

Poszukiwanie efektów kolektywnych w neutrono-nadmiarowych izotopach o $N=53$

Michał Czerwiński

Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski



Seminarium powstało w wyniku realizacji projektów badawczych o numerach

DEC-2015/16/T/ST2/00340 i **DEC-2013/09/B/ST2/03485** finansowanych ze środków Narodowego Centrum Nauki

Poszukiwanie efektów kolektywnych w neutrono-nadmiarowych izotonach o $N=53$

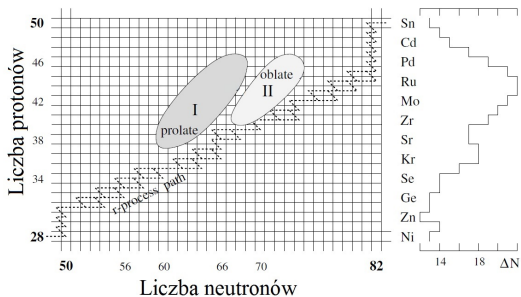
Michał Czerwiński

Wydział Fizyki
Uniwersytet Warszawski

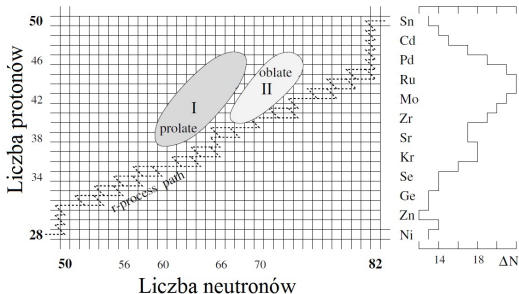
Plan seminarium:

- Motywacja prowadzonych badań
- Struktury stanów wzbudzonych w jądrze ^{87}Se
- Wzбудzenia *yrastowe* w izotopach ^{90}Rb , ^{88}Br , spektrometr *EXILL*
- Rozpad β^- stanu podstawowego ^{88}Se , spektrometr promieniowania γ i β
- Podsumowanie i perspektywa dalszych badań

Motywacja prowadzonych badań



Motywacja prowadzonych badań



Eur. Phys. J. A **16**, 11–15 (2003)
DOI 10.1140/epja/i2002-10104-y

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Short Note

**First observation of the $\nu 9/2[404]$ orbital
in the $A \sim 100$ mass region**

W. Urban^{1,*}, J.A. Pinston², T. Rząca-Urban¹, A. Złomancie¹, G. Simpson³, J.L. Durell⁴,
W.R. Phillips⁴, A.G. Smith⁴, B.J. Varley⁴, I. Ahmad⁵, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **20**, 381–384 (2004)
DOI 10.1140/epja/i2004-10023-y

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Letter

First observation of excited states in the ^{110}Mo nucleus

W. Urban^{1,2,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell³, W.R. Phillips³, A.G. Smith³, B.J. Varley³,
I. Ahmad⁴, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **24**, 161–165 (2005)
DOI 10.1140/epja/i2004-10140-7

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Letter

**First observation of excited states in the ^{111}Tc nucleus
– A new region of deformation at $40 \leq Z \leq 46$, $N \geq 68$**

W. Urban^{1,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell², A.G. Smith², and I. Ahmad³

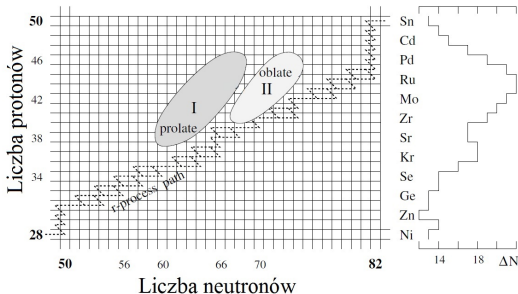
PHYSICAL REVIEW C **87**, 031304(R) (2013)

RAPID COMMUNICATIONS

0_2^+ band in ^{102}Ru and the evolution of nuclear deformation in Ru isotopes

W. Urban,^{1,2} M. Jentschel,¹ R. F. Casten,¹ J. Jolie,⁴ Ch. Bernards,^{3,4} B. Maerkisch,¹ Th. Materna,¹
P. Mutti,¹ L. Próchniak,² T. Rząca-Urban,¹ G. S. Simpson,⁶ V. Werner,⁷ and S. Ahmed^{1,2}

Motywacja prowadzonych badań



PHYSICAL REVIEW C **85**, 014329 (2012)
Isomeric levels in ^{92}Rb and the structure of neutron-rich $^{92,94}\text{Rb}$ isotopes
 W. Urban,^{1,2} K. Sieja,^{3,4} G. S. Simpson,⁵ T. Soldner,¹ T. Rząca-Urban,² A. Ziłmaniec,²
 I. Tsekhanovich,⁶ J. A. Darr,⁷ A. G. Smith,⁷ J. L. Durell,⁷ J. F. Smith,⁷ R. Orlandi,⁷ A. Scherillo,⁸
 I. Ahmad,⁹ J. P. Greene,⁹ J. Jolie,¹⁰ and A. Linneman¹⁰

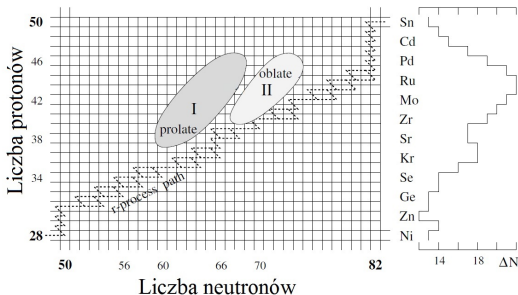
Eur. Phys. J. A **16**, 11–15 (2003)
 DOI 10.1140/epja/i2002-10104-y
Short Note
THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL A
First observation of the $\nu 9/2[404]$ orbital in the $A \sim 100$ mass region
 W. Urban^{1,*}, J.A. Pinston², T. Rząca-Urban¹, A. Ziłmaniec¹, G. Simpson³, J.L. Durell⁴,
 W.R. Phillips⁴, A.G. Smith⁴, B.J. Varley⁴, I. Ahmad⁵, and N. Schulz⁶

