



Title	Nuclear structure study of heavy actinides via Coulomb excitation of the heaviest target $^{254}\text{Es}$
Author(s)	Pham, Thanh Tung
Citation	大阪大学, 2023, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.18910/93020">https://doi.org/10.18910/93020</a>
rights	
Note	

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

## Abstract of Thesis

Name (	PHAM THANH TUNG	)
Title	Nuclear structure study of heavy actinides via Coulomb excitation of the heaviest target $^{254}\text{Es}$ (最重量標的 $^{254}\text{Es}$ のケーロン励起による重アクチノイドの核構造研究)	
Abstract of Thesis  Exploring the new elements toward the high end of the nuclear chart is one of the most interested topics in nuclear physics. A long-lived Super Heavy Elements region with proton and neutron number near $Z = 114$ , $Z = 120$ , $N = 184$ – the so-called "island of stability" (IoS) is predicted to be one of the most promising regions in the nuclear chart still left to be discovered. Currently, the access to the IoS is limited because of very low cross sections with the present experimental techniques. Single-particle orbitals neighboring the deformed shell gaps in the $Z = 100$ and $N = 152$ regions are predicted to be linked to the spherical shell in the IoS region. This provides the ability to elucidate the shell structure of the nuclei on the island of stability. $^{254}\text{Es}$ (einsteinium-254, $Z=99$ , $N=155$ ) is an isotope in deformed shell gaps region and currently the heaviest target available for Coulomb excitation experiment. Studies in the region of deformed shell gaps can link to the shell structure of nuclei in the IoS. The "safe" $^{254}\text{Es}$ Coulomb excitation experiment has been performed for the first time at the JAEA-Tokai Tandem accelerator using a $^{58}\text{Ni}$ beam with an energy of 250 MeV. The scattered particles are detected by two CD-silicon detectors placed backward and forward to the target in coincidence with $\gamma$ rays detected by an array of $\gamma$ -ray detectors. Several new peaks with almost equally energy spacing were observed in the $\gamma$ -ray energy spectrum of $^{254}\text{Es}$ , which indicates a rotational band structure. The level scheme of $^{254}\text{Es}$ was extended to the $(15^+)$ state accordingly. From the $\gamma$ -ray yields, in conjunction with previously measured spectroscopic data, the electromagnetic matrix elements of transitions are determined, using the coupled channel least-squares search code, GOSIA. From these determined matrix elements, the quadrupole deformation of $^{254}\text{Es}$ was derived to be $\beta_2 = 0.28_{-0.05}^{+0.07}$ . The experimentally deduced moment of inertia and the quadrupole deformation were compared with the theoretical calculation based on the cranked relativistic Hartree - Bogoliubov model with NL1 parametrization. It fairly well reproduced the experimental moment of inertia as well as quadrupole deformation and suggests the configuration of the ground-state band to be $\pi 7/2^+[633] \otimes \nu 7/2^+[613]$ . The obtained experimental results provided valuable insights into further understanding the single-particle structure of the super-heavy region.		

## 論文審査の結果の要旨及び担当者

氏名 ( PHAM Thanh Tung )		
論文審査担当者	(職)	氏名
	主査 教授	青井 考
	副査 教授	川畑 貴裕
	副査 教授	野海 博之
	副査 教授	保坂 淳
	副査 准教授	井手口 栄治

## 論文審査の結果の要旨

元素の存在限界を知ることは原子核物理の大きな課題の一つである。存在限界に関わる主な要因は殻構造であり、それを形成する一粒子軌道の理解が重要である。新たな殻構造に関与する一粒子軌道がフェルミ面近傍に出現する質量数 250 領域の変形核に着目し、その変形度と配位構造を導出することで、一粒子軌道が変形領域にどのように現れるかを議論した論文である。

原子核は陽子・中性子の二種類の核子で構成され、核子間の強い引力により束縛される。しかし質量数の増加に伴い陽子数を増加するとクーロン斥力のため核分裂を起こしやすくなる。それに逆らって原子核を保持させる要因が殻構造であり、安定な原子核では陽子数・中性子数が魔法数になると特に安定で球形の形状をもつ。陽子/中性子で既知の最大魔法数はそれぞれ 82、126 であるが、次の魔法数については幾つかの理論モデルで陽子数 114,120,126、中性子数 184 と予想されたものの、よく分かっていなかった。これら大きな核子数の原子核は生成断面積が非常に小さいため一粒子軌道の性質を調べるのは困難である。一方それより軽い質量数 250 近傍の原子核は標的として利用可能であり、そこでは原子核が変形し新たな魔法数に関わる陽子・中性子の一粒子軌道のエネルギーがフェルミ面近傍まで下がると予想された。これに着目して新たな魔法数に関する手がかりを得るために超重元素領域の一粒子準位構造と変形度を調べるのが本論文の目的である。特に標的として利用可能な最大の質量数を持つ  $^{254}\text{Es}$  を対象とした。

実験は日本原子力研究開発機構・タンデム加速器施設で行った。250MeV の  $^{58}\text{Ni}$  ビームを厚さ  $3\mu\text{g}/\text{cm}^2$  の  $^{254}\text{Es}$  標的に照射し多重クーロン励起反応で励起状態を生成した。標的の前後に配置した両面分割 CD 型シリコン検出器で標的散乱粒子を検出し、標的周りに置いたゲルマニウム検出器と  $\text{LaBr}_3$  検出器でガンマ線を測定した。7 本のガンマ線ピークを観測し、 $^{254}\text{Es}$  の回転バンドを同定した。有限スピンを持った基底状態回転バンドのエネルギー変化に関する解析から基底状態のスピンを 7 と決定し、 $(15^+)$  準位までの準位構造を新たに構築した。

ガンマ線の収量解析に基づき励起準位間の遷移行列要素を導出し、四重極変形度  $\beta_2$  を  $0.28^{+0.07}_{-0.05}$  と決定した。慣性モーメントの解析から  $^{254}\text{Es}$  は高い軌道角運動量の陽子と中性子が近傍の変形偶偶核に結合した描像が成り立つことが分かった。四重極変形度も近傍の原子核と近い値を示している。以上の結果を総合して基底状態の配位を  $\pi 7/2[633] \otimes \nu 7/2[613]$  と同定したが、相対論的平均場模型 (CRHB) による計算値とも整合している。

導出した変形度に基づき理論計算と比較したところ、陽子  $7/2[633]$  軌道は理論値と矛盾ないが、中性子  $7/2[613]$  軌道のエネルギーは理論値に修正を与える必要がある事を示唆した。

本論文は、実験、実験データの解析、得られた結果に対する議論で構成されている。実験やデータ解析、論理展開は高度な水準であると判断した。また、一粒子軌道に関する解析結果は超重元素領域の殻構造の理解を進める上で新たな知見を与えており、学術的な価値は非常に高いと評価できる。よって、本論文は博士(理学)の学位論文として十分価値あるものと認める。