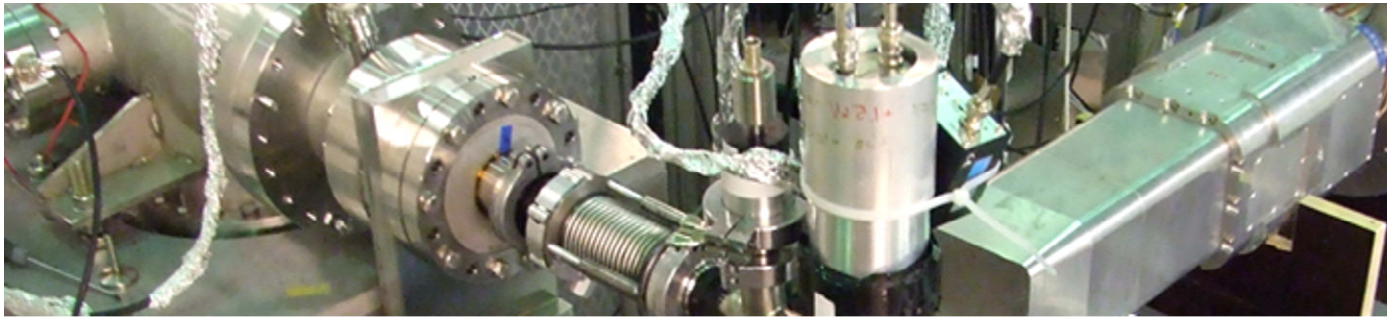
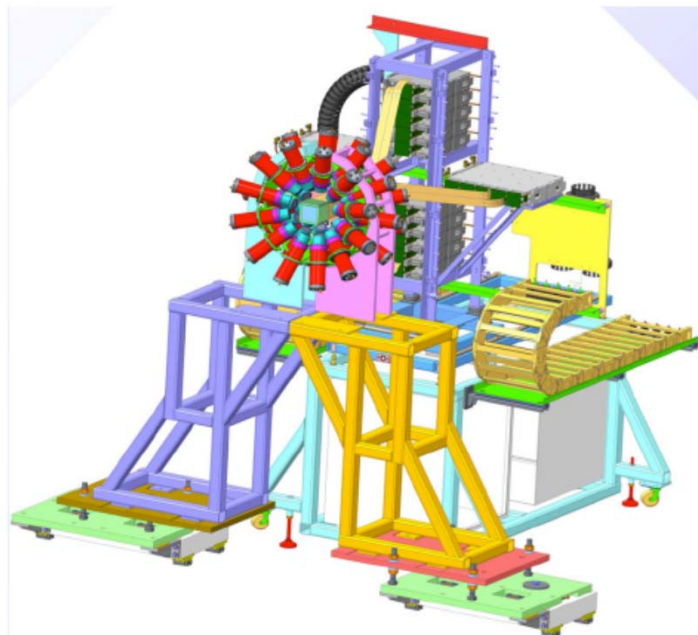




University of Brighton

Nuclear Physics
Research Group

Lifetime measurements using $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ arrays.
(in range μs to 10s of ps)



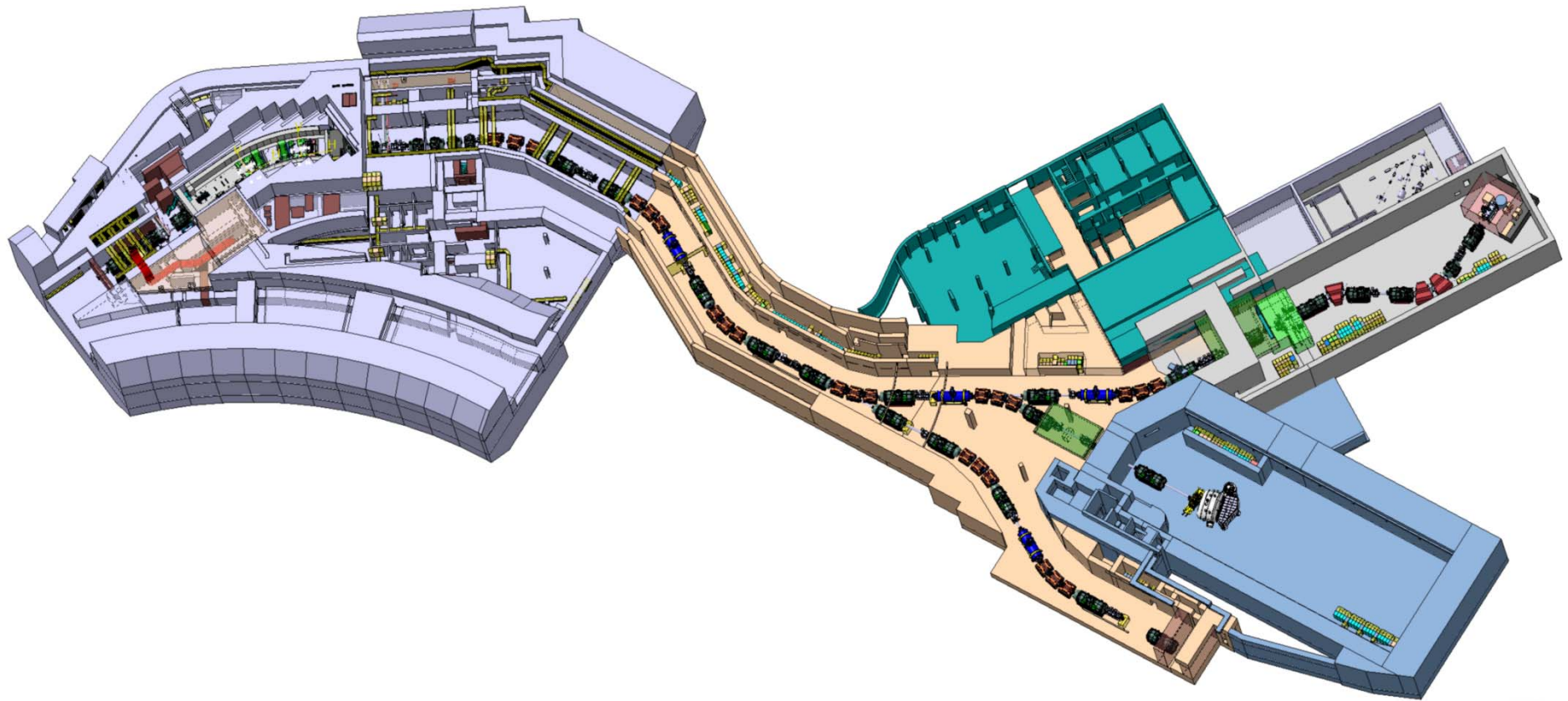
Alison Bruce

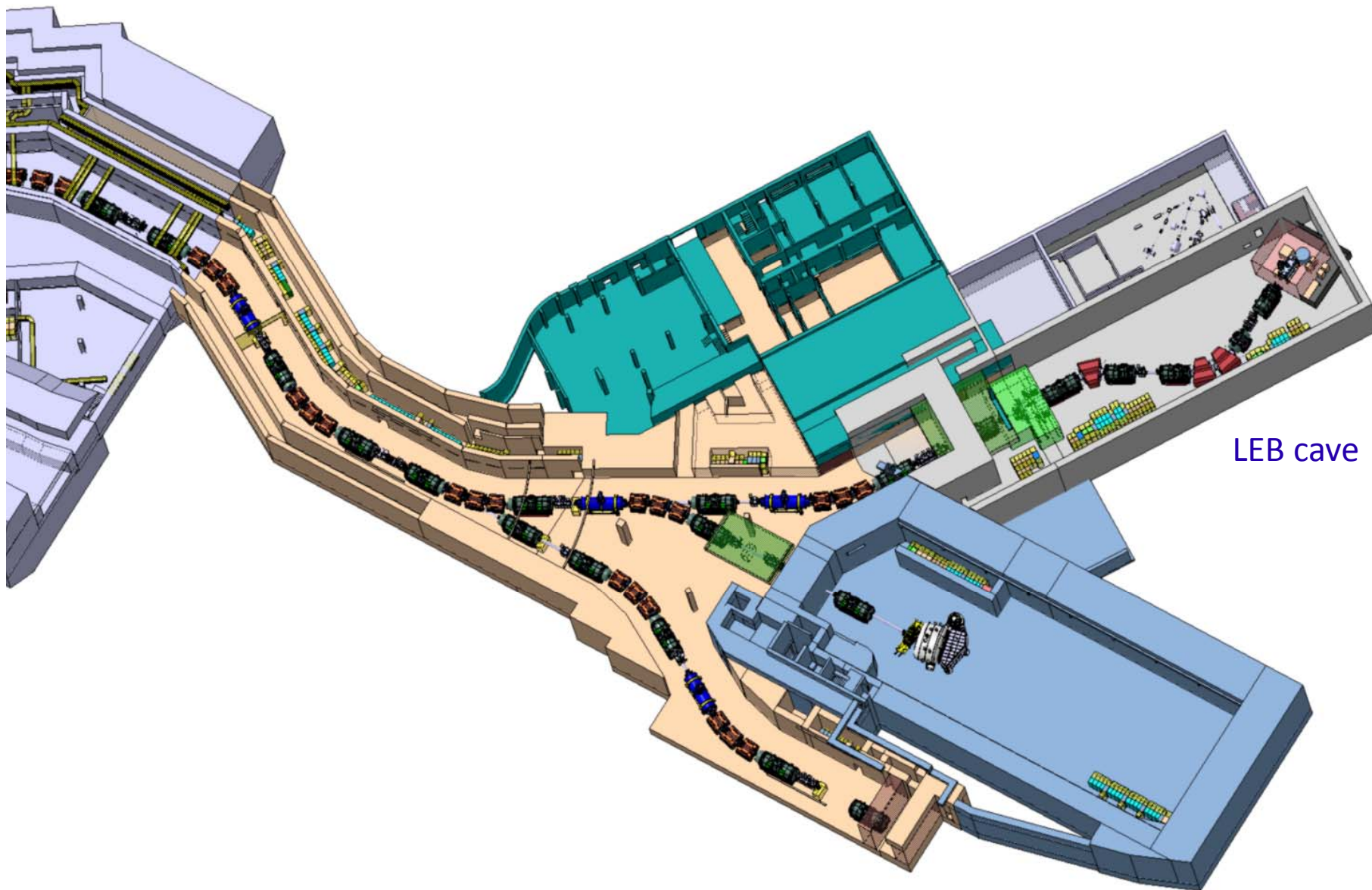
for the
FATIMA collaboration

Outline

- What's the physics?
 - What is FATIMA?
 - Examples of the use of FATIMA
 - Plans for FATIMA
-

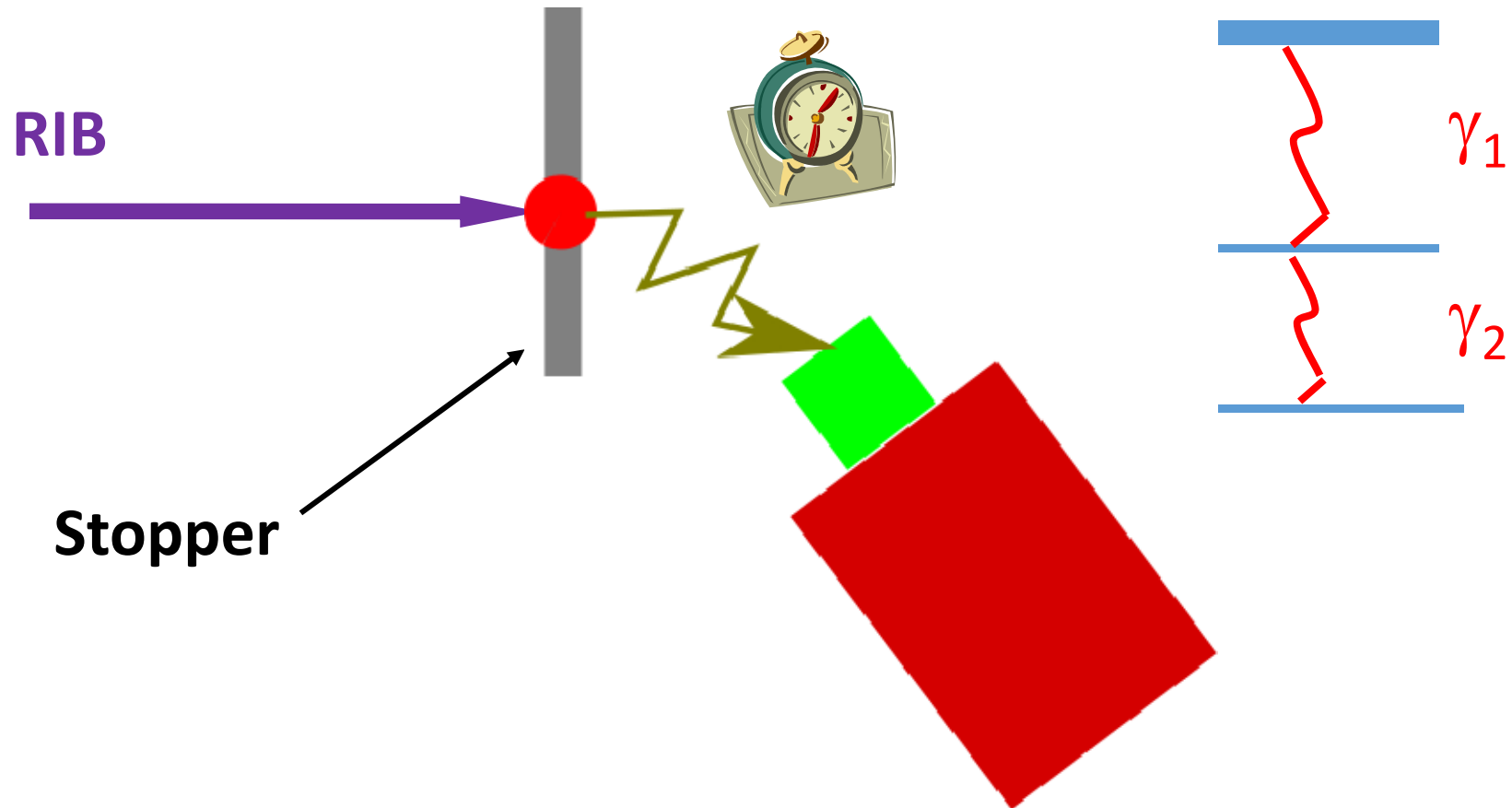
What's the physics?





LEB cave

Isomer decay:

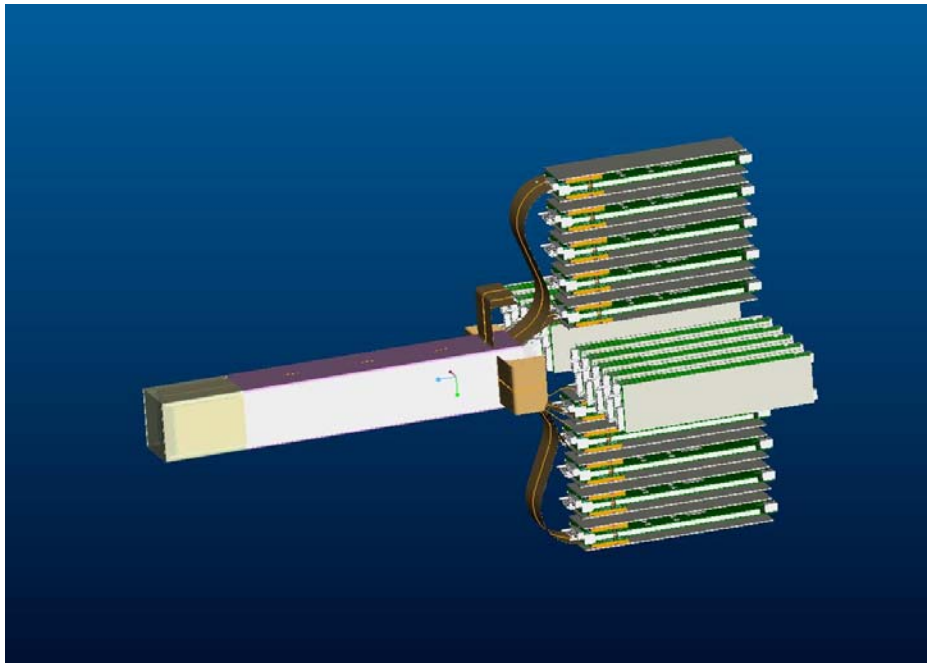


Precision tests of wavefunctions by measuring level lifetimes.

