

バッファーガス冷却分子を用いた パリティ非保存観測に向けて

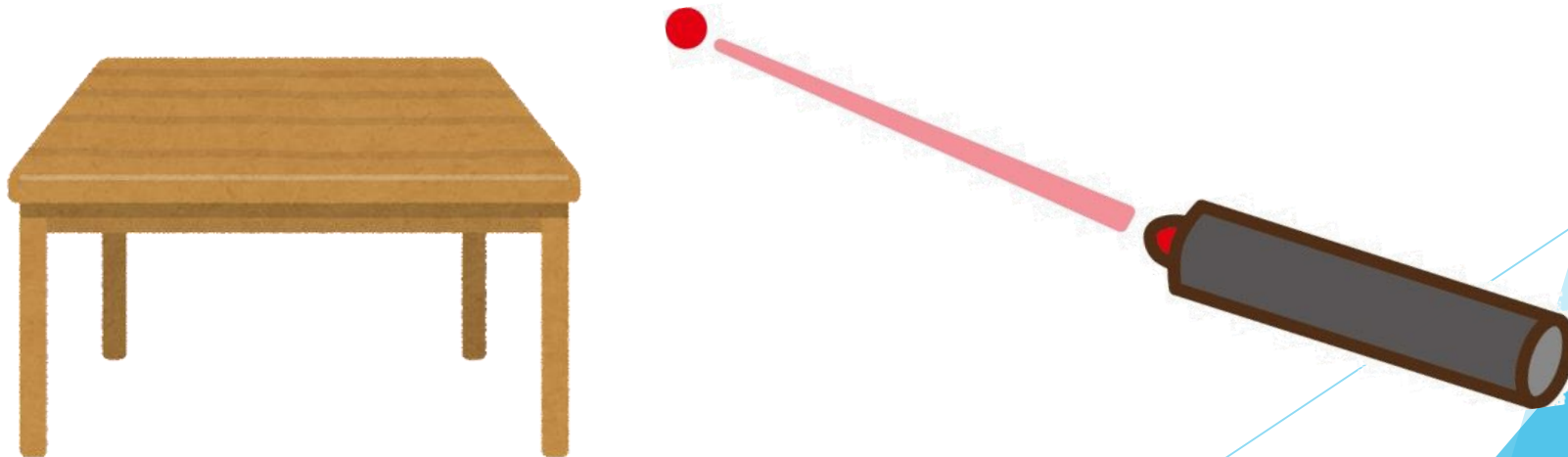
岡山大学 中野雄

2024/02/20

Table top experiment



- 基礎物理実験は巨大装置が主流
- 近年、**原子分子レーザー分野の発展**に伴って
基礎物理実験が実験室規模でも行えるようになった
- 実験原理が巨大装置実験と異なるため相補的な関係にある



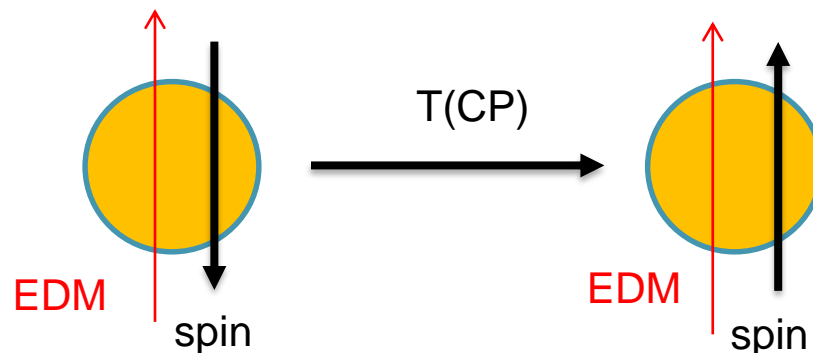
Molecules in Fundamental Physics

分子がどのように基礎物理にかかわるのか？

→例：分子が装置の一部として使われている

例：eEDM

標準理論より大きいCP破れを探索

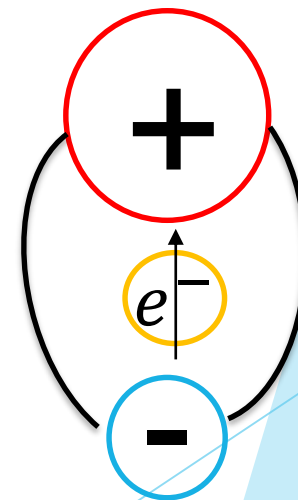


強い電場が必要→極性分子を用いる

$\left\{ \begin{array}{l} \text{ThO} \\ \text{HfF}^+ \end{array} \right.$	78GV/cm
	23GV/cm

分子の特性を利用

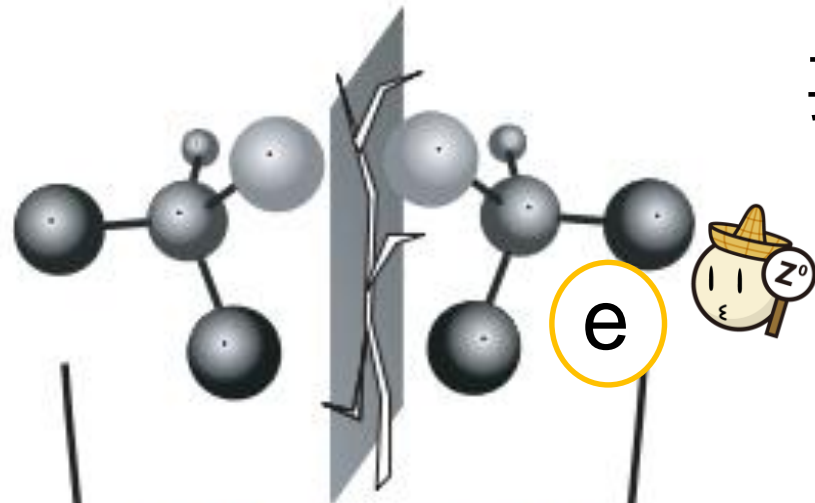
内部状態の精密な制御が大事となる



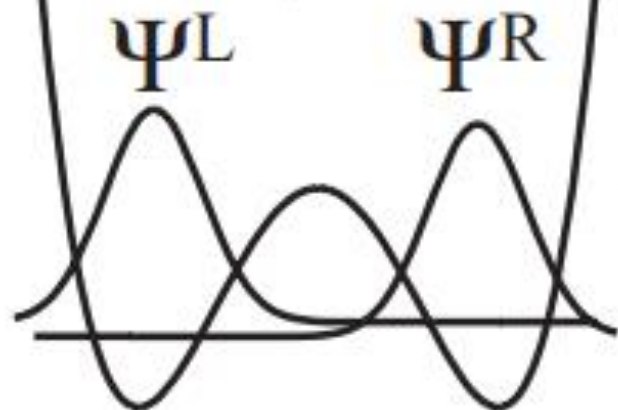
カイラル分子のパリティ非保存

L体とR体の内部エネルギー準位が異なる

要因：弱い相互作用によるパリティ非保存



→ 弱い相互作用が
分子のエネルギー準位に影響を与える



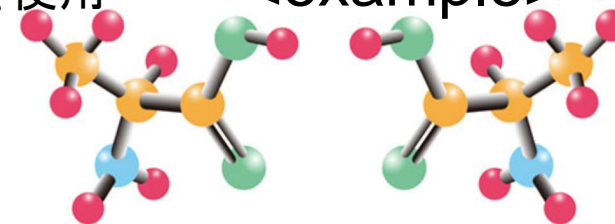
他の分野でも重要

→ ホモカイラリティの一因かも

ホモカイラリティとは：

自然界はカイラル分子の片一方のみの分子を使用

<example>



Human

Only D

D-type alanine L-type alanine

M. Ziskind et al., Eur. Phys. J. D **20**, 219–225 (2002).

D. W. Rein, J. Mol. Evol. **4**, 15 (1974)

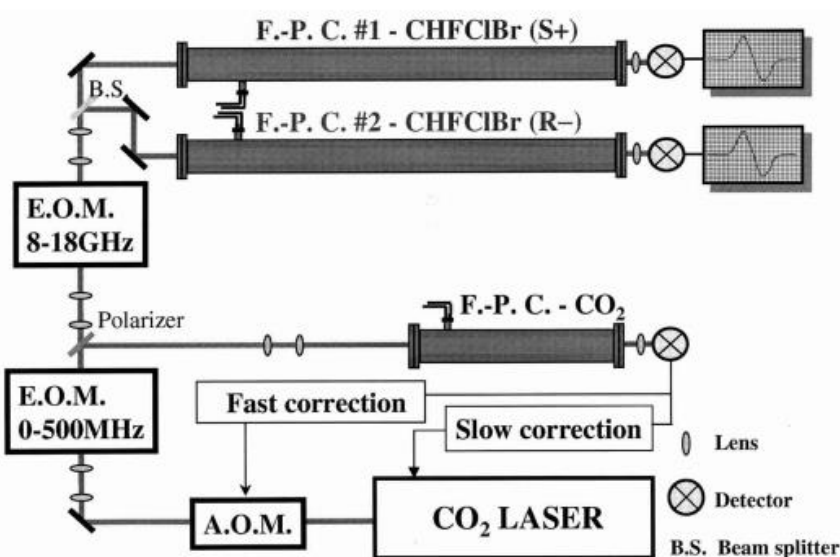
過去の論文

エネルギー差

実験からの上限值

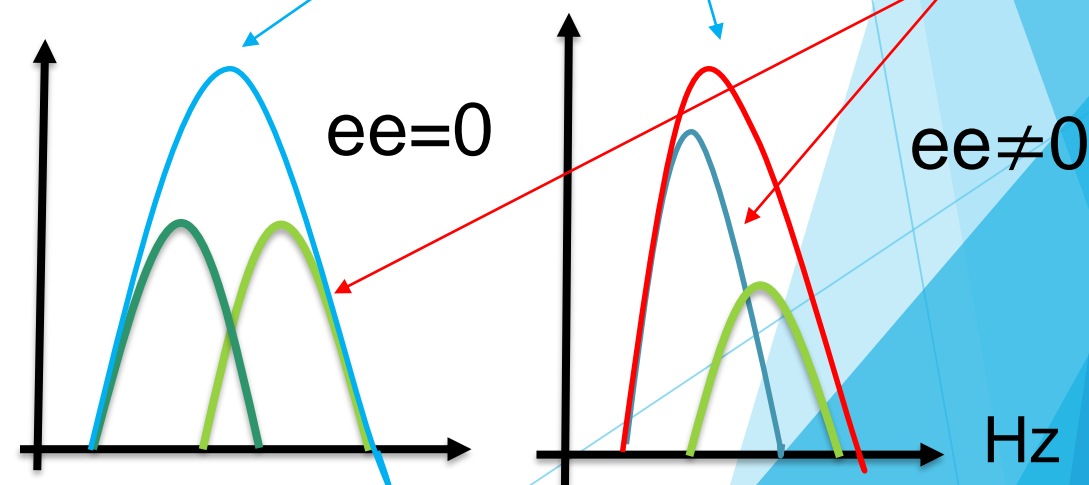
$$\Delta E = |\nu_R - \nu_S| < \underline{8 \text{ Hz} (\approx 3.3 \times 10^{-14} \text{ eV})}$$

