

日本物理学会シンポジウム

「最新原子核物理学で解き明かす宇宙線伝播機構」

事前打ち合わせ資料

Atsushi Tamii

*Research Center for Nuclear Physics,
Osaka University, Japan*

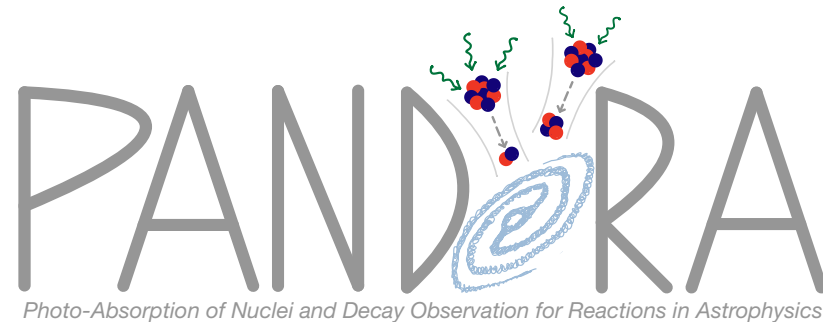
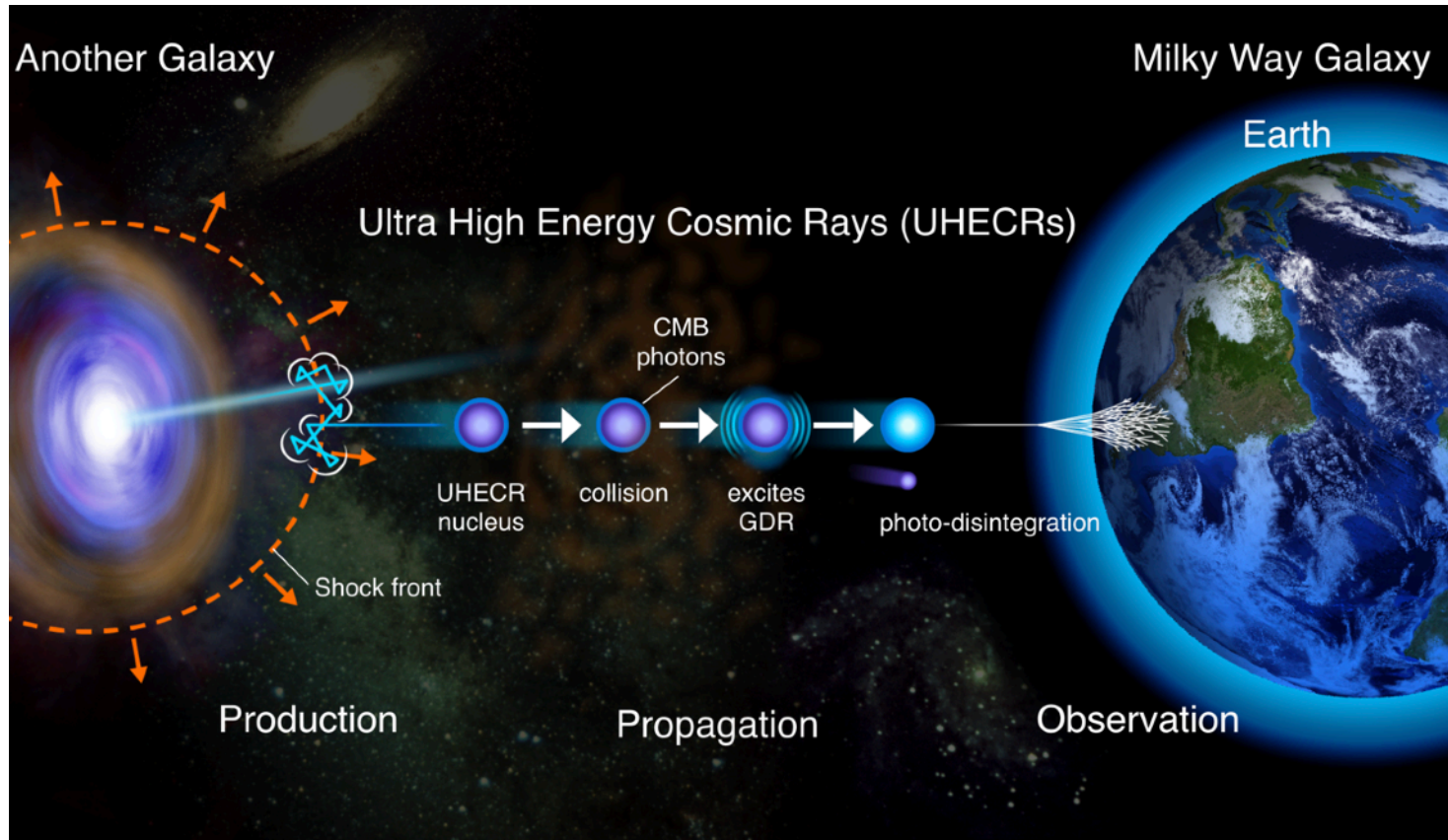
ver. 2024.8.7