Eur. Phys. J. A **20**, 381–384 (2004)
 DOI 10.1140/epja/i2004-10023-y
Letter
THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL A
First observation of excited states in the ^{110}Mo nucleus
 W. Urban^{1,2,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell³, W.R. Phillips³, A.G. Smith³, B.J. Varley³,
 I. Ahmad⁴, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **24**, 161–165 (2005)
 DOI 10.1140/epja/i2004-10140-7
Letter
THE EUROPEAN PHYSICAL JOURNAL A
First observation of excited states in the ^{111}Tc nucleus – A new region of deformation at $40 \leq Z \leq 46$, $N \geq 68$
 W. Urban^{1,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell², A.G. Smith², and I. Ahmad³

PHYSICAL REVIEW C **87**, 031304(R) (2013) **RAPID COMMUNICATIONS**
 0_2^+ band in ^{102}Ru and the evolution of nuclear deformation in Ru isotopes
 W. Urban,^{1,2} M. Jentschel,¹ R. F. Casten,¹ J. Jolie,⁴ Ch. Bernards,^{3,4} B. Maerkisch,¹ Th. Materna,¹
 P. Mutti,¹ L. Próchniak,² T. Rząca-Urban,² G. S. Simpson,⁵ V. Werner,³ and S. Ahmed^{1,2}

Motywacja prowadzonych badań



Eur. Phys. J. A **16**, 11–15 (2003)
DOI 10.1140/epja/i2002-10104-y

Short Note

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

**First observation of the $\nu 9/2[404]$ orbital
in the $A \sim 100$ mass region**

W. Urban^{1,*}, J.A. Pinston², T. Rząca-Urban¹, A. Złomaniec¹, G. Simpson³, J.L. Durell⁴,
W.R. Phillips⁴, A.G. Smith⁴, B.J. Varley⁴, I. Ahmad⁵, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **20**, 381–384 (2004)
DOI 10.1140/epja/i2004-10023-y

Letter

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

First observation of excited states in the ^{110}Mo nucleus

W. Urban^{1,2,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell³, W.R. Phillips³, A.G. Smith³, B.J. Varley³,
I. Ahmad⁴, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **24**, 161–165 (2005)
DOI 10.1140/epja/i2004-10140-7

Letter

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

**First observation of excited states in the ^{111}Tc nucleus
– A new region of deformation at $40 \leq Z \leq 46$, $N \geq 68$**

W. Urban^{1,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell², A.G. Smith², and I. Ahmad³

PHYSICAL REVIEW C **85**, 014329 (2012)

Isomeric levels in ^{92}Rb and the structure of neutron-rich $^{92,94}\text{Rb}$ isotopes

W. Urban,^{1,2} K. Sieja,^{3,4} G. S. Simpson,⁵ T. Soldner,¹ T. Rząca-Urban,² A. Złomaniec,²
I. Tsekhanovich,⁶ J. A. Dare,⁷ A. G. Smith,⁷ J. L. Durell,⁷ J. F. Smith,⁷ R. Orlandi,⁷ A. Scherillo,⁸
I. Ahmad,⁹ J. P. Greene,⁹ J. Jolie,¹⁰ and A. Linneman¹⁰

PHYSICAL REVIEW C **88**, 034327 (2013)

Laboratory versus intrinsic description of nonaxial nuclei above doubly magic ^{78}Ni

K. Sieja,¹ T. R. Rodríguez,² K. Kolos,^{3,4} and D. Verney³

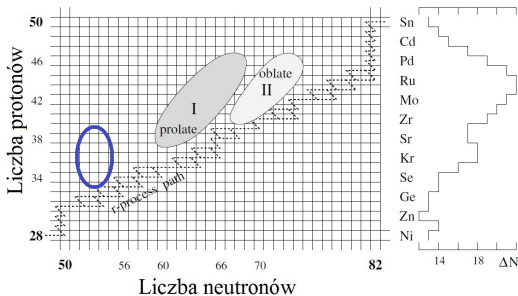
PHYSICAL REVIEW C **87**, 031304(R) (2013)

RAPID COMMUNICATIONS

0_2^+ band in ^{102}Ru and the evolution of nuclear deformation in Ru isotopes

W. Urban,^{1,2} M. Jentschel,¹ R. F. Casten,¹ J. Jolie,¹ Ch. Bernards,^{3,4} B. Maerksch,¹ Th. Materna,¹
P. Mutti,¹ L. Próchniak,² T. Rząca-Urban,² G. S. Simpson,⁵ V. Werner,⁶ and S. Ahmed^{4,7}

Motywacja prowadzonych badań



Eur. Phys. J. A **16**, 11–15 (2003)
DOI 10.1140/epja/i2002-10101-y

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Short Note

**First observation of the $\nu 9/2[404]$ orbital
in the $A \sim 100$ mass region**

W. Urban^{1,*}, J.A. Pinston², T. Rząca-Urban¹, A. Złomancik¹, G. Simpson³, J.L. Durell⁴,
W.R. Phillips⁴, A.G. Smith⁴, B.J. Varley⁴, I. Ahmad⁵, and N. Schulz⁶

Eur. Phys. J. A **20**, 381–384 (2004)
DOI 10.1140/epja/i2004-10023-y

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Letter

First observation of excited states in the ^{110}Mo nucleus

W. Urban^{1,2,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell³, W.R. Phillips³, A.G. Smith³, B.J. Varley³,
I. Ahmad⁴, and N. Schulz⁵

Eur. Phys. J. A **24**, 161–165 (2005)
DOI 10.1140/epja/i2004-10140-7

**THE EUROPEAN
PHYSICAL JOURNAL A**

Letter

**First observation of excited states in the ^{111}Tc nucleus
– A new region of deformation at $40 \leq Z \leq 46$, $N \geq 68$?**