M. Ziskind et al., Eur. Phys. J. D **20**, 219–225 (2002).

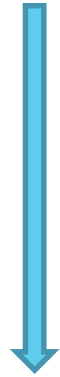


CHFCIBrの吸収

異性体の存在比(ee)から測定
observer absorption



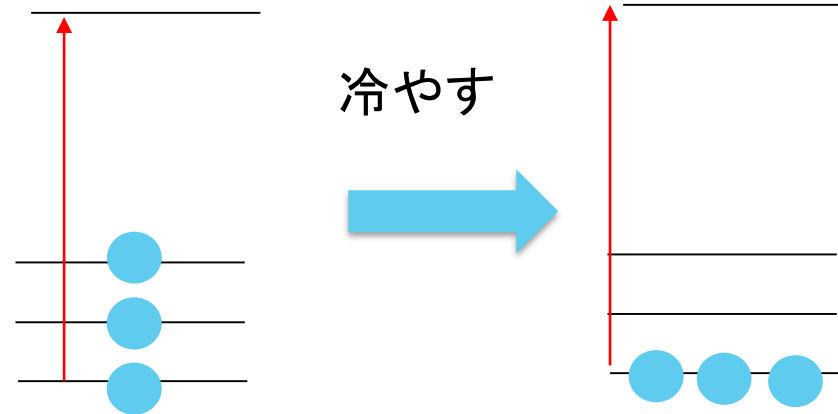
高い精度($\approx Hz$)が必要



- レーザーの安定性
- 分子の持つ線幅
- SN比

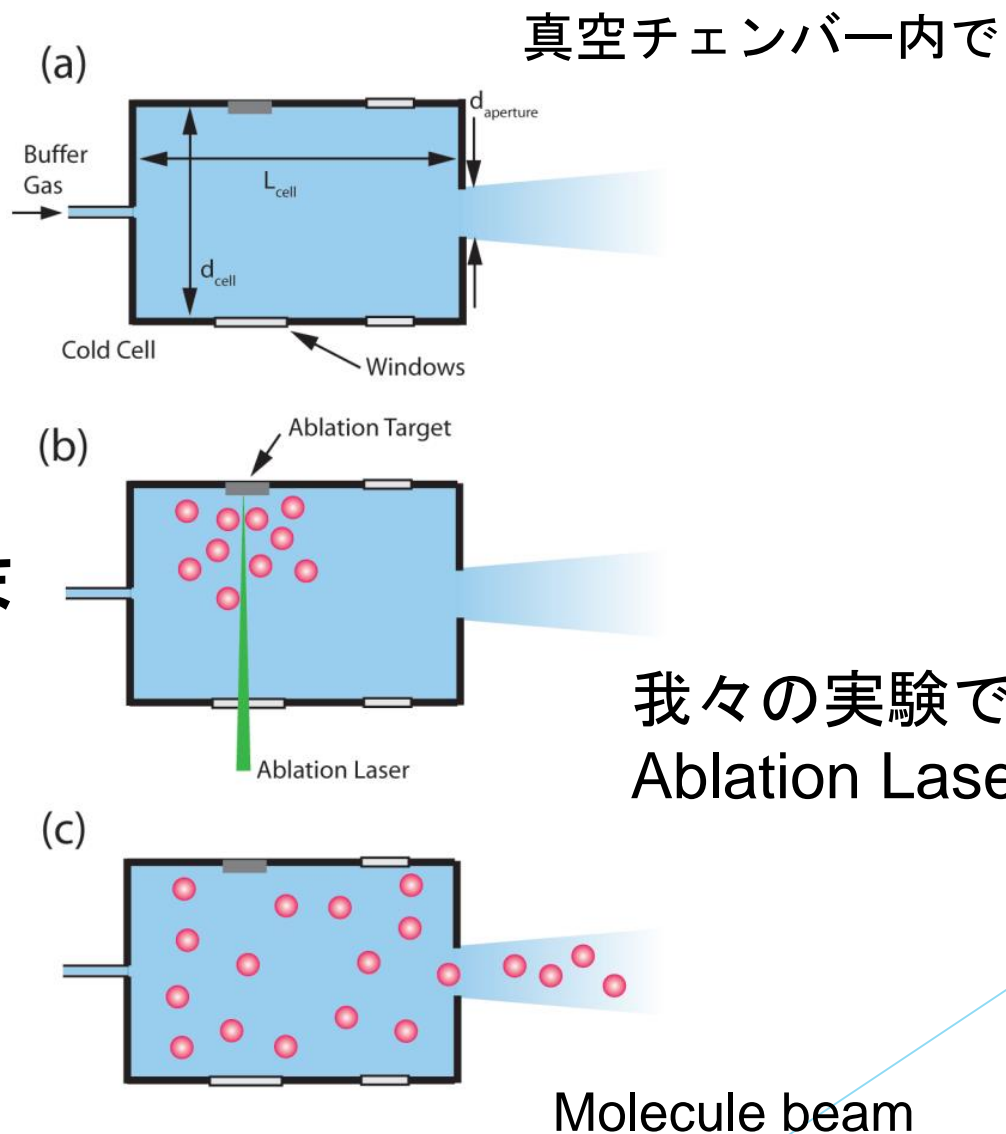
冷却が重要

- 励起する粒子数が増える
- 速度が遅い
 - 線幅が細く
 - 相互作用時間が長い

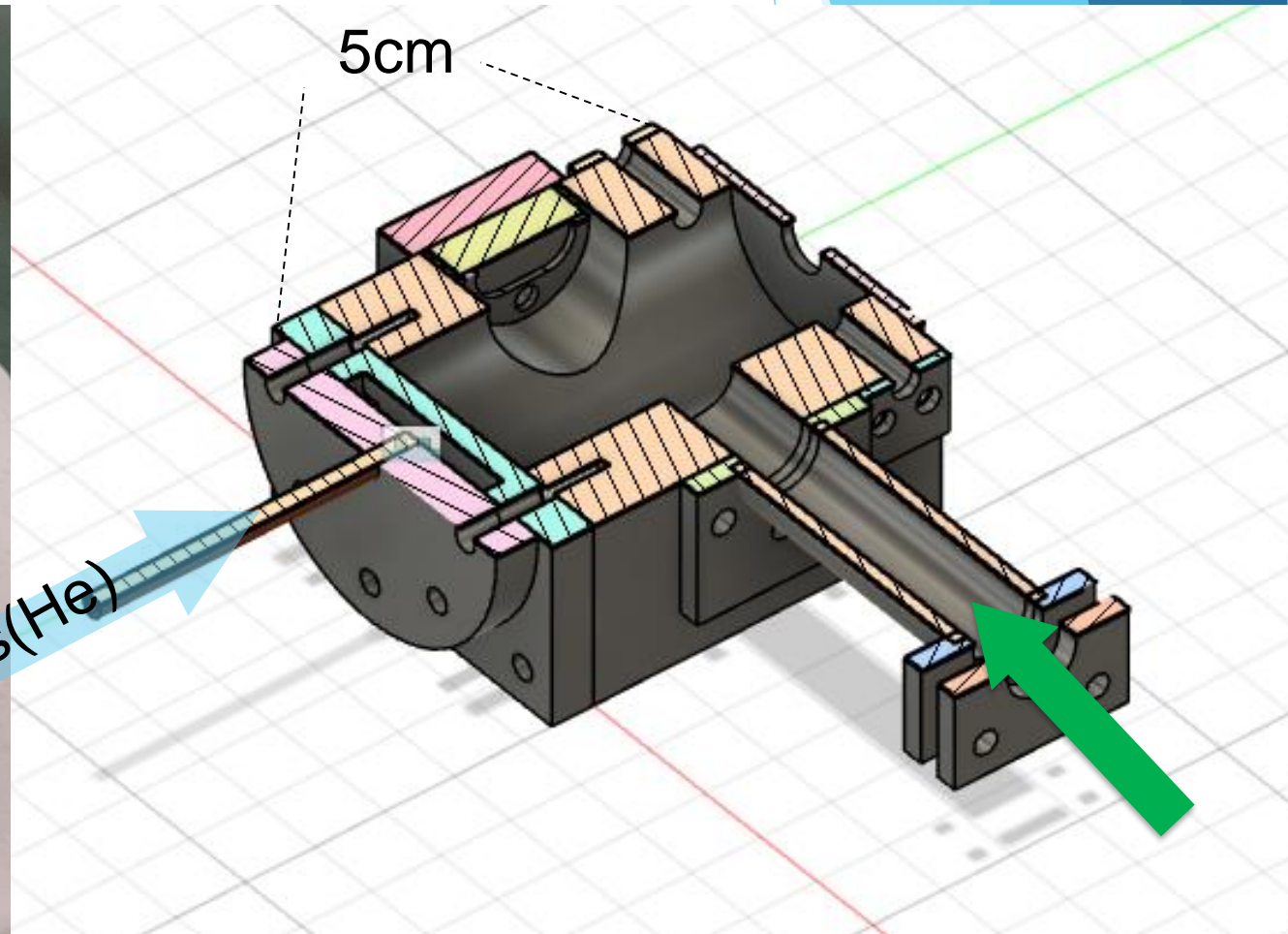
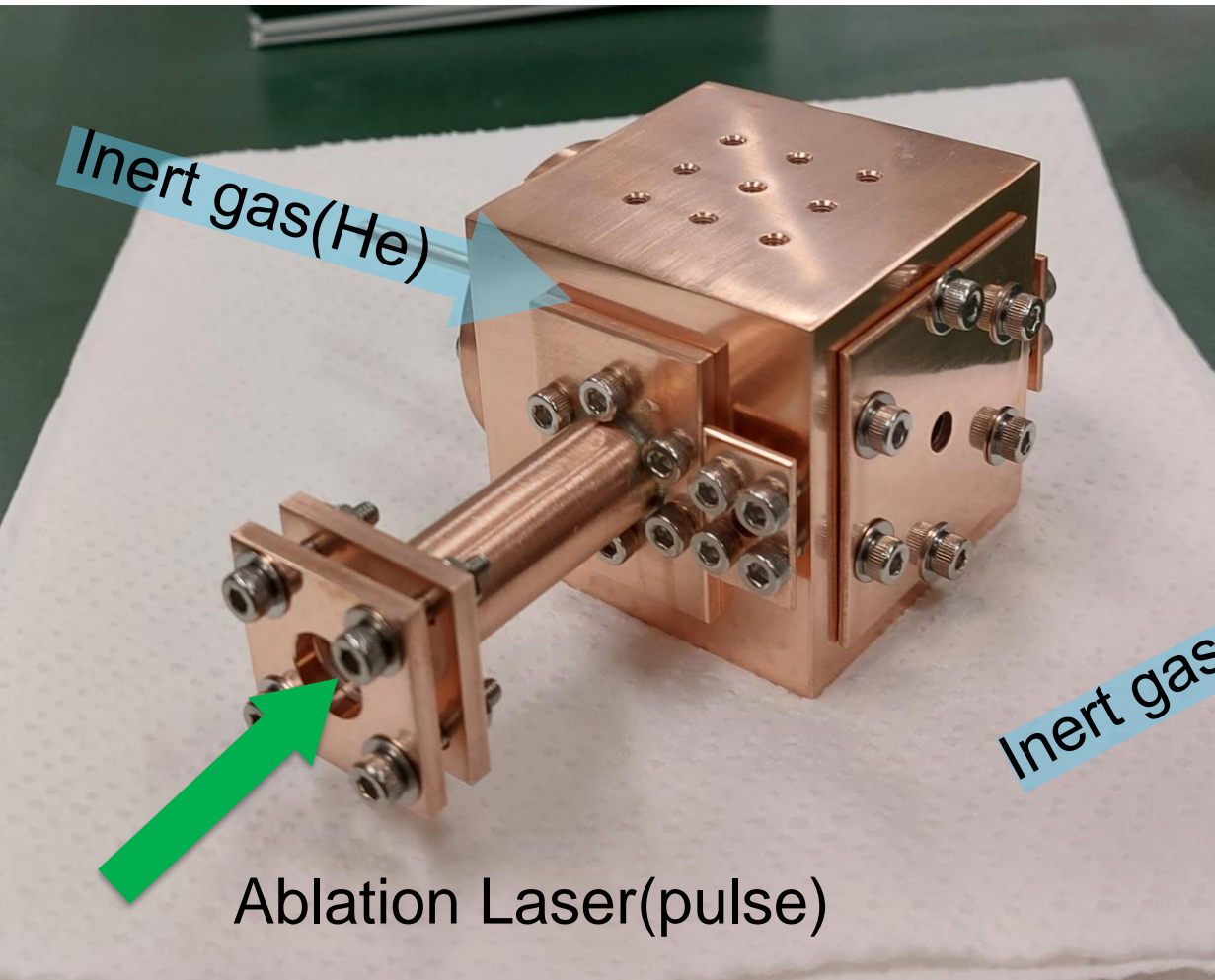


バッファーガス冷却手法

気相状態のまま
冷やす



装置



バッファーガス冷却手法の特徴

- 数Kまで冷やすことができる
- 実験系で分子の速度が遅い
→相互作用時間が長い
- 分子種にあまりよらず冷却できる
- よくレーザー冷却の予備冷却として用いられる

今までチームがやってきたこと

- CaOHの吸収

バッファーガス冷却手法の確認

レーザー冷却の候補分子としてよく研究されていた

Astrophys. J. **936**, 97 (2022). Phys. Rev. A 107, 043114 (2023). J. Phys. Chem. A 127, 4758-4763 (2023).

Free-Base Phthalocyanine

- フタロシアニン (FBPc) の吸収

大型分子の冷却、スペクトルに回転構造が確認できるか
平面大型分子

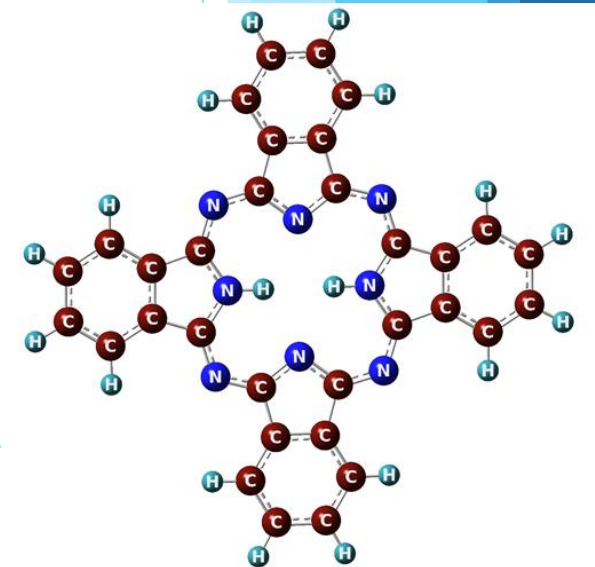
Commun Chem 5, 161 (2022).