for August 8, 2024, Online

PANDORA Project

PANDORA Project

Photo-Absorption of Nuclei and Decay Observation for Reactions in Astrophysics



PANDORAプロジェクト：軽核の光核反応

超高エネルギー宇宙線(UHECR)の生成時と観測時をつなぐ

銀河間伝搬時の宇宙マイクロ波背景放射 (CMB)との光核反応

→ エネルギーと質量を失う

生成時から観測時までのエネルギー・質量変化は光核反応によって記述される

軽核($A < 60$)の光核反応はまだよく分かっていない。

- ・ データが極めて少ない。精度が非常に悪い。
- ・ モデルによる系統的記述が確立していない。

既存の核構造モデルの不得手な領域。

崩壊計算の困難（直接・前平衡過程の重要性）。

→ 精度の高い系統的データを取得

最新の理論モデルで記述（重視されていなかった、良い比較データがなかった）

理論モデルの不定性も評価する(application時の不定性の定量化)。

光核反応の定量的記述の重要性

広い応用範囲

- 核物理学・宇宙線・天体核物理学において重要のみならず
 - ・医学・生物学（放射線の生物学的影響、 γ イメージング）
 - ・薬学（治療用アイソトープ生成）
 - ・工学（非破壊検査、放射線遮蔽、原子炉設計、核安全技術）

など広い範囲で重要な基礎反応過程

具体的にどういう状況が想定されるか
宇宙飛行士

^{16}O (人体の65%)や ^{12}C (同18%)がガンマ線を吸収した場合の、 α 線放出(生命体の影響が大きい)の確率がまだ分かっていない。

TALYS等の核反応コードがシミュレーションに用いられることが多い

- ・計算の不定性は非常に大きい（数倍～10倍？）が認識されていない
- ・既知の不具合点あり（ α 崩壊におけるアイソスピン選択則の不適用）

高精度データを基礎に理論計算を整備。予言の不定性も評価する。

コラボレーションの構築

原子核実験

- ・ RCNP: 陽子散乱 (仮想光子励起) 光吸収断面積 (& 崩壊過程)
 - ・ iThemba LABS: 陽子散乱 (仮想光子励起) 崩壊過程
 - ・ ELI-NP: レーザーコンプトンガンマ線(実光子励起) 断面積絶対値、中性子崩壊
- HI γ S (LCS)、上海LEGS (LCS)、Oslo (γ 強度関数)、TU-Darmstadt (tagged- γ)
などの施設の実験グループが参加表明 NewSUBARUも既得データで参加

原子核理論

- ・ AMD: 木村、谷口
- ・ 大規模殻模型: 宇都野、清水
- ・ 大規模殻模型: K. Sieja, O. Lenoan
- ・ RPA: 稲倉
- ・ RNFT: E. Litovinova, P. Ring
- ・ QRPA: N. Tsoneva
- ・ 核反応: 緒方、湊
- ・ TALYS: S. Goriely, E. Khan

PANDORA Project White Paper
AT et al., EJPA59,208(2023)

UHECRシミュレーション

- ・ 木戸、長瀧、...
- ・ D. Allard、B. Baret、...

Experiment combining three complementary facilities

Virtual Photon Exp.

iThemba LABS 2024?- ^{12}C and ^{27}Al

proposal accepted in 2019

Total strength distribution up 24 MeV

p, α , γ -decays

multipole decomp. analysis

RCNP 2023- $^{10,11}\text{B}$, $^{12,13}\text{C}$, ^{27}Al and ^{16}O , ^{26}Mg , ^{40}Ca , ^{56}Fe ,

Total strength distribution up 32 MeV

multipole decomp. analysis

p, α , γ -decays

proposals accepted in 2020
and 2024

Real Photon Exp.

ELI-NP 2025?-

absolute c.s.

model independent separation of E1 and M1

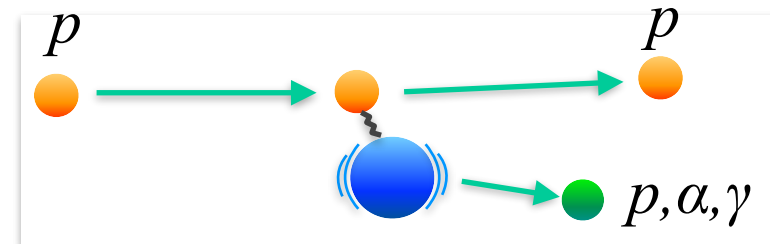
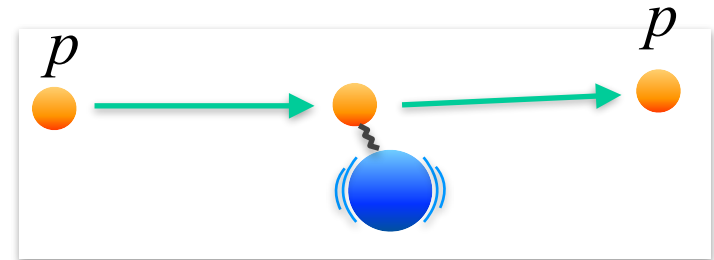
n,p, α , γ -decays up to 20 MeV