Active stopper..AIDA

Advanced Implantation Detector Array

- Uses 12 x 8cm x 8cm DSSSD



- Measures position of implant
- Fast overload recovery ($\sim \mu\text{s}$)
- Time stamping



<http://www2.ph.ed.ac.uk/~td/DSSD/>

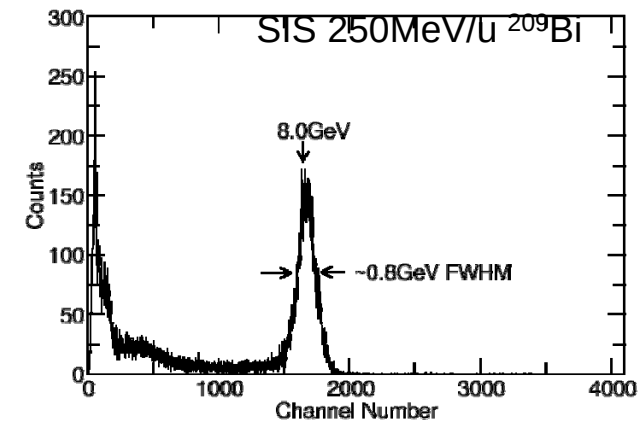
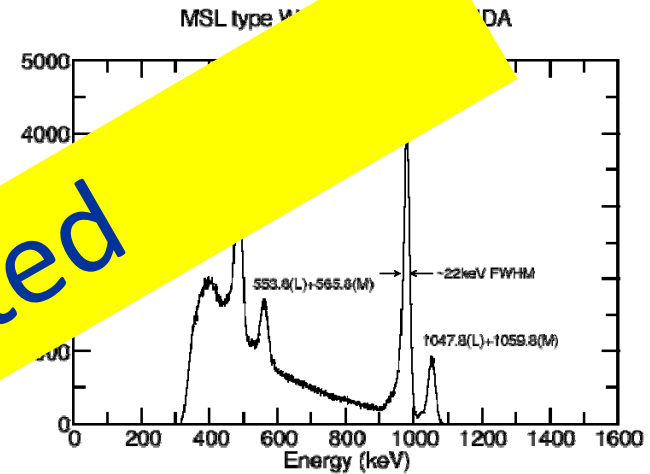
Active stopper..AIDA

Advanced Implantation Detector Array

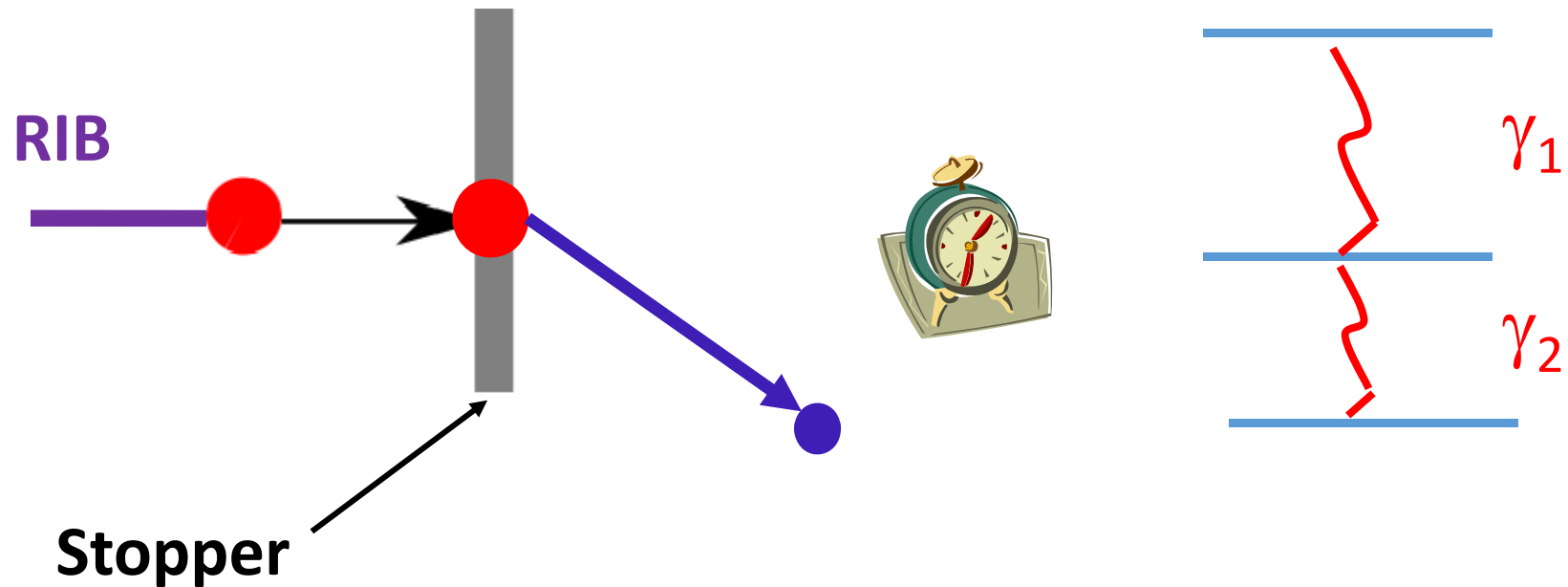
- Uses 12 x 8cm x 8cm DSSSD



TDR approved, tested



Beta decay:



Precision tests of wavefunctions by measuring level lifetimes.

Outline

- What's the physics?
 - What is FATIMA?
 - Examples of the use of FATIMA
 - Plans for FATIMA
-

What is FATIMA?

FATIMA = **FA**st **TI**Ming **A**rray = Array of $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ detectors for

TDR approved July 2015

STAR HISPEC-DESPEC/FATIMA
STAR HISPEC-DESPEC FATIMA

March 2015

**Technical Report for the Design,
Construction and Commissioning of FATIMA, the
FAst TIMing Array**

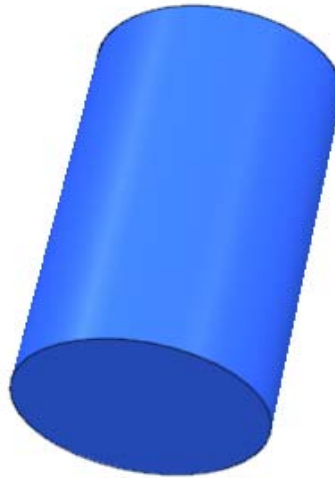
Timing resolution of cylindrical crystals



ø1"x1"

FWHM 200 ps

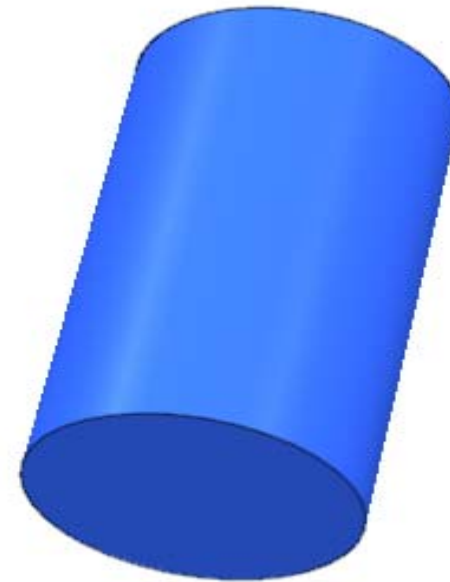
FWHM 150 ps



ø1.5"x1.5"

360 ps

180 ps



ø2"x2"

450 ps at 511 keV

300 ps at 1332 keV

N. Mărginean et al. *Eur. Phys. J A* 46, 329-336, 2010.

I. Deloncle et al. *J. Phys.:Conf. Series* 205, 012044, 2010.

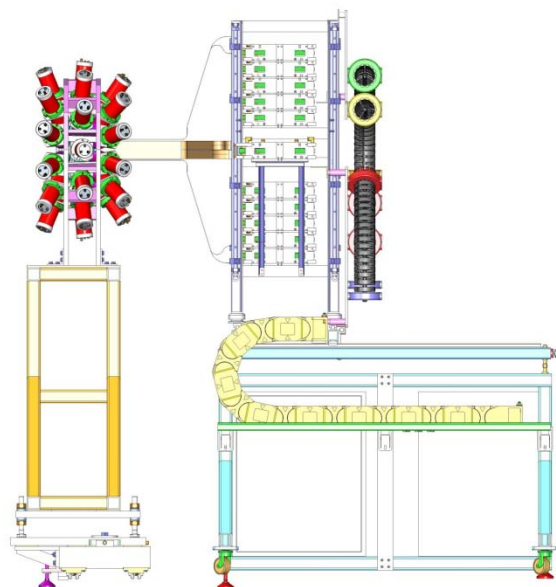
M. Moszynski et al. *Nucl. Instr. Methods A* 567, 2007.

L.M. Fraile et al. ISOLDE Workshop, Fast timing results at ISOLDE,
<http://indico.cern.ch/getFile.py/access?contribId=36&sessionId=8&resId=0&materialId=slides&confId=67060>,
November, 2009.

Final Design: $\phi 1.5'' \times 2''$



Courtesy of I.Burrows

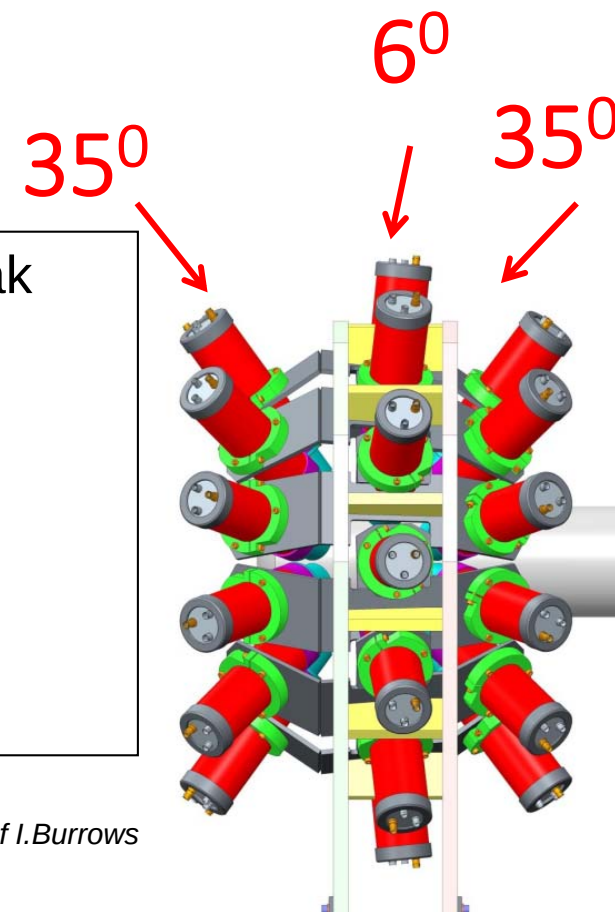


Courtesy of I.Burrows

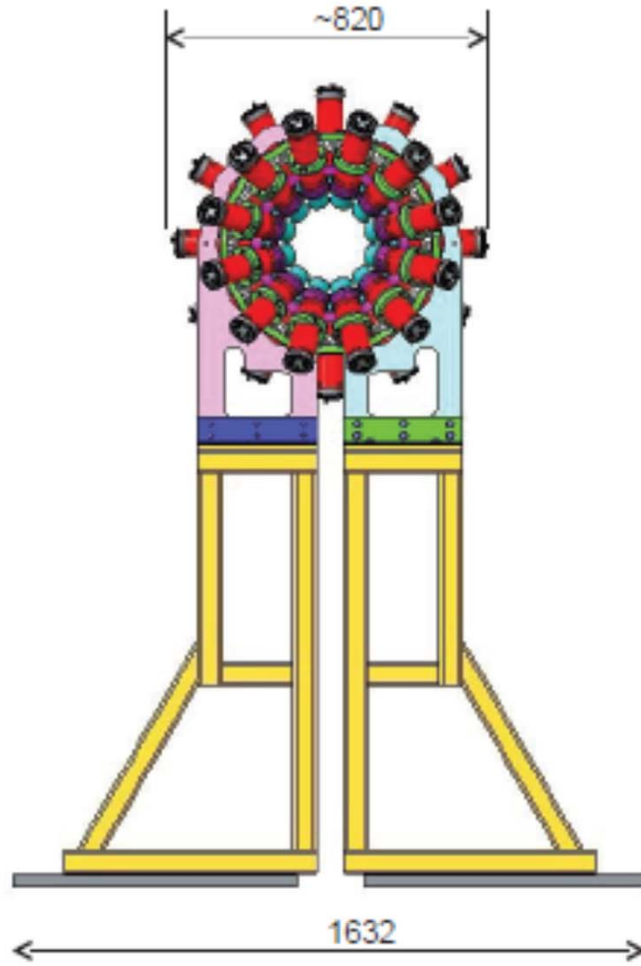
Expected full-energy peak efficiencies are:

- ~ 5% at 500 keV
- ~ 3 % at 1000 keV
- ~ 1 % at 2000 keV
- ~ 0.5 % at 4000 keV

Courtesy of I.Burrows



Fast-timing array



Outline

- What's the physics?
 - What is FATIMA?
 - Examples of the use of FATIMA
 - Plans for FATIMA
-

Examples of the use of FATIMA:

Feb 2013: 8 detectors used at ILL for the EXILL campaign to study fission fragments

April/May 2013: Used in Bucharest as part of the ROSPHERE array

May 2013: 18 detectors used at RIKEN in coincidence with the EURICA (germanium detector) array

August 2015: Used at Jyvaskyla at the focal plane of RITU

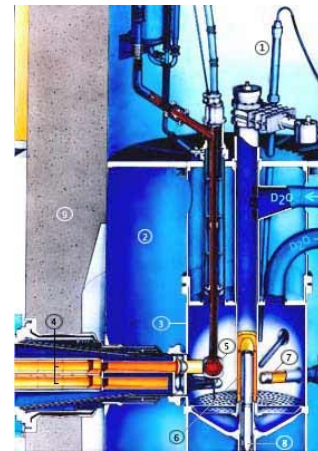
December 2015/January 2016: Used at Argonne in coincidence with half of the Gammasphere array

EXILL and FATIMA at ILL

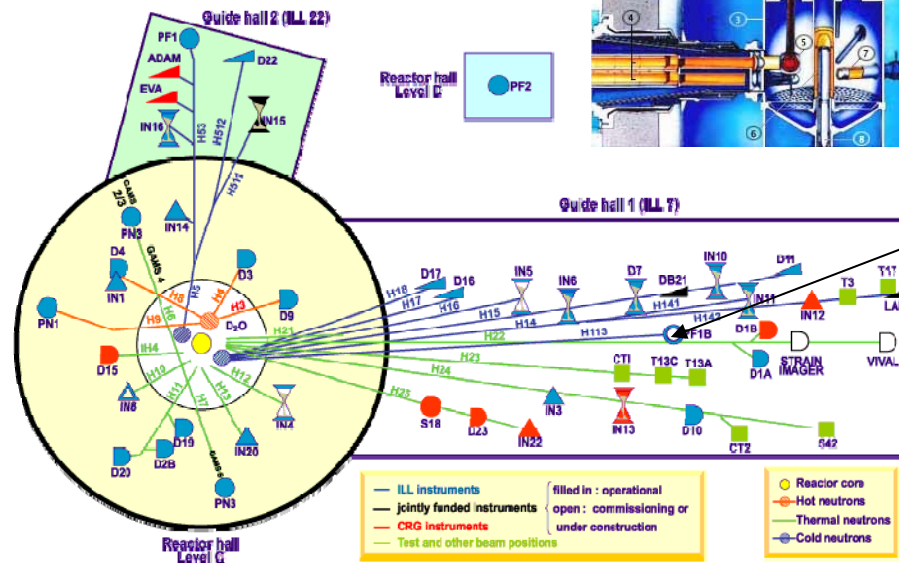
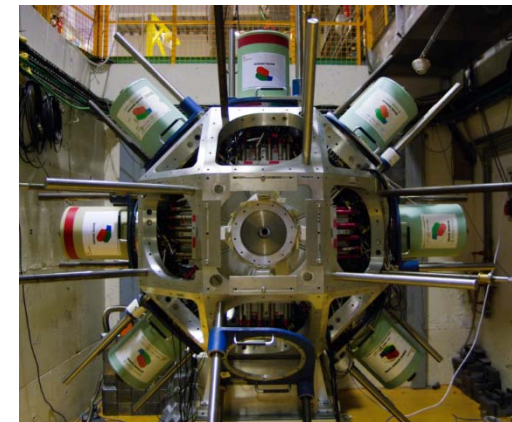
EXILL = Exogam at Institut Laue Langevin 11.2012-4.2013



High Flux Reactor of the Institut Laue Langevin
in Grenoble France



8 Clover detectors of EXOGAM



PF1B

Cold neutrons have meV
energies

Flux up to 1.3×10^{10} n/s/cm²

EXILL and FATIMA at ILL



Yields per ^{241}Pu fission: ^{98}Zr $1.6 \cdot 10^{-2}$; ^{100}Zr $4.3 \cdot 10^{-2}$; ^{102}Zr $2.5 \cdot 10^{-2}$.

