

Oral presentation | II. Radiation, Accelerator, Beam and Medical Technologies : 201-1 Nuclear Physics, Nuclear Data Measurement/Evaluation/Validation, Nuclear Reaction Technology

📅 Thu. Mar 17, 2022 10:35 AM - 12:00 PM JST | Thu. Mar 17, 2022 1:35 AM - 3:00 AM UTC | 🏠 Room A

[2A05-09] Nuclear Data Measurement 2

Chair: Atsushi Kimura (JAEA)

10:35 AM - 10:50 AM JST | 1:35 AM - 1:50 AM UTC

[2A05] Measurements of double-differential cross sections of the Al(p,xp) reaction for 400 MeV - 3 GeV protons

(1) Test experiment using 400 MeV protons

*Shin-ichiro Meigo¹, Keita Nakano¹, Yuji Yamaguchi¹ (1. JAEA/J-PARC)

10:50 AM - 11:05 AM JST | 1:50 AM - 2:05 AM UTC

[2A06] Cross section measurement of hydrogen containing materials: methanol, benzene and toluene

*Masahide Harada¹, Yutaka Abe², Makoto Teshigawara¹, Motoki Ooi¹, Yujiro Ikeda³, Kenichi Oikawa¹, Seiko Kawamura¹, Yasuhiro Inamura¹ (1. JAEA, 2. Kyoto Univ., 3. RIKEN)

11:05 AM - 11:20 AM JST | 2:05 AM - 2:20 AM UTC

[2A07] Evaluation of time resolution for pulsed neutron beams in the KURNS-LINAC

*Yasunori Matsuo¹, Jun-ichi Hori², Yoshiyuki Takahashi², Hiroshi Yashima², Kazushi Terada², Tadafumi Sano¹ (1. Kindai Univ., 2. Kyoto Univ.)

11:20 AM - 11:35 AM JST | 2:20 AM - 2:35 AM UTC

[2A08] A systematic measurement of mass-centroids for light/heavy fragments in actinide fission

*Kentarō Hirose¹, Katsuhisa Nishio¹, Leguillon Romain¹, Mark Vermeulen¹, Kean Kun Ratha^{2,1}, Hiroyuki Makii¹, Riccardo Orlandi¹, Kazuaki Tsukada¹, Masato Asai¹, Tetsuya K Sato¹ (1. Japan Atomic Energy Agency, 2. Tokyo Tech)

11:35 AM - 11:50 AM JST | 2:35 AM - 2:50 AM UTC

[2A09] Development of resonance ionization laser ion source for SLOWRI at RIKEN RI beam factory

*Hideki Tomita^{1,2,3}, Volker Sonnenchein¹, Koya Hattori¹, Honoka Yamaguchi¹, Hiroki Miura¹, Tetsu Sonoda³, Hironobu Ishiyama³, Klaus Wendt⁴ (1. Nagoya Univ., 2. JST PRESTO, 3. RIKEN, 4. Mainz Univ.)

11:50 AM - 12:00 PM JST | 2:50 AM - 3:00 AM UTC

Time reserved for Chair

400 MeV - 3 GeV 陽子における Al(p,xp)反応の二重微分断面積 (DDX) の測定

— (1) 400 MeV 陽子を用いた試験 —

Measurements of double-differential cross sections of the Al(p,xp) reaction for 400 MeV - 3 GeV protons

— (1) Test experiment using 400 MeV protons —

*明午 伸一郎¹, 中野 敬太¹, 山口 雄司¹

¹J-PARC 原子力機構

宇宙開発事業の推進や核内カスケードモデルの比較検討のため、J-PARC のビームダンプ入口のアルミニウム製の窓で散乱により大気中に放出される陽子のエネルギースペクトルの測定を実施し、PHITS コードとの比較検討を行った。

キーワード： Al(p,xp)反応、二重微分断面積、PHITS、数 GeV 領域、準弾性散乱、弾性散乱

1. 緒言

宇宙開発事業において、衛星搭載用の荷電粒子検出器の応答測定のため数百 MeV から GeV 領域の陽子の利用が必要となるが、400 MeV 以上のエネルギー領域で供給が可能な加速器施設は世界的に少なく、国内には J-PARC が唯一となる。J-PARC の加速器施設ではユーザー運転を安定に継続するために、利用者の実験装置を陽子ビームダクト内への設置は困難となる。また、シンクロトロン加速器の特性により検出器の動作確認ができる程度の微弱なビーム供給はできない。また、加速器駆動核変換システム(ADS)等の大強度陽子加速器施設では核内カスケードモデル(INCL)の高度化が重要となる。INCL の改良のためには、最前方方向の放出粒子の DDX が重要となるが、実験値が殆どないため新たなデータの取得が望まれる。宇宙開発事業における陽子ビーム利用推進および INCL の高精度化のため、ビームダンプ入口のビーム窓 (Al) における散乱陽子のエネルギースペクトルを測定し、速報として報告する。

