

# Ядрената физика днес: какво, къде, как?

Доктор Л. Балабански

с други думи:

За какво, къде и как се харчат  
парите на данъкоплатците ?

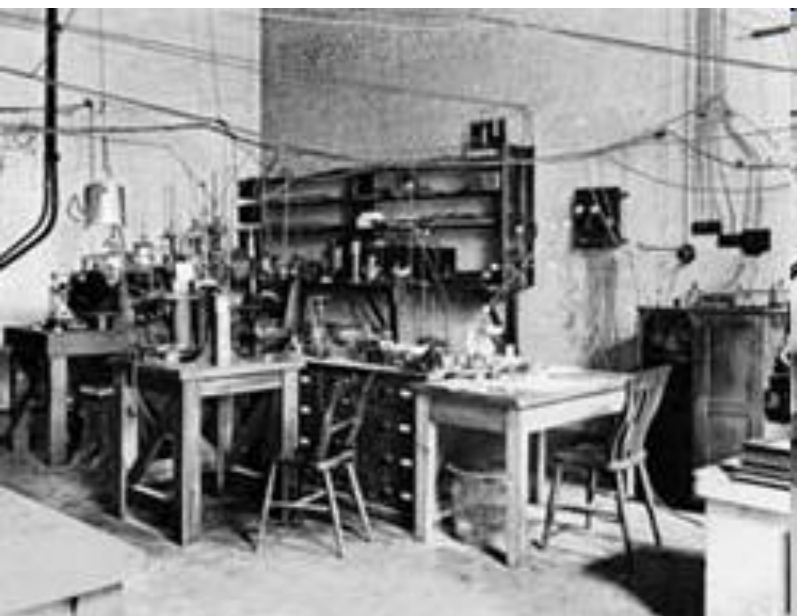


**Лорд  
Ръдърфорд  
1871 – 1937**

**Кевендиш,  
Кеймбридж  
1919 – 1937**



**Елисавета Карамихаилова  
Кевендиш 1937 г.**





# ВЕК НА ЯДРЕНАТА ФИЗИКА



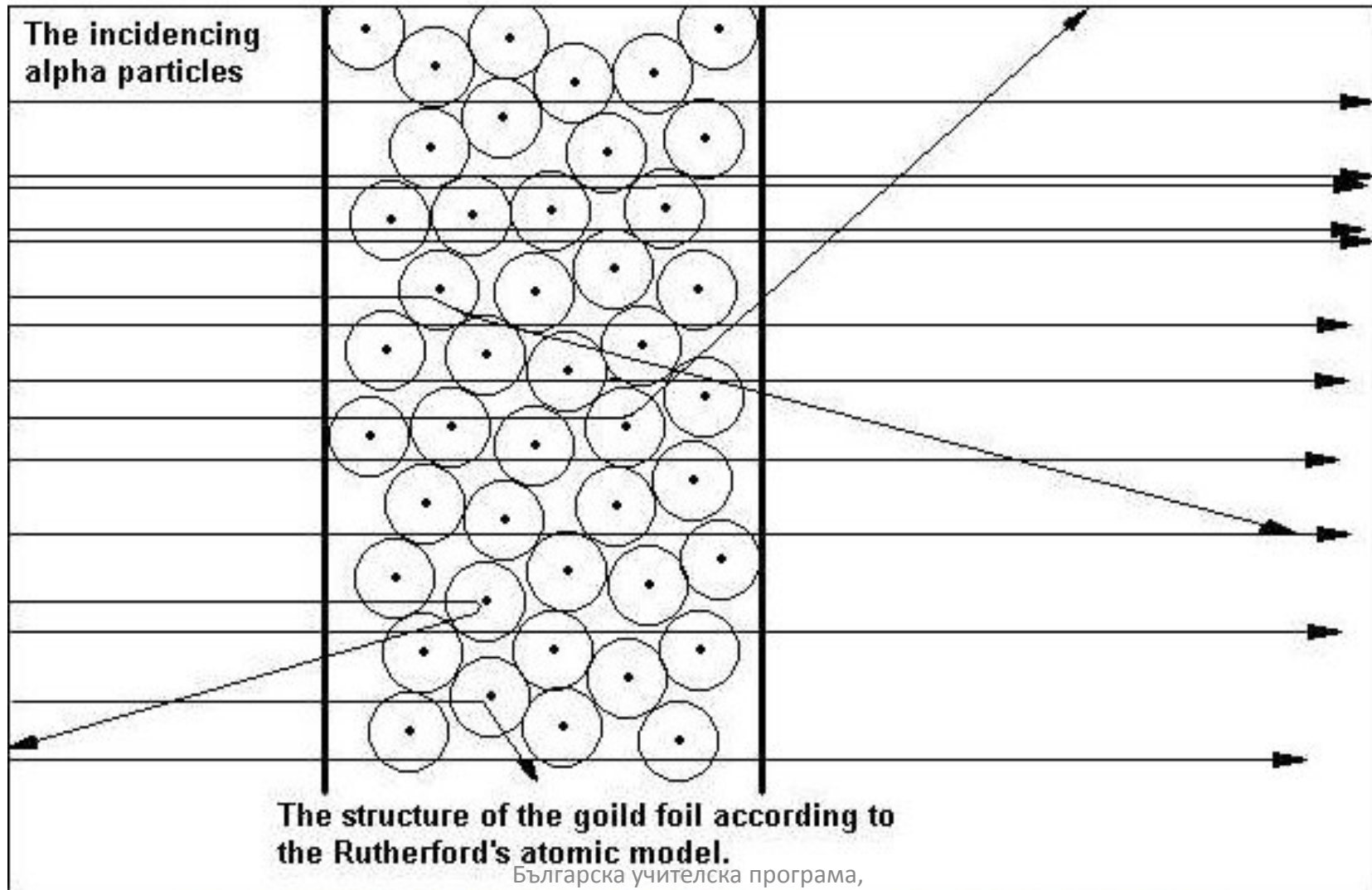
18.7.2012 г.

Българска учителска програма  
ЦЕРН, 17-21.9.2012 г.

LXXIX. *The Scattering of  $\alpha$  and  $\beta$  Particles by Matter and the Structure of the Atom.* By Professor E. RUTHERFORD, F.R.S., University of Manchester\*.

§ 1. IT is well known that the  $\alpha$  and  $\beta$  particles suffer deflexions from their rectilinear paths by encounters with atoms of matter. This scattering is far more marked for the  $\beta$  than for the  $\alpha$  particle on account of the much

explain the scattering of electrified particles in passing through small thicknesses of matter. The atom is supposed to consist of a number  $N$  of negatively charged corpuscles, accompanied by an equal quantity of positive electricity uniformly distributed throughout a sphere. The deflexion of a negatively electrified particle in passing through the atom is ascribed to two causes—(1) the repulsion of the corpuscles distributed through the atom, and (2) the attraction of the positive



The structure of the gold foil according to the Rutherford's atomic model.

Българска учителска програма,

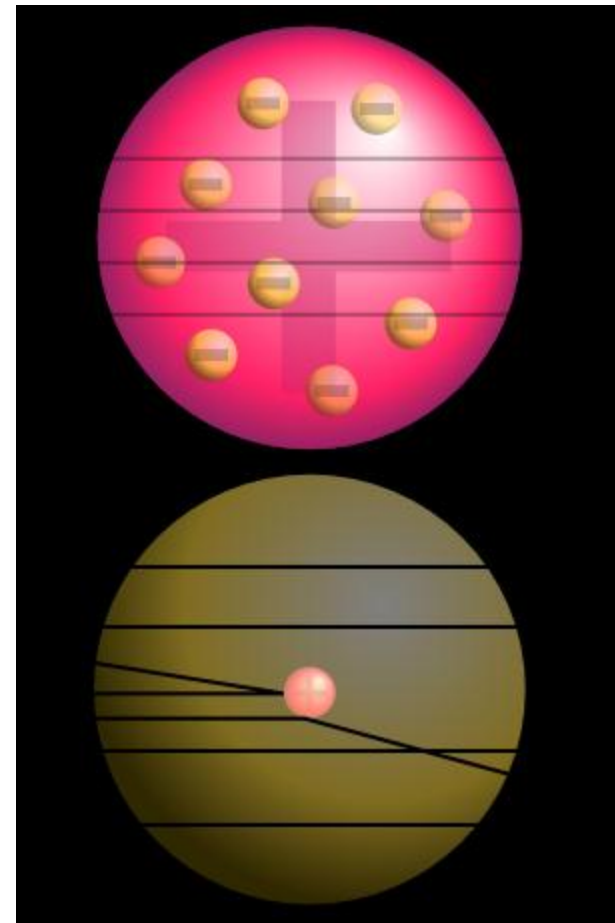
ЦЕРН, 17-21.9.2012 г.

The alpha particles propagated on the atomic nucleuses of the gold foil.

# ОПИТ НА ГАЙГЕР - МАРСДЕН

It was quite the most incredible event that has ever happened to me in my life. It was almost as incredible as if you fired a 15-inch shell at a piece of tissue paper and it came back and hit you. On consideration, I realized that this scattering backward must be the result of a single collision, and when I made calculations I saw that it was impossible to get anything of that order of magnitude unless you took a system in which the greater part of the mass of the atom was concentrated in a minute nucleus. It was then that I had the idea of an atom with a minute massive center, carrying a charge.

—**Ernest Rutherford**



H. Geiger, E. Marsden, *Proceedings of the Royal Society, Series A* **82**: 495–500 (1909).  
E. Rutherford, *Philosophical Magazine, Series 6* **21**: 669–688 (1911),

- **Основни задачи пред съвременната ядрената физика**

- **Експериментът ИЗОЛДЕ в ЦЕРН: история, резултати, бъдеще**

- **Българско участие на ИЗОЛДЕ: постижения и перспективи**

# Как изглежда европейската ядрена физика днес?



**Целта на NuPECC (Европейски комитет за ядрено-физично сътрудничество) е да укрепва европейското сътрудничество в областта на ядрените изследвания чрез подкрепа на ядрената физика и мултидисциплинарните ѝ приложения и използването на съвместно финансиране от различни европейски изследователски групи.**





# NUPECC (2010)



18.7.2012 г.

Българска учителска програма,  
ЦЕРН, 17-21.9.2012 г.

10

Press release

Embargo: 00.01 CET Thursday 9 December

## Scientists forecast new atom smashers to keep Europe leading in nuclear physics

Europe needs new particle accelerators and major upgrades to existing facilities over the next ten years to stay at the forefront of nuclear physics, according to the European Science Foundation (ESF), which launches its 'Long Range Plan 2010' for nuclear physics in Brussels today.

## **Учените предсказват, че нови атомотрошачки ще запазят водещата роля на Европа в ядрената физика**

Според Европейската научна фондация, която ще обяви своя "Дългосрочен план 2010" в Брюксел днес, Европа се нуждае от нови ускорители и съществени надграждания на съществуващите инсталации през следващите десет години за да остане на предния фронт на ядрената физика.