LoI submitted in 2020

Probing Photo-Nuclear Response of Nuclei

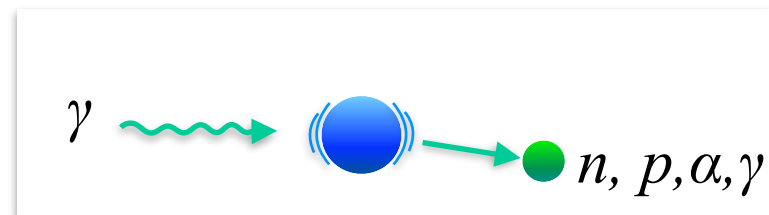
Virtual photo excitation by proton scattering (RCNP, iThemba)

- Missing mass method with proton Coulomb excitation
- better for total strength and strength distribution
higher cross sections
also applicable for p, α, γ decays



Real photo excitation (ELI-NP)

- Gamma-beam by laser-Compton scattering with an electron beam
- individual decay channels
better for absolute normalization
applicable also for n and xn decays in addition to p, α, γ



Targets



Measurements on 10-20 nuclei in ~ 10 years
with theoretical model developments

σ_{abs} distribution
in 10% accuracy

Candidate target nuclides

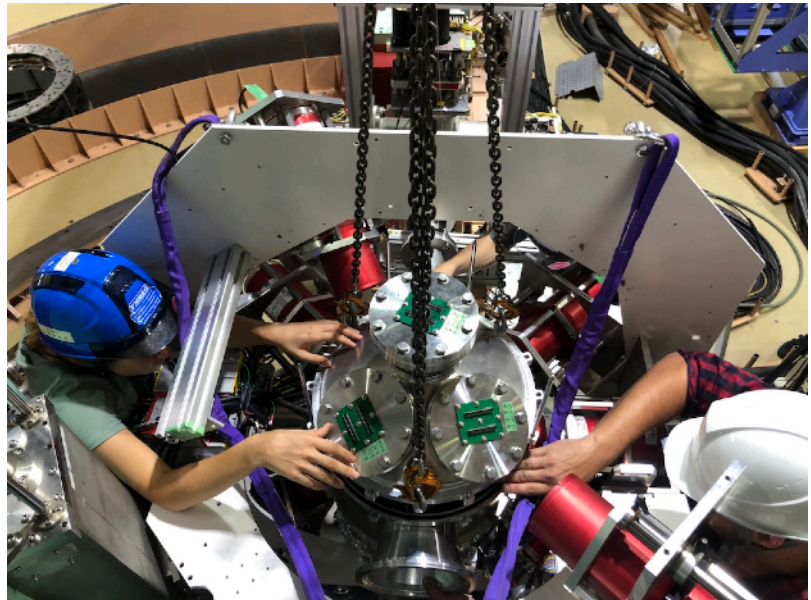
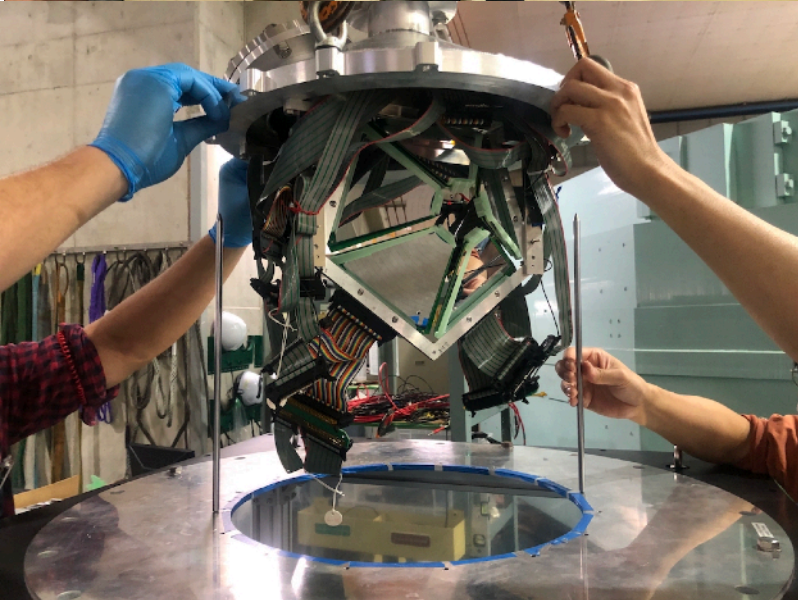
- ^{12}C , ^{16}O , and ^{27}Al first cases, alpha decay, reference target
- ^6Li , ^7Li , ^9Be , ^{10}B , ^{11}B light nuclei
- (^{20}Ne) , ^{24}Mg , ^{28}Si , ^{32}S , (^{36}Ar) , ^{40}Ca N=Z nuclei, α -cluster effect, deformation
- ^{26}Mg , ^{48}Ca , ^{56}Fe N>Z nuclei
- ^{13}C , ^{14}N , ^{51}V odd and odd-odd nuclei
- (γ, xn) on ^{18}O , ^{48}Ca , ^{64}Ni