W. Urban^{1,*}, T. Rząca-Urban¹, J.L. Durell², A.G. Smith², and I. Ahmad³

PHYSICAL REVIEW C **85**, 014329 (2012)

Isomeric levels in ^{92}Rb and the structure of neutron-rich $^{92,94}\text{Rb}$ isotopes

W. Urban,^{1,2} K. Sieja,^{3,4} G. S. Simpson,⁵ T. Soldner,¹ T. Rząca-Urban,² A. Złomancik,²
I. Tsekhanovich,⁶ J. A. Dare,⁷ A. G. Smith,⁷ J. L. Durell,⁷ J. F. Smith,⁷ R. Orlandi,⁷ A. Scherillo,⁸
I. Ahmad,⁹ J. P. Greene,⁹ J. Jolie,¹⁰ and A. Linneman¹⁰

PHYSICAL REVIEW C **88**, 034327 (2013)

Laboratory versus intrinsic description of nonaxial nuclei above doubly magic ^{78}Ni

K. Sieja,¹ T. R. Rodríguez,² K. Kolos,^{3,4} and D. Verney³

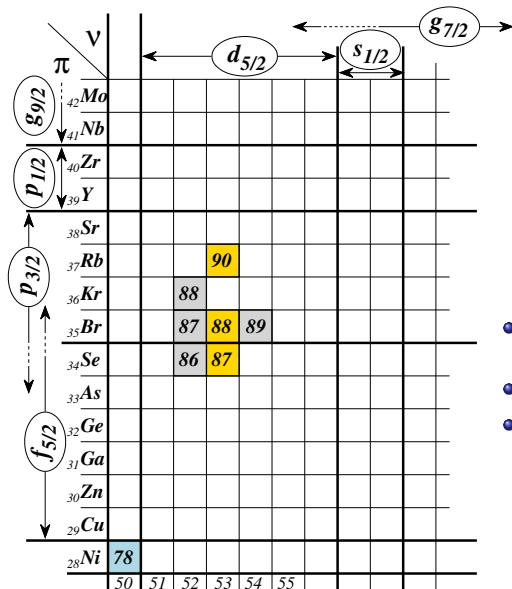
PHYSICAL REVIEW C **87**, 031304(R) (2013)

RAPID COMMUNICATIONS

0_2^+ band in ^{102}Ru and the evolution of nuclear deformation in Ru isotopes

W. Urban,^{1,2} M. Jentschel,³ R. F. Casten,³ J. Jolie,⁴ Ch. Bernards,^{3,4} B. Maerksch,¹ Th. Materna,¹
P. Mutti,¹ L. Próchniak,⁵ T. Rząca-Urban,² G. S. Simpson,⁶ V. Werner,⁵ and S. Ahmed^{4,7}

Motywacja prowadzonych badań

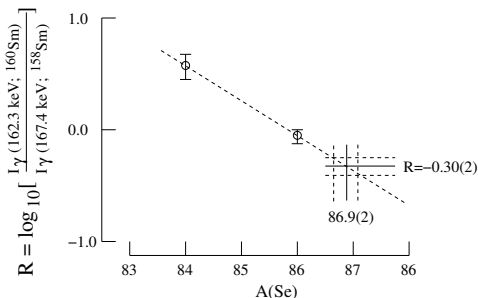
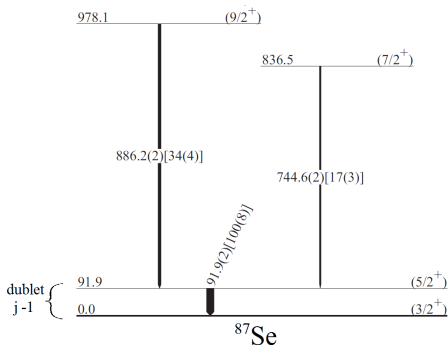


^{87}Se , ^{88}Br i ^{90}Br

- badanie własności spektroskopowych - struktury stanów wzbudzonych
- poszukiwanie przejawów kolektywności
- testowanie modeli jądrowych z dala od ścieżki stabilności

Stany wzbudzone w jądrze ^{87}Se

- Spektrometr: *EUROGAM II*
- $^{248}\text{Cm} \rightarrow ^{87}\text{Se} + ^{158}\text{Sm} + 3n$



- korelacje kątowe: $9/2 \rightarrow 5/2 \rightarrow 3/2$
 $\delta = 0.53(-12; +31)$ lub
 $\delta = 5.0(-16.3; +2.7)$

PHYSICAL REVIEW C **88**, 034302 (2013)

First observation of excited states in ^{87}Se : Collectivity and $j-1$ anomaly at $N=53$

T. Rząca-Urban,¹ M. Czerwiński,¹ W. Urban,¹ A. G. Smith,² I. Ahmad,³ F. Nowacki,^{4,5} and K. Sieja^{4,5}

PHYSICAL REVIEW C **95**, 051302(R) (2017)

RAPID COMMUNICATIONS

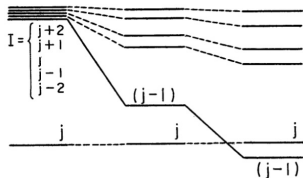
Identification of excited states and collectivity in ^{88}Se

I. N. Gratchev,^{1,2} G. S. Simpson,¹ G. Thiamova,¹ M. Ramdhane,¹ K. Sieja,³ A. Blanc,² M. Jentschel,² U. Köster,² P. Mutti,² T. Soldner,² G. de France,⁴ C. A. Ur,³ and W. Urban⁶

Stany wzbudzone w jądrze ^{87}Se

Rachunki modelu powłokowego jądra atomowego:

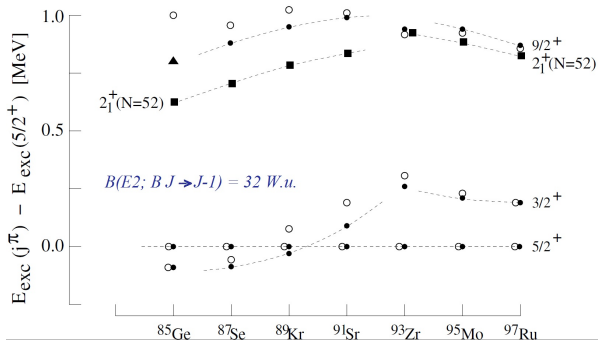
- rdzeń: ^{78}Ni
- protonowa przestrzeń walencyjna: $1f_{5/2}, 2p_{3/2}, 2p_{1/2}, 1g_{9/2}$
- neutronowa przestrzeń walencyjna: $2d_{5/2}, 3s_{1/2}, 1g_{7/2}, 2d_{3/2}, 1h_{11/2}$



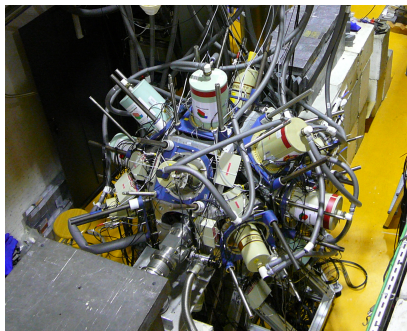
Anomalia j-1

A. Kuriyama, T. Marumori and
K. Matsuyanagi,

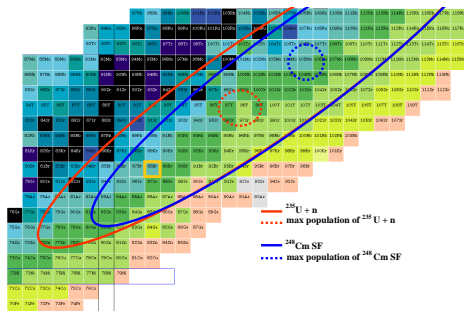
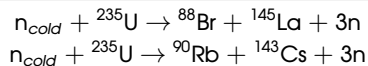
Supp. of the prog. of Teor. Phys. 58,1975



Spektrometr EXILL

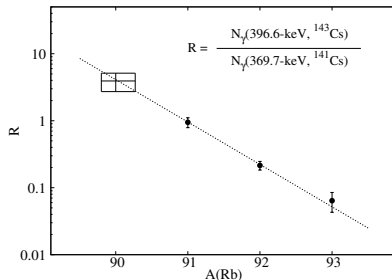
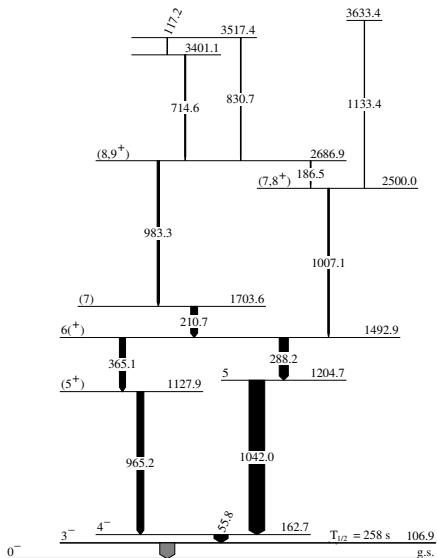


- 16 detektorów HpGe
- dystans pomiędzy detektorami a tarczą - 12.5 cm
- linia PF1B, energia neutronów: 6 meV, średnica wiązki 12 mm, intensywność $10^8 / (s \times cm^2)$
- tarcza: ^{235}U o masie 1.2 mg
- 10^9 podwójnych i 10^8 potrójnych zdarzeń dziennie



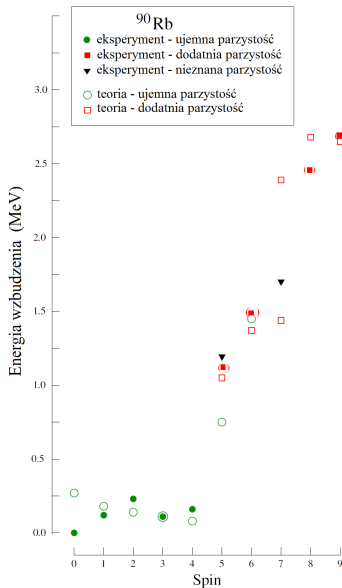
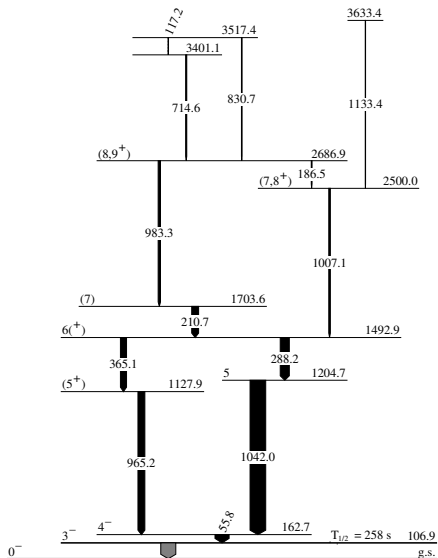
- jądra o $Z = 34$ są populowane w rozszczepieniu ^{235}U o rząd wielkości silniej niż w rozszczepieniu ^{248}Cm
- mod *triggerless* - analiza koincydencji wielokrotnych, analiza korelacji kątowych, kierunkowej polaryzacji liniowej, badanie czasów życia stanów wzbudzonych