FATIMA + EXOGAM

8 Ge Clover detectors from

EXOGAM with BGO shields

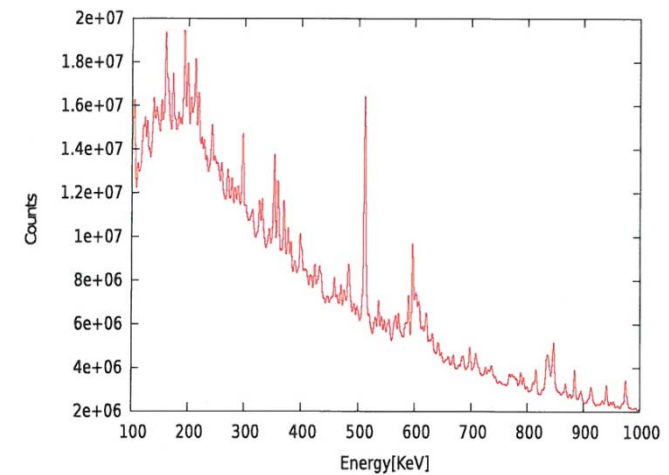
16 LaBr₃(Ce) scintillators

from FATIMA

**(n,fission) EXILL&FATIMA
experiments**

^{235}U ^{241}Pu J.M. Régis (Köln)

241Pu triples projection

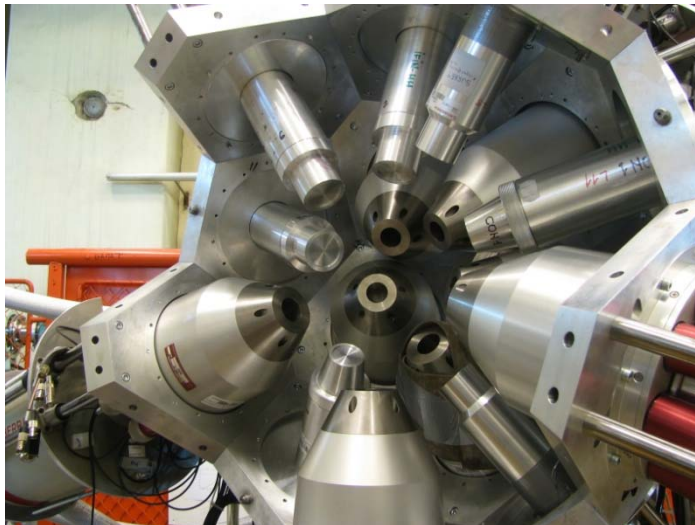
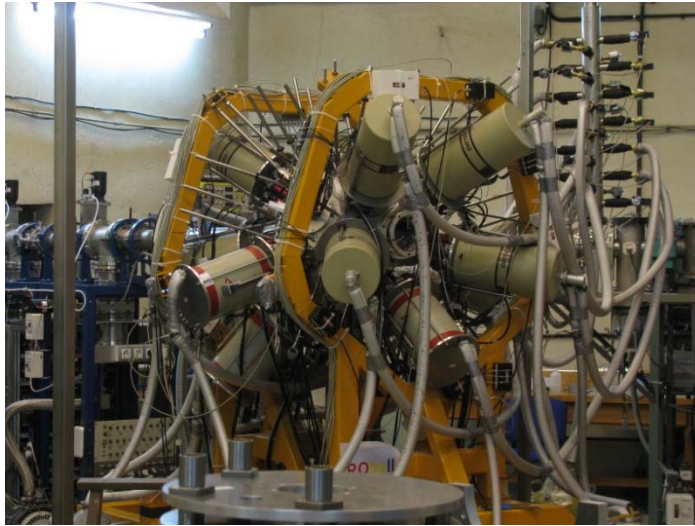


EXILL and FATIMA at ILL

Nuclei		Experiment		Literature
^{102}Zr	2^+	$\tau = 2.64(10) \text{ ns}$	$T_{1/2} = 1.83(7) \text{ ns}$	$T_{1/2} = 1.8(4) \text{ ns}$
	4^+	$\tau = 21(15) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 15(11) \text{ ps}$	Not Known
	6^+	$\tau = 13(11) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 9(8) \text{ ps}$	Not Known
^{100}Zr	2^+	$\tau = 965(30) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 668(20) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 590(30) \text{ ps}$
	4^+	$\tau = 25(10) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 17(7) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 37(3) \text{ ps}$
^{98}Zr	2^+	$\tau = 12(9) \text{ ps}$	$T_{1/2} = 9(6) \text{ ps}$	$T_{1/2} < 11 \text{ ps}$
	4^+	$\tau < 20 \text{ ps}$		$T_{1/2} = 20(6) \text{ ps}$

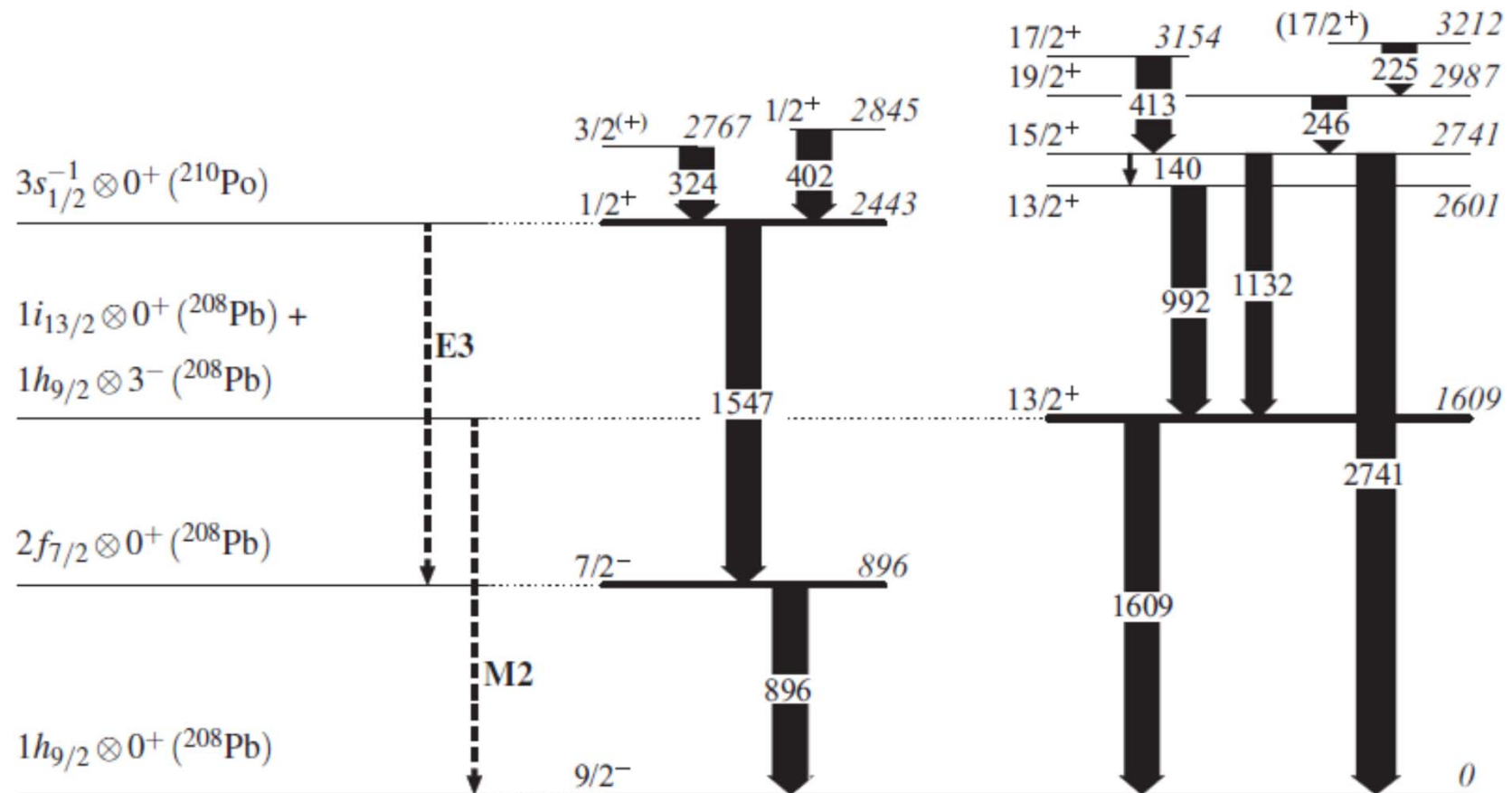
J.Jolie, J.M.Regis (Köln)
to be published

ROSPHERE at Bucharest:



- 15 HPGe detectors (A/C) were used to detect gamma rays;
 - 10 x HPGe detectors placed @ 37°
 - 1 x HPGe detector placed @ 64°
 - 4 x HPGe detectors placed @ 90°
- 11 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ detectors were also used:
 - $\varnothing 2'' \times 2''$ @ 90 and 64° (three) (Cylindrical)
 - $\varnothing 1.5'' \times 1.5''$ @ 90 (six) (Cylindrical)
 - $\varnothing 1'' \times 1.5''$ @ 64° (two) (Conical)

ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi



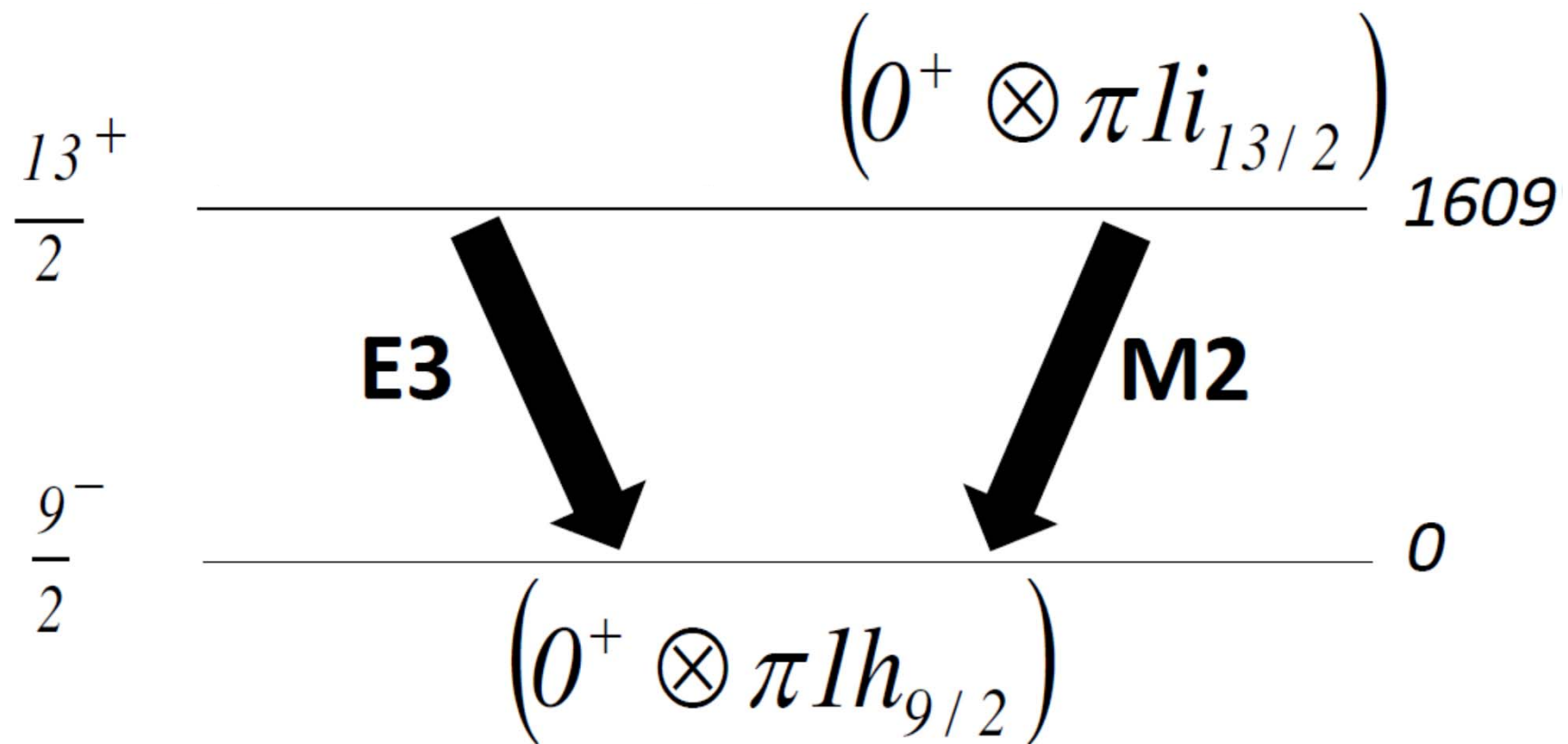
E3 and M2 transition strengths in $^{209}_{83}\text{Bi}$

O.J. Roberts,^{1,2} C.R. Niță,^{1,3} A.M. Bruce,¹ N. Mărginean,³ D. Bucurescu,³ D. Deleanu,³ D. Filipescu,³ N.M. Florea,^{3,4} I. Gheorghe,^{3,5} D. Ghiță,³ T. Glodariu,³ R. Lica,³ R. Mărginean,³ C. Mihai,³ A. Negret,³ T. Sava,³ L. Stroe,³ R. Șuvăilă,³ S. Toma,³ T. Alharbi,^{6,7} T. Alexander,⁶ S. Aydin,⁸ B.A. Brown,⁹ F. Browne,¹ R.J. Carroll,⁶ K. Mulholland,¹⁰ Zs. Podolyák,⁶ P.H. Regan,^{6,11} J.F. Smith,¹⁰ M. Smolen,¹⁰ and C.M. Townsley⁶

O.J.Roberts, C.R.Nita et al., Phys Rev C93 (2016) 014309

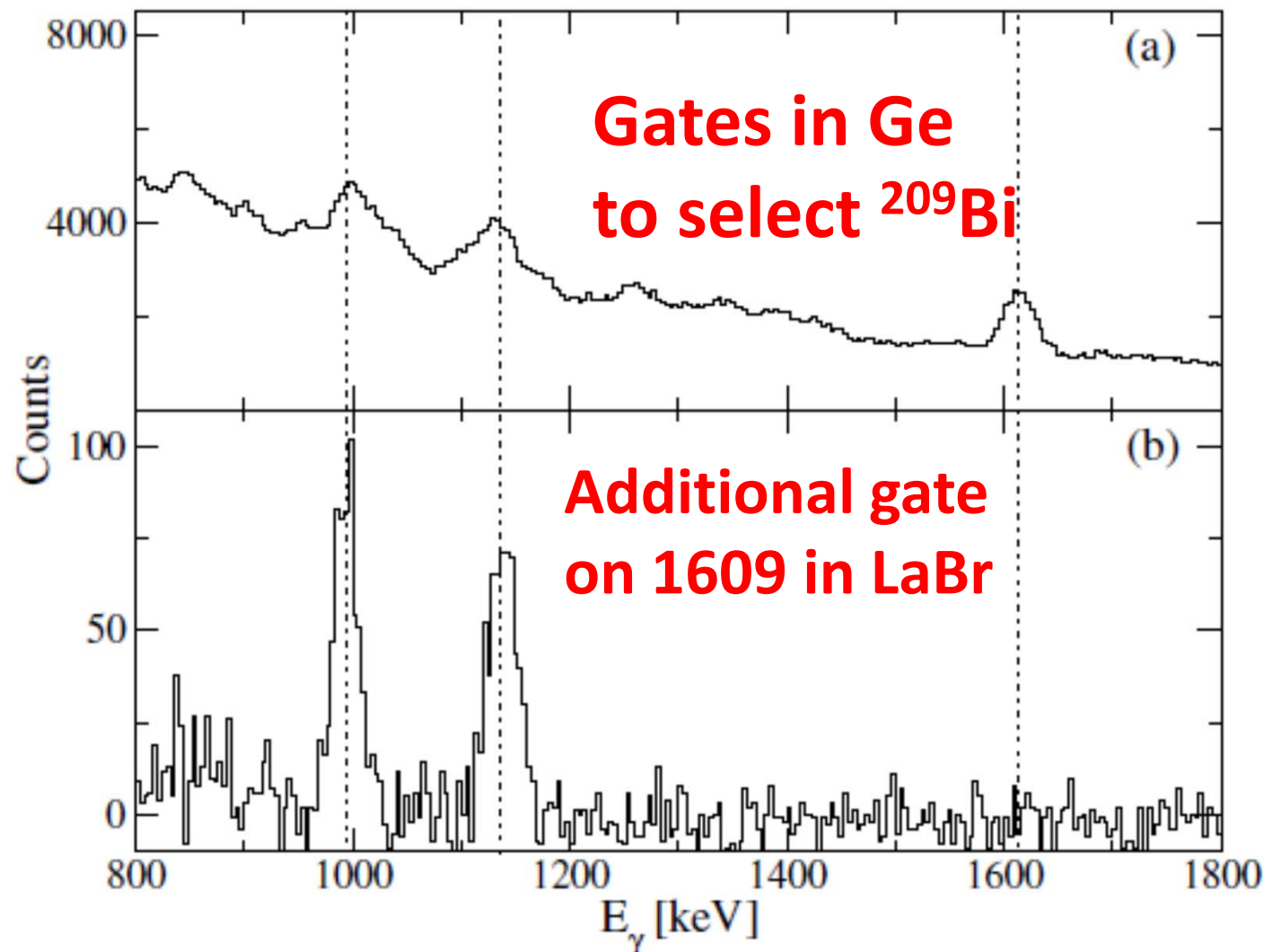
ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi

What's the physics?