Measured in the first experiment

-  photo-abs. c.s. + charged particle decay + gamma
-  photo-abs. c.s. + gamma

First PANDORA Experiment at RCNP, October 2023

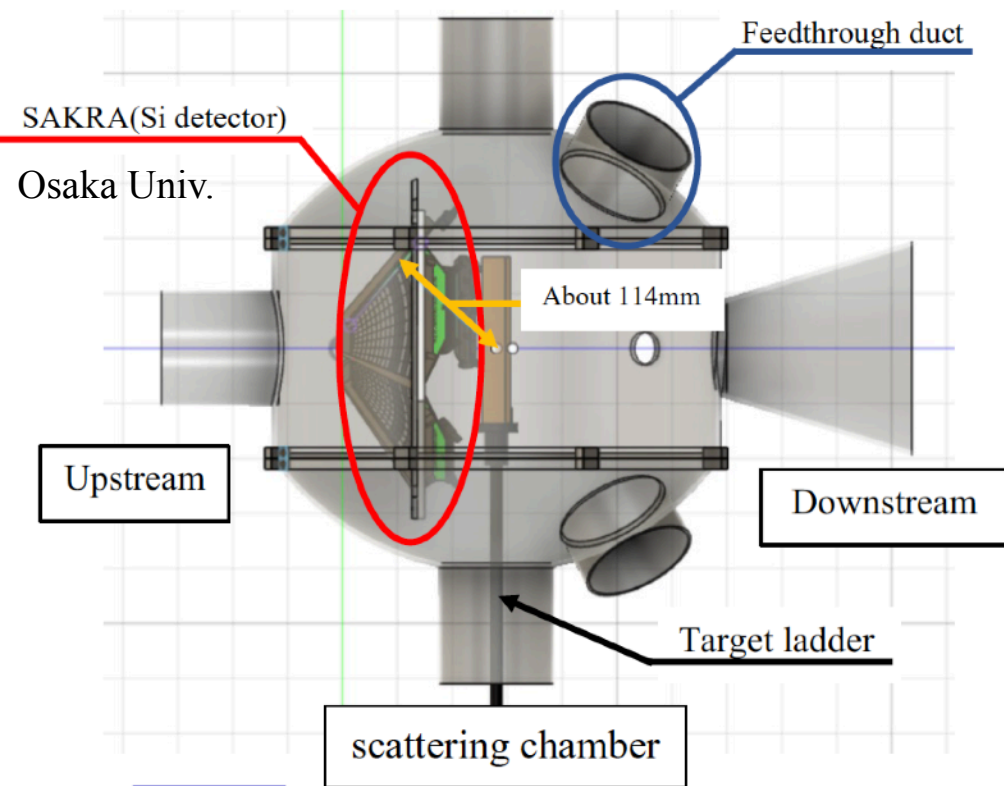
Experimental setup, September 2023



The first PANDORA experiment at RCNP, Oct. 2023

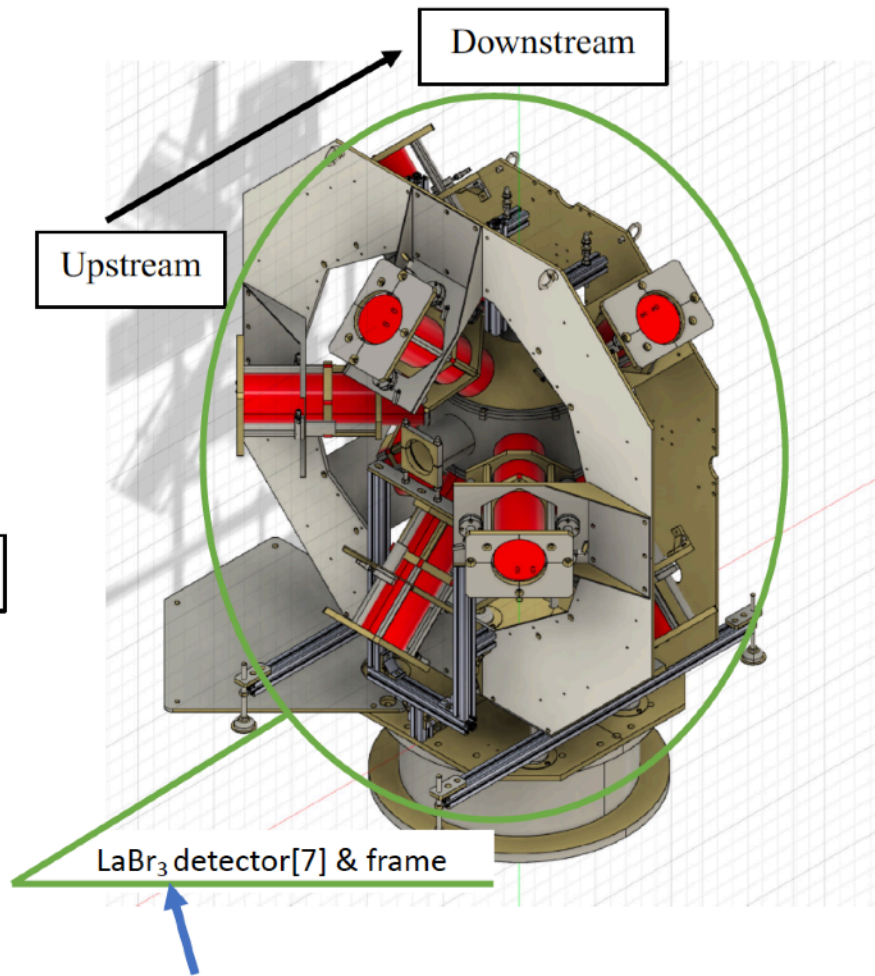
Y. Sasagawa, DB03 CEU poster session, #4, this afternoon

Detector setup at Grand Raiden Spectrometer



Features

- Near Spherical shape
→ To bring the detector closer
- SAKRA mounted on lid
→ For easy SAKRA evacuation




This LaBr₃ detectors belongs to the Milan Group.

PANDORA Project White Paper

PANDORA Project for the study of photonuclear reactions below $A = 60$

Euro. Phys. J. A **59**, 208 (2023)

PANDORA Collaboration

A. Tamii^{1,2,3,a} , L. Pellegrini^{4,5}, P.-A. Söderström⁶, D. Allard⁷, S. Goriely⁸, T. Inakura⁹, E. Khan¹⁰, E. Kido¹¹, M. Kimura^{11,12,13}, E. Litvinova¹⁴, S. Nagataki¹¹, P. von Neumann-Cosel¹⁵, N. Pietralla¹⁵, N. Shimizu¹⁶, N. Tsoneva⁶, Y. Utsuno¹⁷, S. Adachi¹⁸, P. Adsley^{19,20}, A. Bahini⁵, D. Balabanski⁶, B. Baret⁷, J. A. C. Bekker^{4,5}, S. D. Binda^{4,5}, E. Boicu^{6,21}, A. Bracco^{22,23}, I. Brandherm¹⁵, M. Brezeanu^{6,21}, J. W. Brummer⁵, F. Camera^{22,23}, F. C. L. Crespi^{22,23}, R. Dalal²⁴, L. M. Donaldson⁵, Y. Fujikawa²⁵, T. Furuno³, H. Haoning¹⁴, R. Higuchi¹¹, Y. Honda³, A. Gavrilescu^{6,26}, A. Inoue¹, J. Isaak¹⁵, H. Jivan^{4,5}, P. Jones⁵ , S. Jongile⁵, O. Just^{11,27}, T. Kawabata³, T. Khumalo^{4,5}, J. Kiener¹⁰, J. Kleemann¹⁵, N. Kobayashi¹, Y. Koshio²⁸, A. Kuşoğlu^{6,29}, K. C. W. Li³⁰, K. L. Malatji⁵, R. E. Molaeng^{4,5}, H. Motoki¹², M. Murata¹, A. A. Netshiy^{4,5,31}, R. Neveling⁵ , R. Niina¹, S. Okamoto²⁵, S. Ota¹, O. Papst¹⁵, E. Parizot¹⁰, T. Petruse⁶, M. S. Reen³², P. Ring³³, K. Sakanashi³, E. Sideras-Haddad⁴, S. Siem³⁰, M. Spall¹⁵, T. Suda³⁴, T. Sudo¹, Y. Taniguchi³⁵, V. Tatischeff¹⁰, H. Utsunomiya^{36,37}, H. Wang^{36,38,39}, V. Werner¹⁵, H. Wibowo⁴⁰, M. Wiedeking^{4,5}, O. Wieland²³, Y. Xu⁶, Z. H. Yang⁴¹