- フタロシアニンのLIF

大型冷却分子ビームの確認、実験条件の最適化

- メタルフタロシアニンの吸収

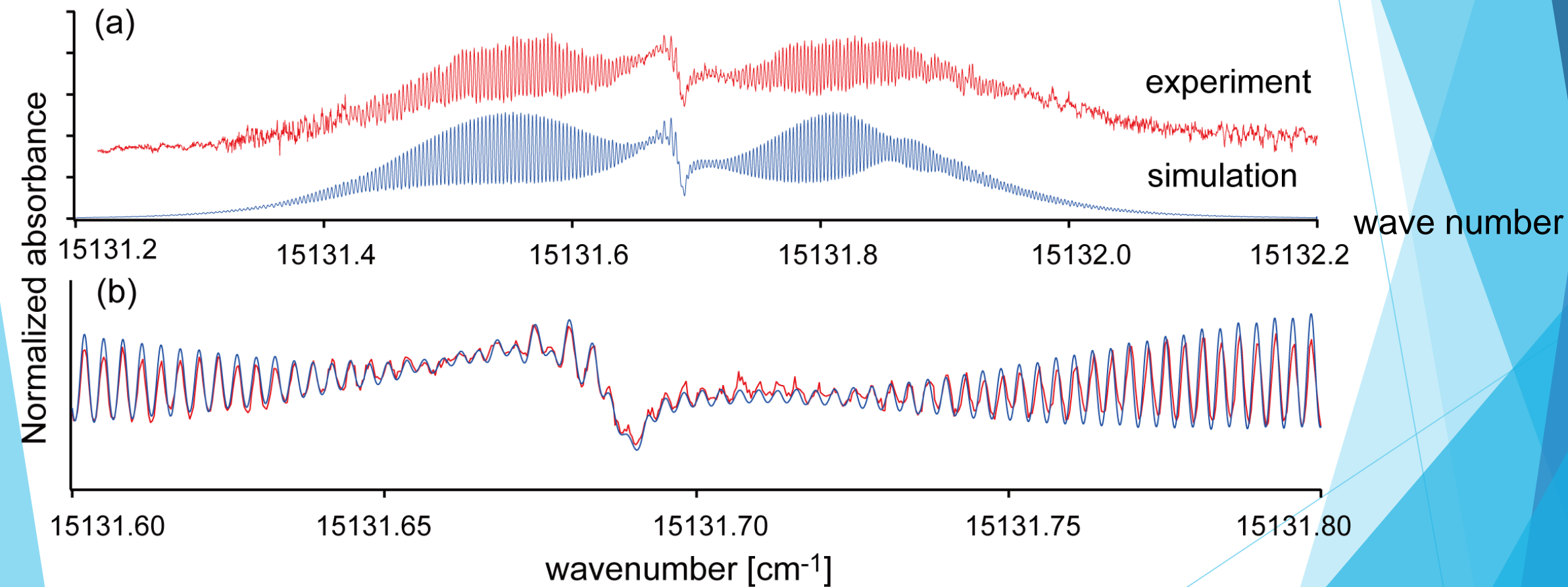
他の大型分子でも冷却、分光が可能かどうか



〈フタロシアニンの配置図〉

得られるデータ

フタロシアニンの高精度分光



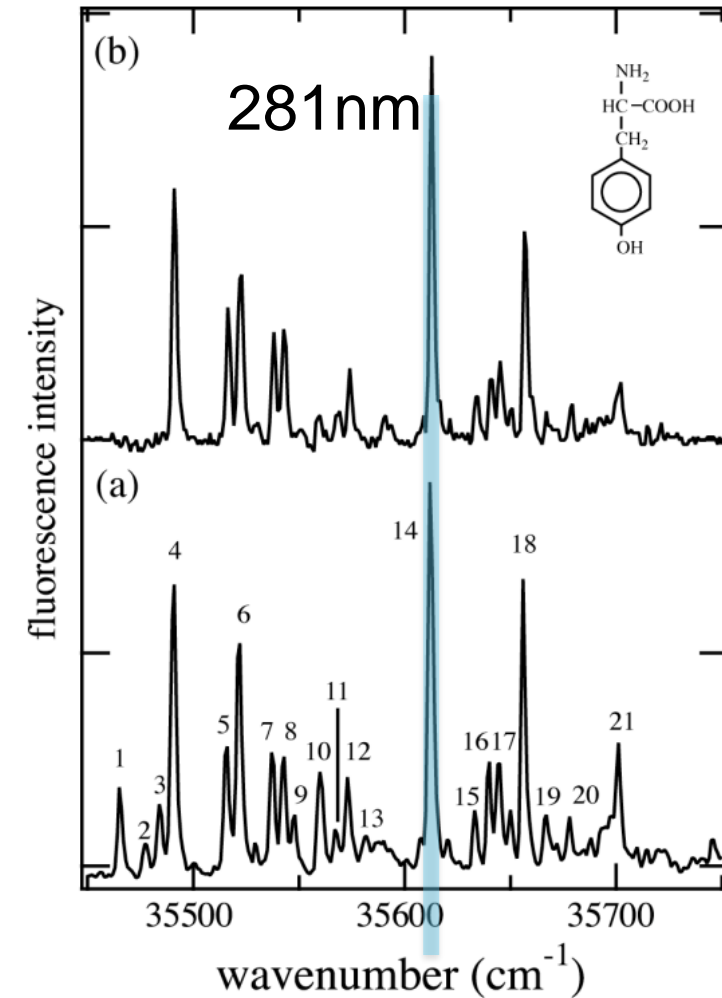
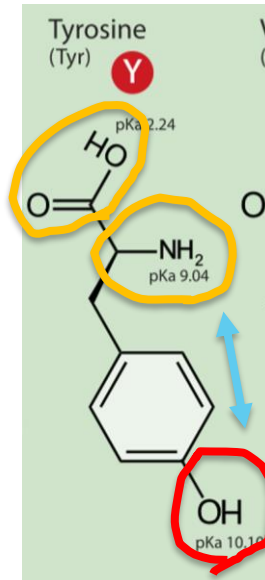
これからやりたいこと

冷却カイラル分子の高精度分光

チロシンに決定

{ アミノ酸の一種
分光データがある
可視に近い紫外に吸収がある

他のアミノ酸より近い
レーザーが作りやすい



気相、紫外での高精度分光はない

Setup レーザー準備中

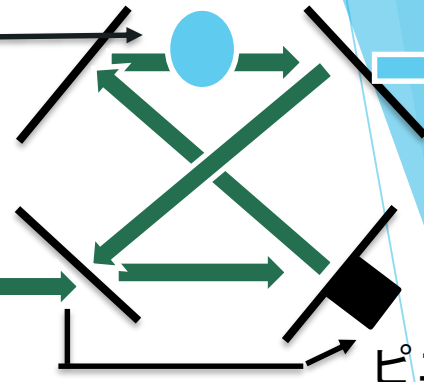
非線形結晶

$$P = \chi^{(1)}E + \chi^{(2)}E^2 \dots$$

562nm
色素レーザー

EOM

フィードバック



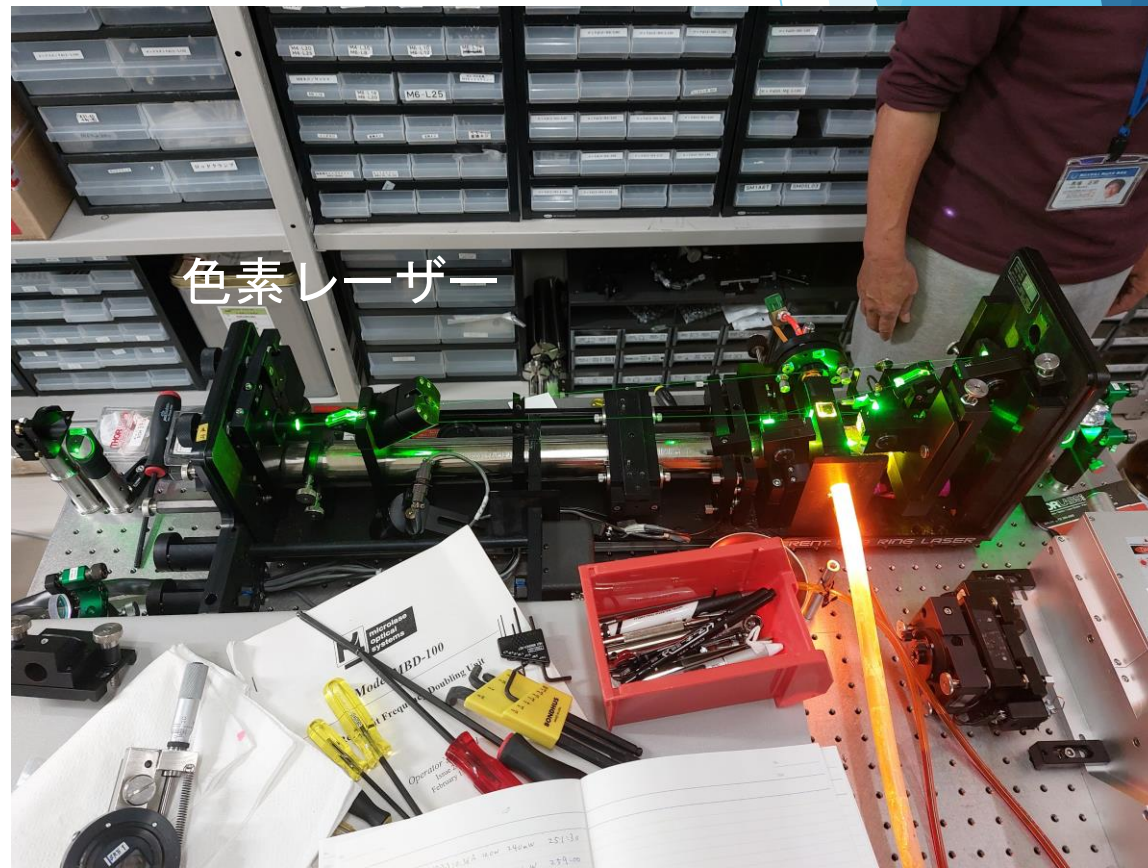
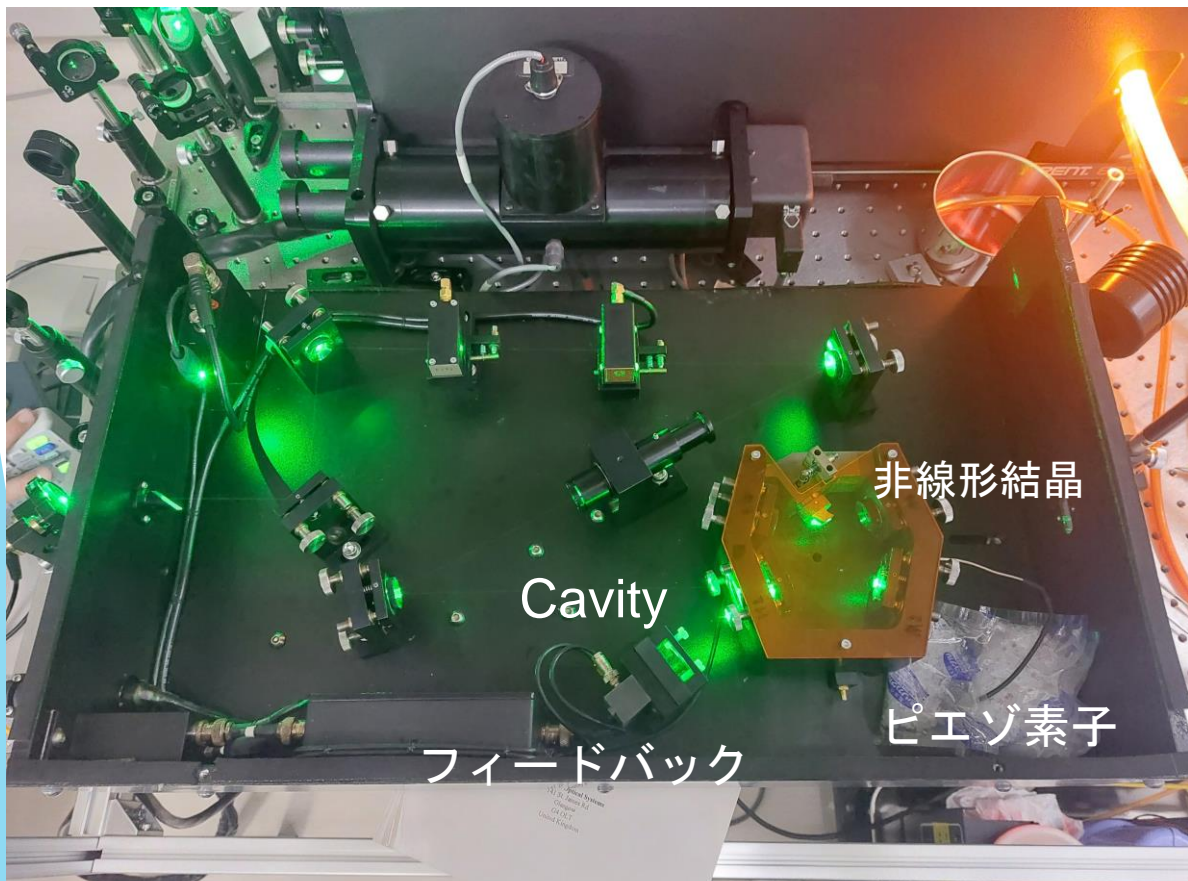
倍波
281nm