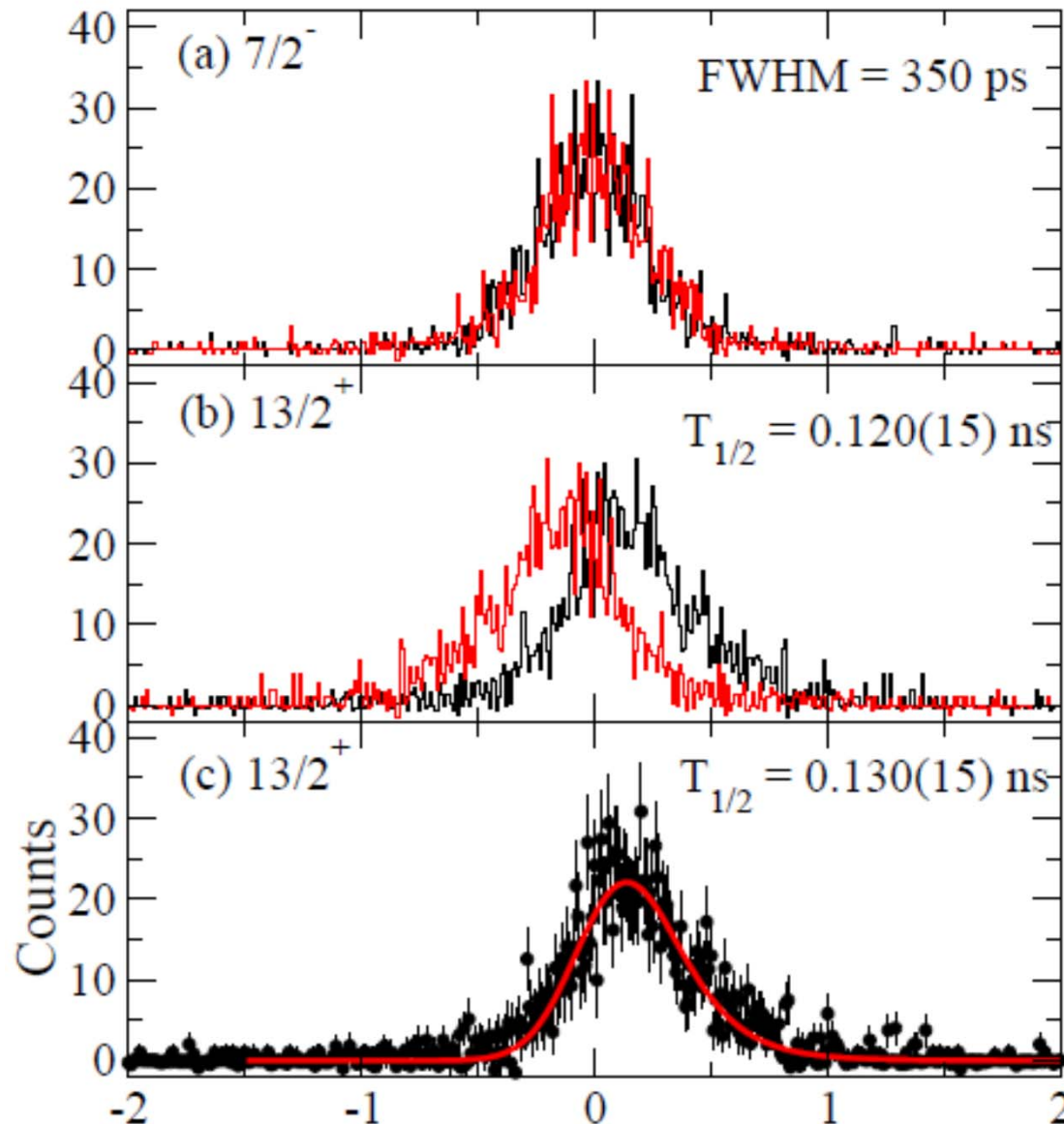


ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi

$^{208}\text{Pb}(^7\text{Li}, 2n\alpha\gamma)^{209}\text{Bi}$ at beam energy of 32 MeV



ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi

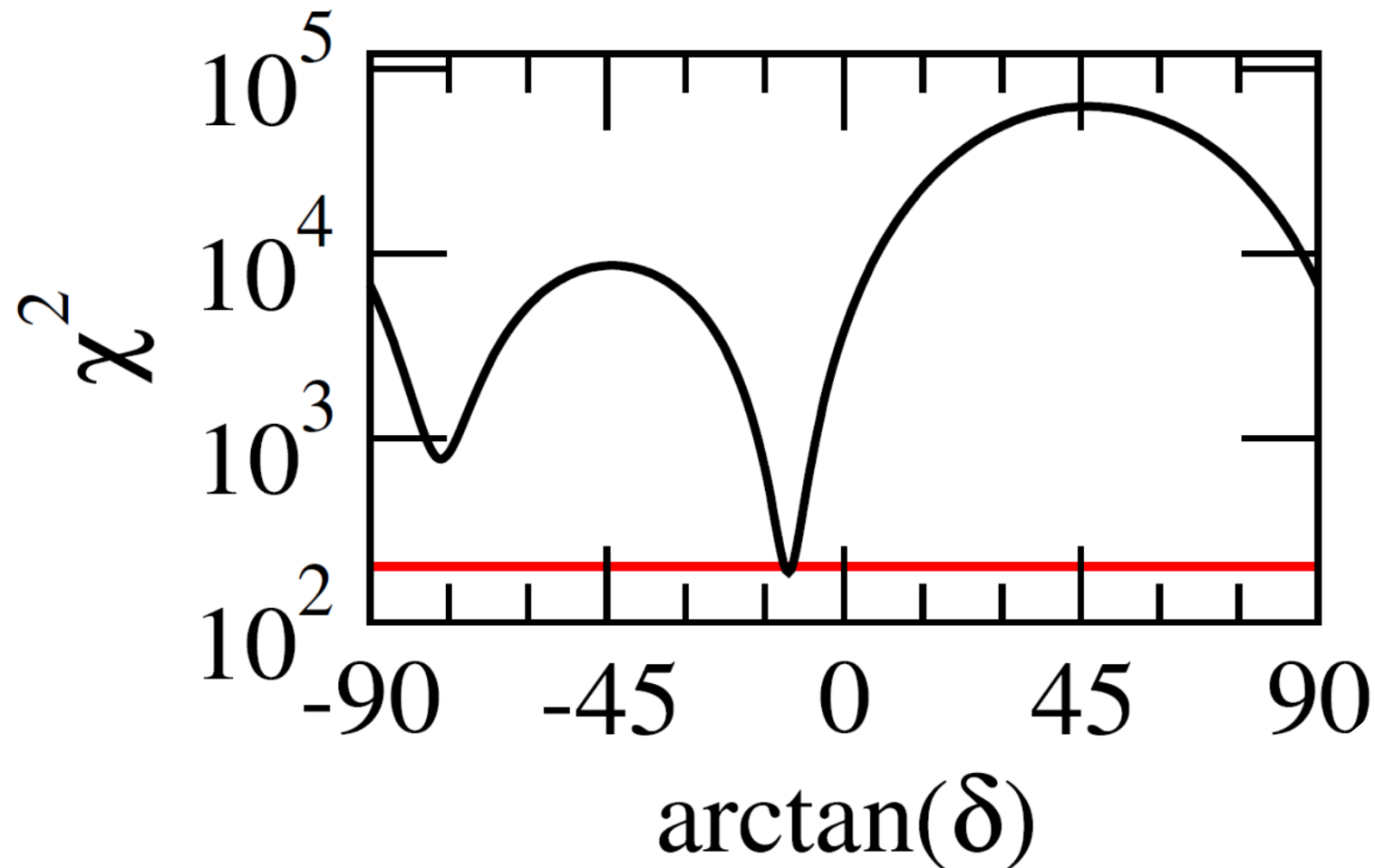


Prompt
response

ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi

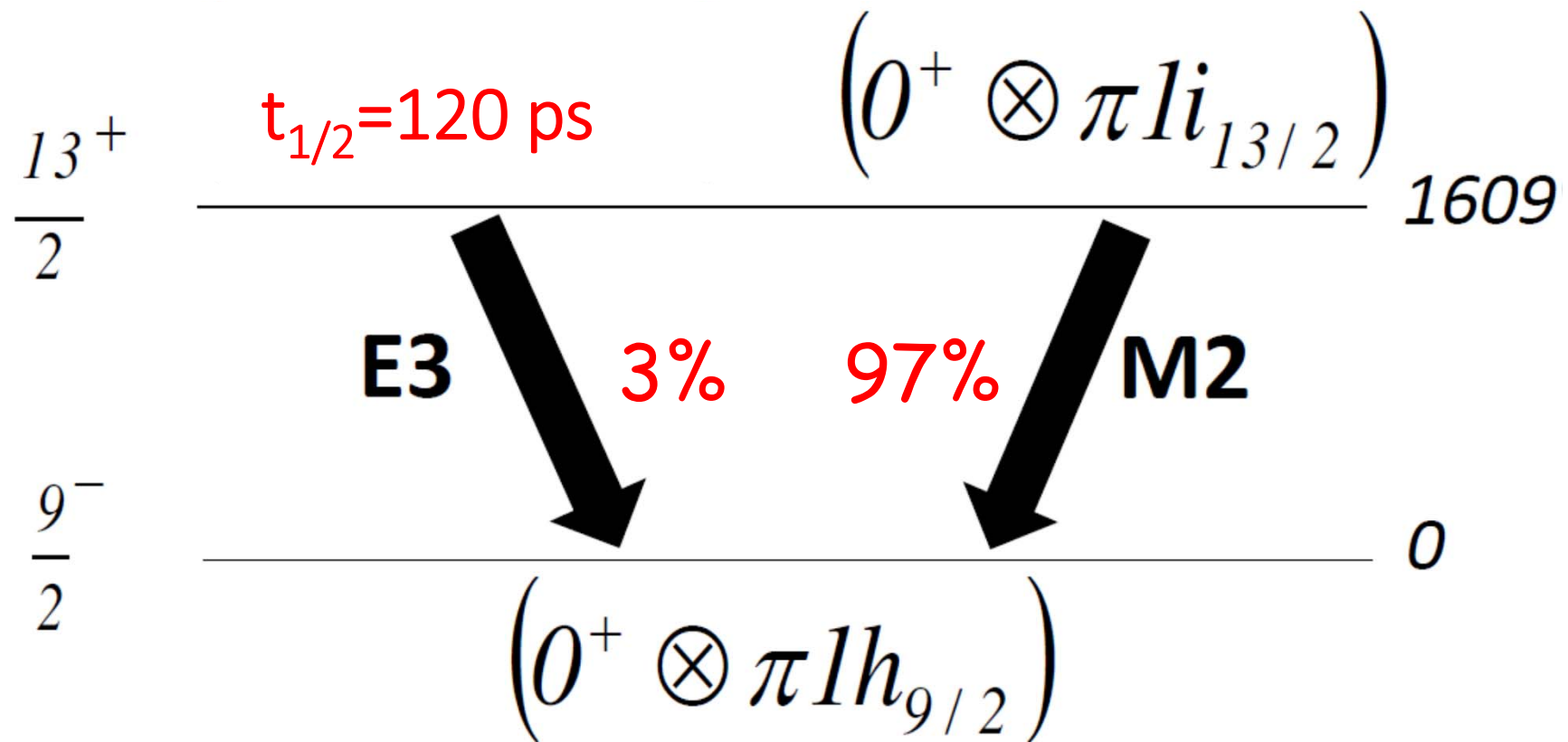
1609 keV transition

min at $\arctan(\delta) = -10.54$



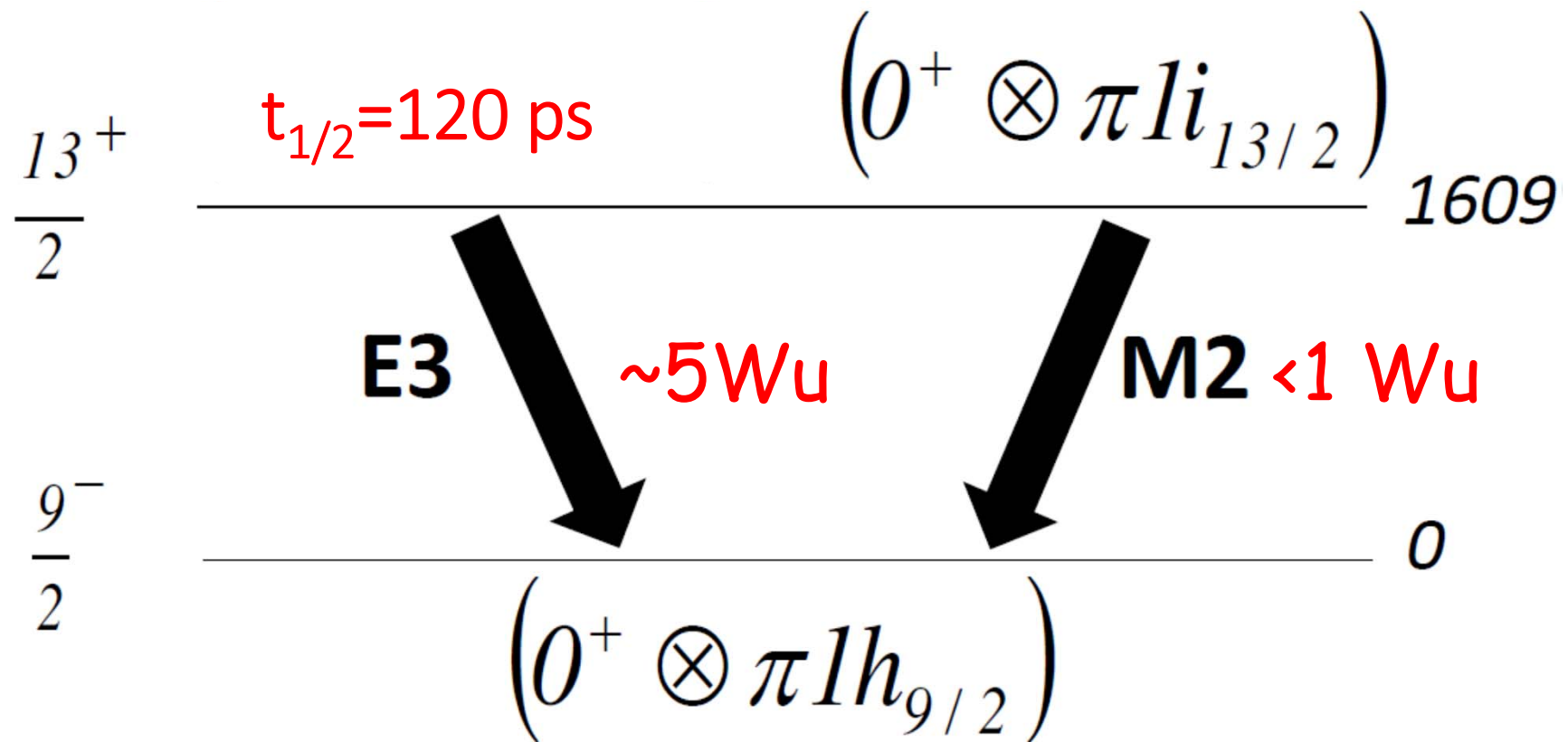
ROSPHERE at Bucharest: example of ^{209}Bi

What's the physics?