# Perspectives of Nuclear Physics in Europe

NuPECC Long Range Plan 2010

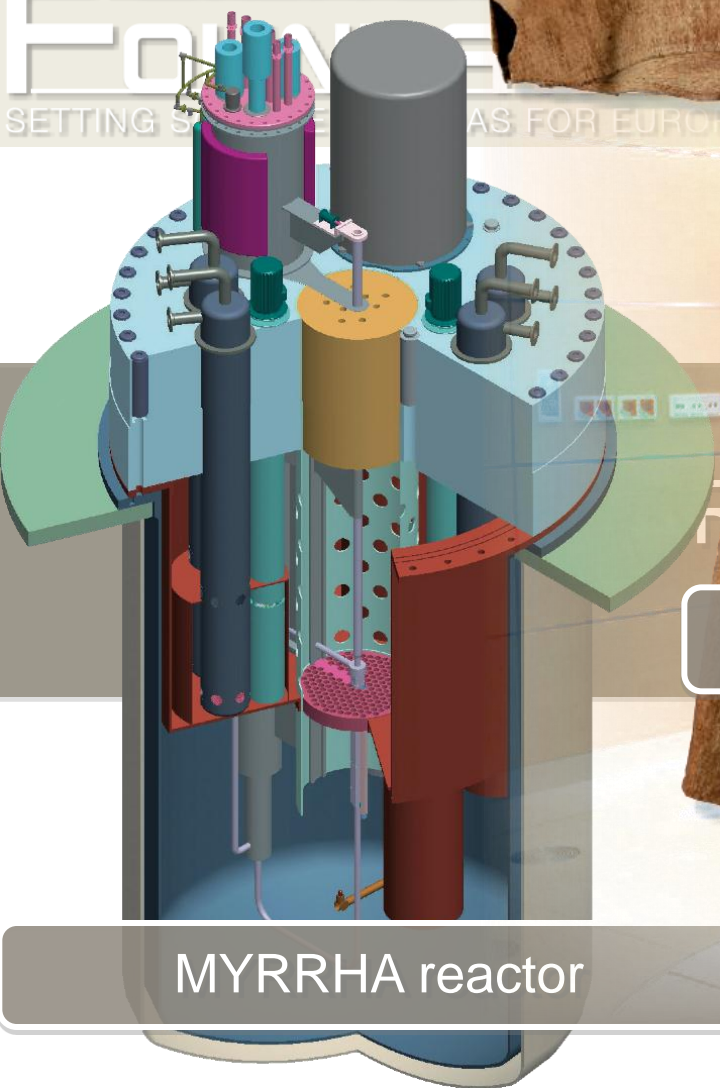
## Перспективи за ядрената физика в Европа

дългосрочен план на NuPECC

- физика на адроните
- фази на ядрената материя
- ядрена структура и динамика
- ядрена астрофизика
- фундаментални взаимодействия
- приложения на ядрената физика

# Ядрено-физични методи и приложения

- Как ядрената физика може да допринесе за приемливото и рационалното използване на ядрената енергия?
- Как ядрено-физичните техники могат да подобрят медицинската диагностика и раковата терапия?
- Как радиационните заплахи в пространството могат да бъдат контролирани и предсказвани?
- Как ядрената физика позволява да се разберат и наблюдават климатичните промени?
- Как неутриното може да се използва като сонда за контрол на неразпространение на ядрено оръжие?
- Как ядрената физика позволява да се визуализира динамиката на процеси чрез йонни снопове, когато други методи са неприложими?
- Как могат да се подобрят методите за недеструктивен и дълбочинен елементен анализ на материали?



MYRRHA reactor



Tunic of St Francis



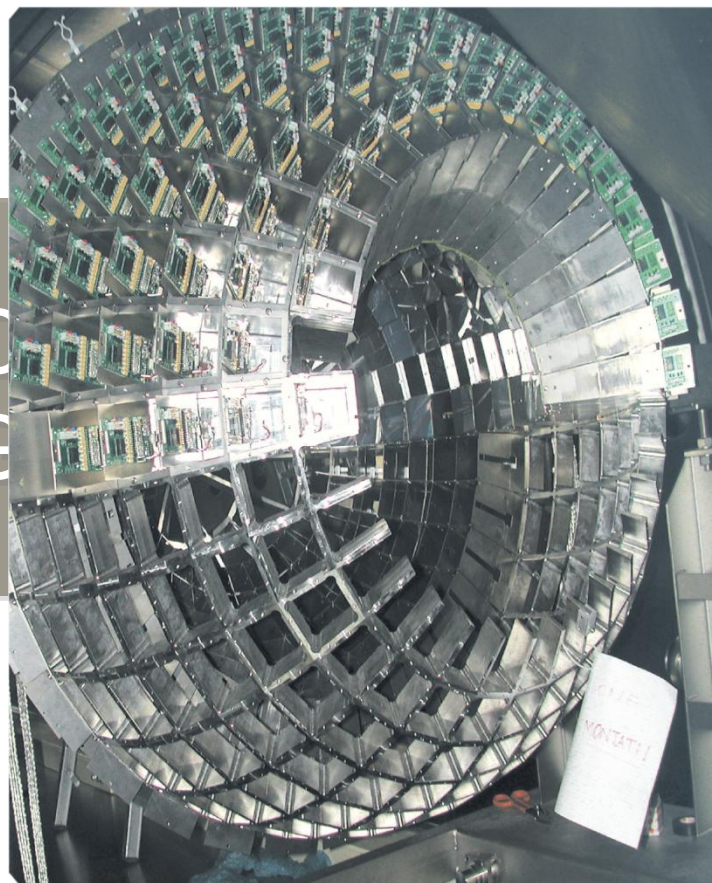
# Физика на адроните

- Как силното взаимодействие удържа кварките и глюоните като адрони?
- Точно каква е вътрешната структура на адрона в термините на фундаментални кваркови и глюонни степени на свобода?
- Каква е ролята на кварките и взаимодействащите със себе си глюони в ядрата?

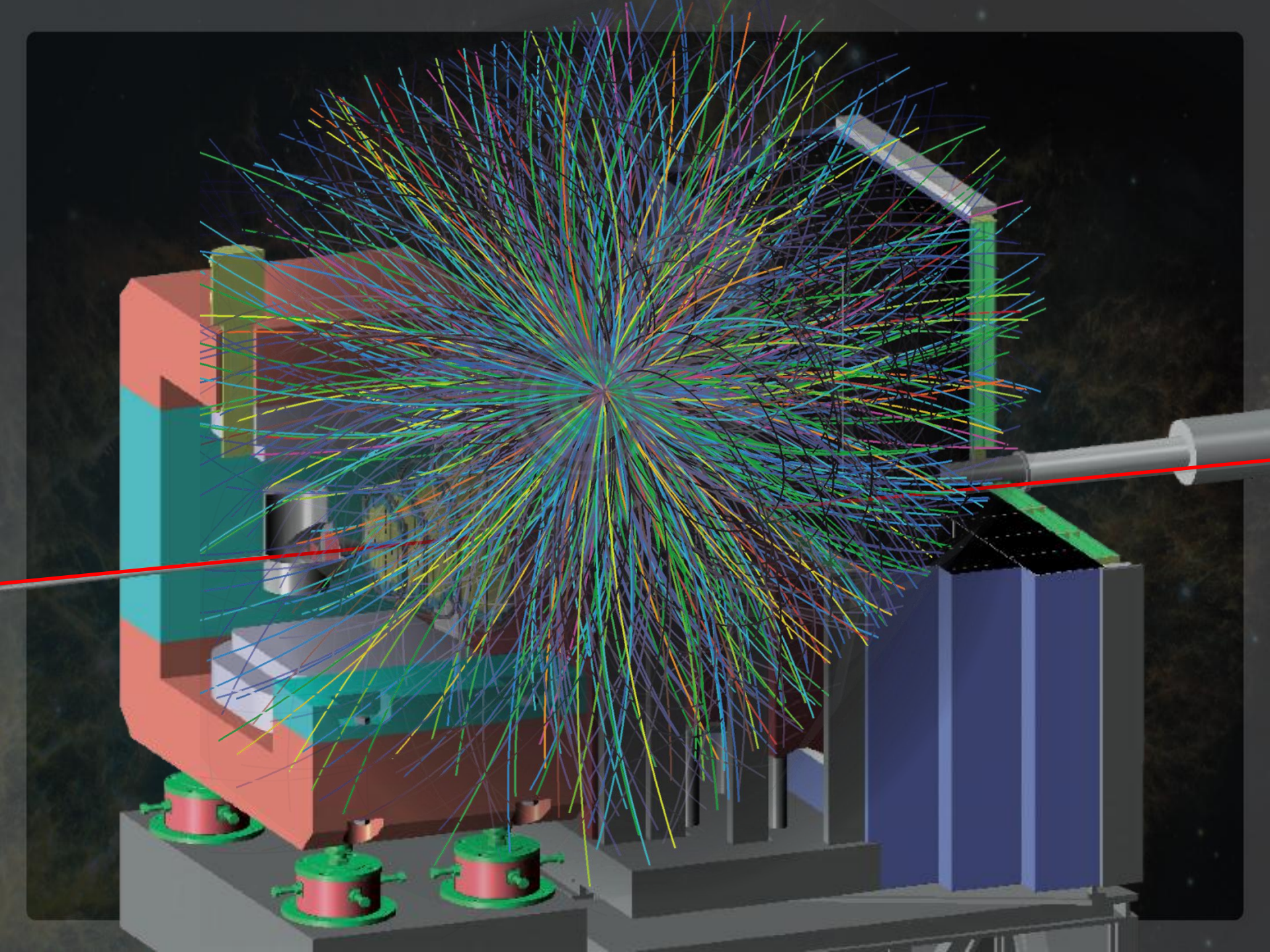
# Фази на силно-взаимодействащата материя

- Какви са фундаменталните свойства на силно-взаимодействащата материя като функция на температурата и налягането?
- Как адроните генерират маса и как се променя масата им в зависимост от средата в която те се движат?
- Какви са свойствата на кварк-глюонната плазма?
- Съществуват ли цветни свръхпроводници и високо-плътни глюонни обекти в природата?

