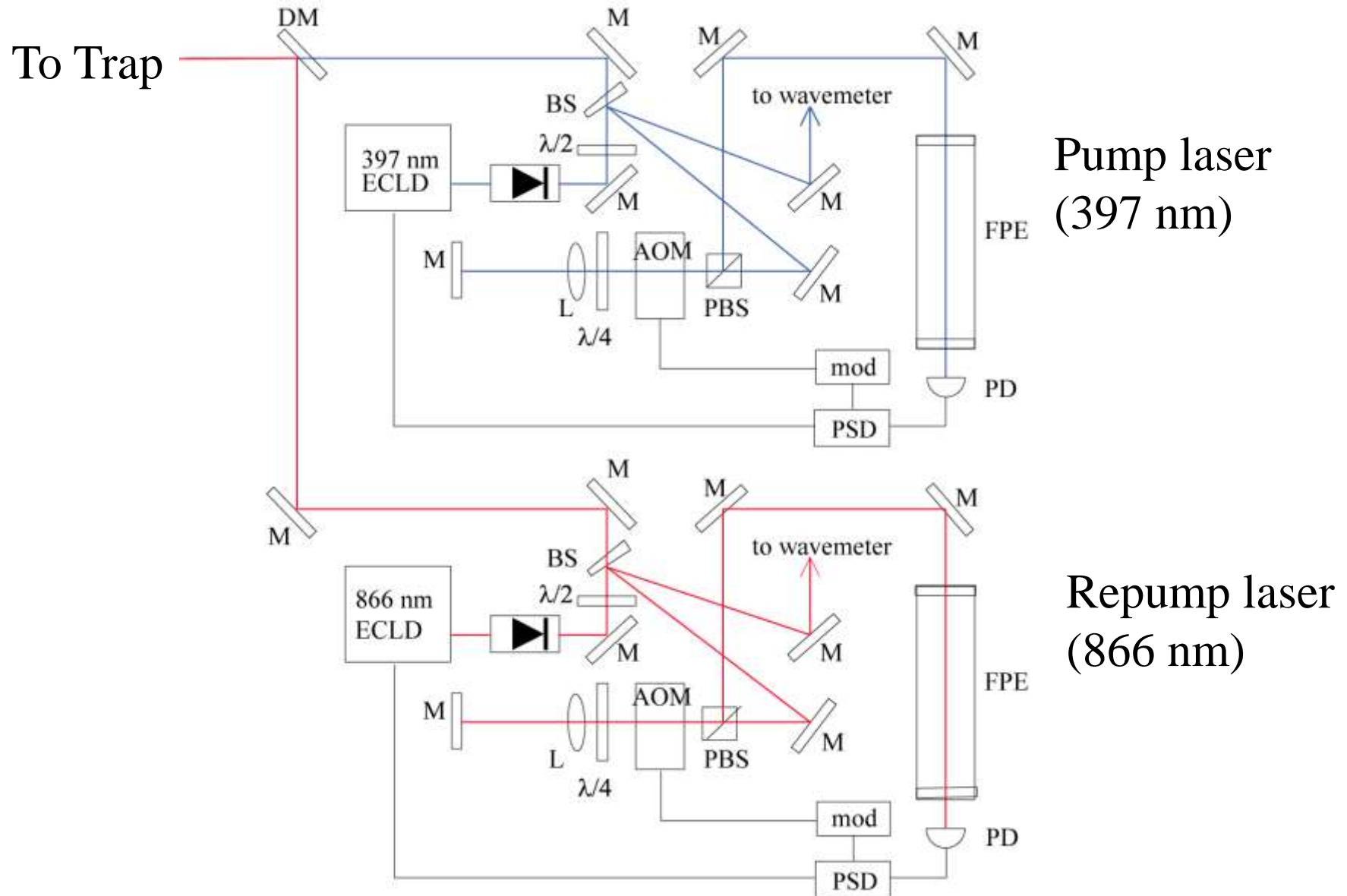


Figure 1. Cross section for the reaction of Ca⁺ with H₂ as a function of kinetic energy in the center of mass frame (lower scale) and laboratory frame (upper scale). The data (points) are compared with the *m* = 1 model (broken line) and its convolution (full line) over the experimental energy broadening as described in the text. At energies above 5.3 eV, the product dissociation model discussed in the text is also included. Arrows indicate the expected thermodynamic threshold of ~2.5 eV and the bond dissociation energy of H₂ at 4.48 eV.