ROSPHERE at Bucharest : example of ^{209}Bi

What's the physics?



Lifetime measurements at RIKEN



Active stopper = WAS3ABi

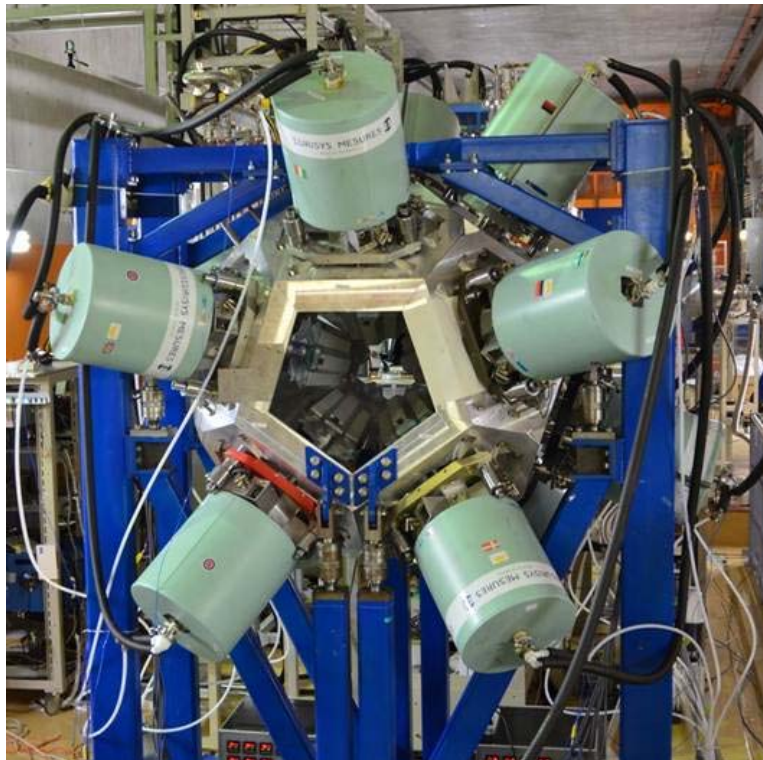


Active silicon stopper array:
5 DSSSDs, 1 mm thick
60x40 strips, each 1 mm wide
Spacing: 0.5 mm
Pos. res.: 1 mm
Time res.: ~200 ns

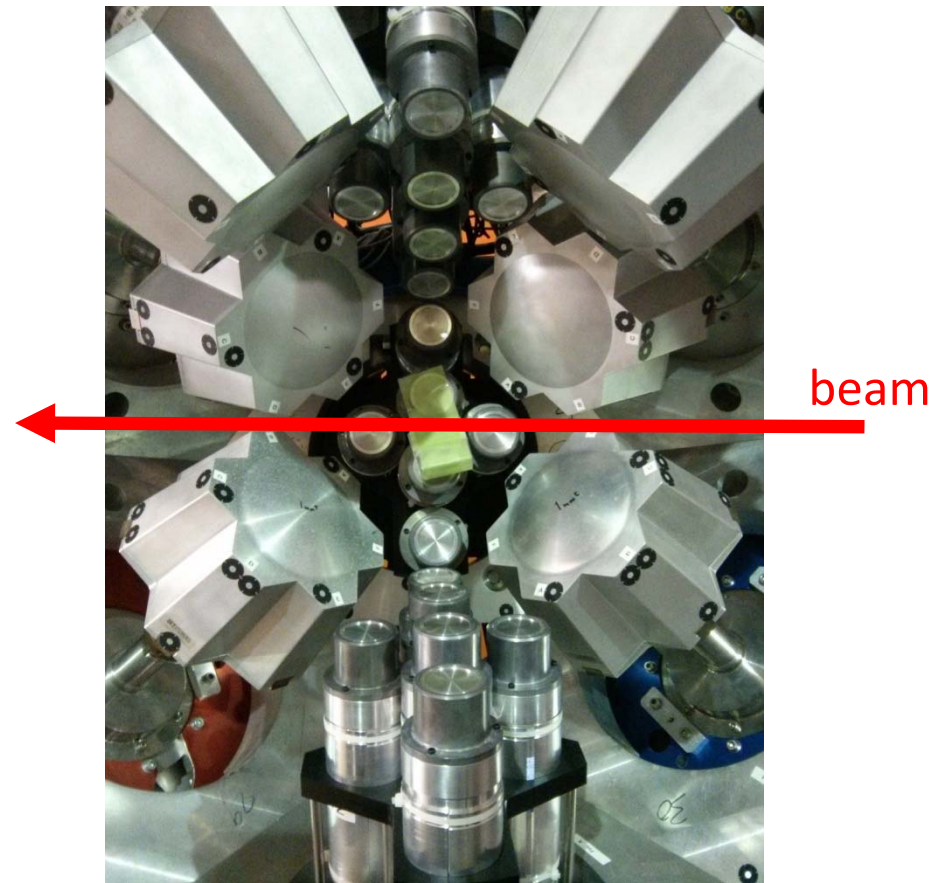
Beta-plastics:
2 mm thick, 65x45 mm² area
~1 mm up- and downstream
of WAS3ABi
BC-418
Time res.: ~200 ps
Efficiency: ~30%