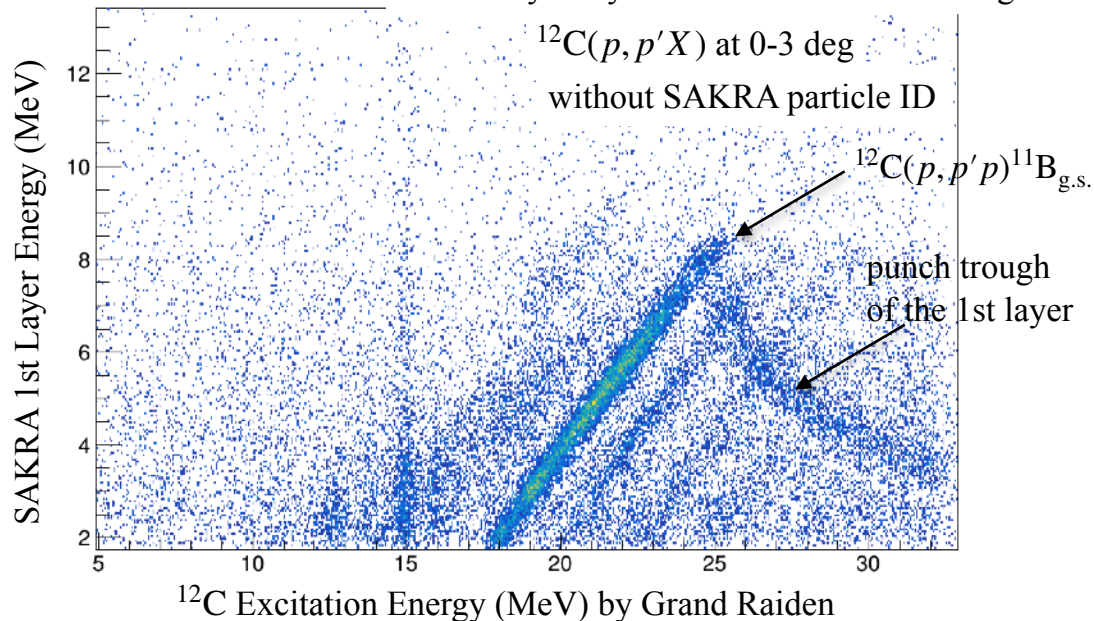
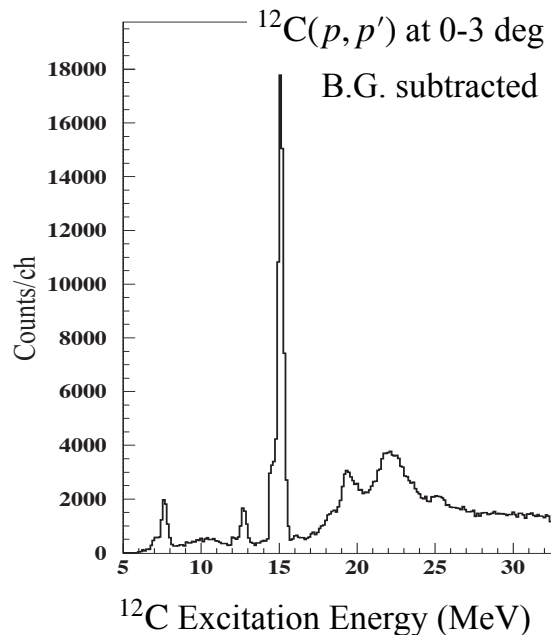
A part of the visiting collaborators of RCNP-E563, Sep.-Oct., 2023