2. 実験

J-PARC の 3NBT のビームダンプ入口には、厚さ 0.3 mm の Al 製の窓が設置されており、この窓で散乱した陽子を 5 台のプラスチックシンチレータ(EJ200)検出器により測定した。ビーム進行方向に対し 13° の方向となる窓から 14 m 離れた大気中に検出器を設置した。形状□50 mm の厚さが 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, および 0.7 m のプラスチックシンチレータを用い、590 MeV までの陽子を停止できるカロリメトリックな測定を行った。入射ビームは、1 ショットあたり $\sim 10^{14}$ 個となる通常の利用運転より 7 桁強度 (10^7 個/ショット) を減少させ、測定信号のパイルアップを防止した。検出器の信号はデジタイザ(SIS3316)に入力し、各検出器の同時計測 (コインシデンス) を行った。加速器出射トリガ信号も入力し飛行時間の測定も行った。

3. 結果

厚さ 0.4 m の検出器の波高分布を電子相当の発光量(MeVee)の応答関数として図 1 に示す。図の縦軸は窓に入射する陽子の数で規格化し、横軸は PHITS の計算結果の弾性散乱のピーク位置に一致するように規格化した。窓の散乱陽子の最大運動エネルギーは、弾性散乱により ~ 400 MeV となるが、真空容器のビームダクト (5.5 mm-t) の脱出において浅い角度で横切るため、大気中での最大運動エネルギーは 350 MeV となり、厚さ 0.4 m の検出器で停止した。

INCL4.6/GEM を用いた PHITS による、窓に入射する陽子あたりの厚さ 0.4 m の検出器の応答関数を図 1 に示す。計算は、弾性散乱による実験のピーク強度を再現するもの、140 MeVee 付近の準弾性散乱による寄与を約 4 倍過大評価した。同様な傾向は、Chiren らの LANL における 0.8 GeV 陽子入射による測定結果[1]にも見られた。

参考文献

[1] R.E. Chiren, et al, Phy. Rev. C, 21, 1014 (1980)

*Shin-ichiro Meigo¹, Keita Nakano¹, Yuji Yamaguchi¹

¹J-PARC/JAEA,

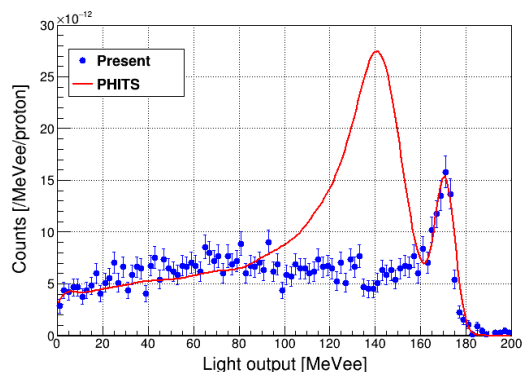


図 1 実験及び PHITS コードの計算の応答関数の比較。弾性散乱のピーク幅が一致するように計算値を検出器のエネルギー分解能 (2%) でスミアした。

20～300K における水素含有物質の断面積測定 —メタノール、ベンゼン及びトルエン—

Cross section measurement of hydrogen containing materials at 20 ~ 300 K;

methanol, benzene and toluene

*原田 正英¹、安部 豊²、勅使河原 誠¹、大井 元貴¹、池田 裕二郎³、
及川 健一¹、河村 聖子¹、稲村 泰弘¹

¹原子力機構、²京都大学、³理研

J-PARC 核破碎中性子源に設置されている中性子実験装置 NOBORU 及び AMATERAS において、水素含有物質の冷熱中性子領域における温度依存の全断面積及び散乱断面積の測定を開始した。メタノール、ベンゼン、トルエンを試料として測定し、断面積データを得ることができた。