EURICA @ RIKEN

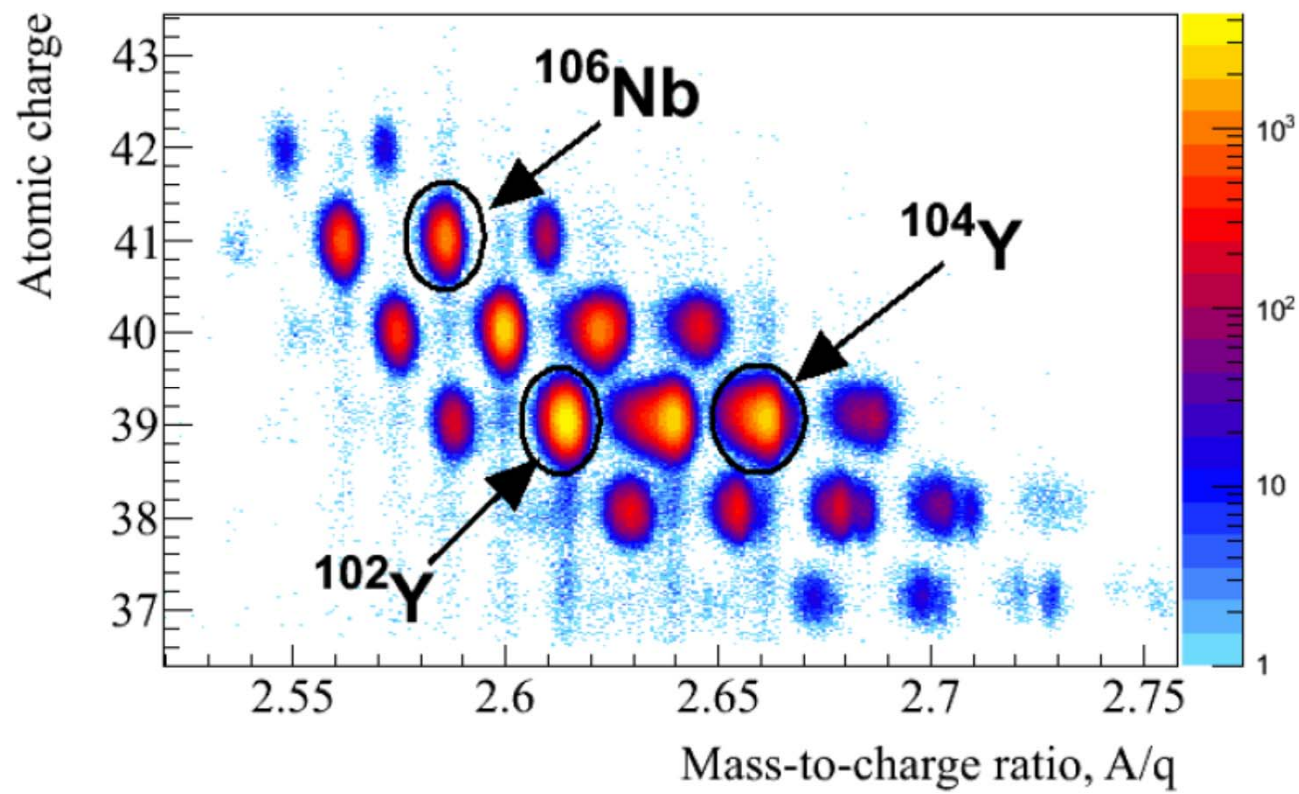
12 RISING clusters



18 LaBr₃(Ce) detectors
Total efficiency ~2% at 500 keV

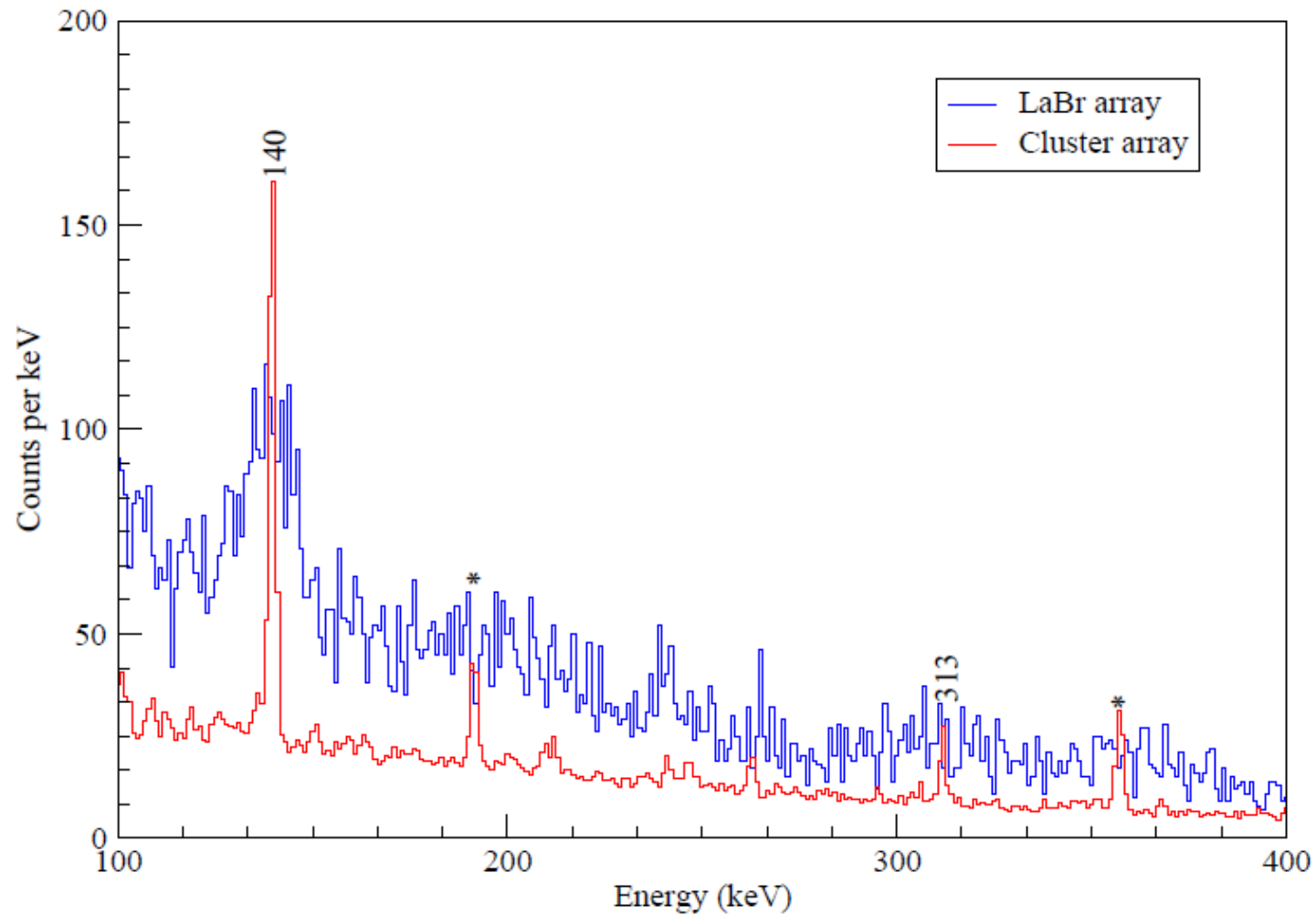


PID plot for ^{104}Y



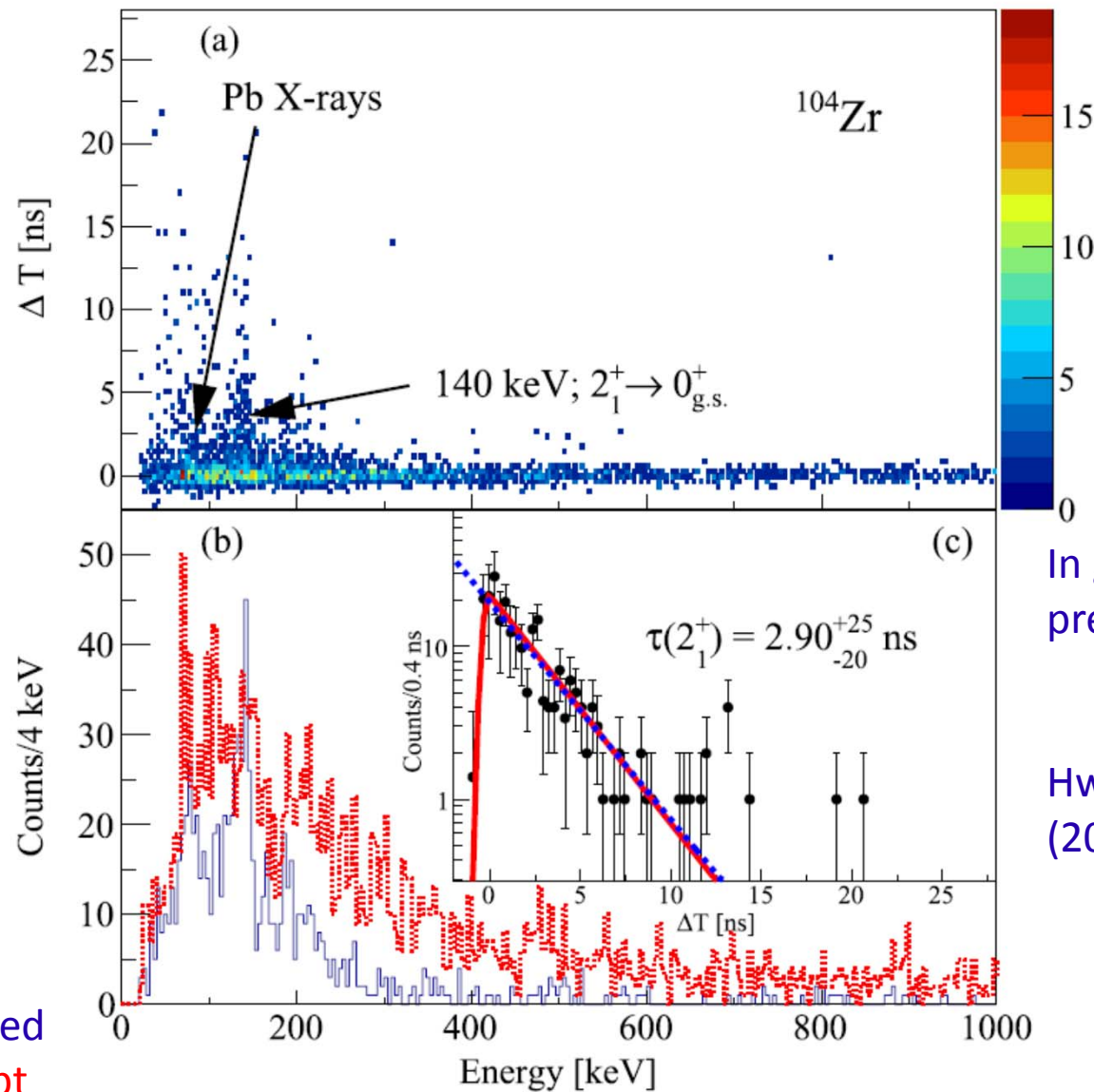
3.8×10^5 ^{104}Y ions

^{104}Zr : Fragment – β correlation time set at $5 t_{1/2} = 5 * 200 \text{ ms}$



Cluster spectrum scaled

Results for ^{104}Zr



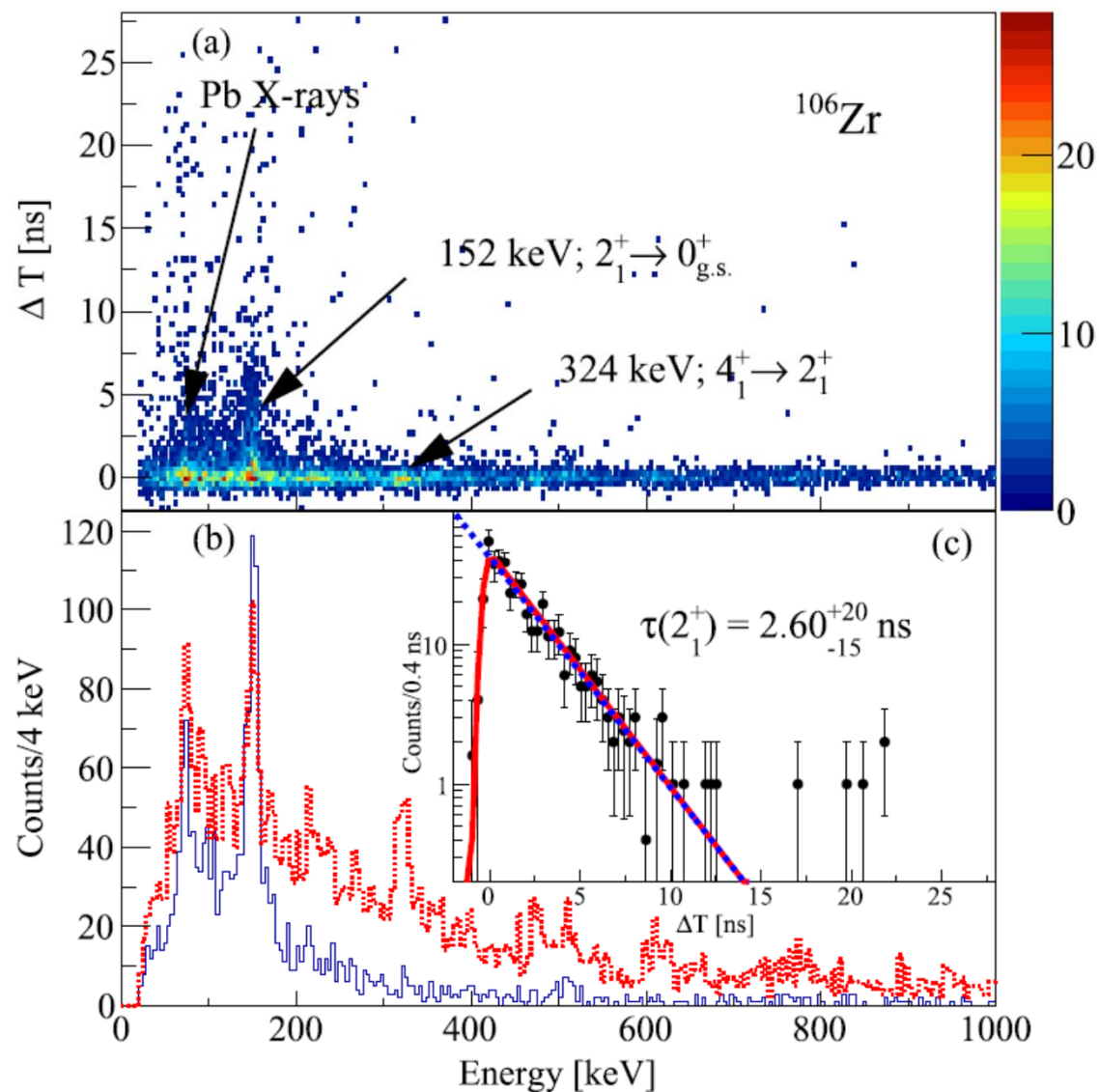
Blue = delayed
Red = prompt

In good agreement with
previous value of $2.9(4) \text{ ns}$

Hwang et al. Phys Rev C73
(2006) 044316

F.Browne et al.,
Physics Letters B 750
(2015) 448-452

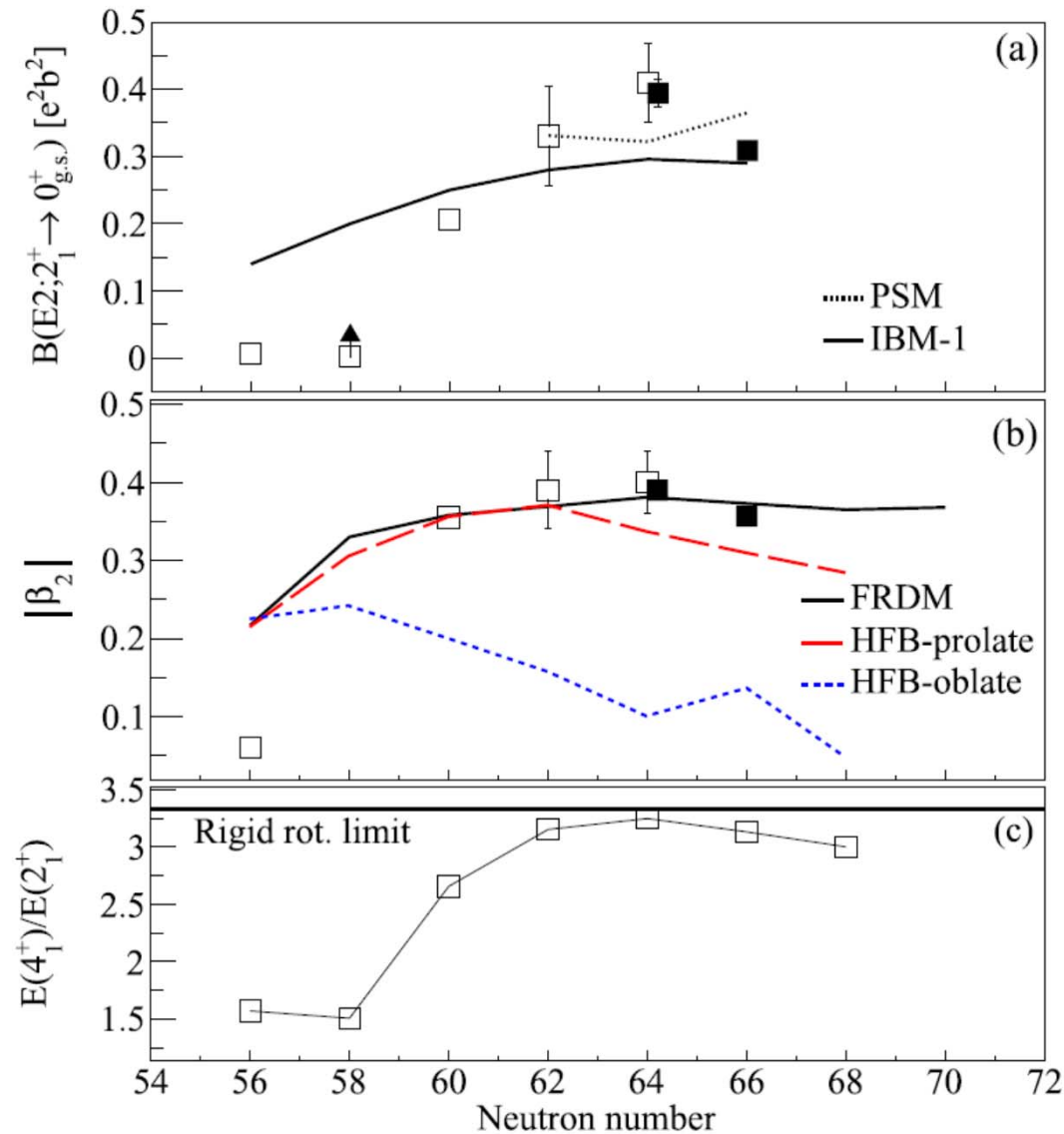
Results for ^{106}Zr : Fragment – β correlation time set at 0.3s



Blue = delayed
Red = prompt

F.Browne et al.,
Physics Letters B 750
(2015) 448-452

Extracted deformations:



PSM:

Liu et al., NPA858 (2011)11.

IBM-1:

Böyükata et al.,
JPG37 (2010) 105102.

FRDM:

Moller et al.,
ADNDT59(1995)185.

HFB:

Rodríguez-Guzmán et al.,
PLB691(2010)202.

F.Browne et al.,
Physics Letters B 750
(2015) 448-452

F. Browne^{a,b,*}, A.M. Bruce^a, T. Sumikawa^a, S. Nishimura^b,
P. Doornenbal^b, G. Lorusso^b, P.-A. Adlarson^c, W. Ando^d,
S. Rice^{f,b}, L. Sinclair^{g,b}, J. Wu^h, T. A. A. Cowellⁱ, T. Watanabe^{d,b}, R. Daido^e, Z. Patel^{f,b},
F. Didierjean^k, Y. Fang^e, M. Frey^{l,m,b}, E. Ideguchi^e, N. Inabe^b, T. Isobe^b,
D. Kameda^b, I. Kojimaⁿ, T. Kubo^b, S. Lalkovski^o, Z. Li^h, R. Lozeva^k,
H. Nishibata^e, A. Nishiyama^p, P. Odolyák^f, P.H. Regan^{f,p}, O.J. Roberts^a, H. Sakurai^{i,b},
H. Schaffner^q, H. Suzuki^b, H. Takeda^b, M. Tanaka^e, J. Taprogge^{q,r,b},
V. Werner^s

^h Department of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

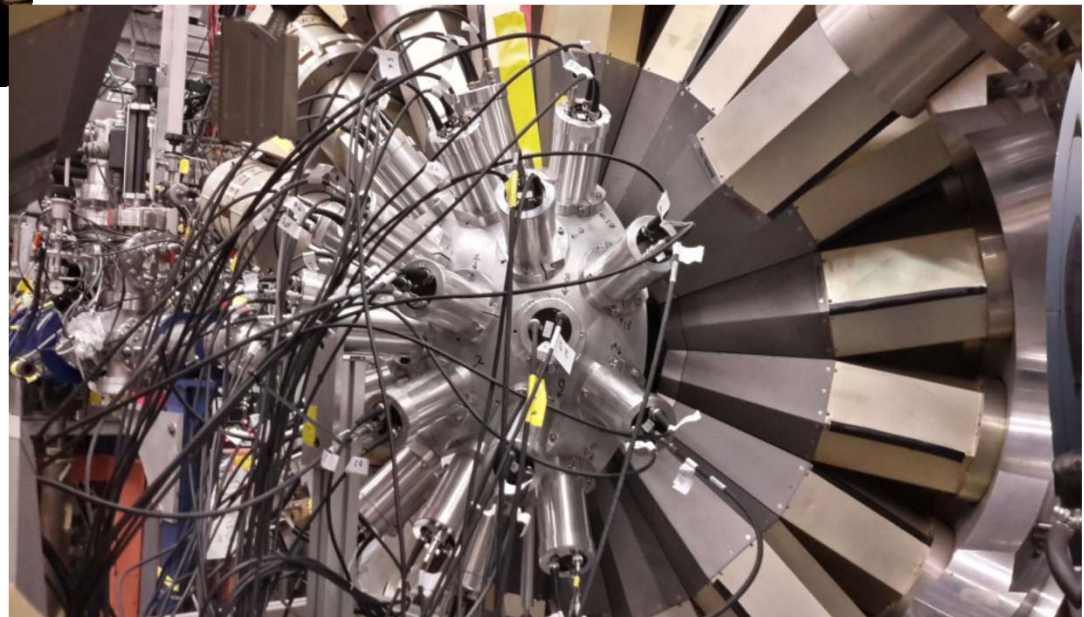


One hemisphere of Gammasphere
(51 Ge detectors)

Measure triples: $\text{Ge-LaBr}_3\text{-LaBr}_3$

One hemisphere of the
FATIMA array

(25 $\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ detectors)



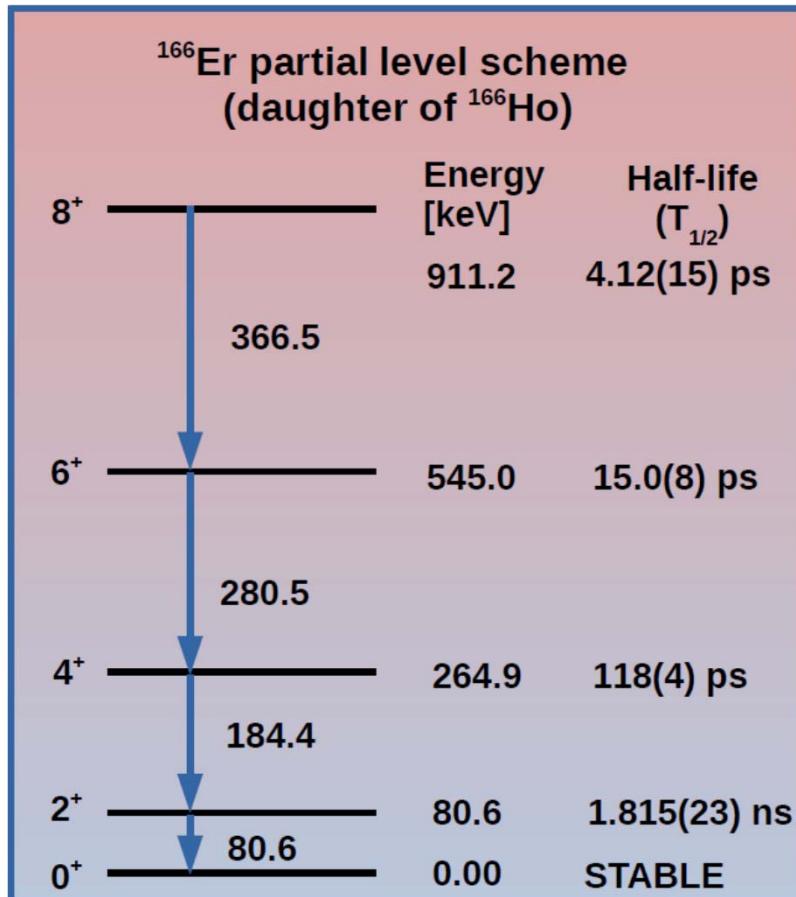
FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

VME based data acquisition - stand-alone



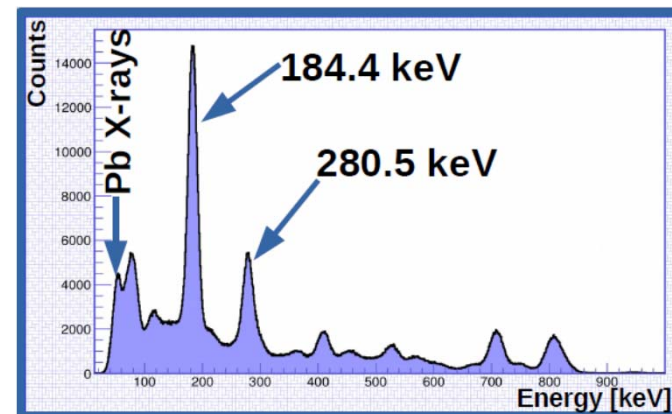
#	Module	
5	V1751	Digitizer (QDC) DPP-PSD firmware
3	V812	CFD
2	V1290A	TDC
1	V1495	Logic module
1	V2718	Controller

FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

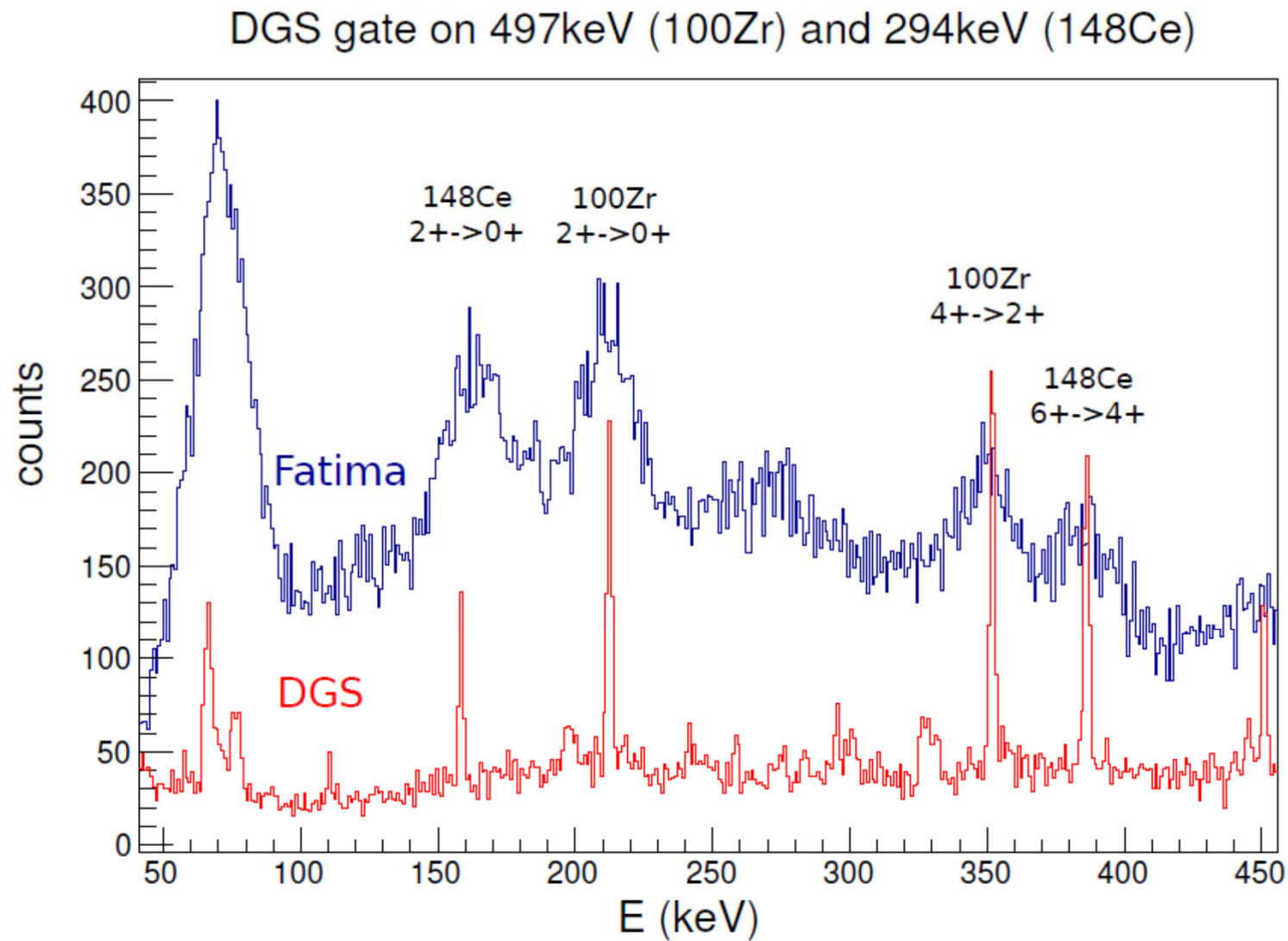


Test looking at levels in ^{166}Er
from decay of ^{166}Ho source

$\text{LaBr}_3(\text{Ce})$ spectrum gated on
80.6 keV in Gammasphere



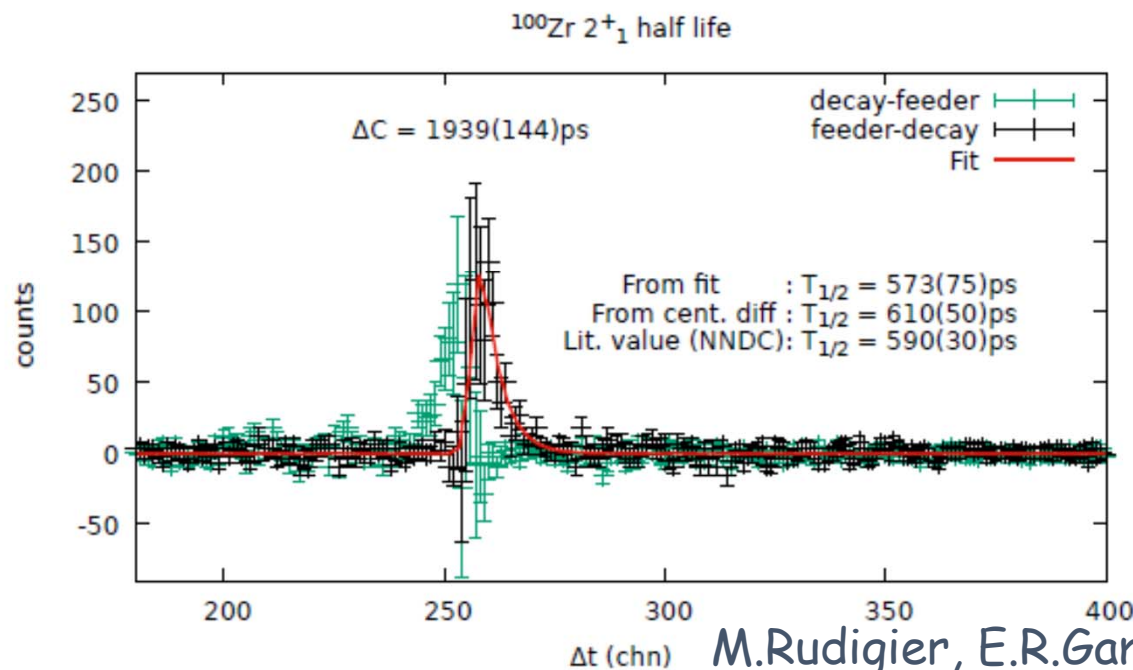
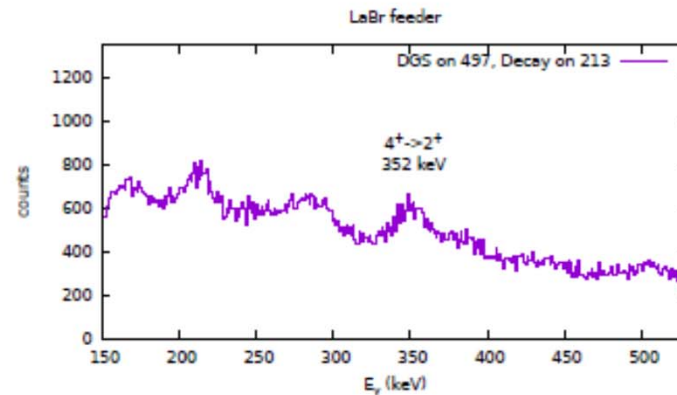
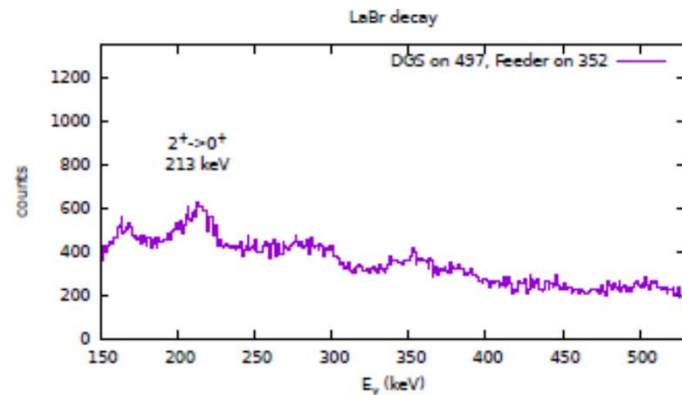
FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)



M.Rudigier, E.R.Gamba et al., to be published

FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

2^+ half life in ^{100}Zr



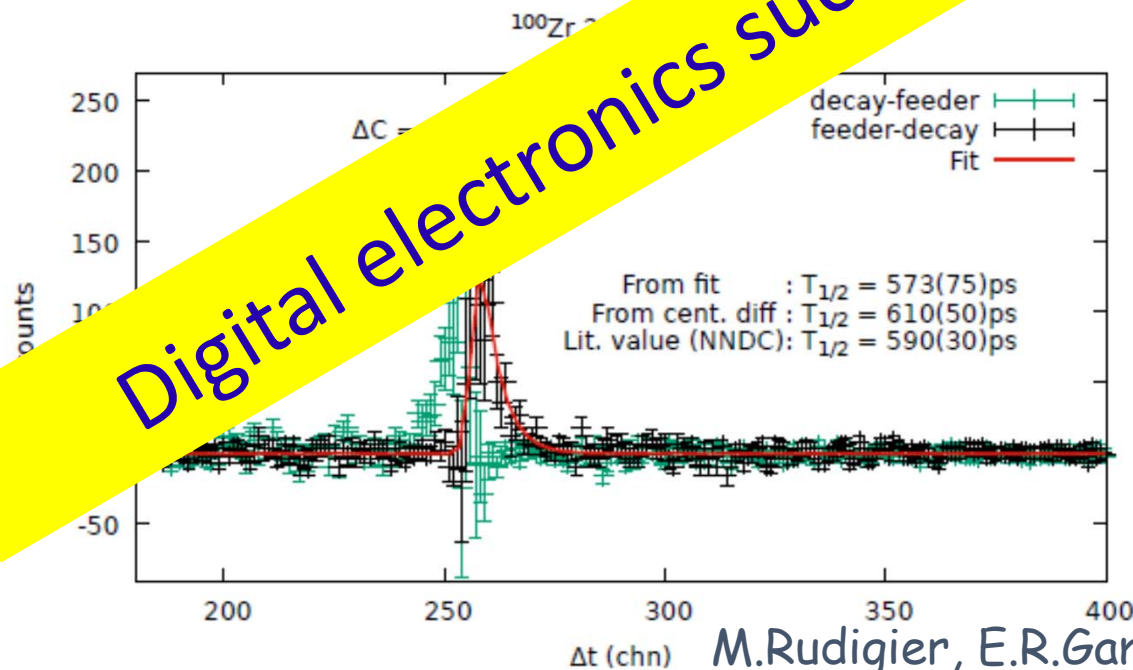
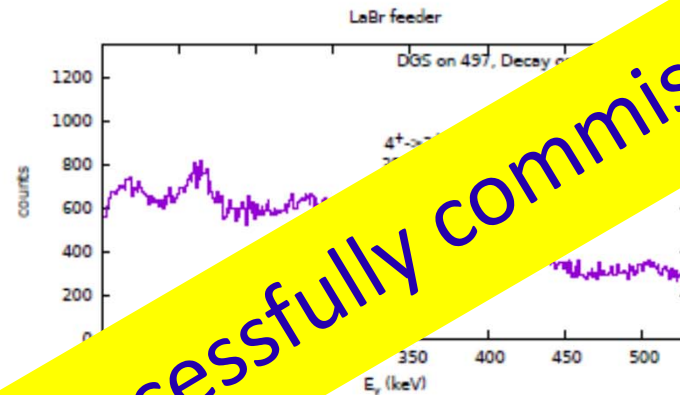
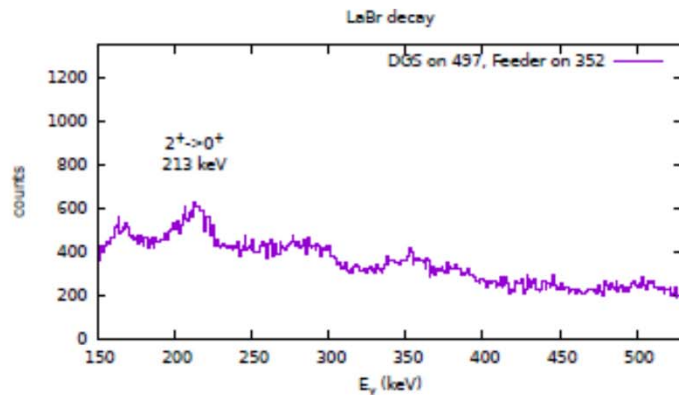
DGS gate: $6^+ \rightarrow 4^+$
497keV

Preliminary, analysis
ongoing!

M.Rudigier, E.R.Gamba et al., to be published

FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

2^+ half life in ^{100}Zr

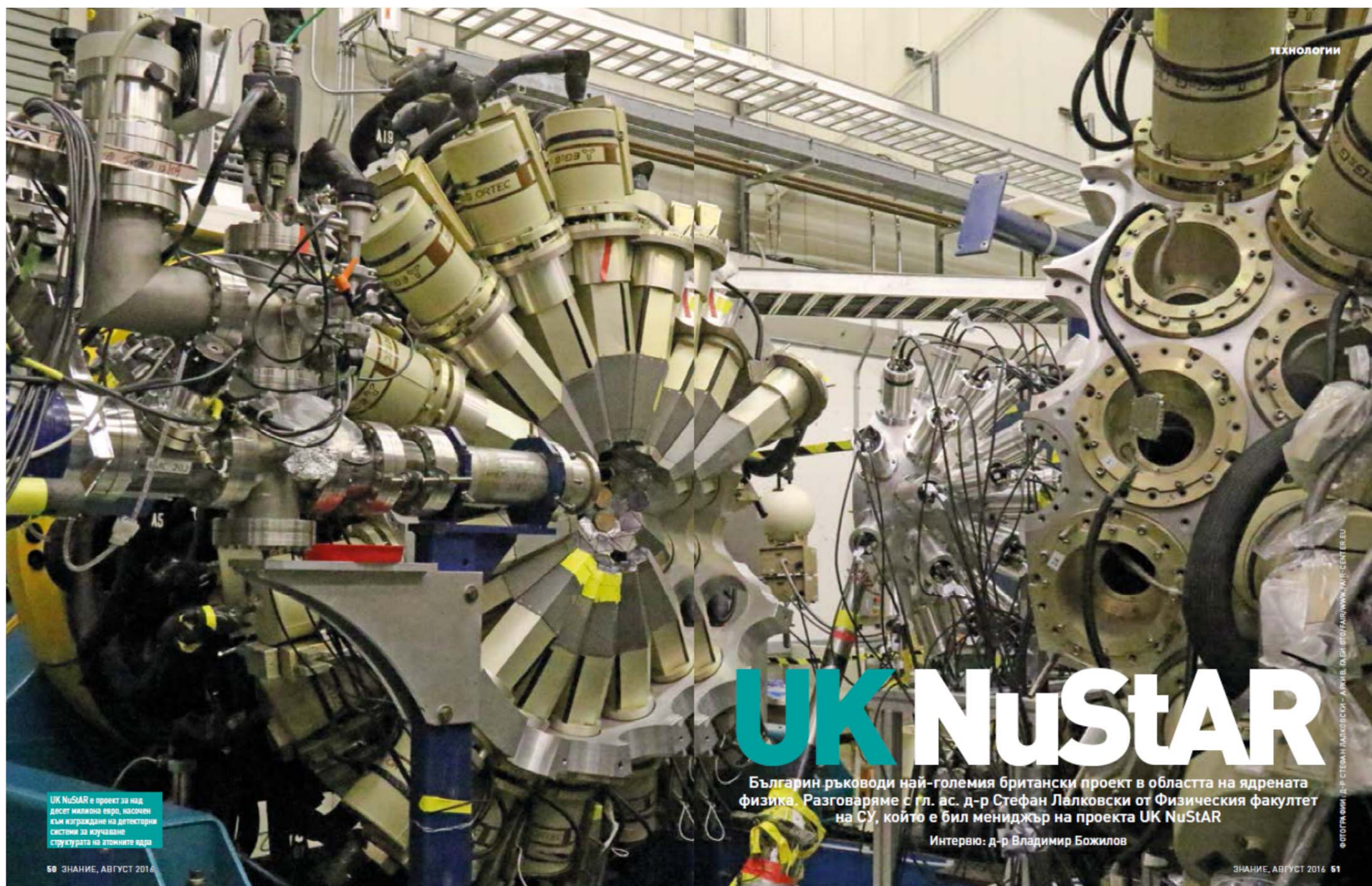


DGS gate: $6^+ \rightarrow 4^+$
497keV

Preliminary, analysis
ongoing!