ピエゾ素子

12



中の構造



今後の実験、展望

- レーザーの完成
- チロシンの吸収分光
- 精度10MHz程度の分光データをとる
 - スペクトルから分子の冷却温度の確認

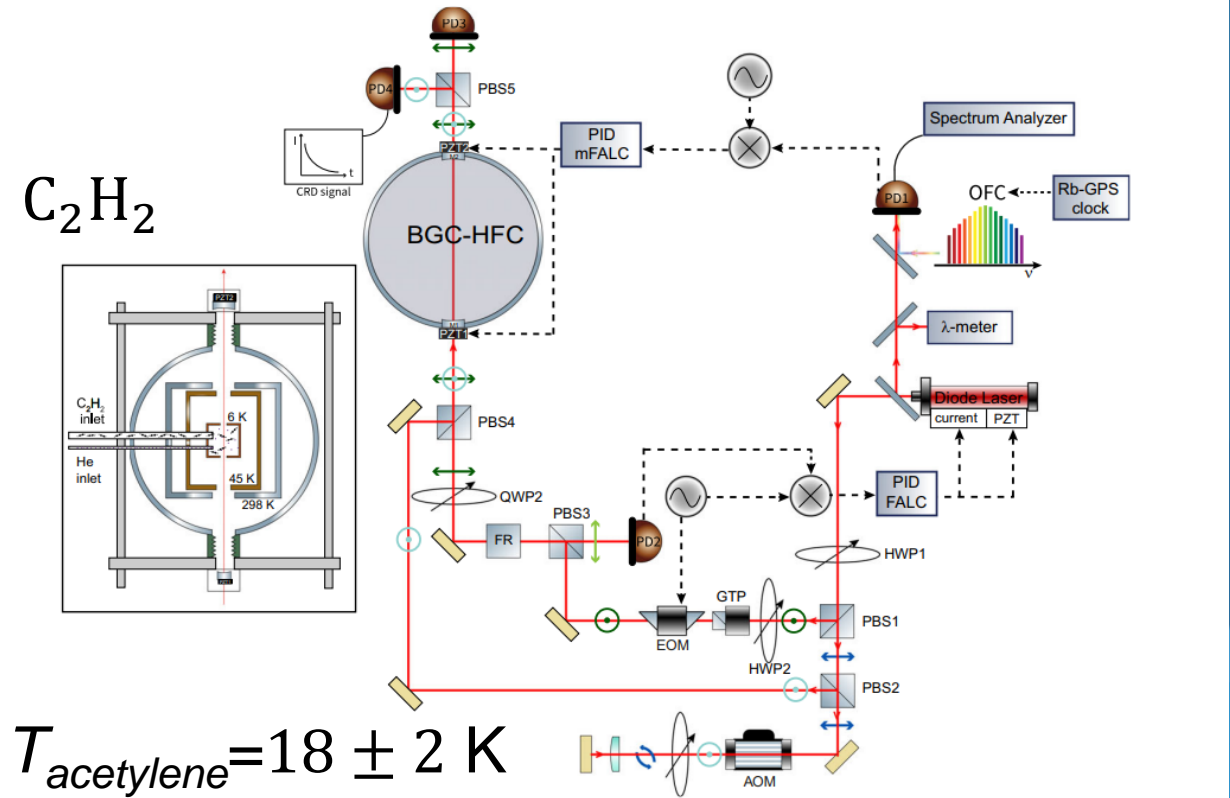
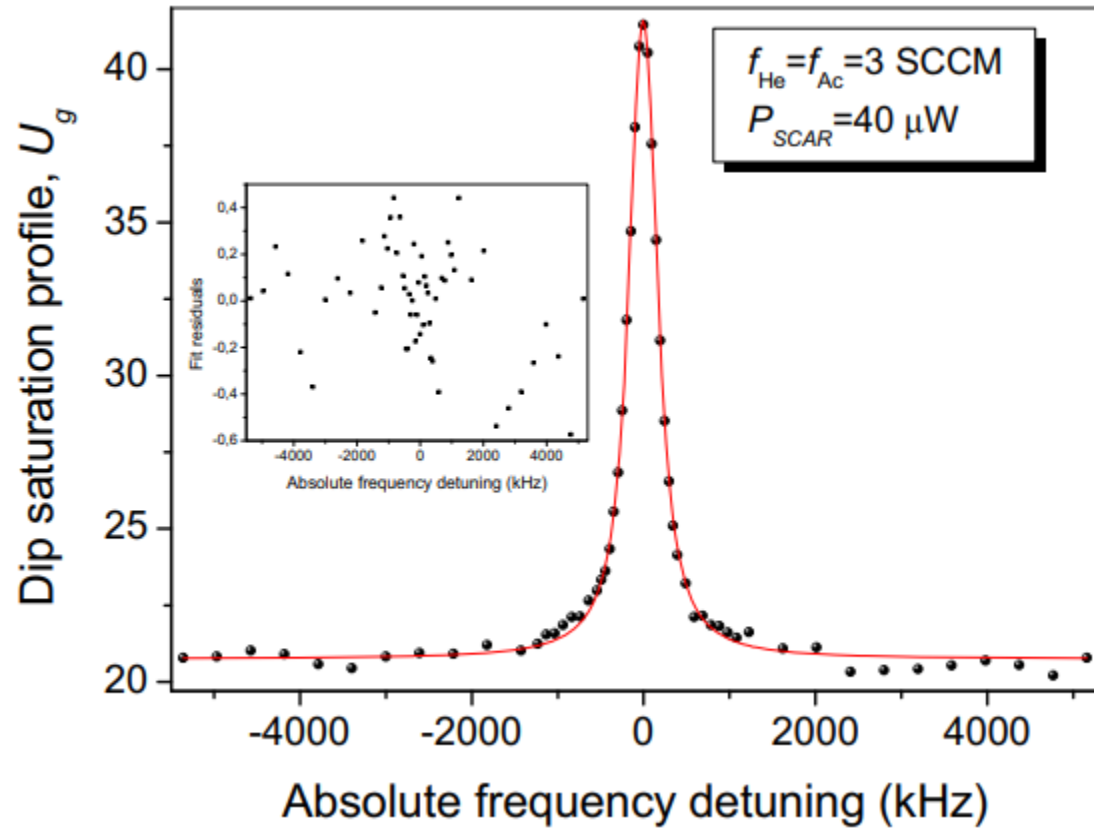
さらなる高精度化に向けて

- 光周波数コムなどの導入

Back up



バッファガスによる高精度実験の論文の1例



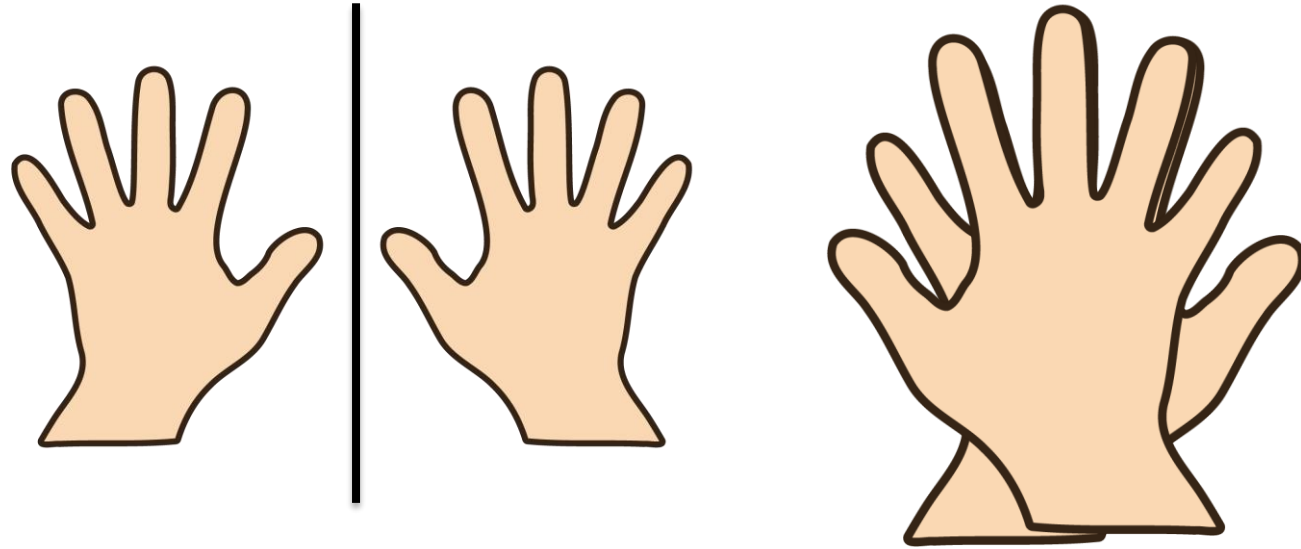
$$\nu_0 = 196\,696\,652\,914.3 \pm 1.2 \text{ kHz}$$

Nature Communications 13, 7016 (2022).

$$\nu_0^{\text{room temperature}} = 196\,696\,652\,918 \pm 2 \text{ kHz}$$

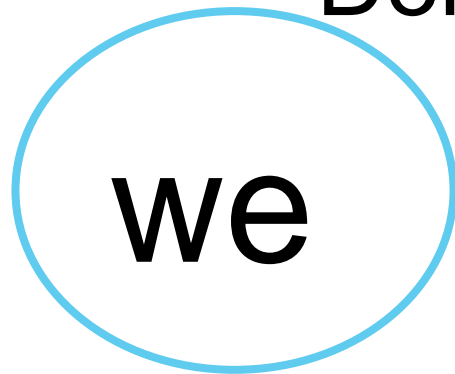
Olivero, J. J. *et al.*, *Transfer* 17, 233-236 (1977).