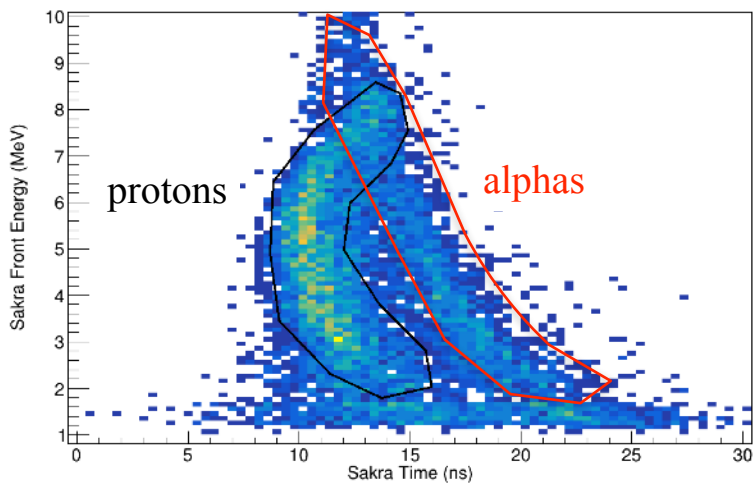
Preliminary data from E563



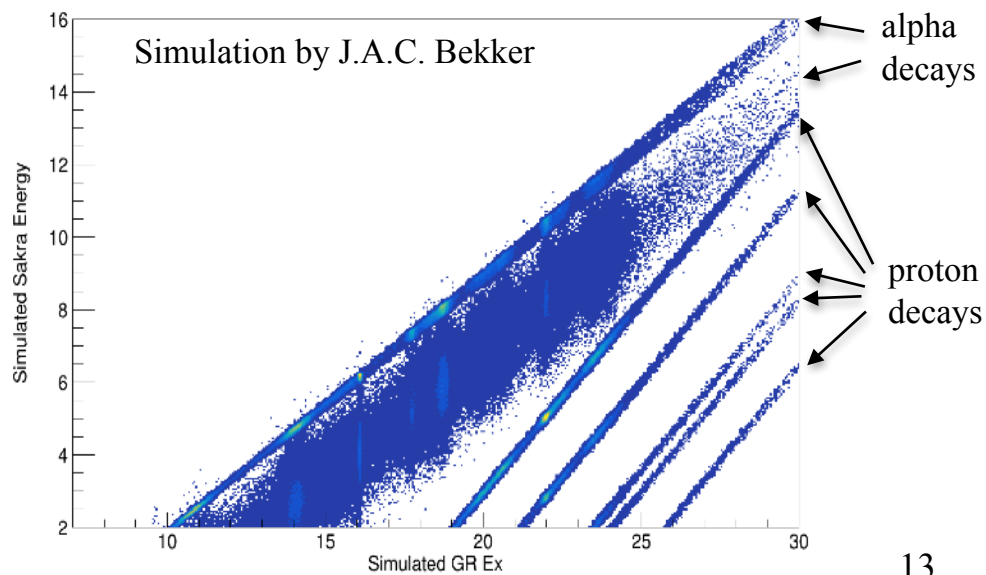
Data analysis by J.A.C. Bekker and Y. Sasagawa



SAKRA particle ID (calibration in progress)