Stany wzbudzone w ^{90}Rb

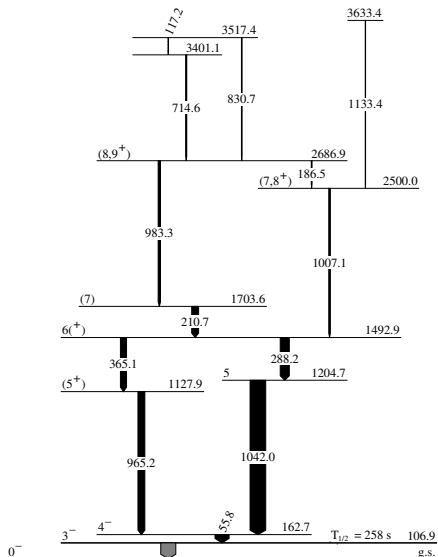


- $E_\gamma = 55.8\text{-keV}$: $\alpha_{tot} = 1.35(10)$
 $\rightarrow \delta = 0.302(15) \rightarrow \text{M1} + \text{E2}$

Stany wzbudzone w ^{90}Rb

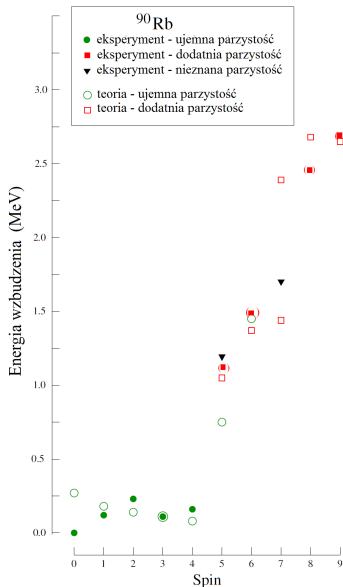
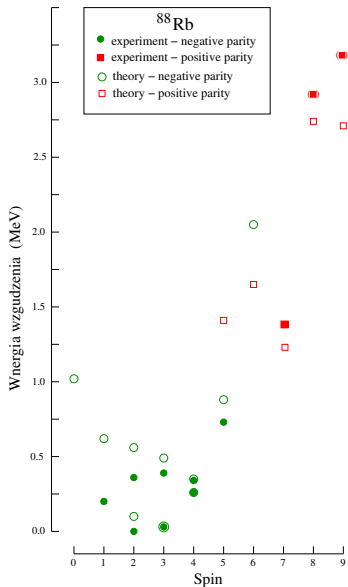


Stany wzbudzone w ^{90}Rb

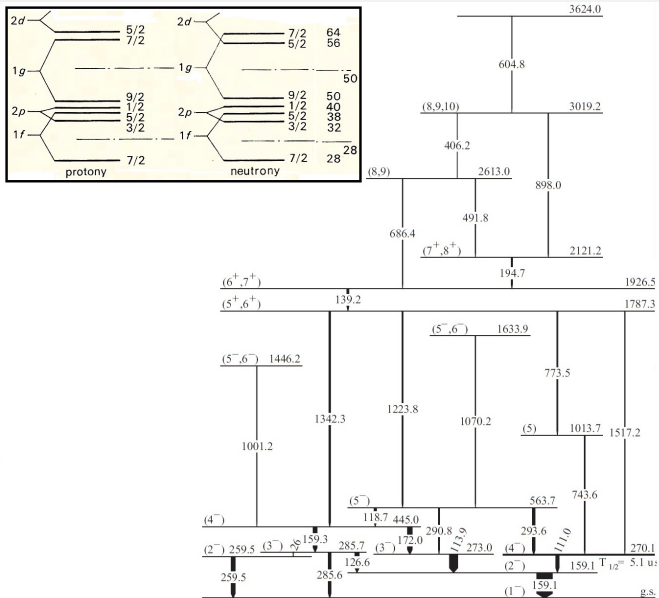


spin	konfiguracja	%
0^-	$\pi f_{5/2}^{-1}; \nu d_{5/2}^3$	46
3^-		45
4^-		40
5_1^+	$\pi g_{9/2}; \nu d_{5/2}^3$	60
6_1^+	$\pi g_{9/2}; \nu d_{5/2}^3$	60
7^+	$\pi f_{5/2}^{-1}; \nu d_{5/2}$	65

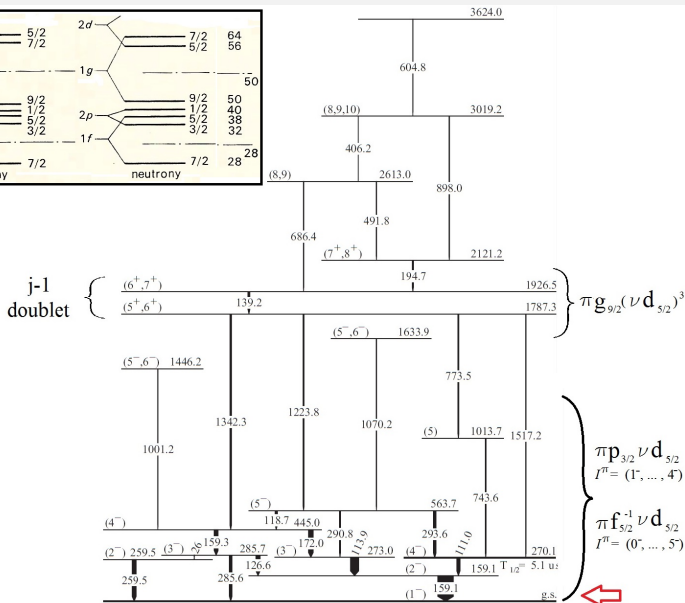
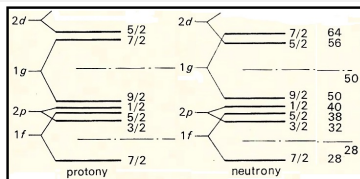
Stany wzbudzone w ^{90}Rb