FROM NUO  
QUARK-G





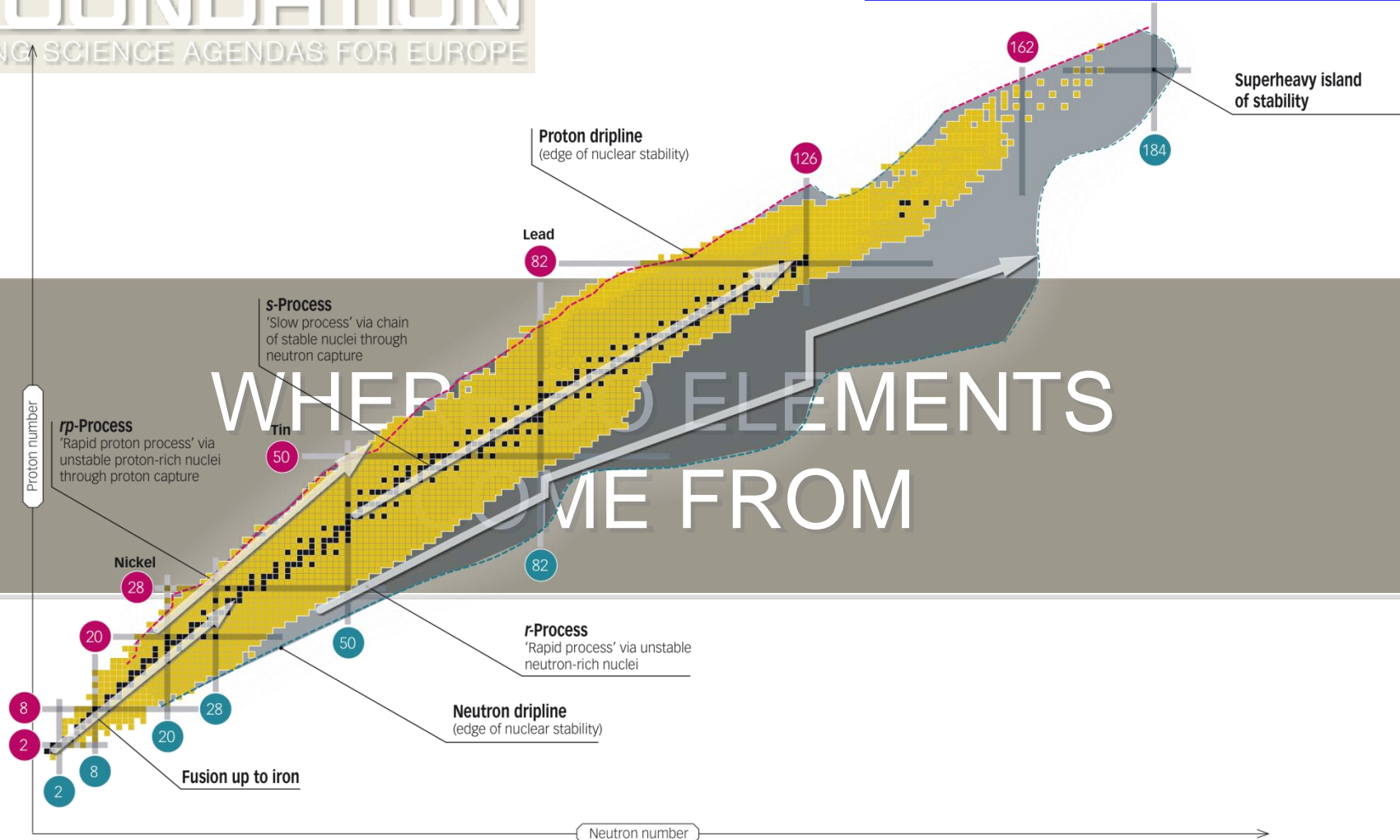


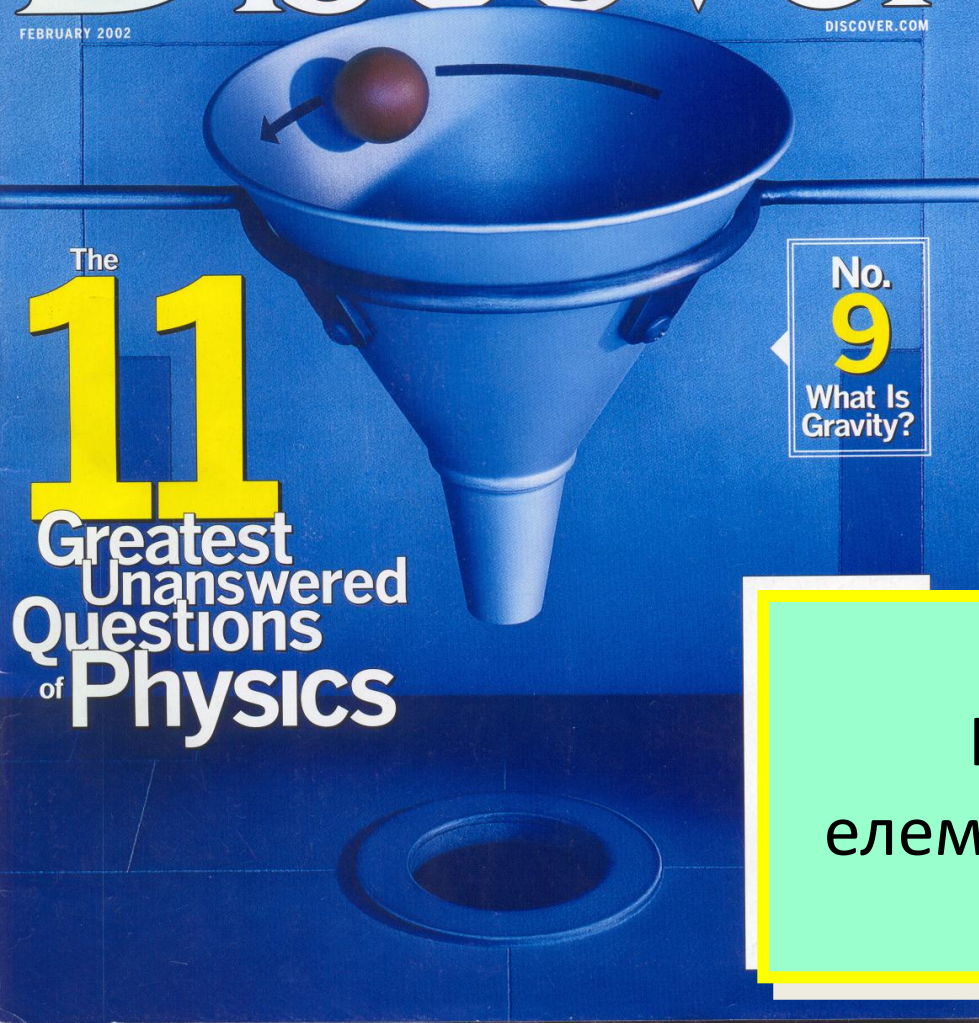
# Фундаментални взаимодействия

- Каква е причината за първенството на материята във Вселената?
- Какви са свойствата на видовете неутрино и на антиматерията?
- Има ли други освен четирите известни фундаментални сили?
- Какви са точните стойности на фундаменталните константи?
- Кои фундаментални симетрии се запазват в природата?

# Ядрена астрофизика

- Как и къде са създадени елементите?
- Можем ли да повторим на Земята и да разберем критичните реакции, които са причина за получаване на енергия и синтез на нови елементи в звездите?
- Какви са свойствата на плътната материя в свръхкомпактни обекти като неутронни или кваркови звезди?
- Как съдбата на звездите зависи от ядрените реакции, които контролират развитието им?





**Доклад на  
националната  
академия на науките  
на САЩ**

**Комисия за физика  
на Вселената (CPU)**

**Въпрос 3**  
Как са получени  
елементите от желязо до  
уран?

## Разпространение на елементите – Химичен състав на Вселената

Преди да зададем въпроса за произхода на елементите е добре да знаем кои от тях и доколко са разпространени във Вселената...

От какво се състои Вселената? -Отговор: **Не знам....**

60% Тъмна енергия (**Аз не знам какво е това!**)

35% Студена тъмна материя (**Аз не знам какво е и това!**)

**5% Ядра и електрони (видими като звезди ~0.5%)**

Какво ни е грижа за 5% ???

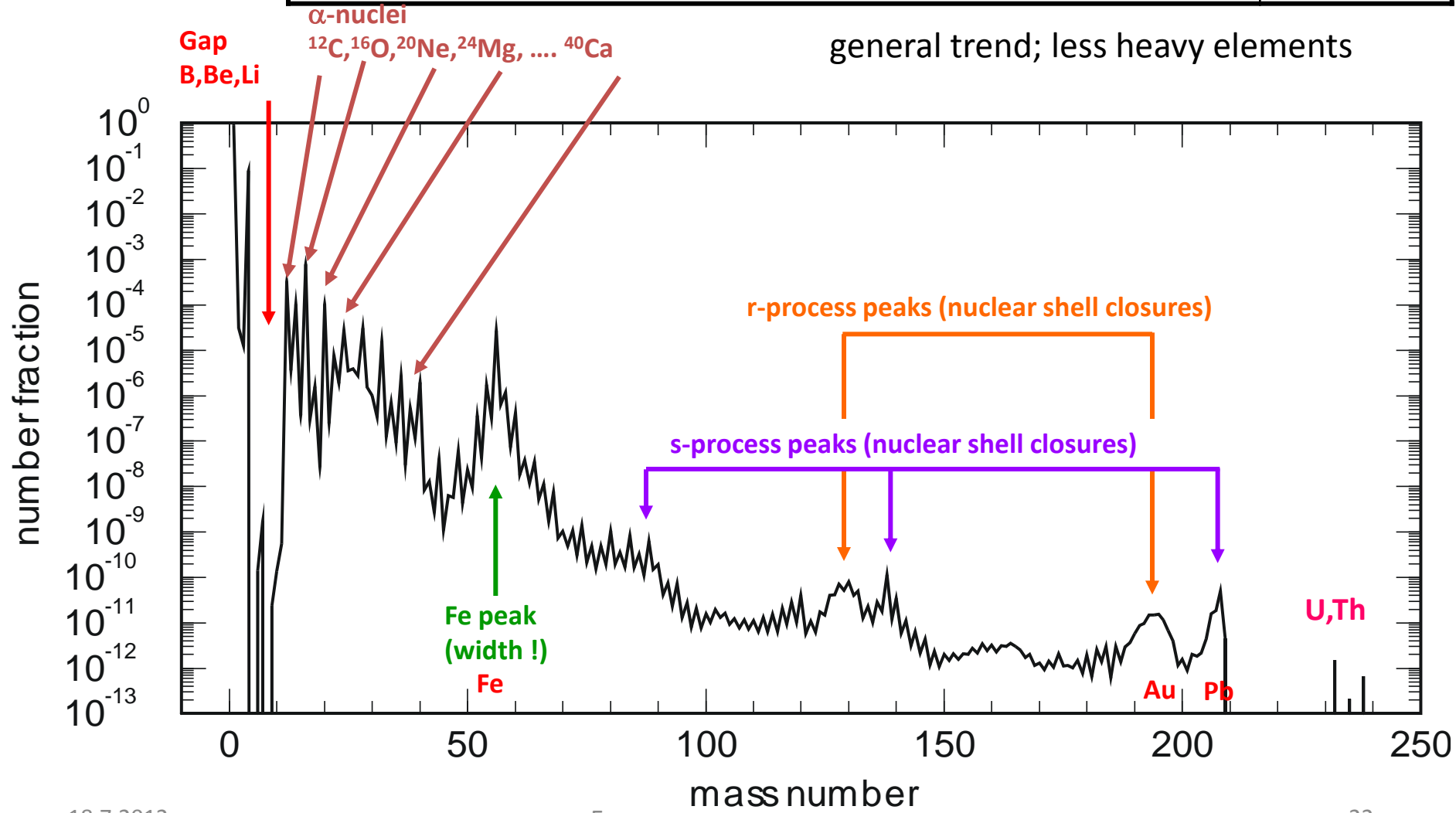
Някои важни обекти са свързани с тях !



Въпроси, които очакват отговор:

- От кои елементи (изотопи) се състои Вселената ?
- Какво е разпространението на всеки елемент? На всеки изотоп?
- Как е синтезиран всеки елемент ? Всеки изотоп ?

Hydrogen mass fraction	X = 0.71
Helium mass fraction	Y = 0.28
Metallicity (mass fraction of everything else)	Z = 0.019
Heavy Elements (beyond Nickel) mass fraction	4E-6



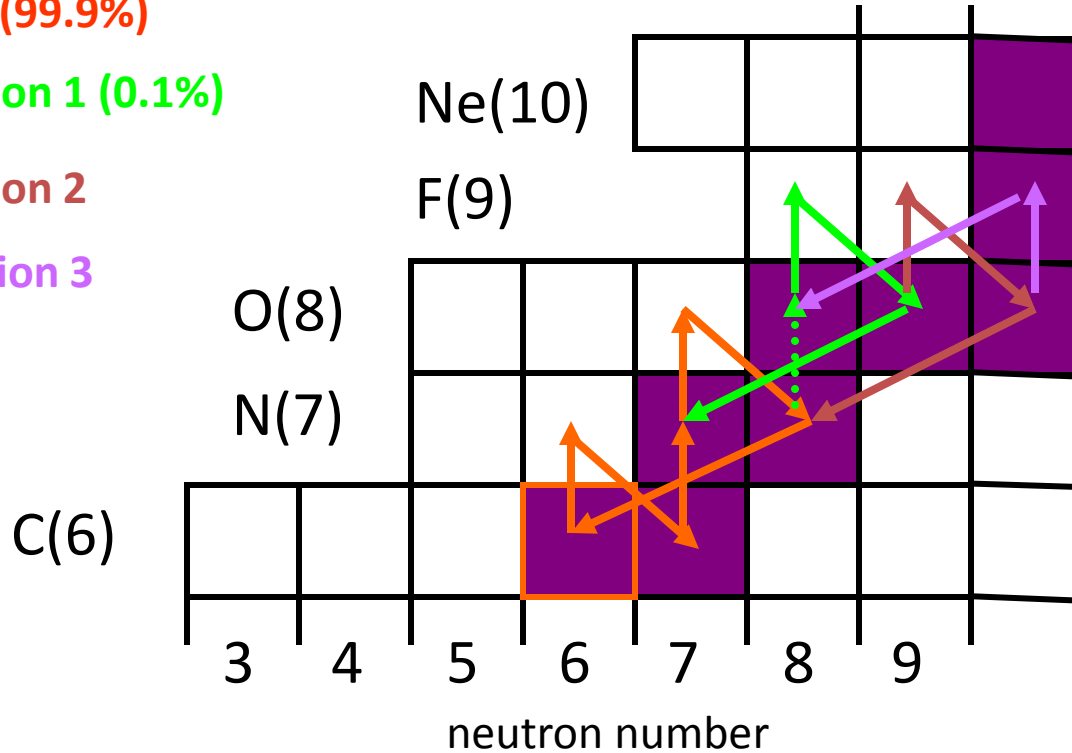
# CNO cycle

CN cycle (99.9%)

O Extension 1 (0.1%)