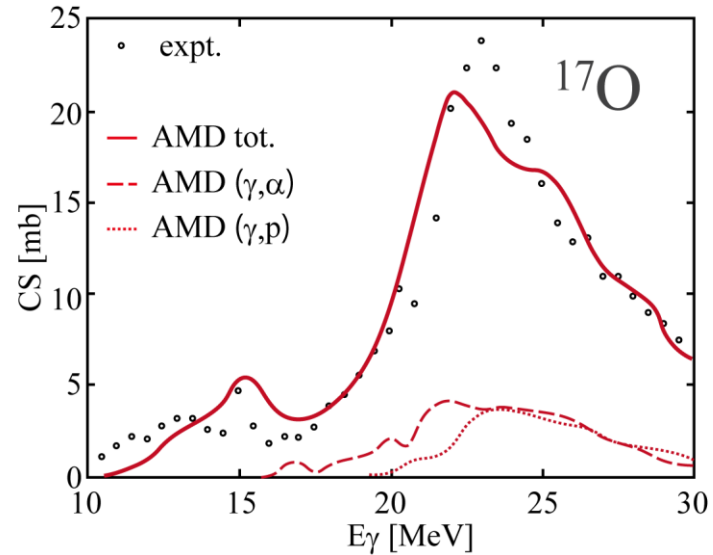
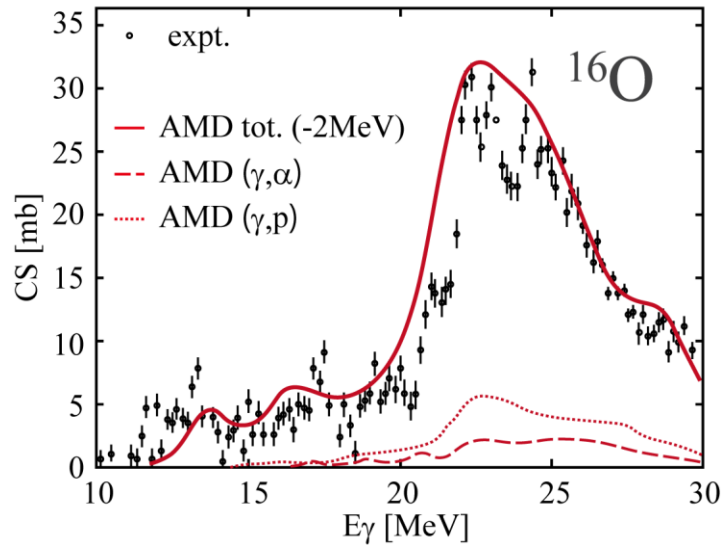
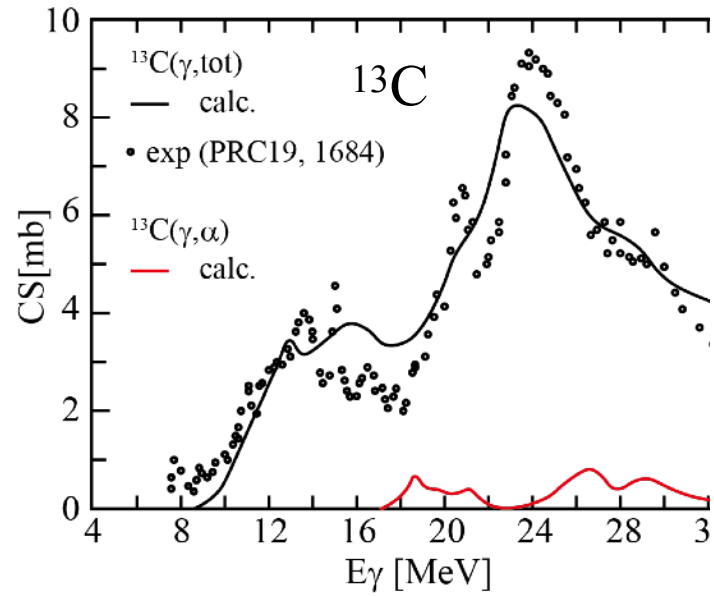
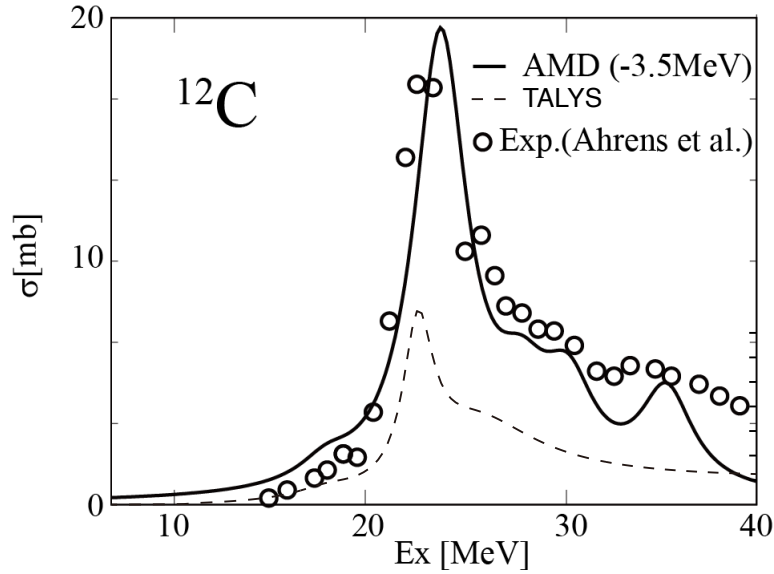