キーワード：水素含有物質、断面積測定、温度依存性、冷熱中性子領域、J-PARC、NOBORU、AMATERAS

要旨

大型中性子源や小型中性子源で使用されている減速材は、水素の高い減速特性から、水素含有物質を用いることが多い。冷熱中性子性能を決める全断面積や散乱断面積を含む散乱特性は、減速材選択の重要なデータである。しかしながら、これまで広く一般に使われてきたデータには、測定時期が古いものがあることや、測定方法もまちまちであることから、不確定性が存在する。そこで我々は、次世代中性子源開発に向け、2018 年度より、系統的な水素含有物質の断面積測定を開始した。2019 年における発表では、軽水とエタノールをについて報告した。今回の発表では、水素含有物質であるメタノール、ベンゼン、トルエンの測定について報告する。

測定は、J-PARC センターの物質生命科学実験施設の核破碎中性子源の中性子実験装置 NOBORU 及び AMATERAS を用いた。全断面積の測定は NOBORU で、散乱断面積の測定は AMATERAS でそれぞれ行った。試料はアルミニウム製セルに封入し、試料の温度は、20、100、200、300K 及び融点付近の温度点とした。全断面積の測定は、飛行時間法を用い、試料毎にエネルギー依存の中性子透過率を測定し、全断面積に変換した。散乱断面積は、チョッパーで複数のエネルギーにチョッピングし、散乱強度を測定することで、散乱断面積に変換した。

トルエンの全断面積の測定結果の一例を図 1 に示す。測定されたデータは、カーネルを用いないデータと異なる傾向を示すことがわかる。安部らの理論値と比較した結果、温度依存性を含め、良い一致を示した。

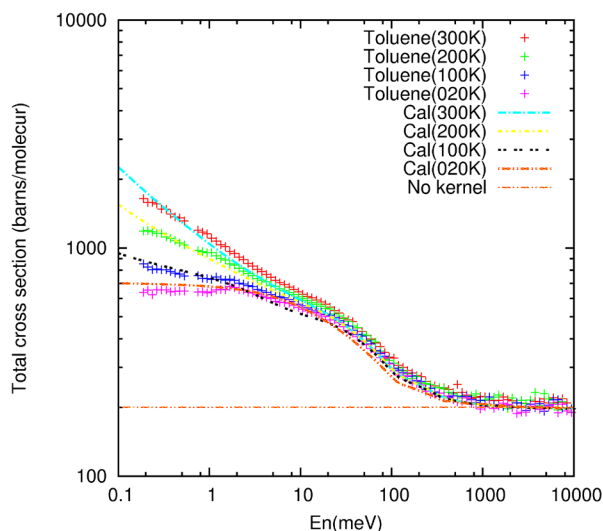


図 1、トルエンの全断面積の測定結果

*Masahide Harada¹, Yutaka Abe², Makoto Teshigawara¹, Motoki Ooi¹, Yujiro Ikeda³, Kenichi Oikawa¹, Seiko Kawamura¹ and Yasuhiro Inamura¹

¹JAEA, ²Kyoto Univ., ³RIKEN

KURNS-LINAC パルス中性子源の時間分解能評価

Evaluation of time resolution for pulsed neutron beams in the KURNS-LINAC

*松尾 泰典¹, 堀 順一², 高橋 佳之², 八島 浩², 寺田 和司², 佐野 忠史¹,
¹近畿大学, ²京都大学

TOF 法を用いた中性子断面積測定において時間分解能評価は重要である。そこで KURNS-LINAC に設置されたパルス中性子源において、共鳴パラメータが既知の ^{181}Ta の捕獲 γ 線を TOF 法を用いて測定することにより、代表的な分離共鳴エネルギーにおける時間分解能を評価した。

キーワード：KURNS-LINAC, パルス中性子源, TOF 法, パルス幅, 時間分解能

1. 緒言 TOF 法を用いた中性子断面積測定において重要となるエネルギー分解能を決定する時間分解能は、施設固有成分と検出器系に依存する成分の二つに大別することができる。施設固有成分はビームパルス幅とモデレータに由来する成分からなる。J-PARC/MLF/ANNRI ではパルス中性子源のエネルギー分解能評価が行われている^[1]。一方、京都大学複合原子力科学研究所の電子線形加速器(KURNS-LINAC)では、一部のモデレータについて数値計算を用いて評価が行われているが^[2]、実験的には評価されていない。そこで、本研究では KURNS-LINAC パルス中性子源の時間分解能を実験的に評価した。