O Extension 2

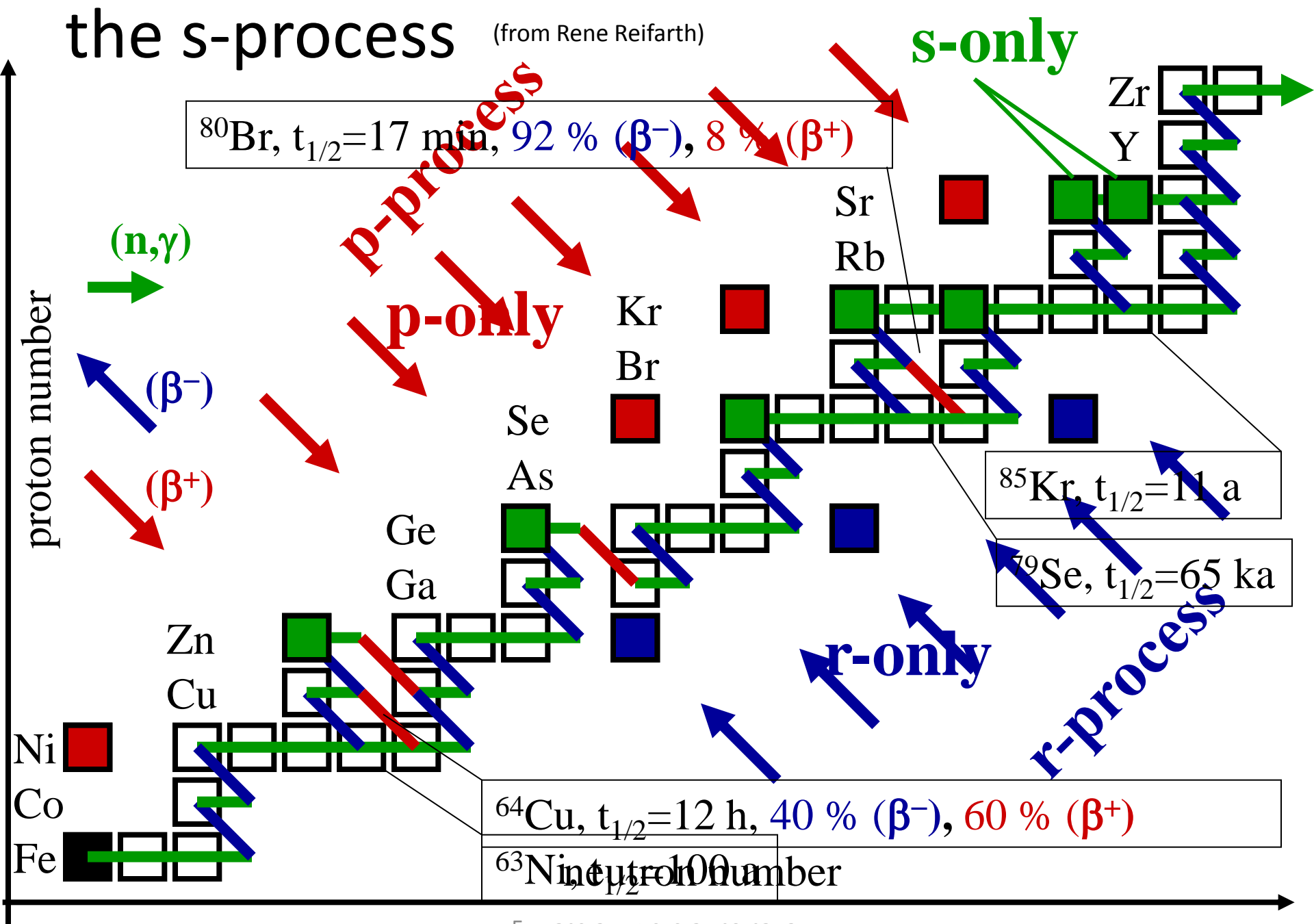
O Extension 3



All initial abundances within a cycle serve as catalysts and accumulate at largest  $\tau$

Extended cycles introduce outside material into CN cycle (Oxygen, ...)

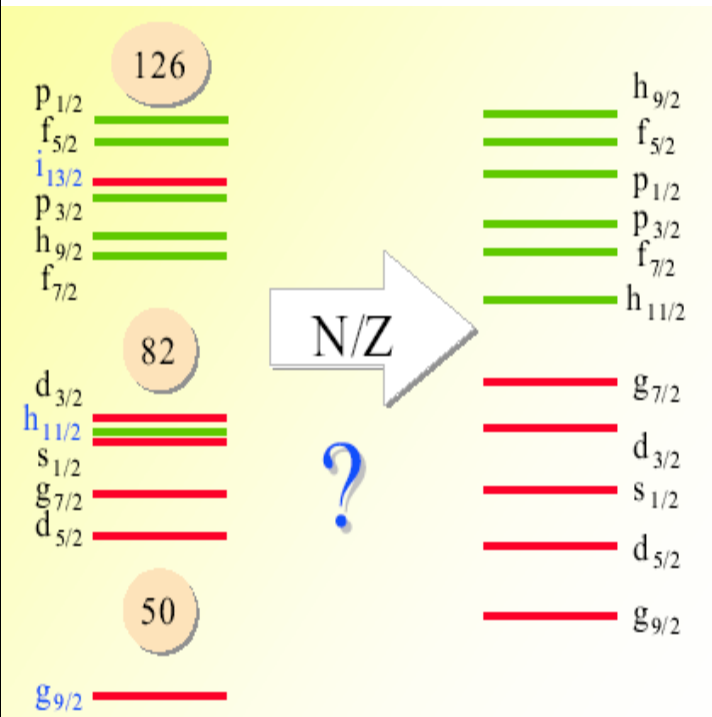
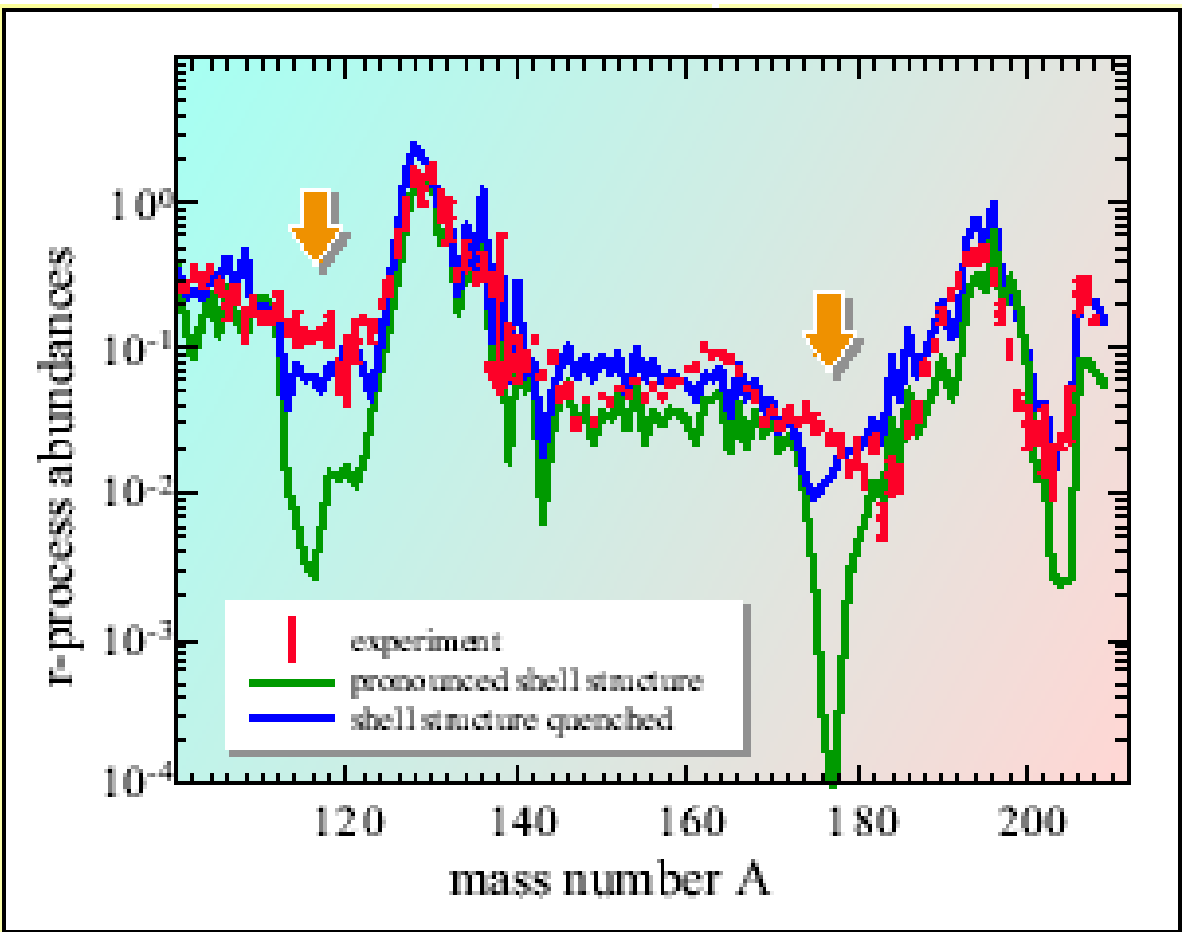
# the s-process (from Rene Reifarth)





Ядрена астрофизика:

Дали наистина сме наясно с процеса на синтез на елементите ?



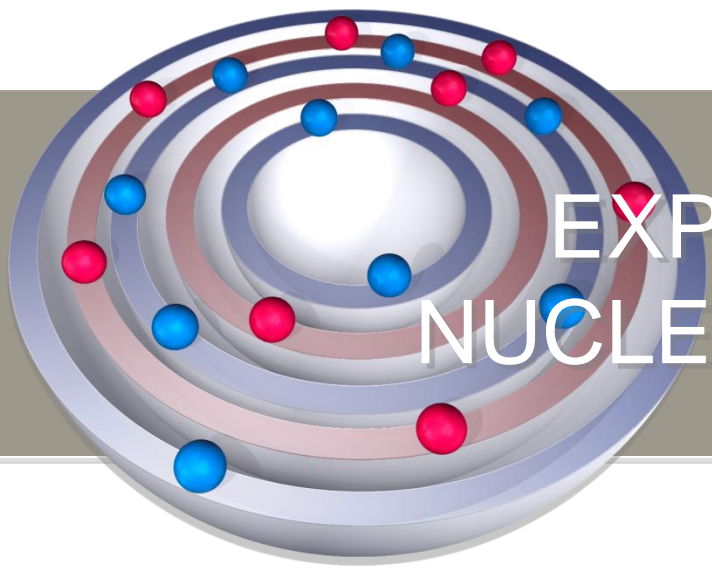
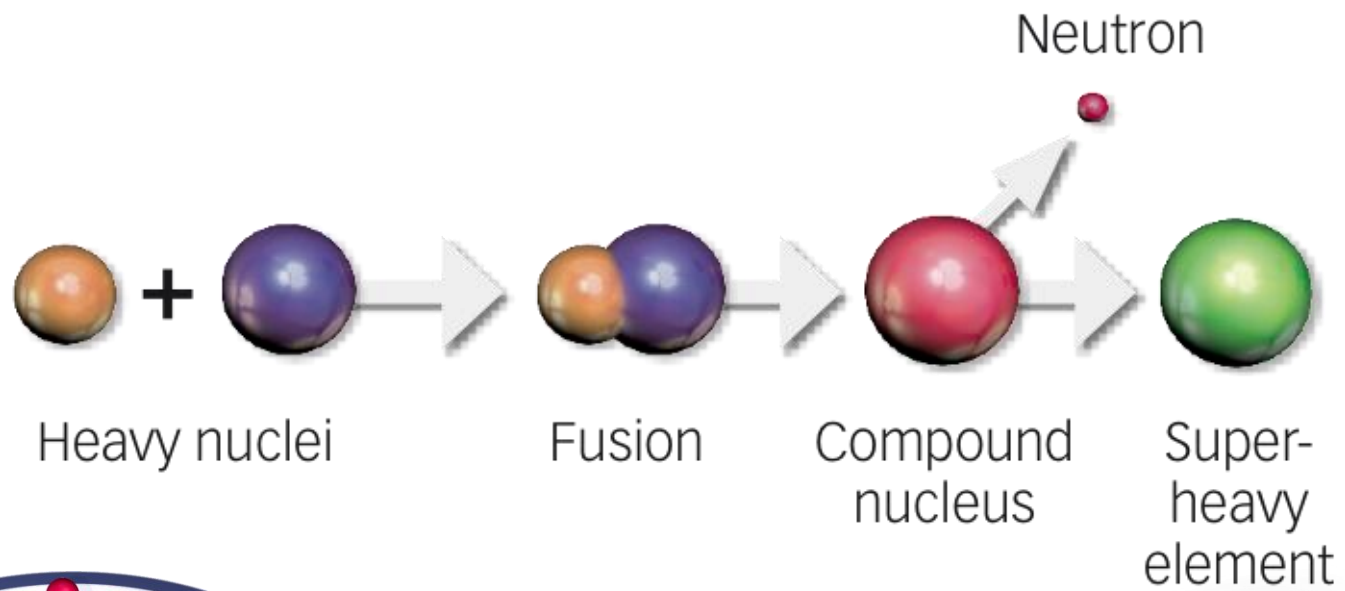
# Кой са магическите числа далеч от стабилност ?

или

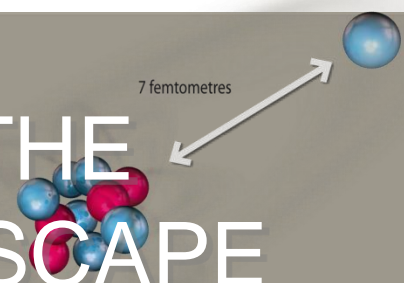
- Променя ли се спин-орбиталното взаимодействие?
- Оказват ли влияние и други членове от нуклон-нуклонния потенциал ?

# Ядрена структура и динамика

- Как да опишем разнообразието от ниско-енергетични структури и реакции в ядрата в термините на фундаментални взаимодействия между отделните частици?
- Как да предскажем развитието на колективните и едночастични свойства на ядрата като функция на масата, изотопичния спин, ъгловия момент и температурата?
- Как се проявяват прости и симетрични модели в структурата на сложни ядра?
- Кои са ключовите променливи, които контролират динамиката при състълкновения на много-нуклонни системи?