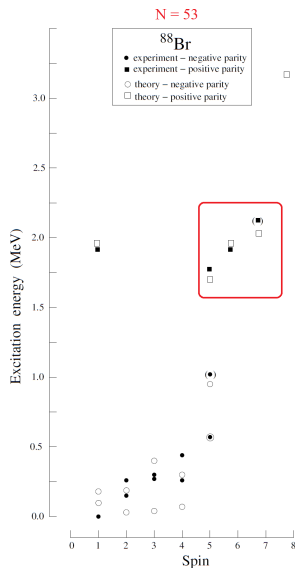
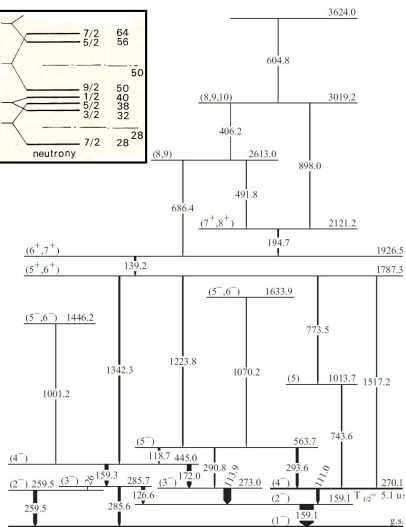
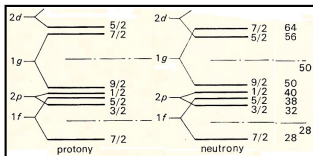
Stany wzbudzone w ^{88}Br



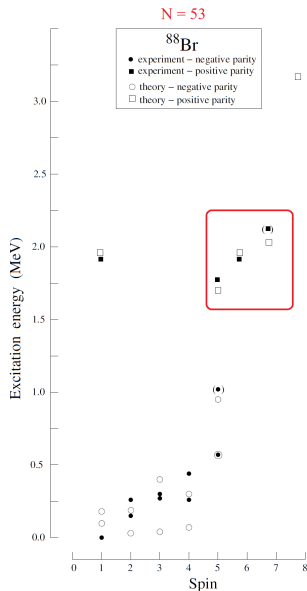
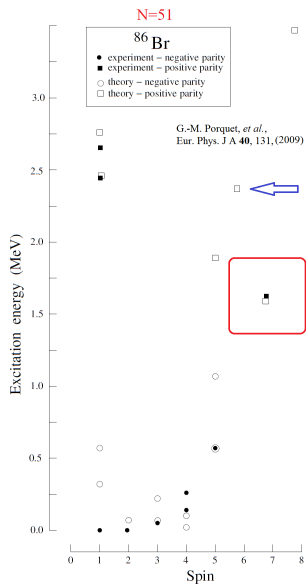
Stany wzbudzone w ^{88}Br



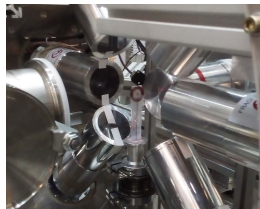
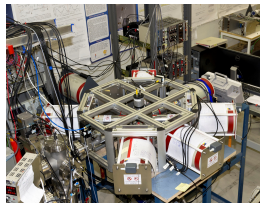
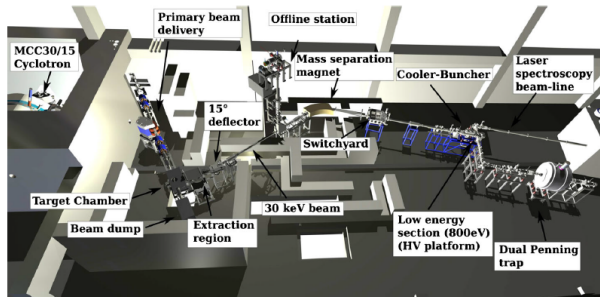
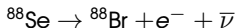
Stany wzbudzone w ^{88}Br



Obliczenia modelu powłokowego dla ^{88}Br i ^{86}Br



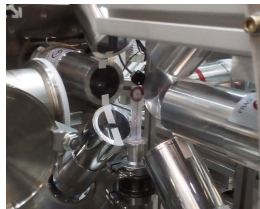
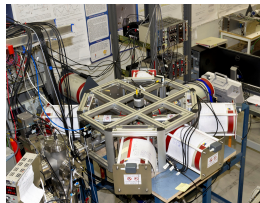
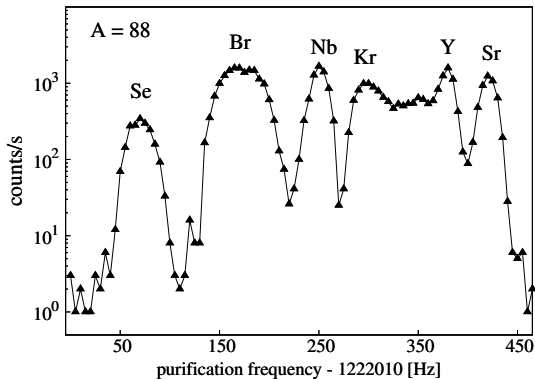
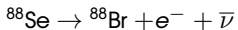
Spektrometr promieniowania β i γ



Akceleratorowe Laboratorium Uniwersytetu w Jyväskylä (Finlandia)
IGISOL - plan laboratorium
IGISOL = Ion Guide and Isotope Separator On-Line