2. 実験と解析 実験では KURNS-LINAC で 30MeV に加速した電子を Ta ターゲットに照射し、発生した光中性子を直径 20cm の円筒形の軽水モデレータで減速させ、白色のパルス中性子を発生させた。中性子飛行距離 12.7m の場所に設置したタンタル板(17mm×17mm×0.2mm)にパルス中性子を照射し、試料を囲うように設置した 12 台の BGO 検出器で捕獲 γ 線を TOF 法を用いて測定した。本測定は異なるビームパルス幅(33n,100n,1 μ ,4 μ sec)で実施し、代表的な分離共鳴エネルギーにおける共鳴ピークの半値幅を求めた。Ta 試料による中性子自己遮蔽効果及びドップラ効果によって生じた試料固有のピークの広がり粒子・重イオン輸送計算コード(PHITS)及び JENDL-4.0 を用いて数値計算で評価し、実験的に求めた半値幅との違いから正味の時間分解能を導出した。

3. 考察 得られた時間分解能から算出したエネルギー分解能($\Delta E/E$)の中性子エネルギー依存性を図 1 に示す。10eV 以上のエネルギー領域では、パルス幅 33nsec では中性子エネルギーに対し $\Delta E/E$ は概ね一定値を示したのに対し、パルス幅 4 μ sec では中性子エネルギーの増加とともに $\Delta E/E$ の明らかな増加が見られた。 $\Delta E/E$ は簡易モデルでは式(1)のように時間分解能と関係付けられる。

$$\frac{\Delta E}{E} = \frac{2\Delta t}{72.3L} \sqrt{E} + \Delta E_m \quad (1)$$

ただし、 Δt はビームパルス幅と検出器系の時間分解能、 ΔE_m はモデレータ起因のエネルギー分解能である。このことから、幅の狭いパルスの場合は(1)式の第 2 項が支配的となり一定値を示したのに対し、幅の広いパルスの場合は(1)式の第 1 項が支配的となり増加傾向が見られたものと考えられる。幅の狭いパルスの実験結果よりモデレータに起因する時間分解能を評価したところ ΔE_m は約 1.5%であった。

参考文献

[1] K Kino, et al. Energy resolution of pulsed neutron beam provided by the ANNRI beamline at the J-PARC/MLF, Nuclear Instruments and Methods in Physics research A736(2014)66-74

[2] T Sano, et al. Analysis of Energy Resolution in the KURRI-LINAC Pulsed Neutron Facility, EPJ Web Conf. 146,03031(2017)

*Yasunori Matsuo¹, Jun-ichi Horiz², Yoshiyuki Takahashi², Hiroshi Yashima², Kazushi Terada², Tadafumi Sano¹

¹Kindai University, ²Kyoto University

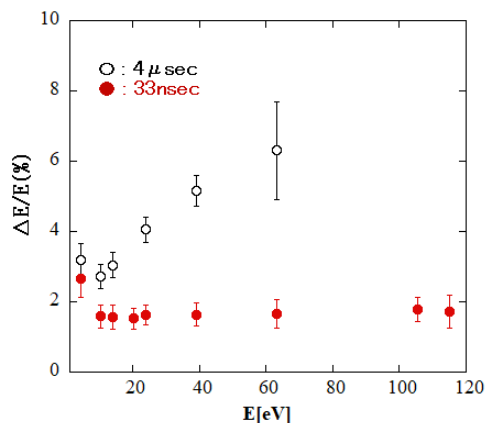


図1 算出されたエネルギー分解能

アクチノイド核分裂における軽・重核分裂片の系統的質量数測定

A systematic measurement of mass-centroids for light/heavy fragments in actinide fission

*廣瀬健太郎¹, 西尾勝久¹, Romain Léguillon¹, Mark Vermeulen¹, Kean Kun Ratha^{3,1},
牧井宏之¹, Riccardo Orlandi¹, 塚田和明¹, 浅井雅人¹, 佐藤哲也¹, 伊藤由太¹,
洲寄ふみ¹, 有友嘉浩², 田中翔也^{2,1}, 前川北斗², 千葉敏³, Andrei Andreyev^{4,1}

¹原子力機構, ²近畿大学, ³東京工業大学, ⁴ヨーク大学

本研究では、²³²Th、²³⁵U、²³⁷Np、²⁴³Am および ²⁴⁸Cm 標的と ¹⁸O ビームを用いた多核子移行反応により、Th から Cf にわたる合計 52 核種の核分裂質量分布を測定した。非対称、対称モードの 2 成分を考慮したガウスフィッティングにより軽・重核分裂片群の質量中心を導出し、系統性を調べた。