カイラル分子



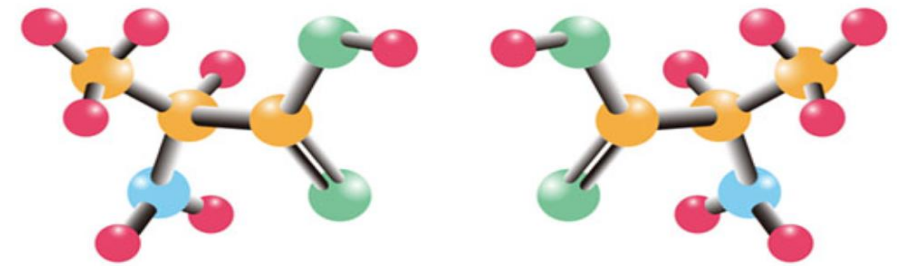
mirror

Don't same



Only D

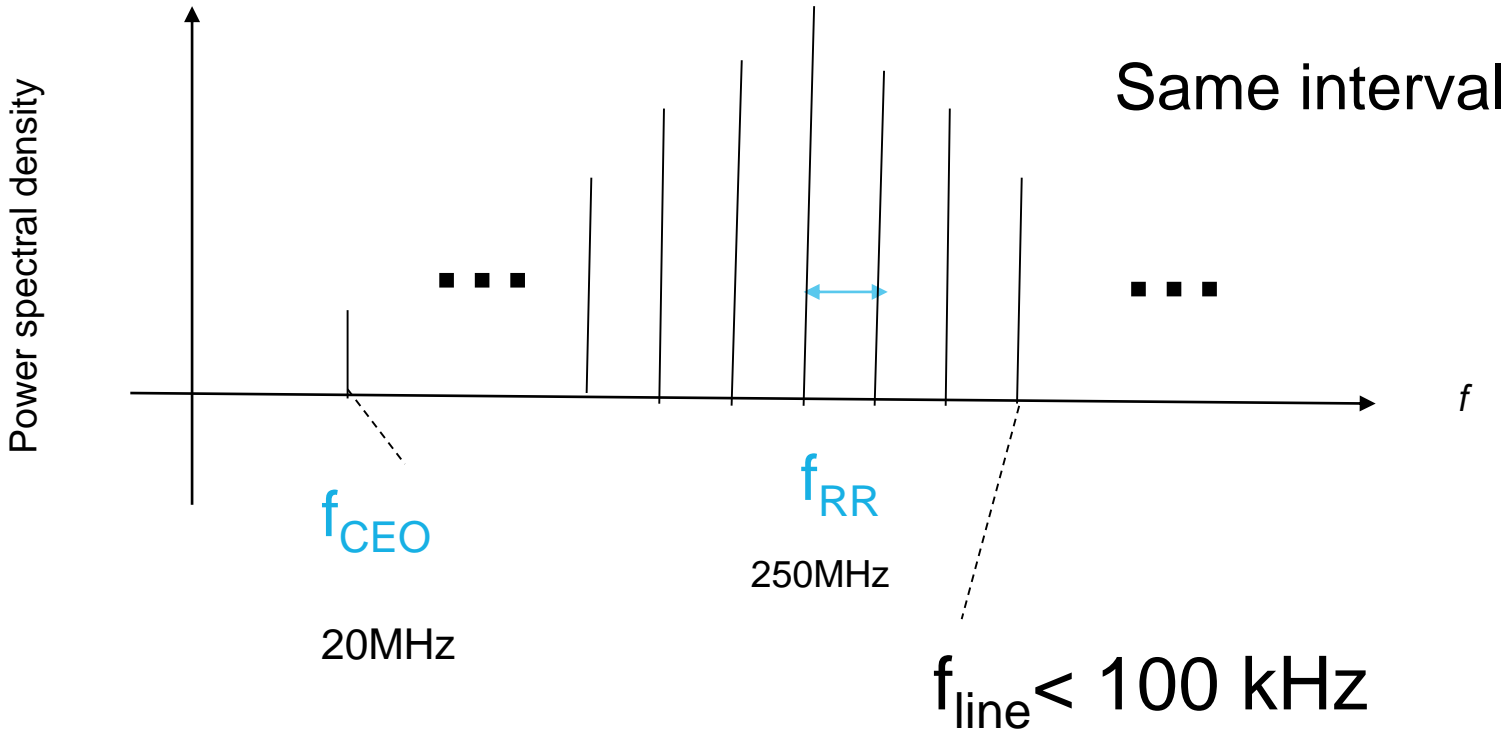
Homochirality



D-type alanine

L-type alanine

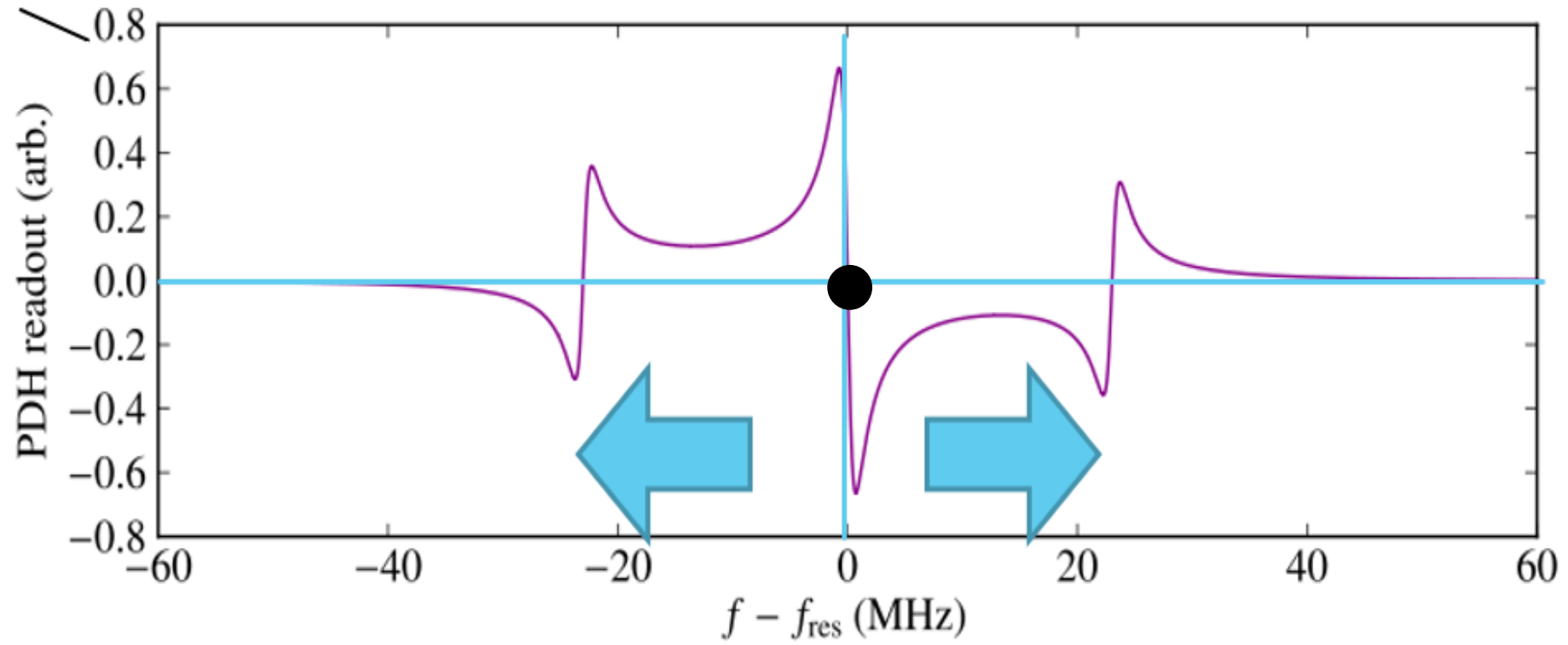
Optical frequency comb



Using as a ruler

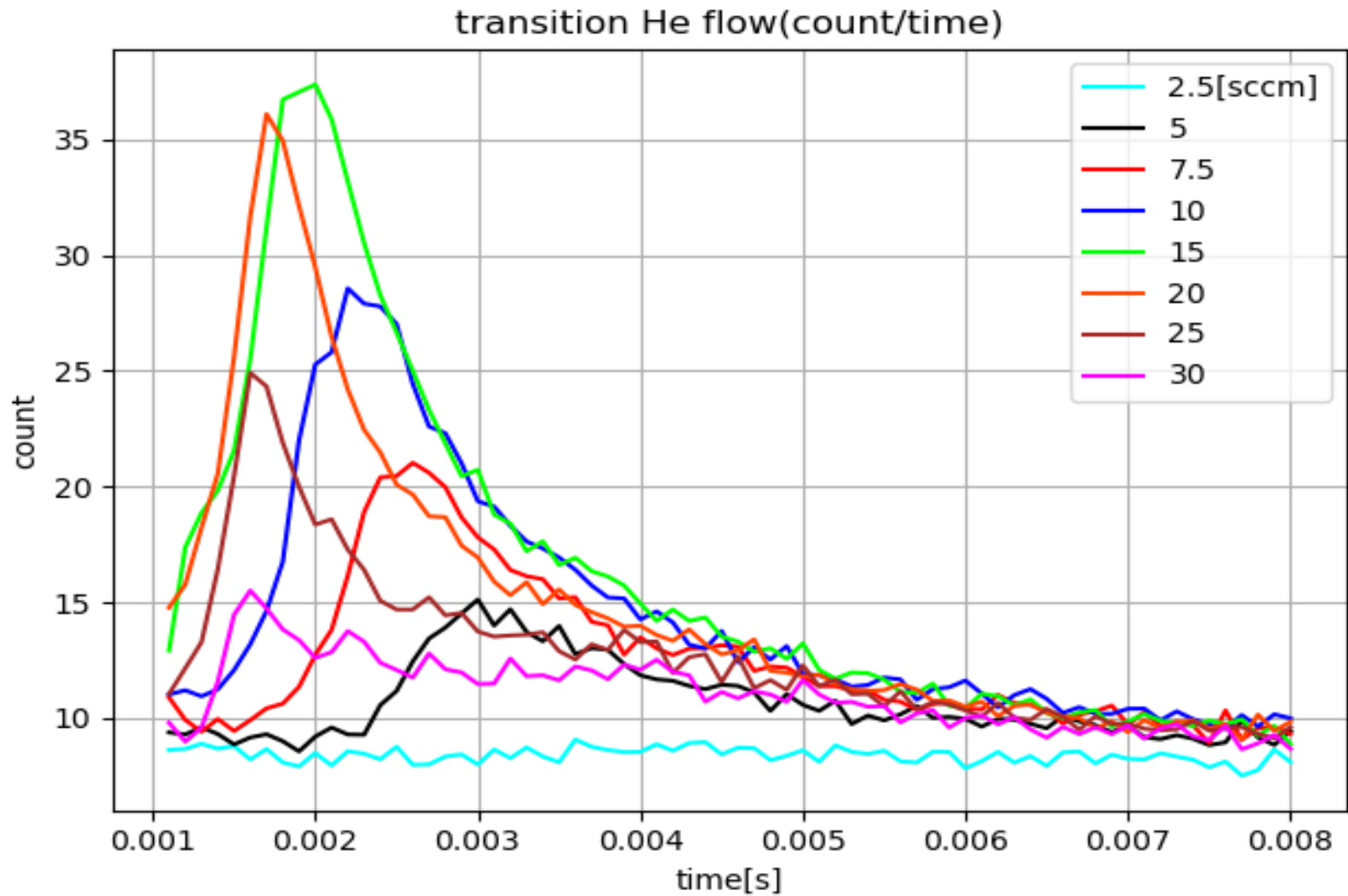
Measure with high precision

PDHロック