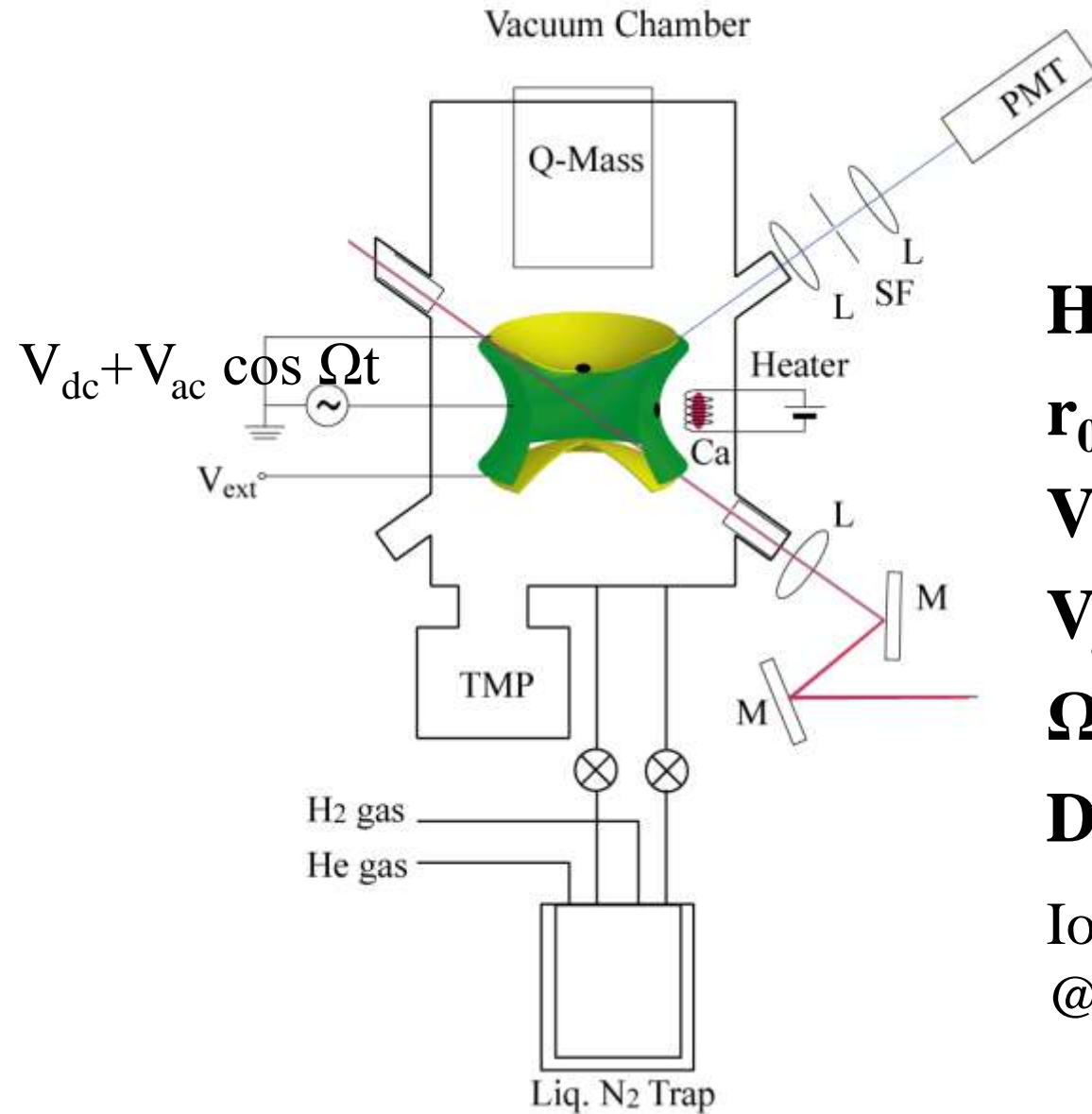
endothermic reaction



Laser system



RF Trap



Hyperboloid electrodes

$r_0 = 7.5$ mm

$V_{dc} = 0$ V

$V_{ac} = 350$ V

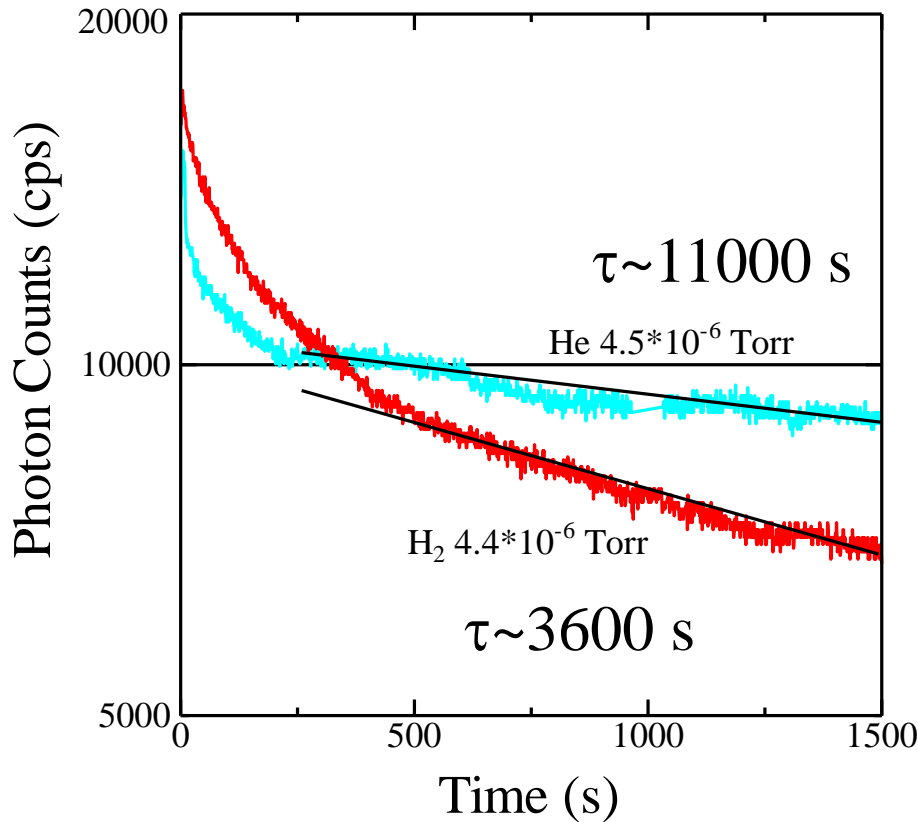
$\Omega/2\pi = 1.65$ MHz

$D_z = 25$ eV

Ion temperature: 600K

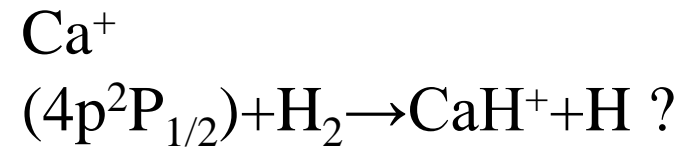
@P(He) $\sim 10^{-6}$ Torr

LIF decay with H₂ buffer gas