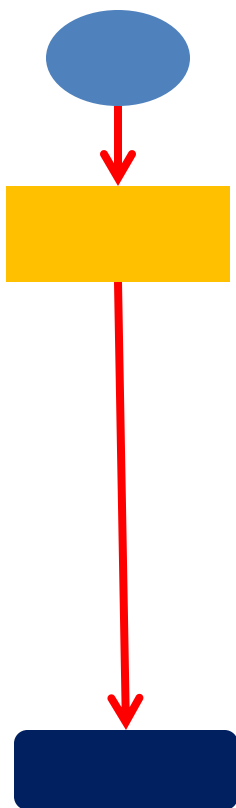


# EXPLORING THE NUCLEAR LANDSCAPE



*експерименти със стабилни снопове*

*експерименти с радиоактивни снопове*

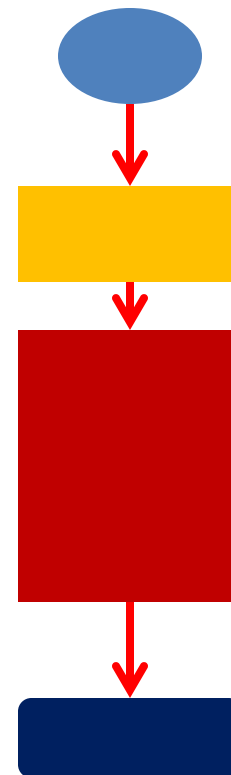


*ускорител*

*мишена*

*сепаратор*

*детектори*





1. DISTANT  
TRAJECTORIES

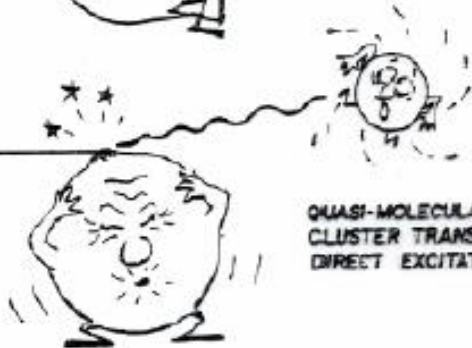


OPTICAL MODEL DIFFRACTION  
NUCLEON TUNNELING

**Distant Collision**



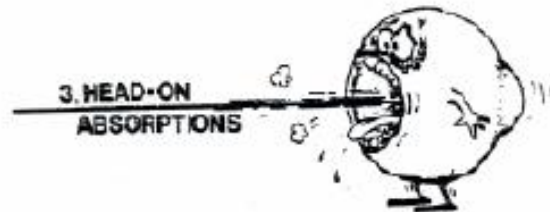
2. GRAZING  
IMPACTS



QUASI-MOLECULAR RESONANCES  
CLUSTER TRANSFERS  
DIRECT EXCITATIONS

**Soft grazing**

**Fusion**



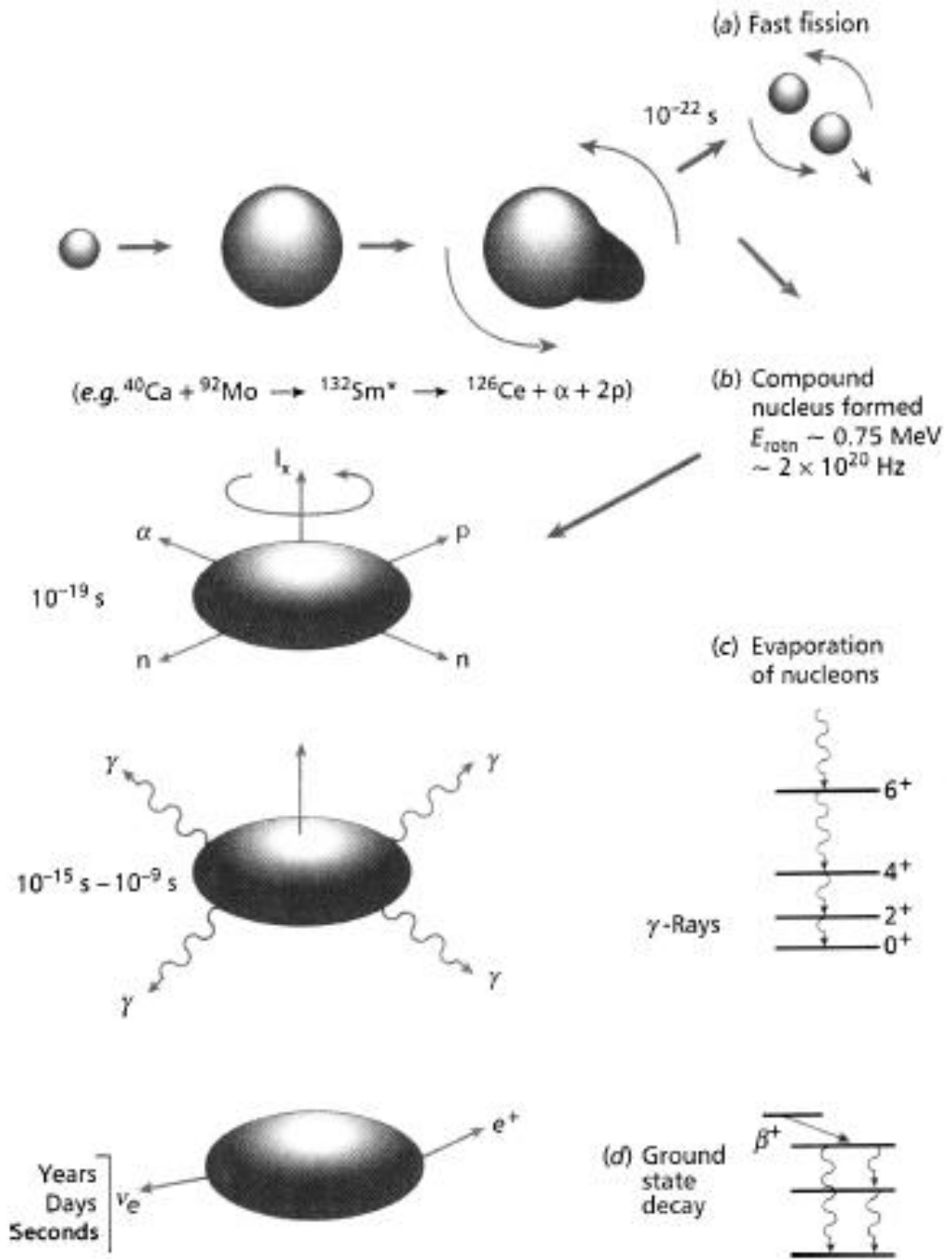
3. HEAD-ON  
ABSORPTIONS

NUCLEAR FUSION  
COMPOUND NUCLEUS PROCESSES

**Hard grazing**

**Fragmentation  
reactions**





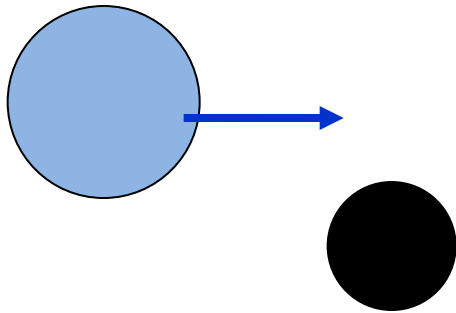
сливане

изпарение

$\gamma$  разпадане

$\beta$  разпадане

# Fragmentation at relativistic energies

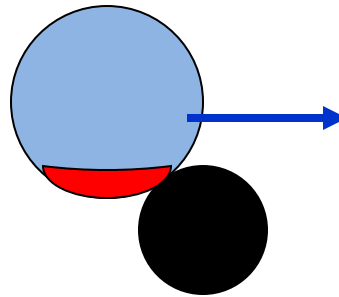


$v/c > 0.3$

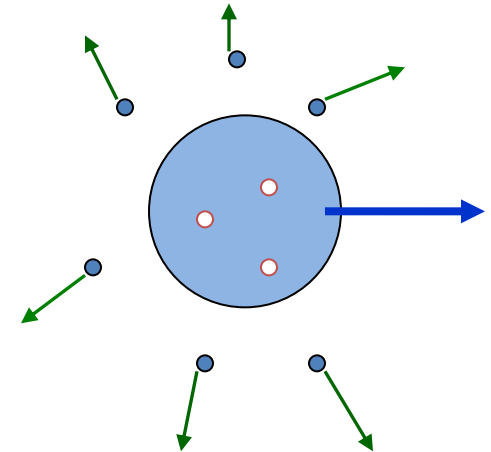
(GANIL, RIKEN, MSU)

$v/c \rightarrow 1$

(GSI)