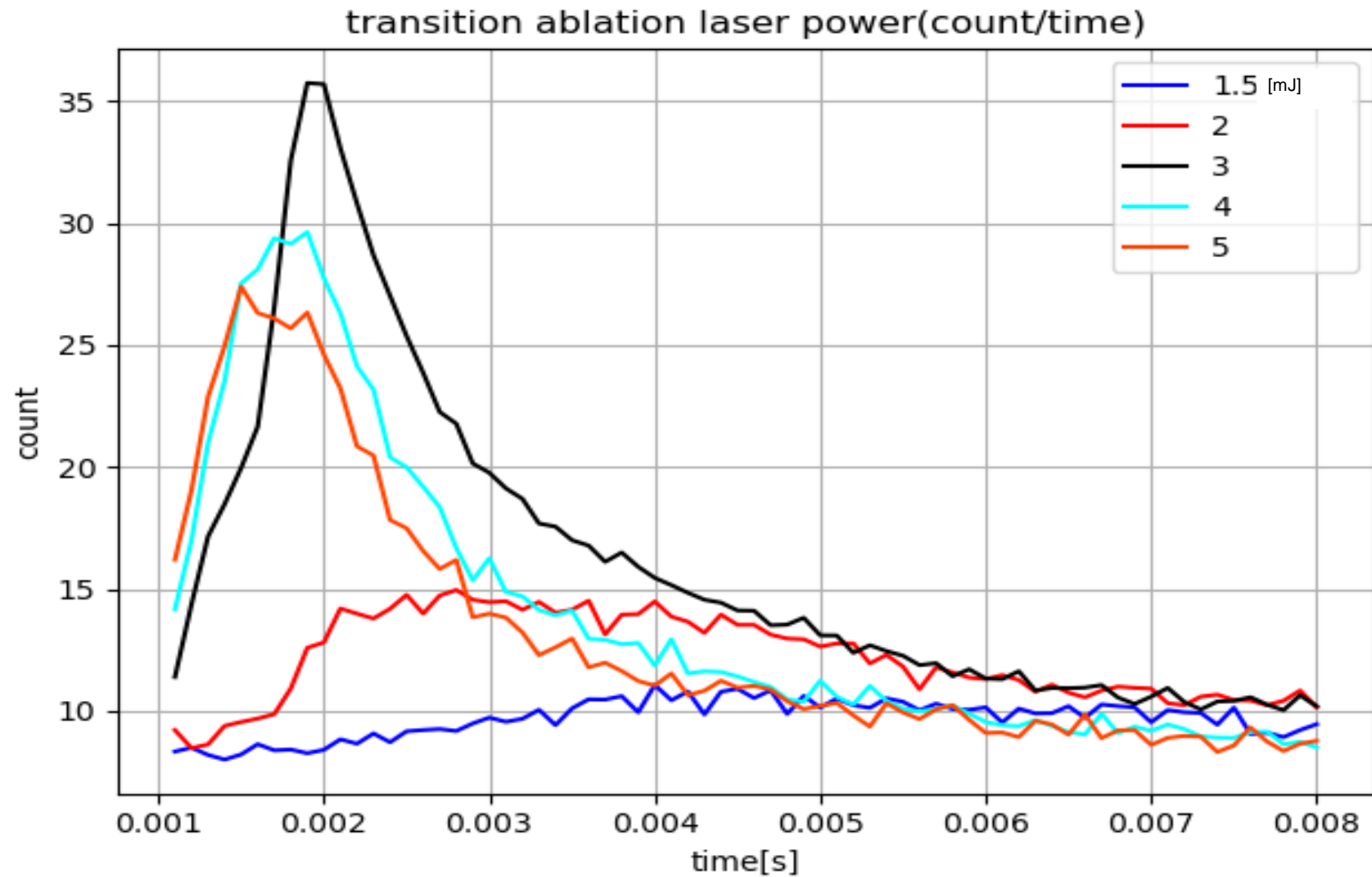
change He gas flow

sccm
standard cc/min
標準状態での cc/min



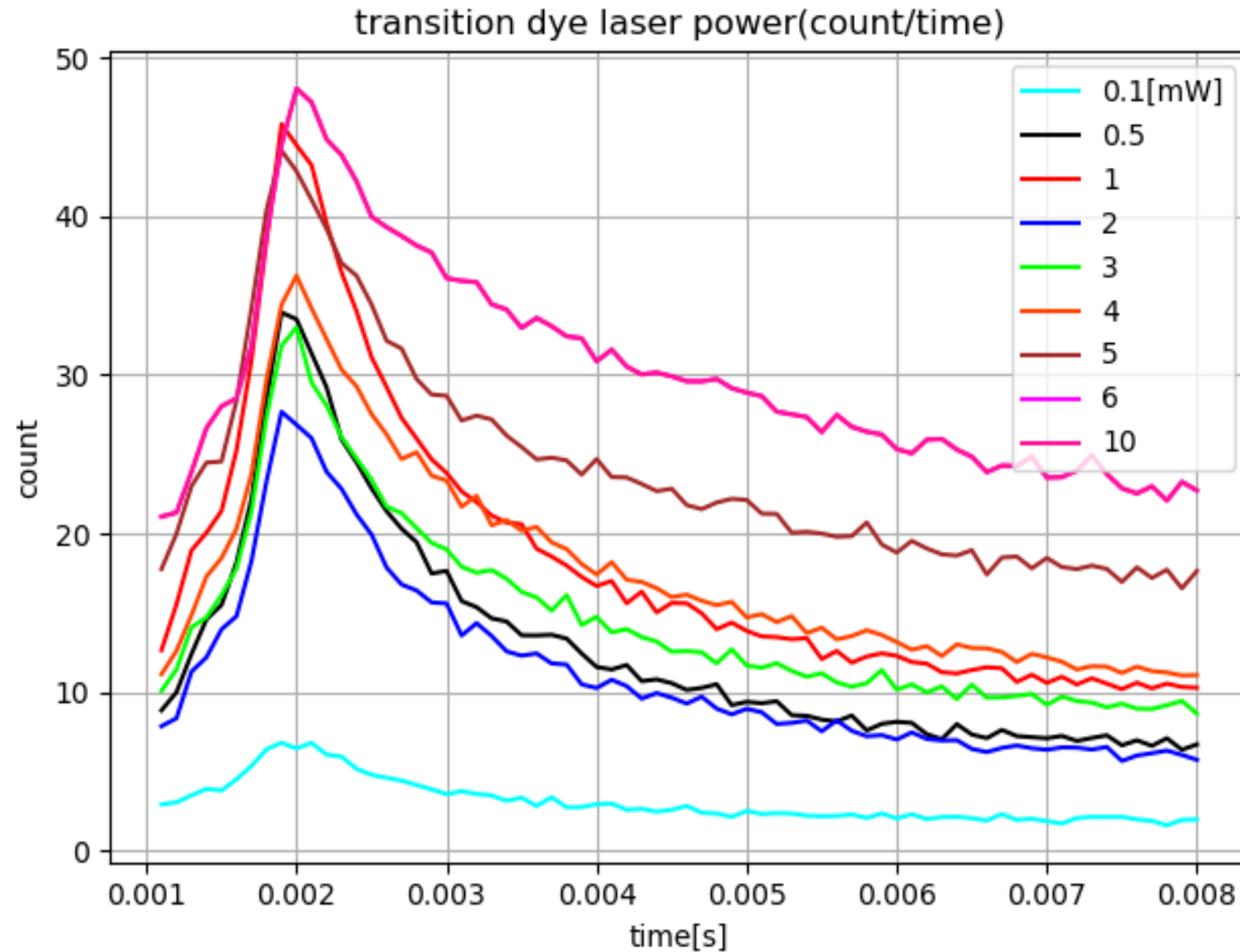
- ピーク時間は変動
- シグナルの良さも変化

change Ablation laser power



- ピーク時間は変動
- シグナルの良さも変化

Change dye laser power

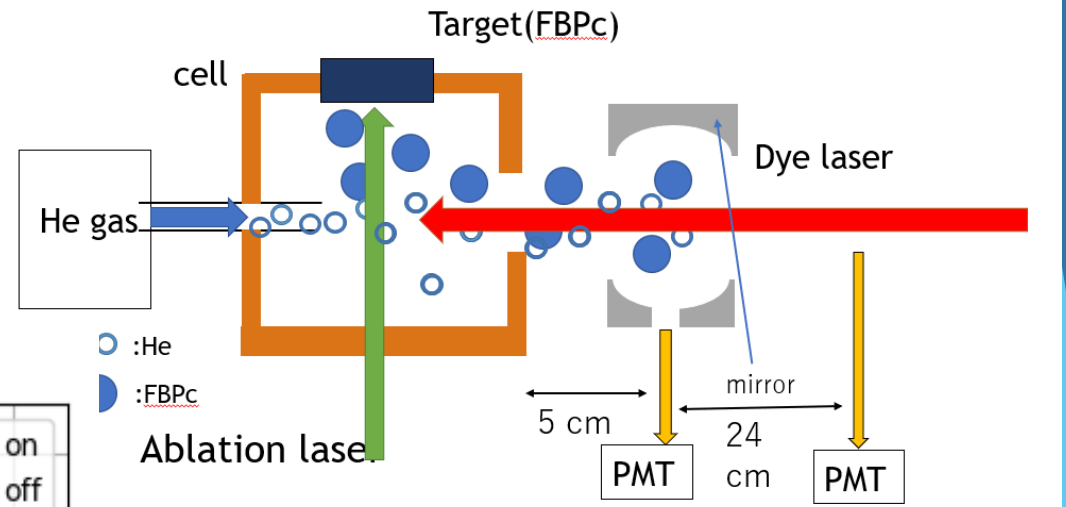
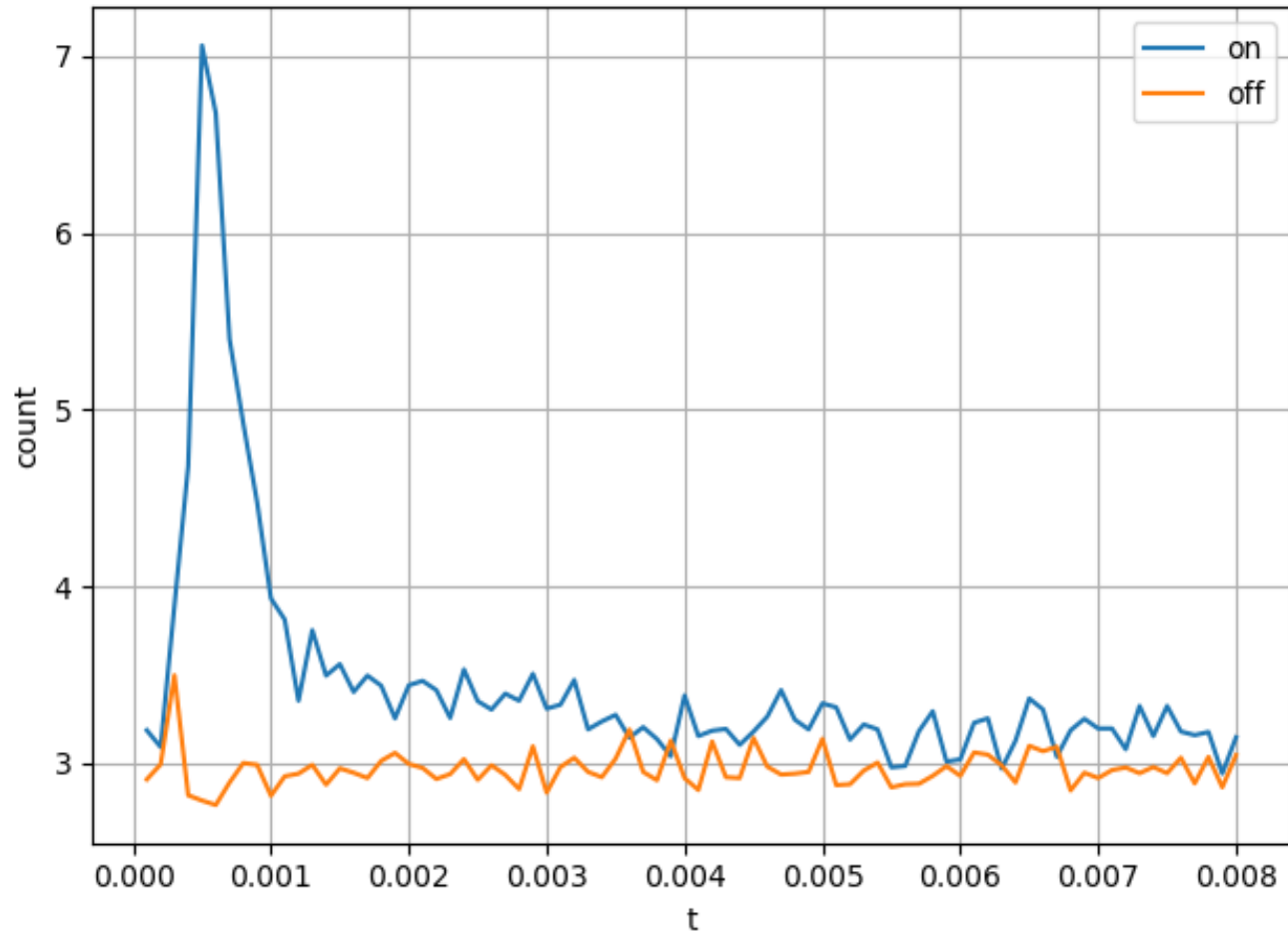