Better separation of p and α is anticipated after calibration of the flight length



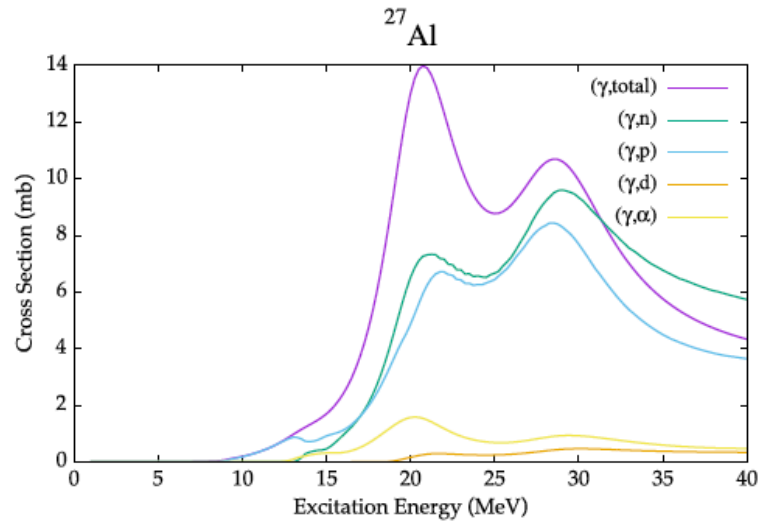
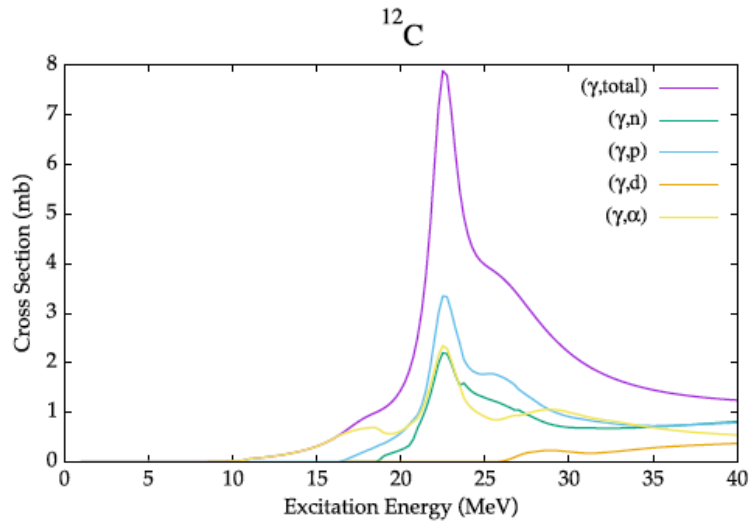
Predictions

AMD + Laplace Expansion (M. Kimura et al.,)



Predictions

TALYS



RPA (T. Inakura)