abrasion

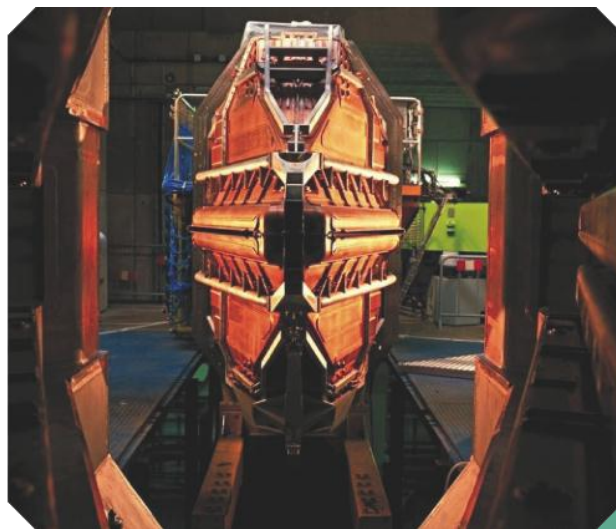


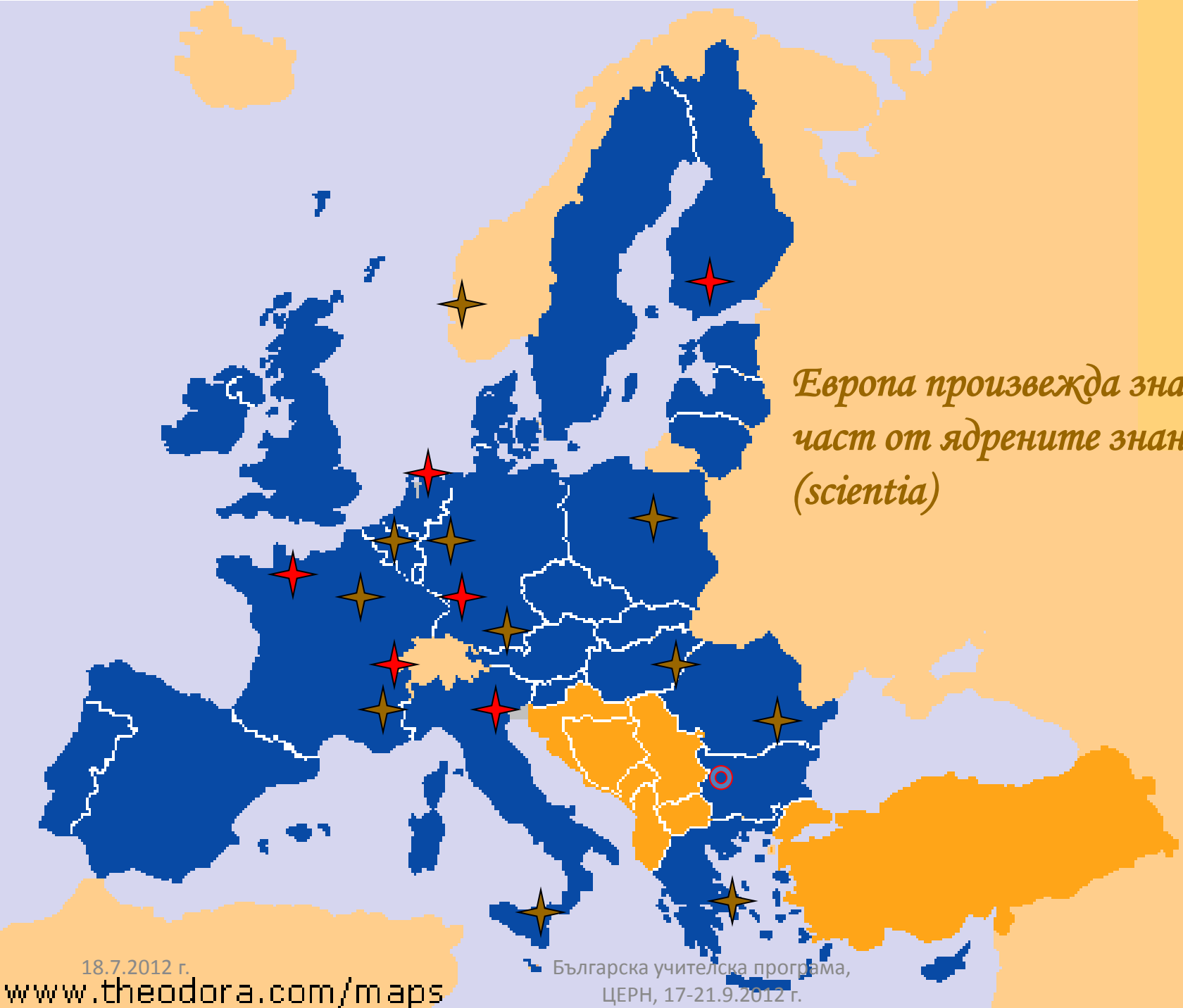
ablation

fragmentation



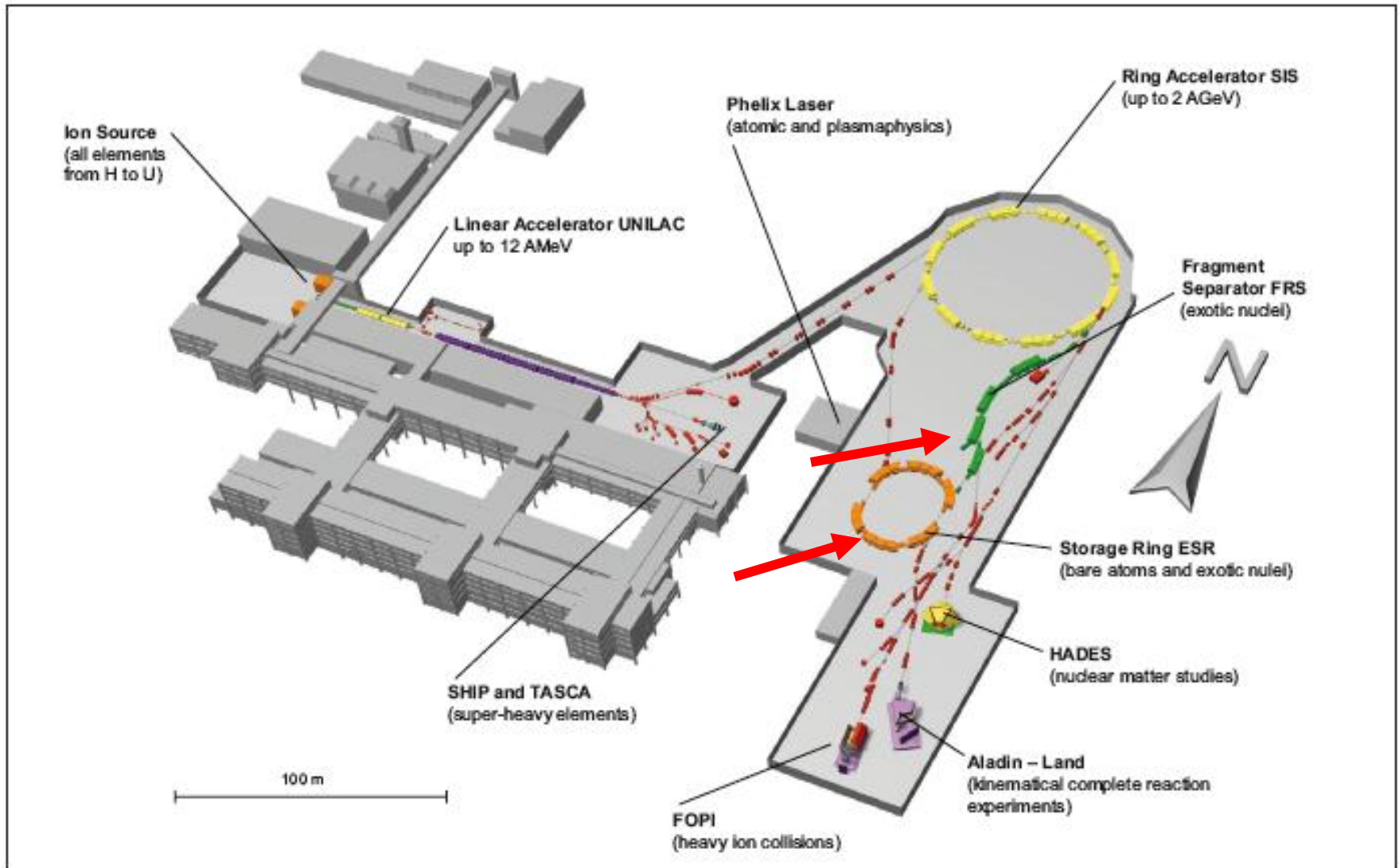
# основни международни лаборатории в Европа





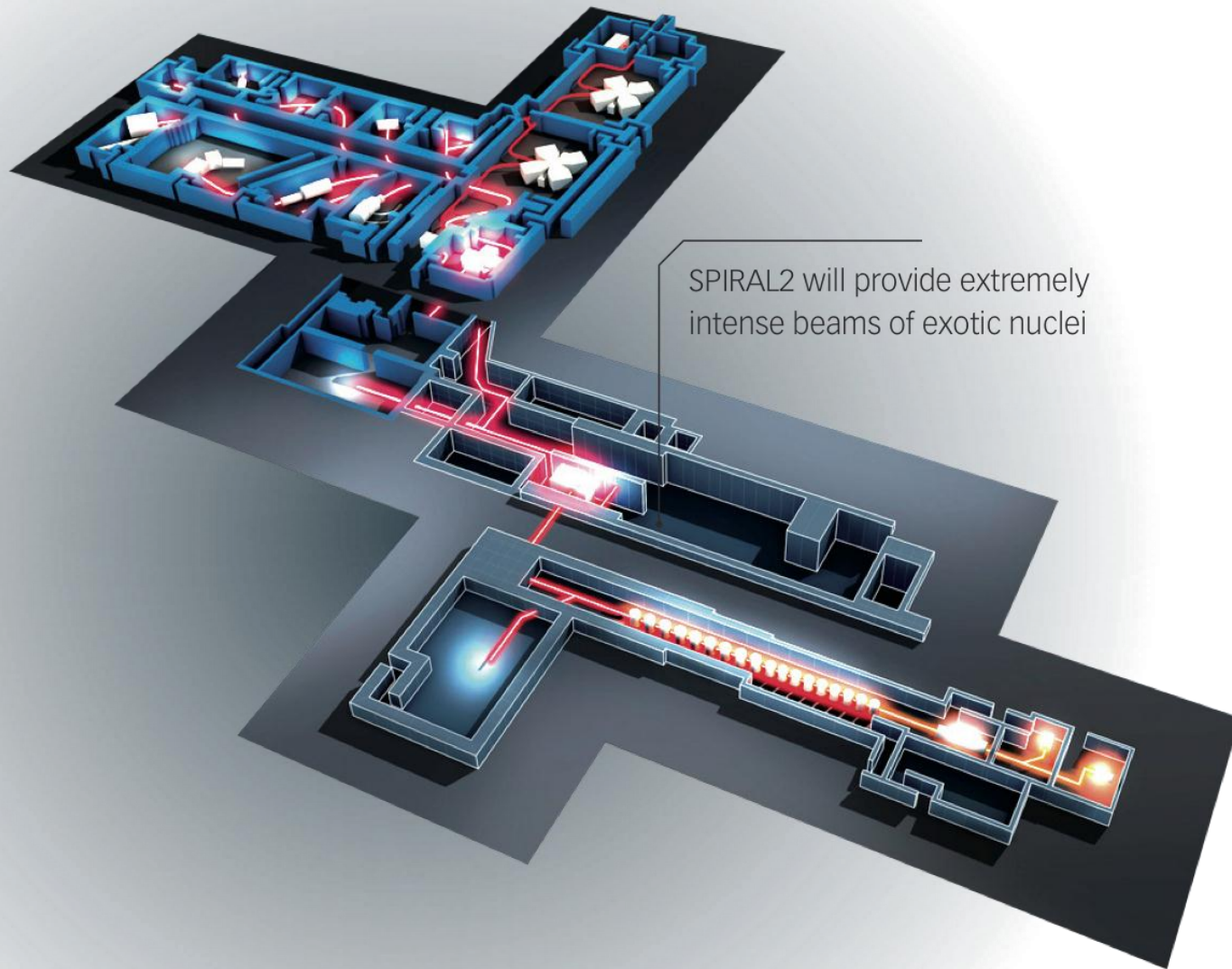
*Европа произвежда значителна част от ядрените знания (scientia)*

# GSI, Darmstadt, Germany



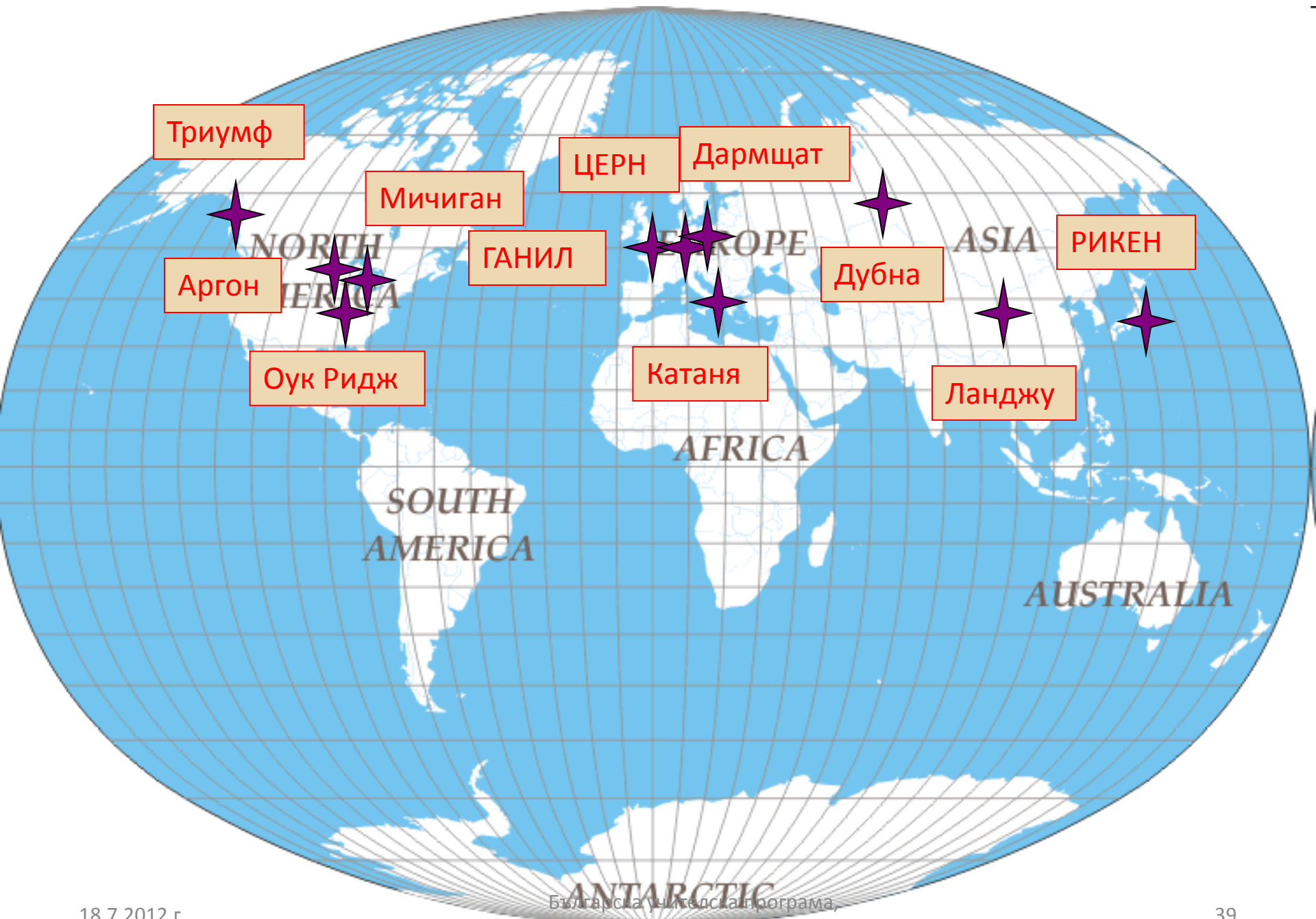


# новият ускорителен комплекс FAIR @ Darmstadt



# ELI, Bucharest, Romania.

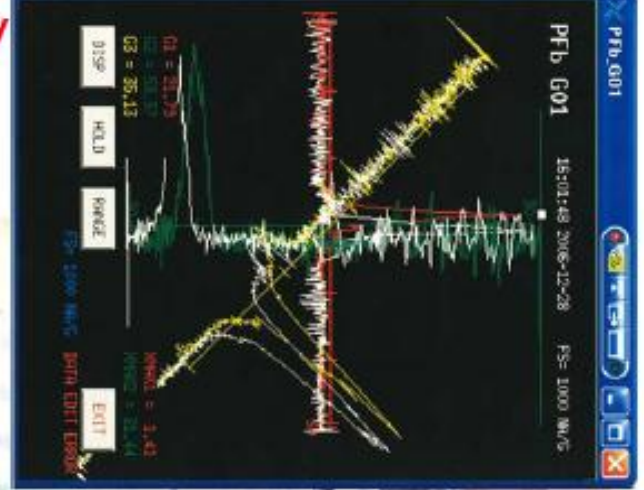




# First beam accelerated at SRC K2600MeV

16:00 28<sup>th</sup> Dec., 2006

$^{27}\text{Al}^{10+}$  345MeV/u





# RIKEN RI Beam Factory (RIBF)

Old facility

Experiment facility

To be funded  
In phase II

Accelerator

RIPS

GARIS SHE (eg. Z=113)