キーワード：核分裂，核分裂質量分布，多核子移行反応

1. 緒言

核分裂過程は、ポテンシャルエネルギー面(PES)上での原子核形状の時間発展として記述される。分裂核は、殻補正エネルギーによってつくられた fission valley に沿って変形し 2 つの核分裂片に分かれる。したがって核分裂質量分布は殻効果を強く反映しており、核分裂過程を調べる上で重要な観測量である。本研究では、Th から Cf にわたる広い原子核領域での核分裂質量分布を測定し、その系統性を調べた。

2. 実験・結果

実験は原子力機構東海タンデム加速器で行った。先述の 5 つの標的に ¹⁸O ビームを照射し、多核子移行反応によって合成した複合核の核分裂質量分布測定した(セットアップについては[1]を参照)。図 1 に得られた質量分布のいくつかを示した。励起エネルギー 10-20MeV では非対称核分裂が主であり、本研究では対称・非対称モードをそれぞれ 1 成分ずつ考慮した、3Gaussian フィッティングを行い、軽重質量中心を導出した。本発表では得られた結果の系統性や他の実験結果との比較、議論を行う予定である。

本発表は、文部科学省のエネルギー対策特別会計委託事業による委託業務として、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構が実施した平成 24-27 年度「高燃焼度原子炉動特性評価のための遅発中性子収率高精度化に関する研究開発」および、平成 28-30 年度「代理反応によるマイナーアクチノイド核分裂の即発中性子測定技術開発と中性子エネルギースペクトル評価」の成果を含む。

参考文献

[1] R.Leguillon et al., Phys. Lett. B761 (2016) 125.

*K.Hirose¹, K.Nishio¹, R.Léguillon¹, M.Vermeulen¹, K.K.Ratha^{3,1}, H.Makii¹, R.Orlandi¹, K.Tsukada¹, M.Asai¹, T.K.Sato¹, Y.Ito¹, F.Suzaki¹, Y.Aritomo², S.Tanaka^{2,1}, H.Maekawa², S.Chiba³, A.Andreyev^{4,1}

¹JAEA, ²Kindai Univ., ³Tokyo Tech., ⁴Univ. of York

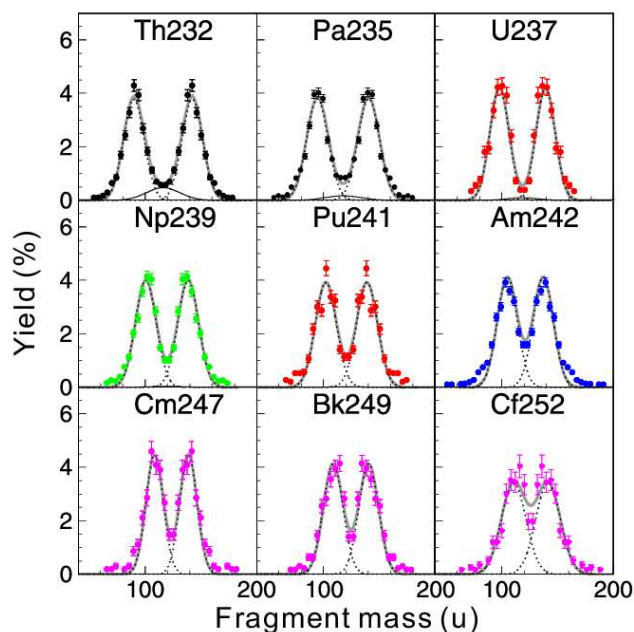


図 1 核分裂質量分布を 3 つのガウス関数でフィッティングした。細い実線、点線はそれぞれ対称成分、非対称成分であり、太い実線はそれらの和である。

理研 RI ビームファクトリー—低速 RI ビーム施設における レーザー共鳴イオン化イオン源の開発

Development of resonance ionization laser ion source for SLOWRI at RIKEN RI beam factory

*富田 英生^{1,2,3}, Volker Sonnenchein¹, 服部 浩也¹, 山口 穂乃花¹,

三浦 裕玖¹, 園田 哲³, 石山 博恒³, Klaus Wendt⁴

¹名古屋大, ²JST さきがけ, ³理研, ⁴マインツ大

理化学研究所 RI ビームファクトリーの低速 RI ビーム施設にて共鳴イオン化レーザーイオン源の開発を進めている。放射性 Bi を用いたオンライン実験に向け、高繰り返し率色素レーザーと Ti:Sapphire レーザーを用いた安定 ²⁰⁹Bi のガスセル内共鳴イオン化を確認した。