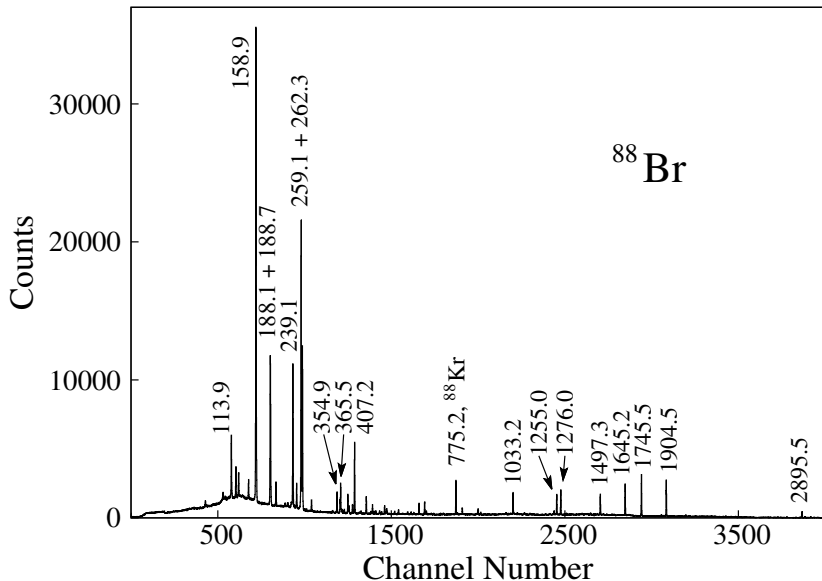
Warszawski spektrometr γ i β
detektory BE-Ge \rightarrow 0.4 keV dla 5.6-keV
i 1.8 keV dla 1332-keV

Spektrometr promieniowania β i γ



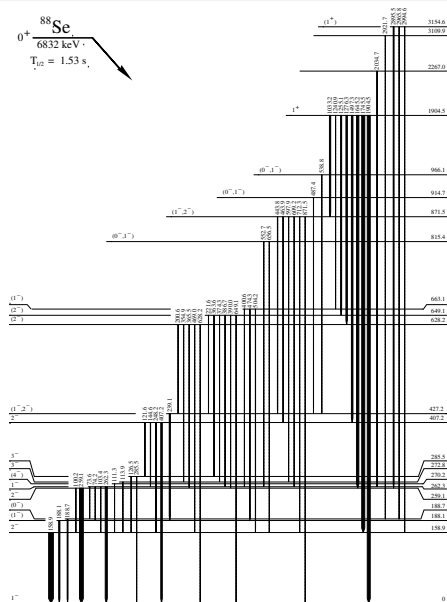
Warszawski spektrometr γ i β
detektory BE-Ge \rightarrow 0.4 keV dla 5.6-keV
i 1.8 keV dla 1332-keV

Niskospinowe wzbudzenia w jądrze ^{88}Br



Niskospinowe wzbudzenia w jądrze ^{88}Br

^{88}Se
 $6832 \text{ keV} \cdot$
 $T_{1/2} = 1.53 \text{ s}$



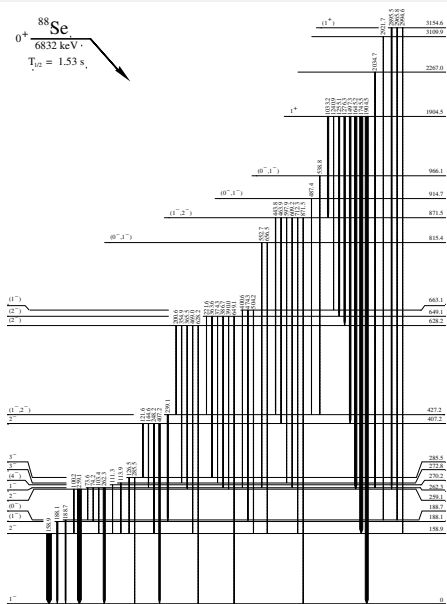
$\pi g_{9/2} \nu g_{7/2} \sim 37\%$

$\pi g_{9/2} \nu g_{7/2} \sim 6\%$

E_{level} (keV)	β feeding	$\log ft$	I^π
0.0	25(2)	5.5(1)	1^+
158.9	3.1(33)		2^-
188.1	0.0(9)		(1^-)
188.7	2.0(6)	6.5(1)	(0^-)
259.1	3.2(21)	6.3(3)	2^-
262.3	3.2(15)	6.3(2)	1^-
270.2	0.26(10)	7.4(2)	(4^-)
272.8	0.09(40)		3^-
285.5	0.0(6)		3^-
407.2	1.3(14)		2^-
427.3	1.3(8)	6.7(3)	$(1^-, 2^-)$
628.2	0.1(11)		(2^-)
649.1	0.4(9)		(2^-)
663.0	1.2(3)	6.6(1)	(1^-)
815.4	1.2(2)	6.1(1)	$(0^-, 1^-)$
871.5	0.4(9)		$(1^-, 2^-)$
914.7	0.4(1)	7.0(1)	$(0^-, 1^-)$
966.1	0.4(1)	7.0(1)	$(0^-, 1^-)$
1904.5	54.5(40)	4.5(1)	1^+
2267.0	1.0(1)	6.1(1)	
3109.9	0.7(1)	5.9(1)	
3154.6	4.6(4)	5.0(1)	(1^+)

$\pi p_{3/2}^{-1} \nu d_{5/2}$
 $\pi p_{3/2}^{-1} \nu d_{5/2}$
 $\pi f_{5/2}^{-1} \nu d_{5/2}$

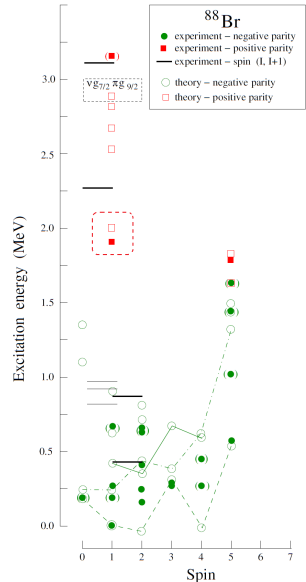
Niskospinowe wzbudzenia w jądrze ^{88}Br