- ピーク時間は変わらない
- シグナルの良さは不明

色素レーザーによる影響

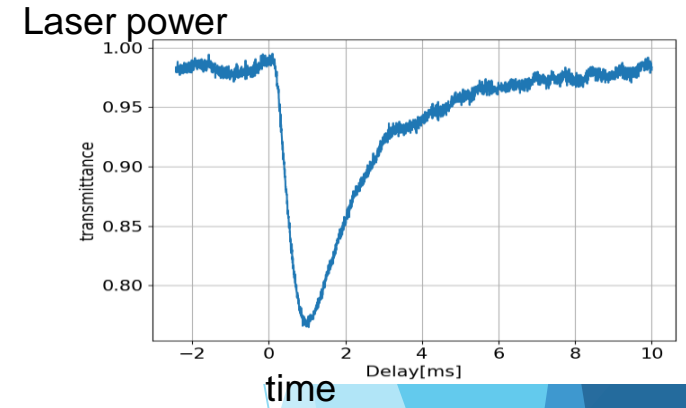
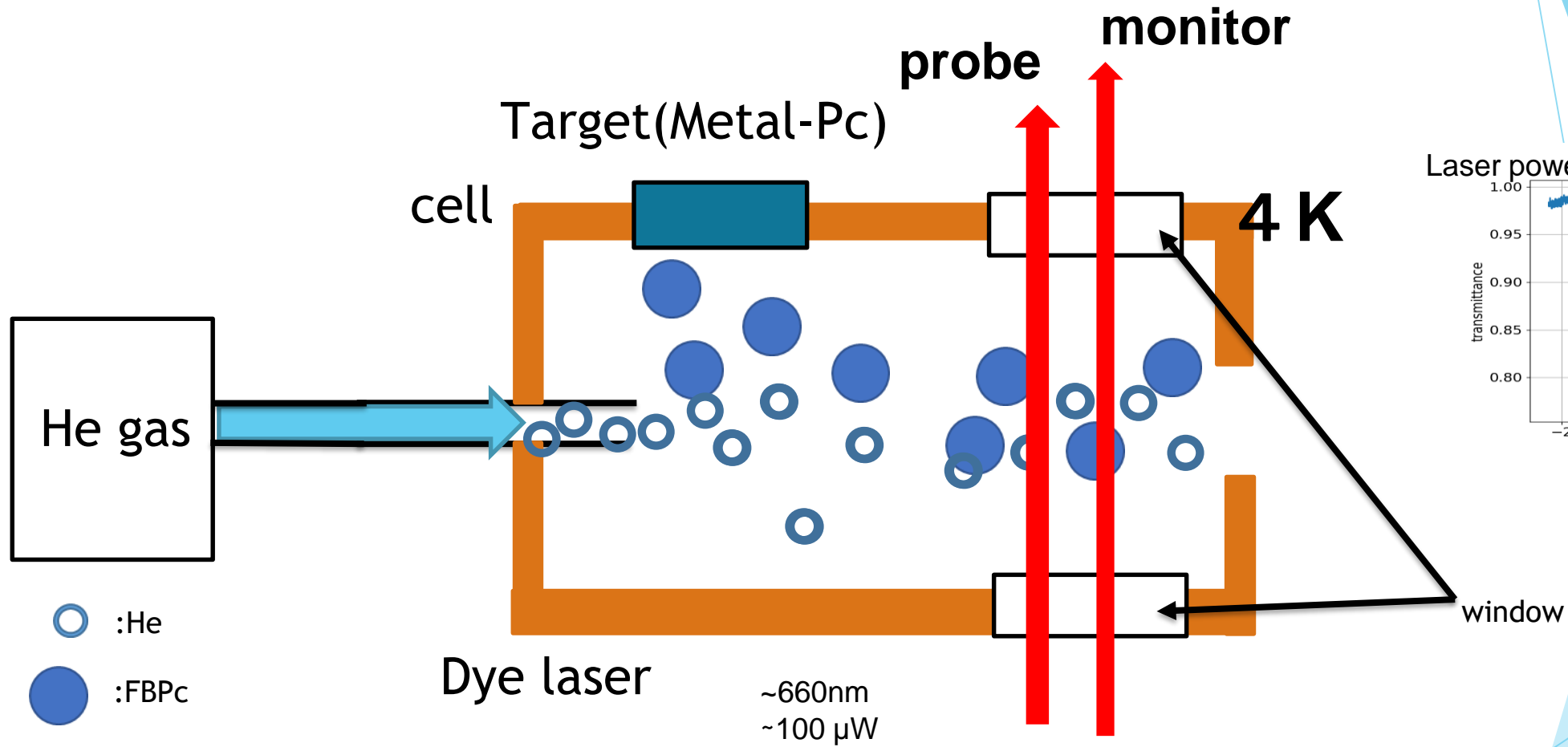
More under

check under line(24cm)



下流でのシグナルの確認

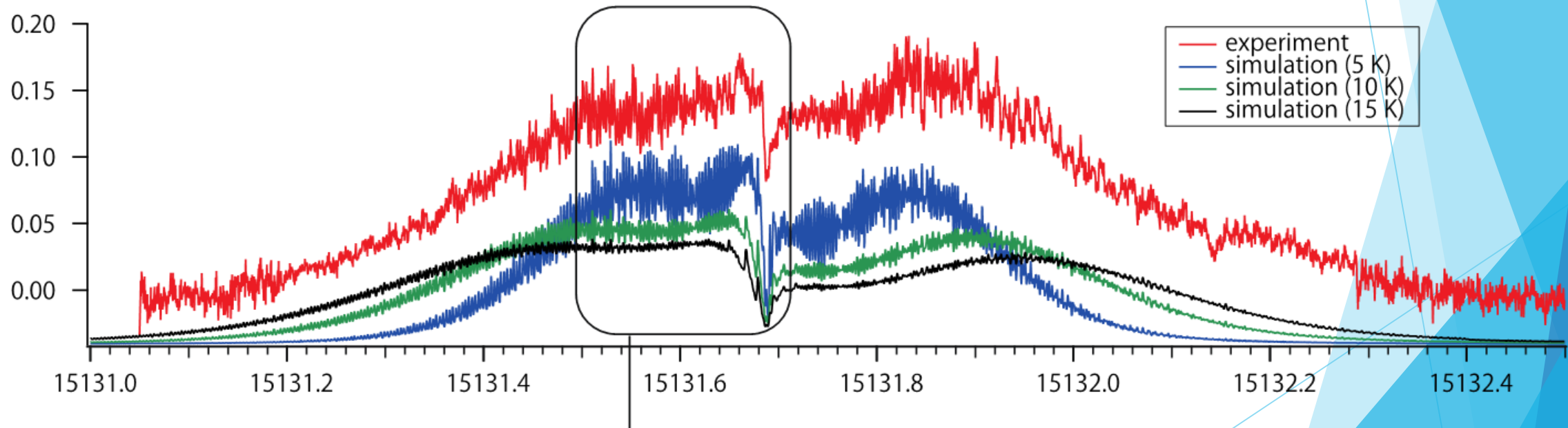
Set up②



Result

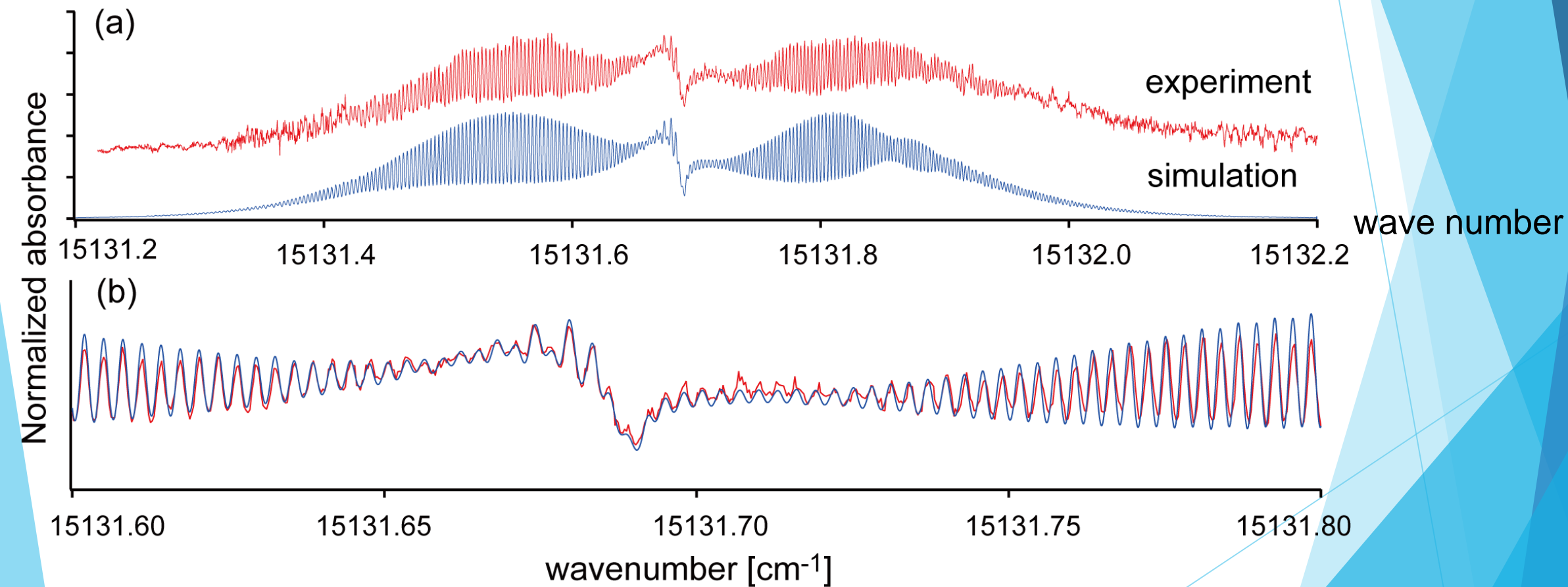
absorption spectrum of cooled FBPC

- Cooled $<10\text{K}$
- The structure derived from molecular rotational motion is visible.



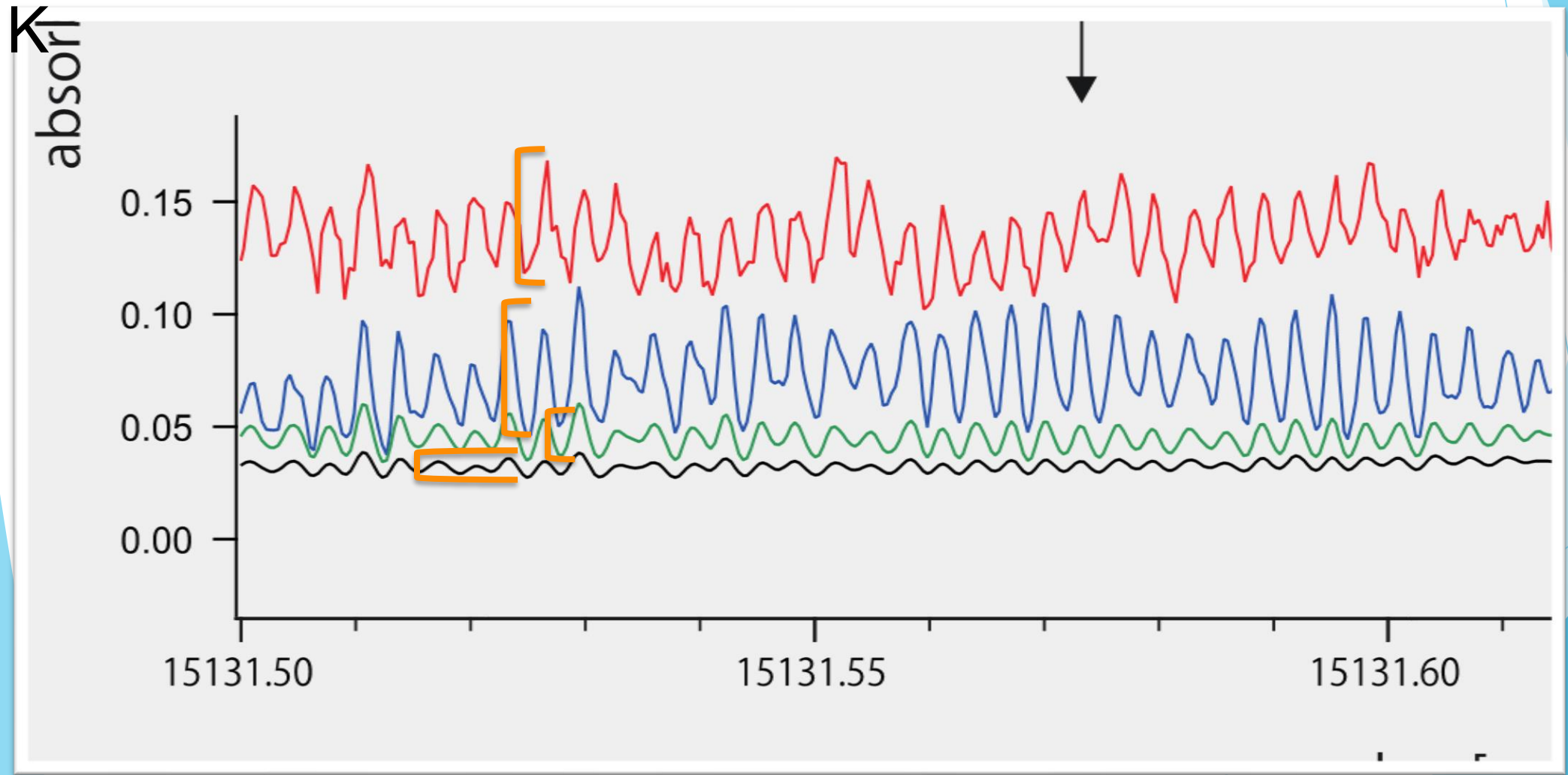
得られるデータ

フタロシアニンの高精度分光



molecular rotation is visible.

Decision T=5~10



Second 実験

High-precision spectroscopy of phthalocyanines centered around **metal** (Mg,Zn,AlCl)

Difference of FBPc

Different symmetry.