キーワード：共鳴イオン化, 放射性核種, レーザーイオン源

1. はじめに 理化学研究所 RI ビームファクトリーでは、メインビーム以外的高速 RI ビームをガスセルで減速・中性化し、レーザーにより元素選択的にイオン化して低速 RI ビームとして取り出す Parasitic Laser Ion-Source: PALIS の開発が進められている^[1]。ここで、単原子は離散的なエネルギー準位を有しており、準位間のエネルギー差に相当する波長のレーザー光を照射することで、下準位にある原子が共鳴的に励起・イオン化する。このような遷移の波長は元素固有であるため、複数の遷移を組み合わせることで、対象とする元素の原子のみを選択的にイオン化（共鳴イオン化）できる。本研究では、PALIS における放射性 Bi 同位体の低速 RI ビーム生成に向けた基礎実験として、高繰り返し率色素レーザー・Ti:Sapphire レーザーを用いた安定 ²⁰⁹Bi の共鳴イオン化分光実験を行った。

2. 安定 ²⁰⁹Bi 同位体の共鳴イオン化分光実験 Fig.1 に実験体系を示す。RI ビームファクトリー BigRIPS の F2 スリット前にガスセルを設置し、RI ビームの減速・中性化を想定して Ar ガスを満たした（圧力 160 mbar）。セル内でフィラメントより放出され安定 Bi 原子に繰り返し率 10 kHz の色素レーザー(1st step, 307 nm)と Ti:Sapphire レーザーの第 2 高調波(2nd step, 382 nm)を照射した。共鳴イオン化により生成されたイオンは、六重極イオンビームガイド (SPIG) と四重極質量フィルター (QMS) を通過して、イオン検出器で検出された。Fig.2 に色素レーザーの波長を掃引することで得られた Bi の共鳴イオン化スペクトルを示す。これにより、オンライン実験を想定した位置に設置したガスセル内での安定 ²⁰⁹Bi 同位体の共鳴イオン化が確認できた。今後、理研 RIBF におけるオンライン実験にて短半減期放射性核種の共鳴イオン化を検証する予定である。

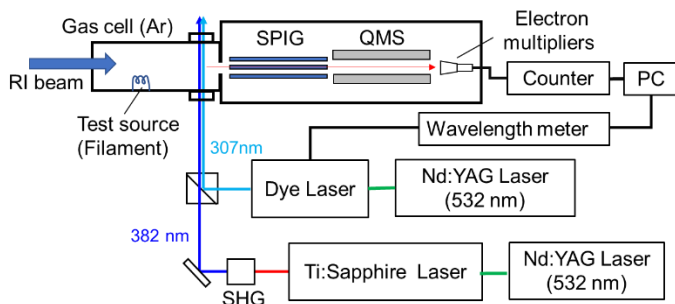


Fig.1 Experimental setup for resonance ionization spectroscopy in gas cell

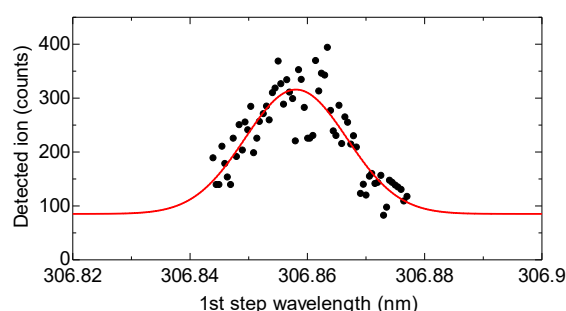


Fig.2 Resonance ionization spectrum of Bi

謝辞 本研究の一部は JST さきがけ「量子生体」(JPMJPR19G7)の助成を受けて実施されました。

参考文献 [1] T. Sonoda, *et al.*, Progress of Theoretical and Experimental Physics **2019(11)**, 113D02, (2019).

*Hideki Tomita^{1,2,3}, Volker Sonnenchein¹, Koya Hattori¹, Honoka Yamaguchi¹, Hiroki Miura¹, Tetsu Sonoda³, Hironobu Ishiyama³, Klaus Wendt⁴

¹Nagoya Univ., ²JST PRESTO, ³RIKEN, ⁴Mainz Univ.