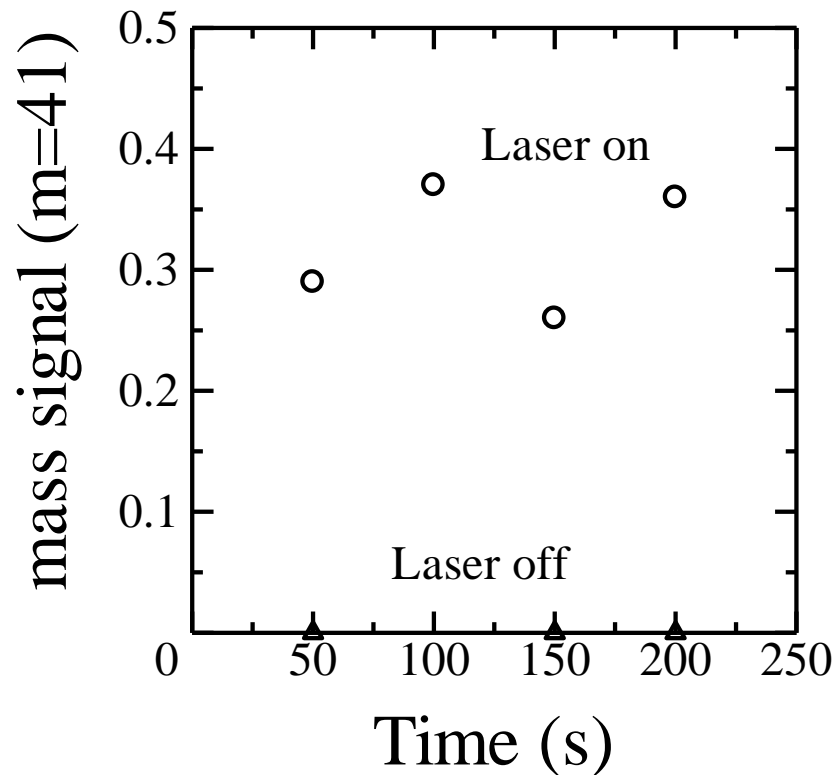


LIF signal is proportional to the number of Ca⁺ ions.

With H₂ buffer gas, LIF decay significantly.



Q-Mass spectrum



Buffer gas : H₂ (99.99995%)

The mass signal (m=41u) is normalized by that of m=40 u

M=41u signals appear with the laser irradiation.

With D₂ buffer gas, m=42 u signals are observed.