M.Rudigier, E.R.Gamba et al., to be published

FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)



FATIMA and Gammasphere (^{252}Cf source)

ТЕХНОЛОГИИ

F AIR (Комплекс за изследване на ядрената структура с антипротонни и йонни снопове – б.р.) е международен мегапроект, финансиран основно от Германия и още 9 страни, една от които е Великобритания. В рамките на FAIR има четири колаборации, фокусирани върху четири различни научни програми. NuSTAR е най-голямата от тях и обединява повече от 700 учени от 170 университета и лаборатории по света. Обектът на изследванията, провеждани в рамките на колаборацията NuSTAR, е свързан с изучаване свойствата на екзотични ядра. Д-р Стефан Лалковски, главен асистент във Физическия факултет на Софийския университет, е бил мениджър до успешния финал на британският проект, осигуряващ оборудване за NuSTAR. **ВЪС ЗНАНИЕ** се среща с българския специалист, за да разбере повече.

КАКВО ПРЕДСТАВЛЯВАТ UK NuSTAR И FAIR?

UK NuSTAR е британски проект с бюджет от 10 милиона паунда, финансиран от английския държавен научен фонд STFC. Целта на проекта е разработване и произвеждане на детекторни системи за комплекса FAIR, които ще бъдат използвани за измерване на времена на живот на възбудени ядрени състояния, измерване на времена на прелигане и трайлинг на леки заредени частици. От своя страна FAIR е ускорителен комплекс за антипротонни снопове и снопове от тежки ядра, който понастоящем е в процес на изграждане. Очертава се това да бъде най-голямата лаборатория за ядрена физика в света – аналог на CERN, но с по-силен

фокус върху изследванията на ядрената структура.

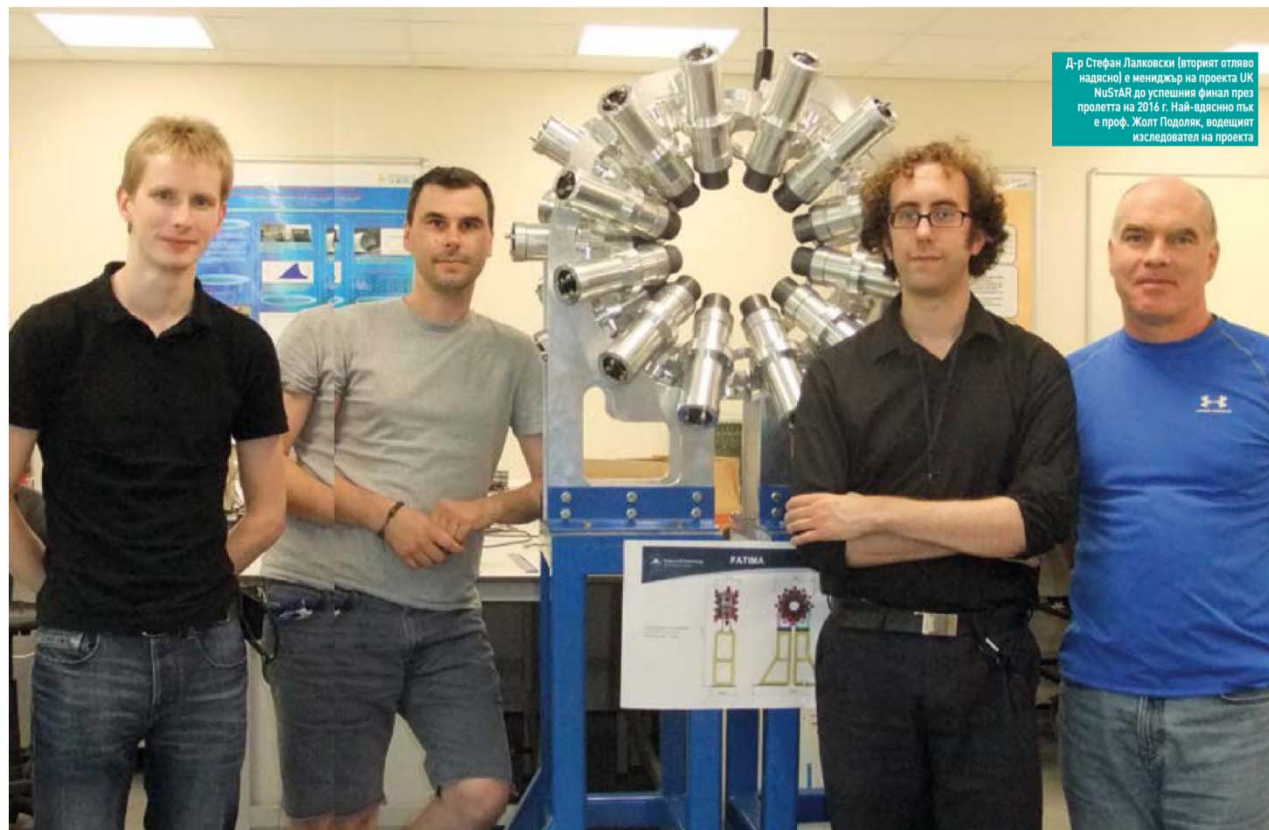
Трите системи, които изградихме в рамките на проекта UK NuSTAR, ще бъдат разположени именно около вторичната мишена. Една от системите ще бъде използвана за измерване на времена на живот на възбудени ядрени състояния в екзотични ядра, имплантирани във вторичната мишена, или получени като техни дъщерни продукти. Времената на живот дават важна информация за структурата на съответните състояния, тъй като са свързани с вероятността за разпадане и оттам с вълновите функции на състоянията.

Втората детекторна система ще бъде използвана за измерване на времена на прелигане след вторичната мишена. Времената на прелигане дават информация за масата на откатните ядра и позволяват недвусмислено идентифициране на онези фрагменти, преминали през вторичната мишена. Интересно е да се отбележи, че при тези две системи вторичната мишена е активна, т.е. тя представлява детектор, регистриращ тежки заредени частици.

Третата детекторна система ще бъде използвана за трайлинг (проследяване) на леки заредени частици и за прецизно определяне на вертекса на реакции с протони и на пълната кинематика при такива реакции. Този тип експерименти използват мишена от течен водород, която всъщност също беше изработена в рамките на проекта UK NuSTAR.

КАКВИ СА ПРИЛОЖЕНИЯТА ЗА ОБЩЕСТВОТО?

Апаратурата, която изработихме в рамките на проекта, ще бъде използвана за



Д-р Стефан Лалковски (вторият отляво надясно) е мениджър на проекта UK NuSTAR до успешния финал през пролетта на 2016 г. Най-отдясно пък е проф. Жолт Подолж, водещият изследовател на проекта

FAIR

Във FAIR стабилни ядра ще бъдат ускорявани до релативистки енергии, т.е. ще се движат със скорости, близки до скоростта на светлината. Ускорените ядра ще предизвикват ядрени реакции в т.нар. първична мишена, след което получените фрагменти ще бъдат разделяни, използвайки техника на прелигане. Тази техника позволява ядра с различна маса и заряд да бъдат отведени до т.нар. вторична мишена, където екзотичните ядра ще бъдат имплантирани или ще предизвикват реакции в зависимост от целите на експеримента. Интересно е да се отбележи, че разстоянието между първичната и вторичната мишена е около стотина метра и при скоростите, с които се движат откатните ядра, това разстояние се изменява за ня-



колкостотин наносекунди. Траекторията на всяко едно от ядрата се проследява по време на полет, при което тяхната позиция във всеки един момент трябва да бъде известна с точност от около няколко милиметра. Това налага високи изисквания към използваните детекторни системи.

фундаментални научни изследвания и по-конкретно за изучаване структурата на екзотични ядра. Това са ядра, които имат голям излишък или дефицит на неутрони. Те живеят кратко и не са естествено разпространени в природата, но съществуват теория според която такива екзотични ядра се синтезират при екстремни космически събития. Тъй като са кратко живеещи, те се разпадат до стабилни или дълго живеещи изотопи на елементи, по-тежки от желязото.

Все още има неизвестни относно космическите събития при които тези тежки елементи се образуват, но се предполага, че тези ядра биват произвеждани при избухването на свръхнови и при сливане на неутронни звезди. Така че изучаването на тежесте екзотични ядра в лабораторни условия ще спомогне за разбирането на процесите, при които в природата се синтезират елементи

„Апаратурата ще бъде използвана за фундаментални научни изследвания и за изучаване структурата на екзотични ядра“

като урана и тория например, които поддържат Земята топла и без които нашата планета би била едно студено и пусто място.

Възможно е също радиоактивните снопове, които FAIR ще произвежда, да доведат и до откриване на нови химични елементи. Както знаете, елементът Дармщатум (с номер 110 в Менделеевата таблица) е произведен в лабораторията GSI, край Дармщат. FAIR е наследник на тази лаборатория! Понастоящем не знаем дали и с колко периодичната система на химичните елементи може да бъде разширена.

РАЗКАЖЕТЕ ПОВЕЧЕ ЗА ВАШАТА РАБОТА?

Както във всеки един проект, работата на мениджъра е създаване на среда, която да осигури навременна доставка на продуктите на проекта в рамките на предварително зададен бюджет.

Това е свързано с развитие на стратегии, планове, контрол и регулярно отчитане пред Управителния съвет при тясно взаимодействие с Главния изпълнителен директор.

Така че в рамките на проекта UK NuSTAR моята работа се състои в изготвяне на планове, наблюдение и контрол на

прогреса по текущите задачи. Извършвах оценка и управление на рисковете, свързани с изпълнението на проекта, изготвях отчети за срещите на Управителния и Надзорния съвет, организирах и участие на срещи, комуникирах и взаимодействието с външните и с външните за проекта ключови страни и др. Беше ми делегирано също планиране и координиране на експерименти, в който се използва произведеното от нас оборудване. Всеки един от тези експерименти се оказва отделен подпроект, тъй като беше свързан с използване на иновативно оборудване, което трябва да бъде интегрирано към съществуващи детекторни системи. Така например в края на миналата година имаме експеримент в американската национална лаборатория „Аргон“, където детекторната система за

FATIMA and Gammасphere (^{252}Cf source)



Outline

- What's the physics?
 - What is FATIMA?
 - Examples of the use of FATIMA
 - Plans for FATIMA
-

Plans for FATIMA:

Aug - Sept / Oct 2016 ? ~ 8 for Jyvaskyla ^{140}Dy isomer expt.

late Sept 2016 ~36 LaBr_3 to Orsay for the STELLA / Andromede campaign (on and off until ~mid 2017)

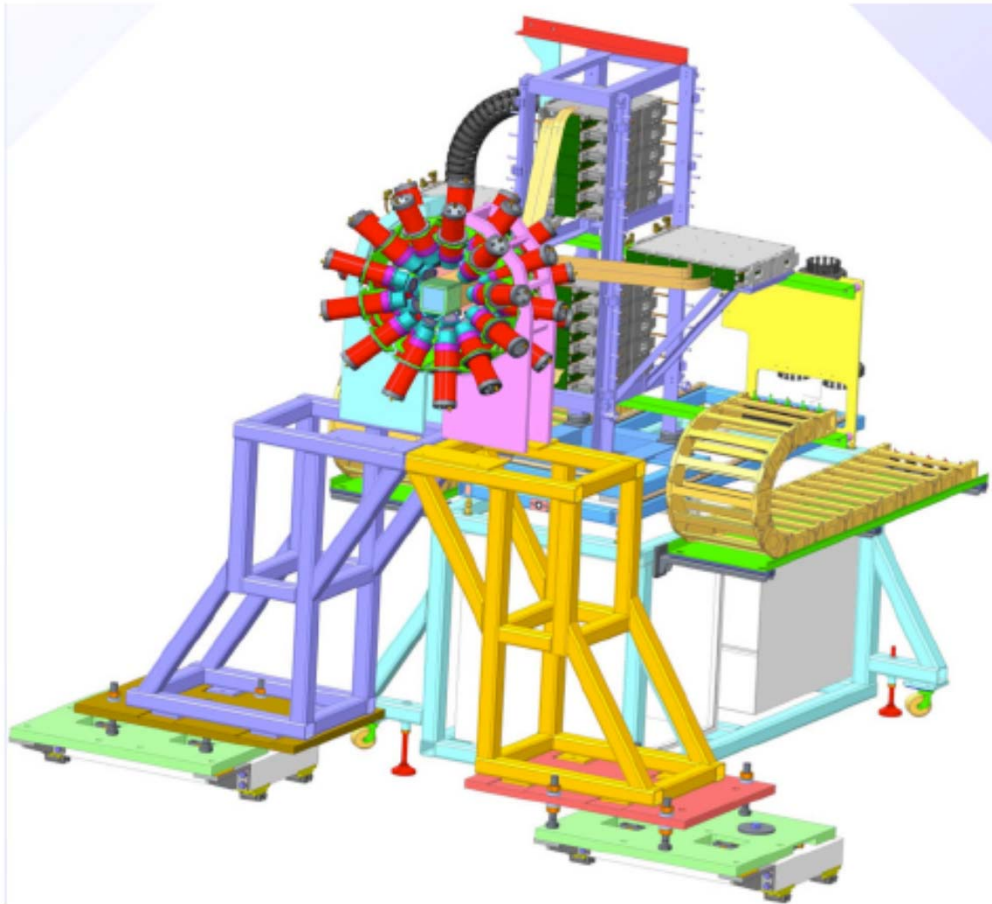
Early-mid 2017 ~22 LaBr_3 to GANIL for AGATA runs (Xe+Er, N~60 fission fragments, Os/W region (latter 2 with VAMOS)

Later 2017 - early 2018 ~36 LaBr_3 at Orsay for NuBALL

2018 36 (??) LaBr_3 Phase 0 at GSI/FAIR

2018 onwards some (up to 36?) LaBr_3 back to GANIL for AGATA+NEDA experiments (N~Z in-beam, ^{88}Ru , ^{94}Pd etc.)

Plans for FAIR 2018:



FATIMA array is built, commissioned and ready for use.

HISPEC/DESPEC sub collaboration had very productive discussions yesterday with many exciting ideas for proposals.

Members of the HISPEC-DESPEC **FATIMA** Collaboration

Brighton, United Kingdom, University of Brighton

A. Bruce, O. Roberts¹

Bucharest, Romania, IFIN-HH

N. Marginean, D. Ghita, R. Lica, R. Marginean, C. Mihai

Cologne, Germany, University of Cologne

J. Jolie, J.-M. Régis

Daresbury, United Kingdom, STFC Daresbury Laboratory

J. Simpson, M. Labiche, I. Lazarus

Guildford, United Kingdom, University of Surrey

S. Lalkovski, Zs. Podolyak, P. Regan

Madrid, Spain, Universidad Complutense

L.M. Fraile, B. Olaizola², V. Pazyi, J.M. Udías, V. Vedia

Manchester, United Kingdom, University of Manchester

D. Cullen

Paisley, United Kingdom, University of West Scotland

G. Simpson, J.F. Smith

Sofia, Bulgaria, University of Sofia

S. Lalkovski³, S. Kisiov⁴

Warsaw, Poland, NCBJ, Swierk

H. Mach[†]

Associated Members

Darmstadt, Germany, Technical University of Darmstadt

Th. Kröll, S. Ilieva, A. Ignatov, H.-B. Rhee, G. Fernández Martínez

Grenoble, France, LPSC

G. Simpson^{*}

Saclay, France, CEA Saclay

W. Korten, B. Bruyneel

FATIMA Spokesperson: Luis Mario FRAILE, Univ. Complutense Madrid, lmfraile@ucm.es