60~100 MeV/nucleon

~5 MeV/nucleon

RILAC

AVF

SCRIT

ZeroDegree

fIRC

RRC

SRC

SLOWRI

SAMURAI

IRC

RI-ring

CRIB (CNS)

BigRIPS

SHARAQ

350-400 MeV/nucleon

New facility

Intense (80 kW max.) H.I. beams (up to U) of 345 A MeV at SRC  
 Fast RI beams by projectile fragmentation and U-fission at BigRIPS  
 Operation since 2007



K-VALUE	2500
MAX. SECTOR FIELD	3.8 T
MAX. STORED ENERGY	235 MJ
RADIO FREQUENCY	18~38 MHz
INJECTION RADIUS	3.56 m
EXTRACTION RADIUS	5.36 m
TOTAL WEIGHT	8000 t



# Ядрена структура

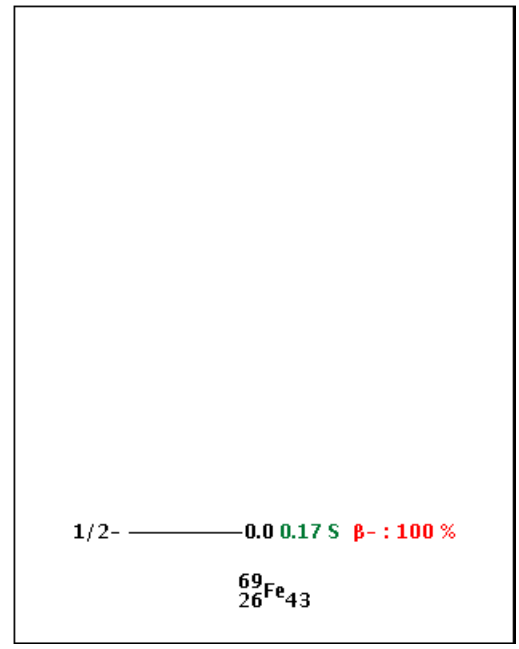
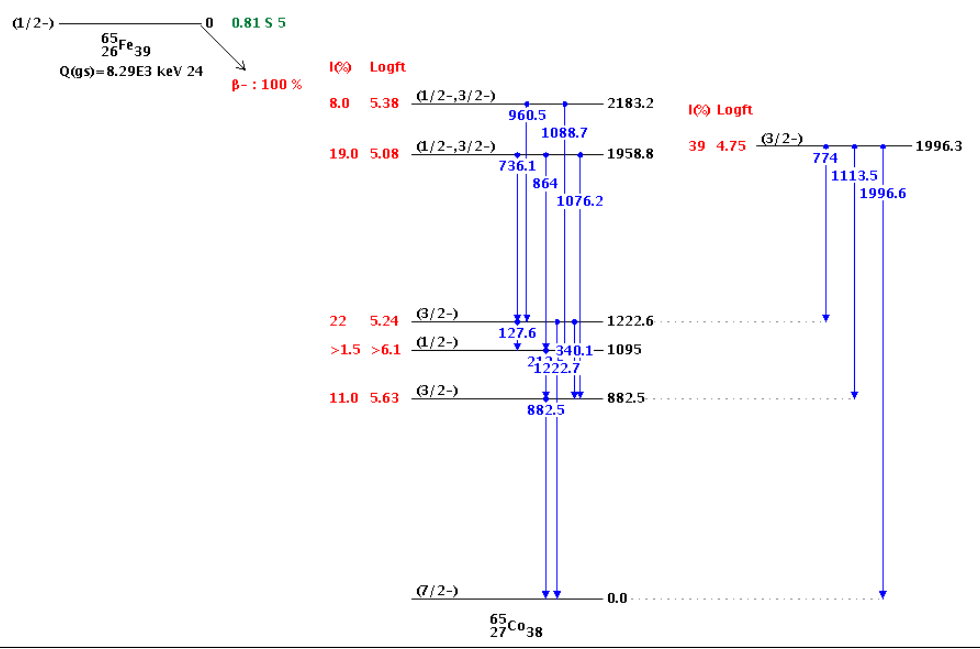
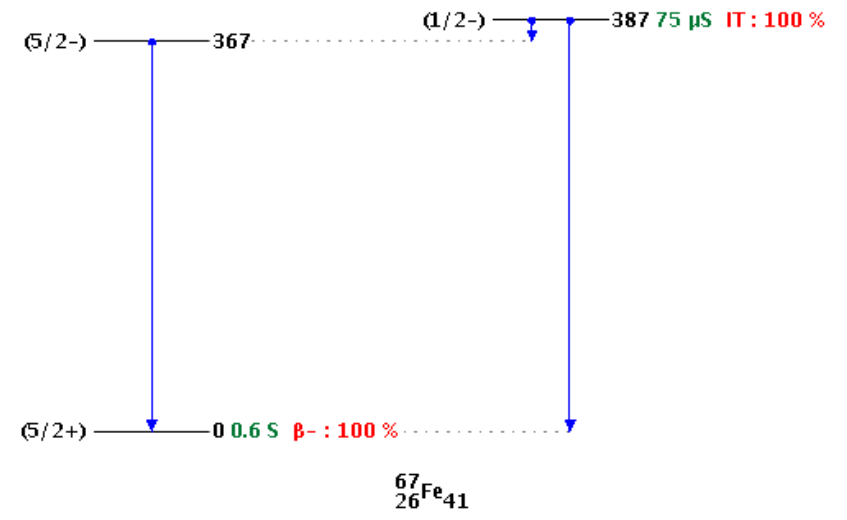
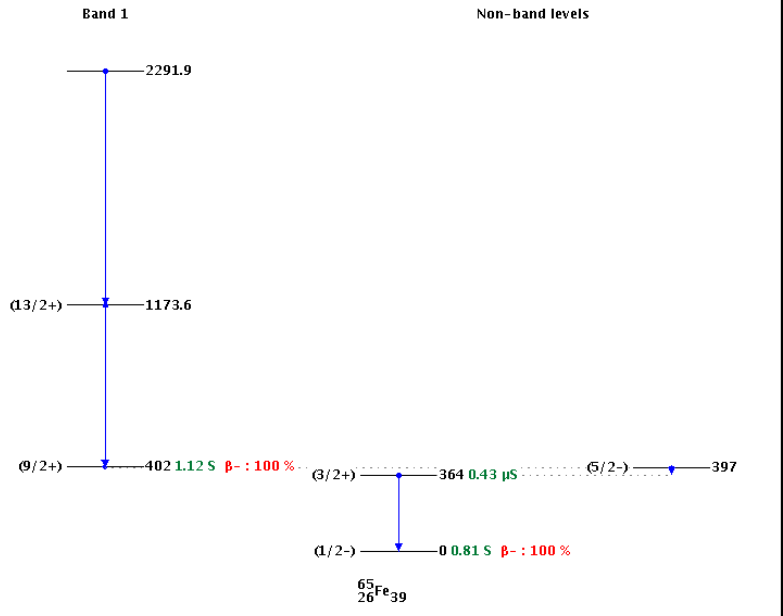