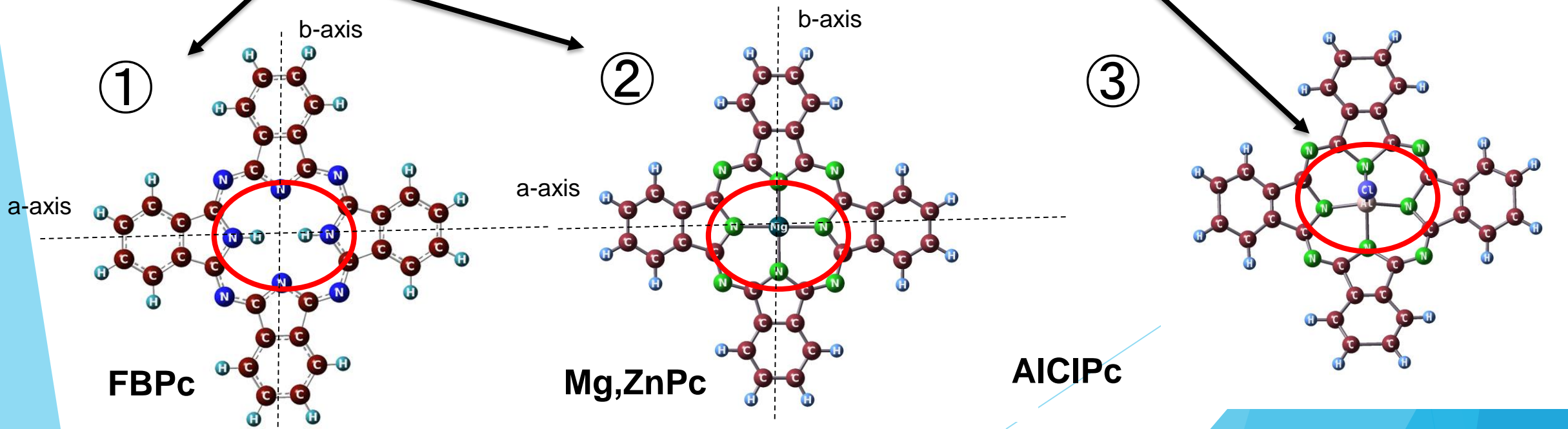
→ How does it show in the spectrum?

Different rotational symmetry.

FBPc : a-axis, b-axis are difference.

Mg,Zn-Pc : a-axis, b-axis are equivalent.

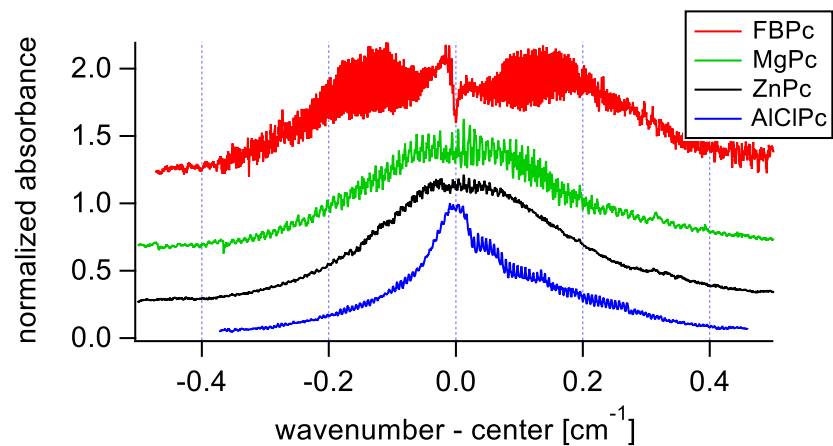
Not planar ?



Result

0-0 band

	Present work [cm ⁻¹]	Past data JMS 194, 163 (1999)
FBPc	15 131.69	15 132
MgPc	15 611.9	15 613
ZnPc	15 762.8	15 766
AICIPc	15 372.2	15 373



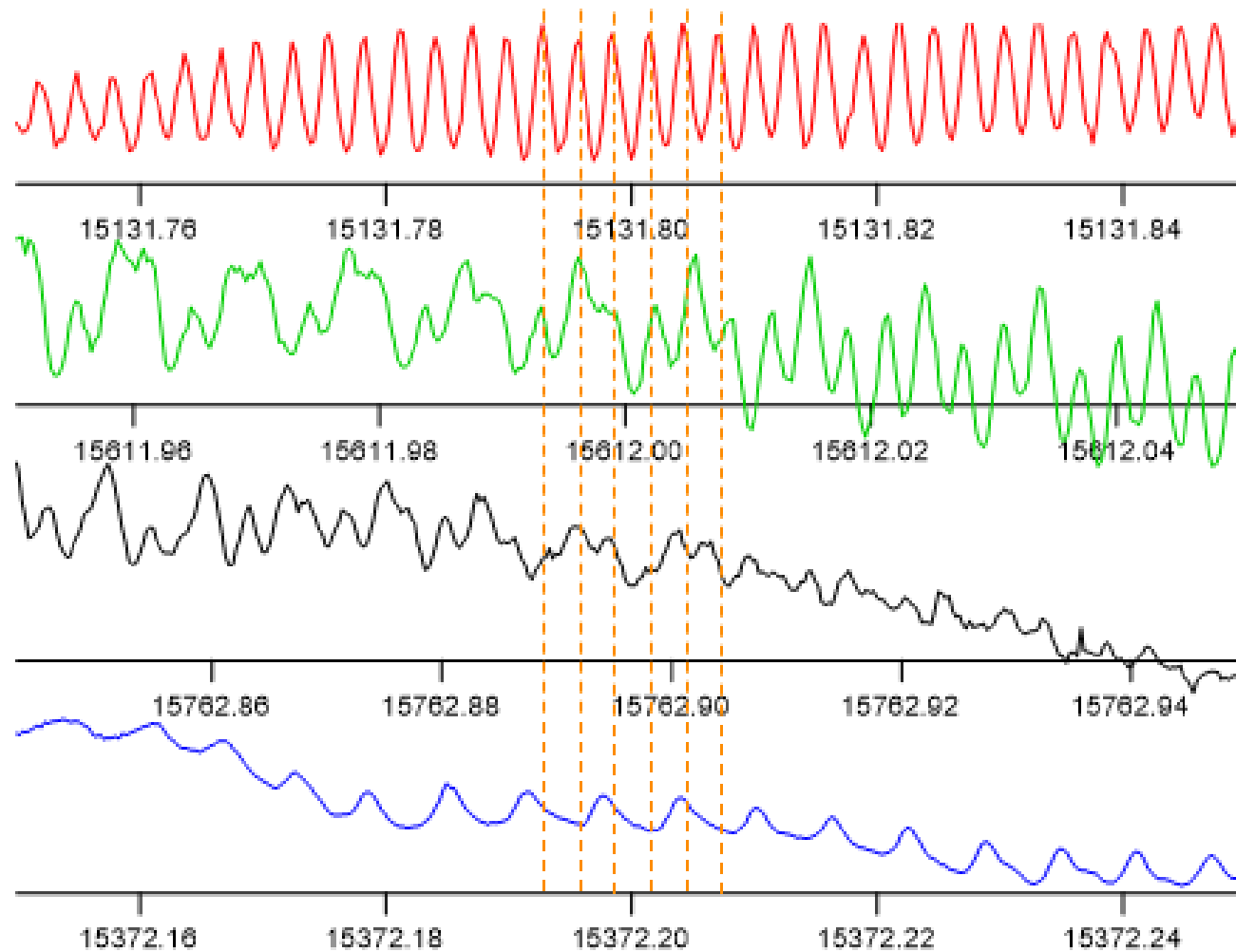
Result

FBPc

Mg

Zn

AlCl

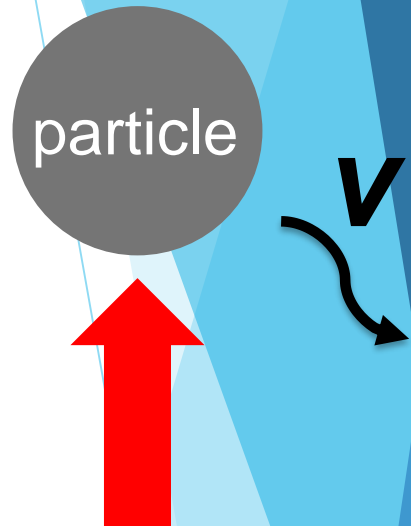
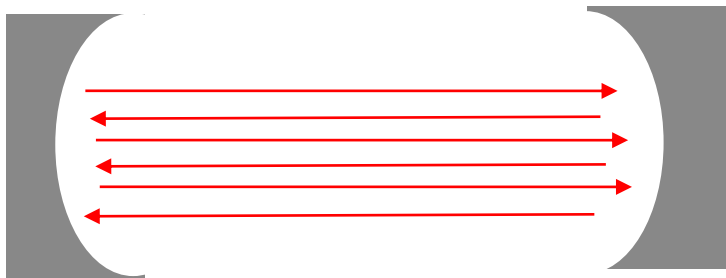


- Different structure periodicity → Different rotational symmetry
- 2 pattern
- Why 3 periodicity?(Mg,Zn)
- AlClPc is difficult

	E_{eff} [GV/cm]	Reference
YbF	25	J. Phys. B 30 , L607 (1997)
ThO	78	J. Chem. Phys. 145 , 214301 (2016)
HfF ⁺	23	Phys. Rev. A 96 , 040502 (2017)
ThF ⁺	35	New J. Phys. 17 , 043005 (2015).
PbO	25	Phys. Rev. Lett. 89 , 133001 (2002).
LrO, LrF ⁺ , LrH ⁺	250-340	Phys. Rev. A 104 , 062801 (2021).

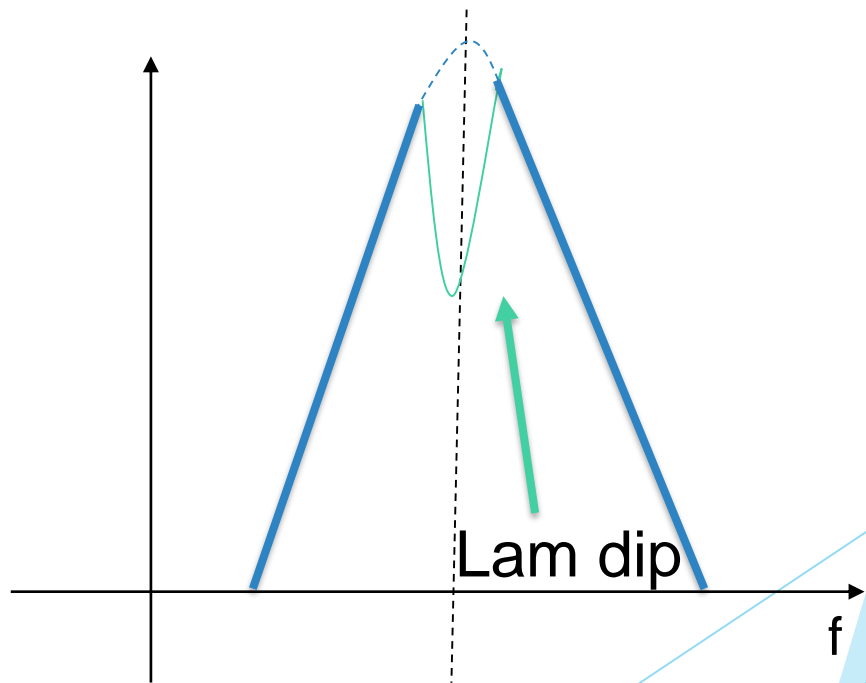
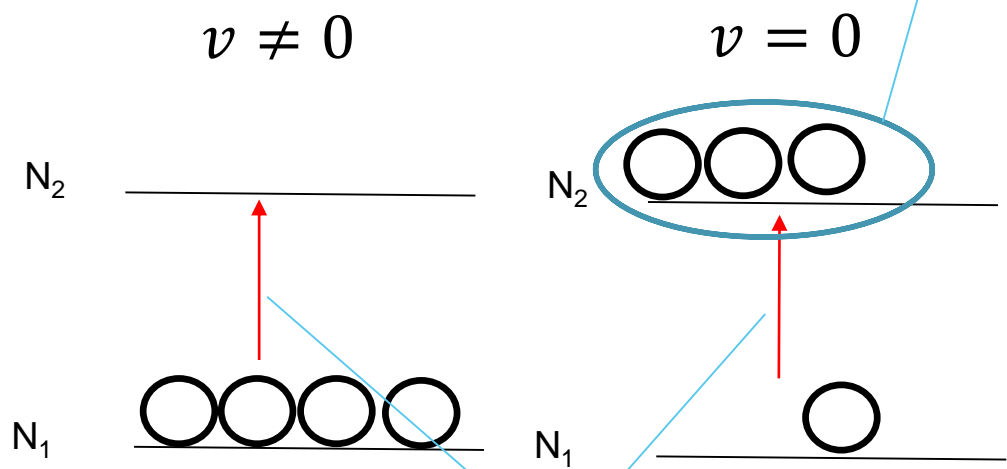
Dip absorption

Purpose: doppler free
➤ Use cavity



Energy state

by opposing laser



Laser pump