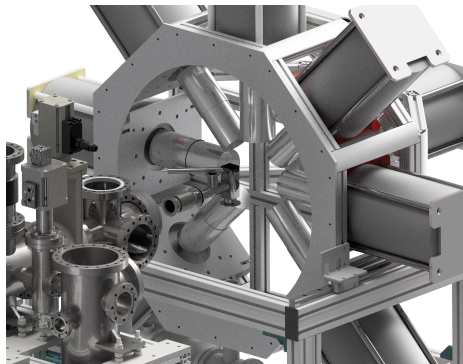
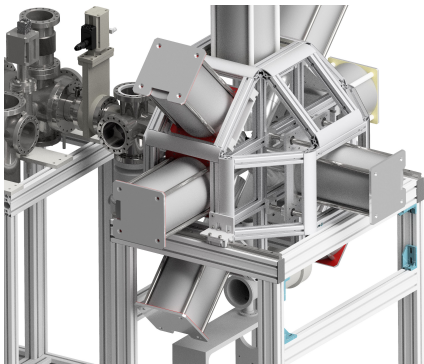
$$\pi g_{9/2} \nu g_{7/2} \sim 3$$

$$\pi g_{9/2} \nu g_{7/2} \sim 1$$

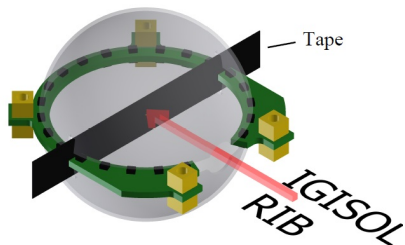
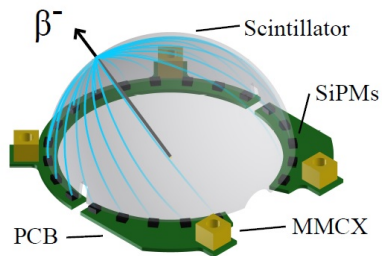
$$\left. \begin{array}{l} \pi p_{3/2}^{-1} \nu \\ \pi p_{3/2} \nu \\ \pi f_{5/2}^{-1} \nu \end{array} \right\}$$



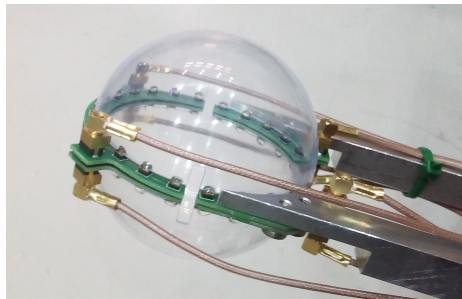
Plany na przyszłość



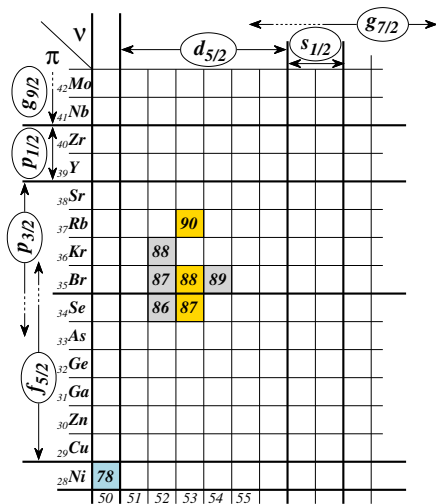
Plany na przyszłość



I. Murray, *The development of a 3.7π β -detector for post-trap decay studies at IGISOL, 2016*



Rozpad β ^{87}Se i ^{89}Se



B. Nyakó *et. al.*, Journal of Physics: Conf. Series 724, 012051 (2016).

Podsumowanie

- zaprezentowane zostały wyniki badań dla izotonów o $N = 53$
 - rezultaty eksperymentalne zostały porównane z rachunkami teoretycznymi opartymi na modelu powłokowym
 - niskoleżące poziomy w ^{88}Br i ^{90}Rb zostały zinterpretowane jako wzbudzenia należące do multipletów $(\pi p_{3/2} \nu d_{5/2})$ i $(\pi f_{5/2}^{-1} \nu d_{5/2})$
 - $(\nu d_{5/2})_{j,j-1}$ dublet został zinterpretowany jako przejaw kolektywności w badanych izotonach o $N = 53$ - **anomalja j-1**
-

Podsumowanie

- zaprezentowane zostały wyniki badań dla izotonów o $N = 53$
 - rezultaty eksperymentalne zostały porównane z rachunkami teoretycznymi opartymi na modelu powłokowym
 - niskoleżące poziomy w ^{88}Br i ^{90}Rb zostały zinterpretowane jako wzbudzenia należące do multipletów $(\pi p_{3/2} \nu d_{5/2})$ i $(\pi f_{5/2}^{-1} \nu d_{5/2})$
 - $(\nu d_{5/2})_{j,j-1}$ dublet został zinterpretowany jako przejaw kolektywności w badanych izotonach o $N = 53$ - **anomalja j-1**
-

Dziękuję za uwagę.

Poszukiwanie efektów kolektywnych w izotonach o $N=53$

W oparciu o:

- T. Rząca-Urban, M. Czerwiński, W. Urban, *et al.*, Phys. Rev. C **88**, 034302,(2013)
- M. Czerwiński, T. Rząca-Urban, W. Urban, *et al.*, Phys. Rev. C **92**, 014328, (2015).
- M. Czerwiński, T. Rząca-Urban, W. Urban, *et al.*, Phys. Rev. C **93**, 034318, (2016).
- M. Czerwiński, K. Sieja, T. Rząca-Urban, *et al.*, Phys. Rev. C **95**, 024321, (2017).

We współpracy z:

T. Rząca-Urban, W. Urban, P. Bączyk, A. Płochocki, J. Kurpeta, J. Wiśniewski
A. Blanc, M. Jentschel, P. Mutti, U.Koester, T. Soldner, G. Simpson
K. Sieja
H. Penttilä, A. Jokinen, S. Rinta-Antila, I.D. Moore, L. Canete, V.S. Kolhinen
G. de France
B. Nyako, J. Timar, I. Kuti, T. Tornyi

Uniwersytet Warszawski, Polska
ILL, Grenoble, Francja
Uniwersytet w Strasburgu , Francja
Uniwersytet w Jyväskylä, Finlandia
GANIL, Caen, Francja
ATOMKI, Debrecen, Węgry