Production of CaH⁺, CaD⁺ has been confirmed !

spectroscopy of CaH^+

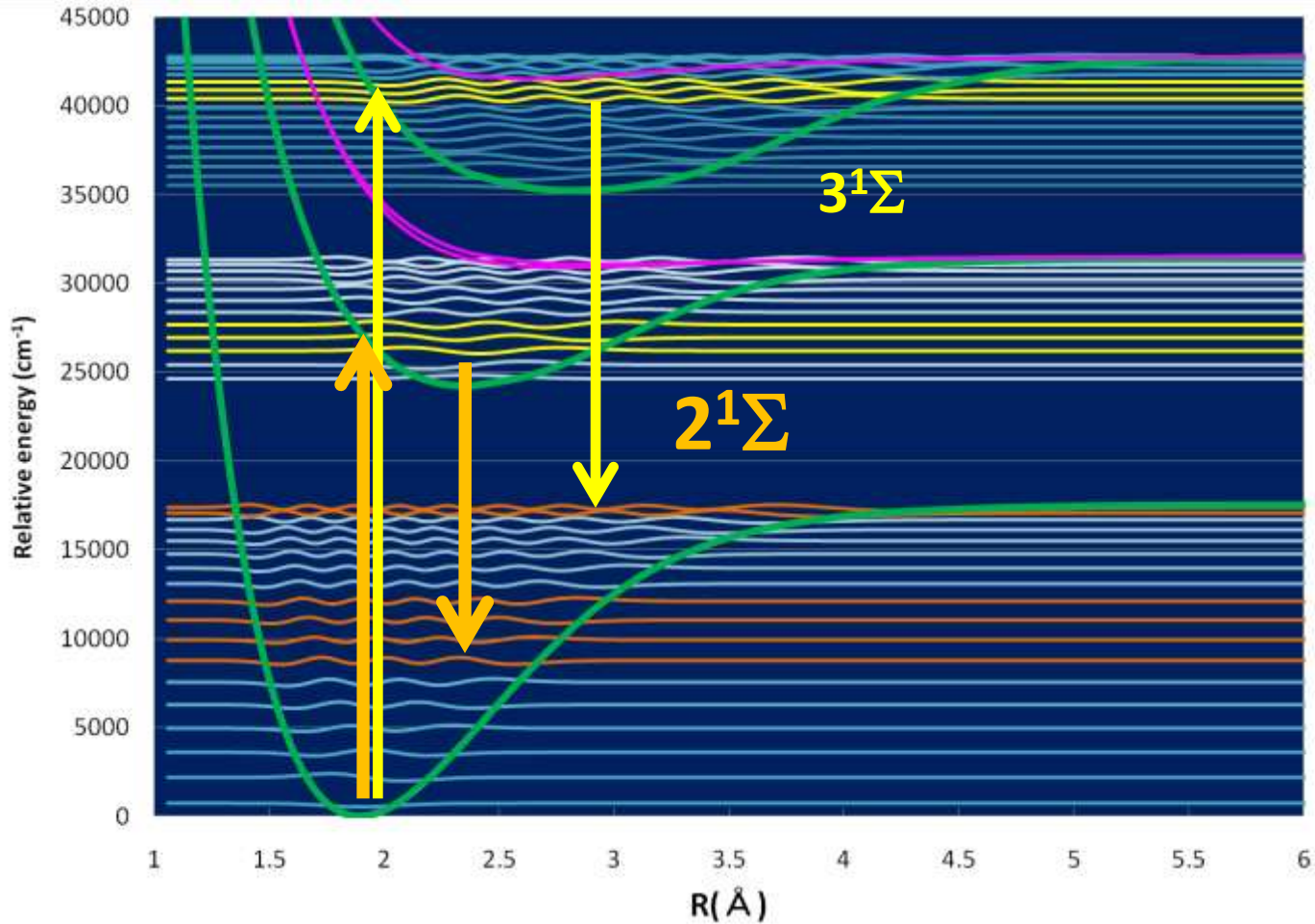
There have been no experimental data on CaH^+ .

Needs for reliable theoretical data

ab initio calculations of $\text{Ca}^+\text{-H}$ potential curves
electric energy levels, vibrational levels, Rotational
constants, transition dipole moments

by M. Abe (collaborator)

Candidate transitions in LIF



	Absorption	Emission
2^1S state	around 400nm	more than 600nm
3^1S state	240 nm	400 nm
2^1P state	240 nm	380 nm

Conclusion

- We proposed high precision measurements of the pure vibrational transition of $^{40}\text{CaH}^+$
- production of CaH^+ , CaD^+ is confirmed

Future

- laser spectroscopy of CaH^+

Cryogenic ion trap

Production of CaH^+ due to the vapor pressure of $\text{H}_2 \sim 10^{-7}$ Torr

Thermal distribution of the $(v,J)=(0,0)$ state $\sim 99\%$ at $T=4$ K