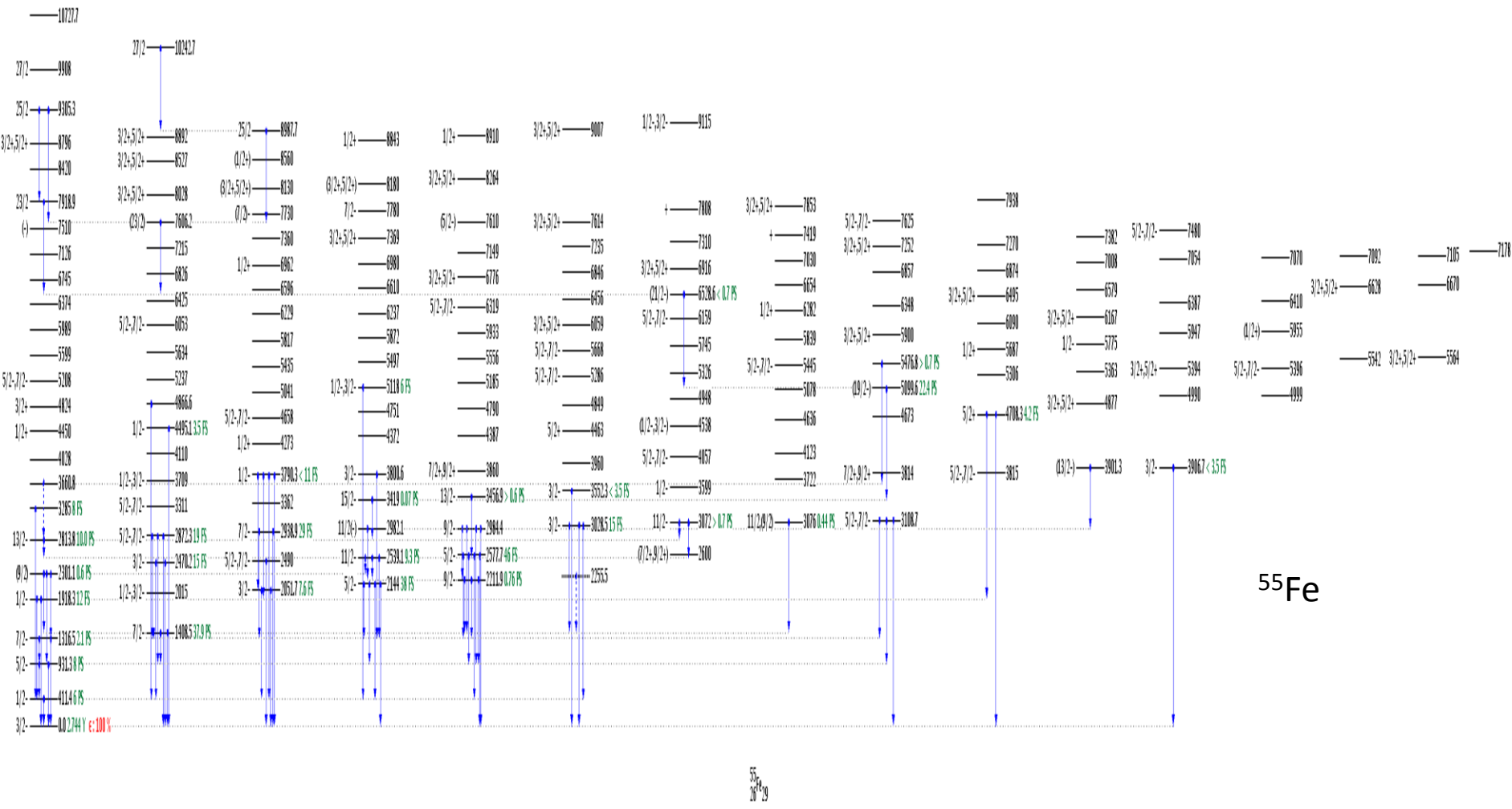
High T

High L

Large N/Z

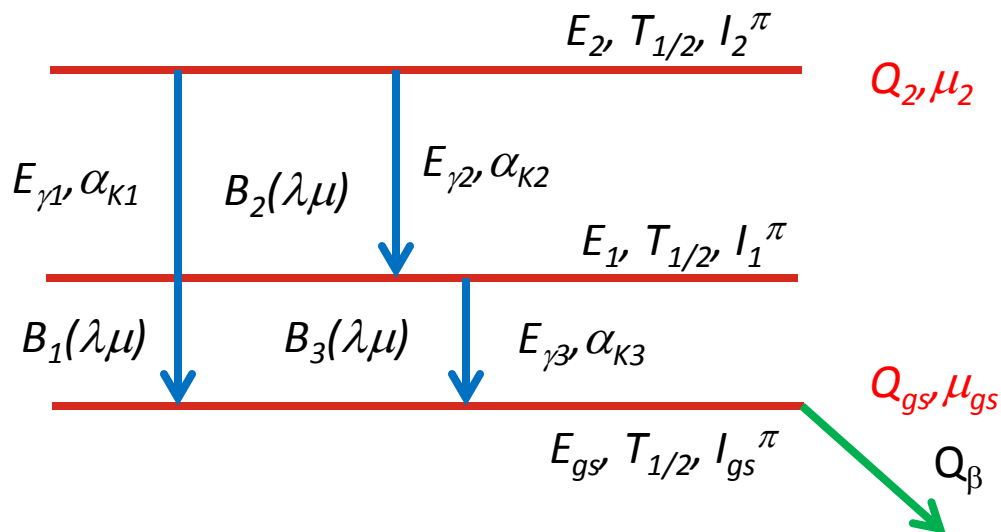
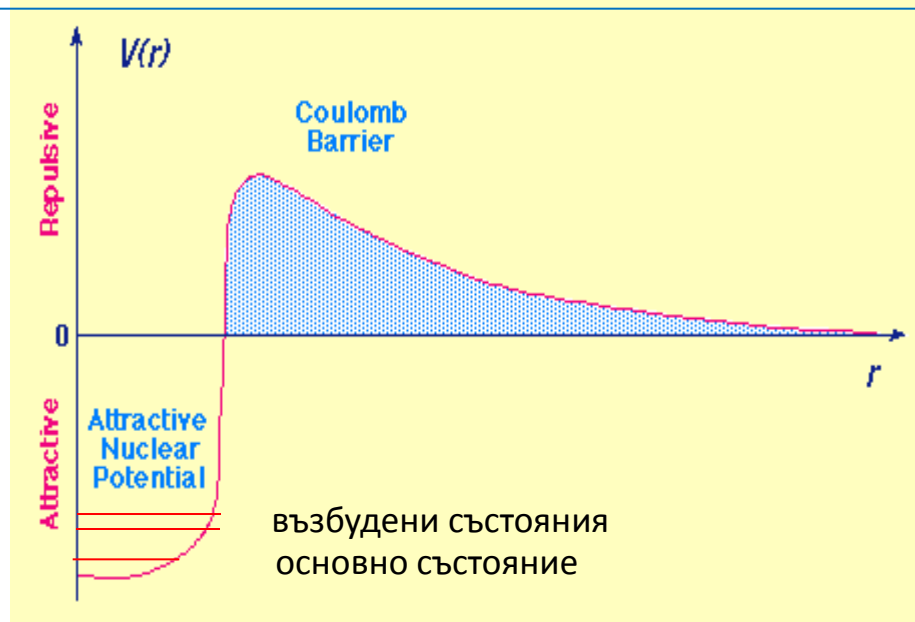
To learn many of the secrets of the nucleus – we have to put it at **extreme conditions** and study how it survives such a stress!







от различни експериментите получаваме допълваща се информация



# ядрата са квантови системи!

- В редки случаи можем да получим експериментален сигнал, който може да се сравни с теорията.
- В повечето експерименти е необходимо да преминем от експериментални наблюдаеми към “експериментални” величини, които се сравняват с теорията.
- В много от тези случаи тяхната оценка зависи от някаква теория (модел), т.е. Получаването им е свързано с определени допускания за ядрения Хамилтониан, което е свързано с начина, по който се разглежда остатъчното взаимодействие.

наблюдаема

“експериментална” величина

теория

## Слоеве в атомните ядра



Теорията на Мария Гьоперт Майер от 1948 г. обяснява защо някои ядра са по-стабилни от останалите и защо някои елементи имат повече стабилни изотопи.

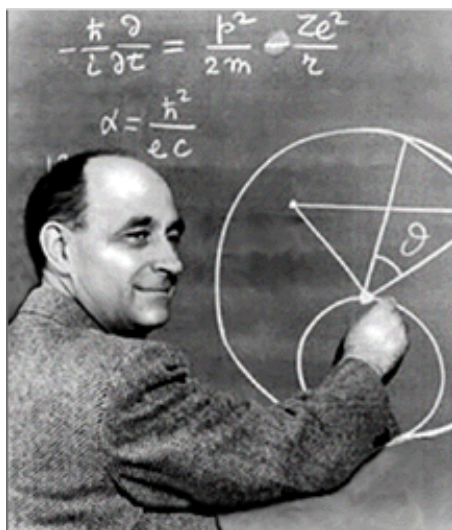
"On closed shells in nuclei" *Phys. Rev.* 74: 235 (1948).

"On closed shells in nuclei II" *Phys. Rev.* 75: 1969 (1949).

"Nuclear configurations in the spin-orbit coupling model.

I. Empirical evidence," *Phys. Rev.* 78: 16 (1950).

II. Theoretical considerations" *Phys. Rev.* 78: 22 (1950).



**« Между другото, има ли доказателства за спин-орбитално взаимодействие? »**

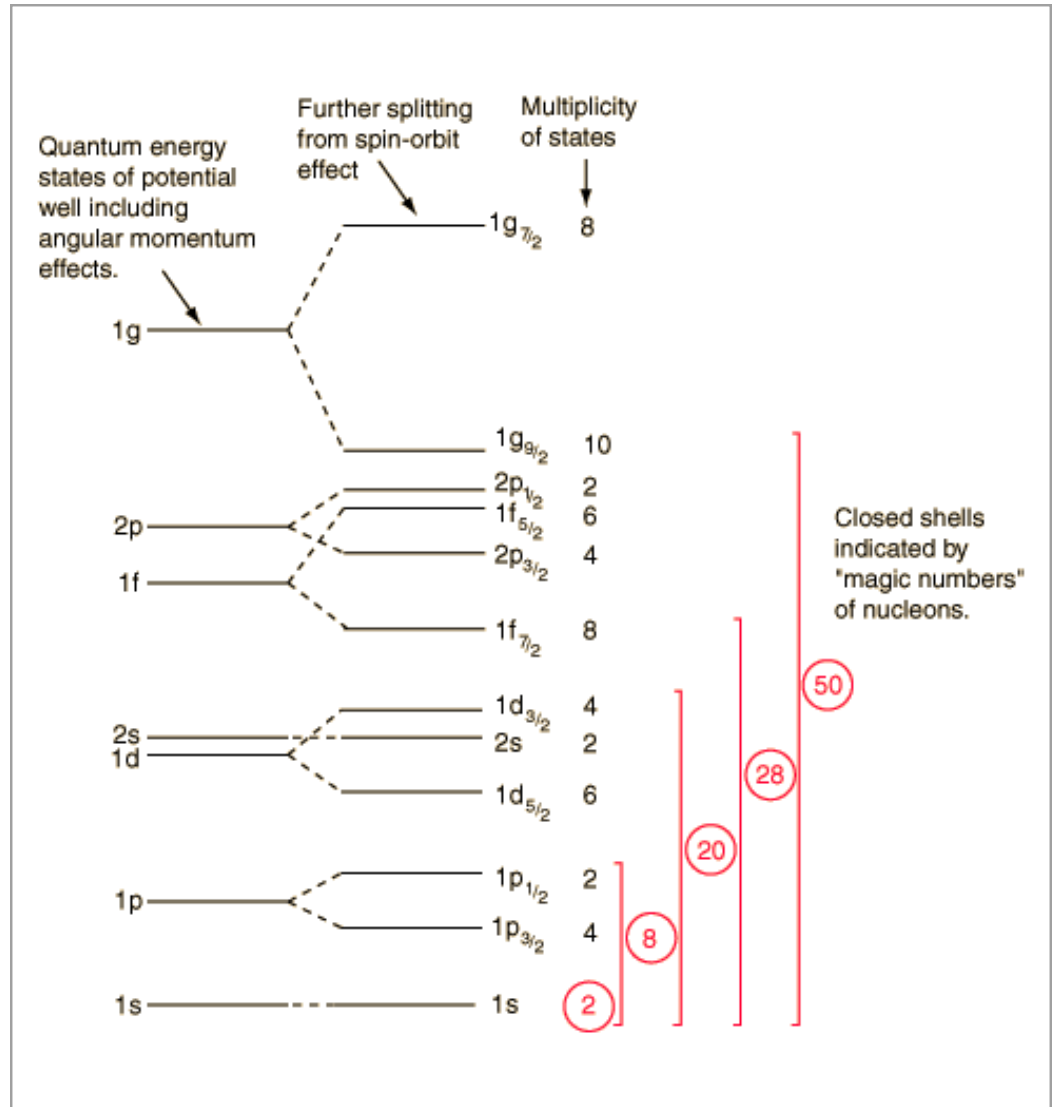
*Енрико Ферми*

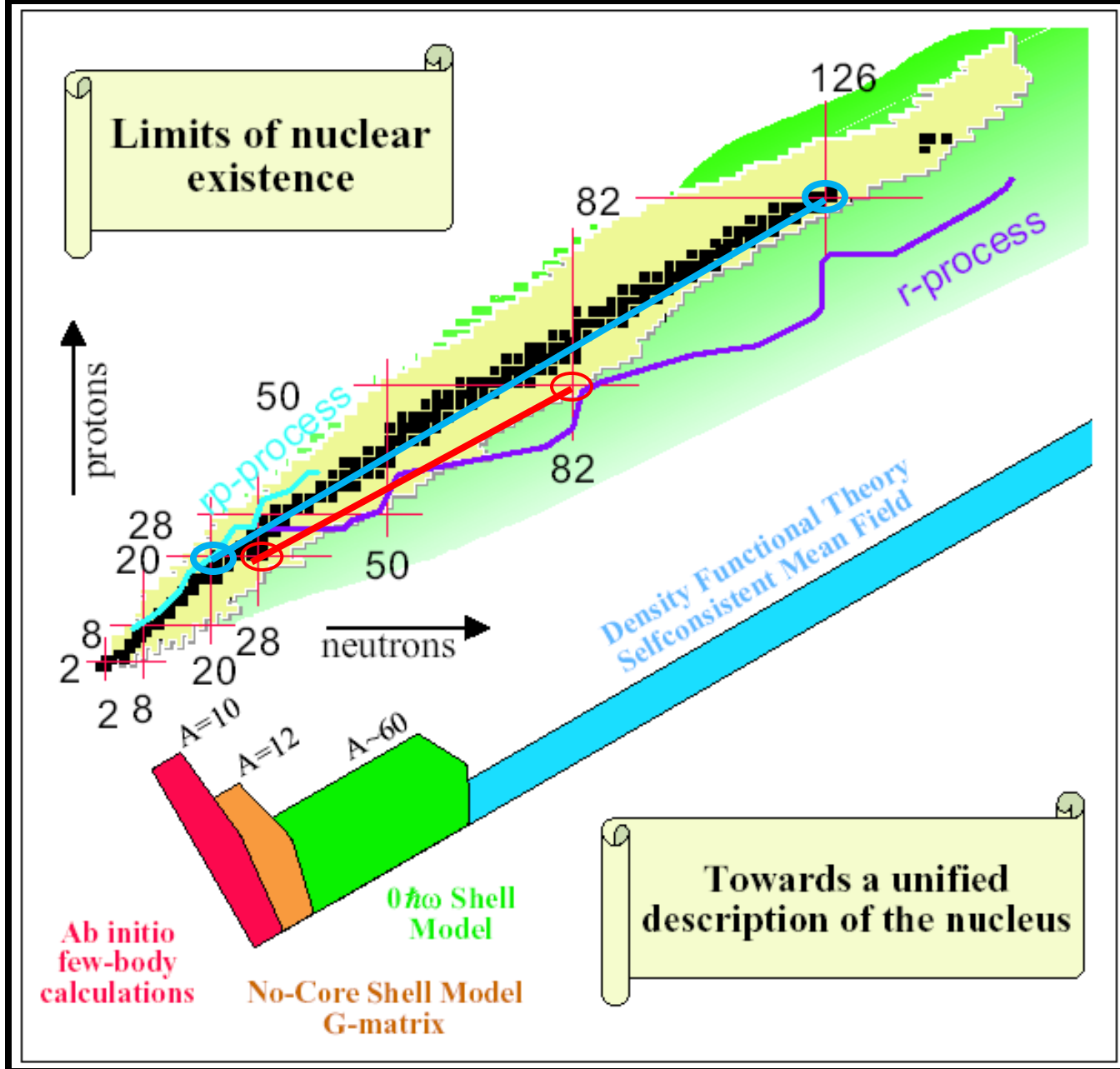
*Забележка към доклада на Мария Гьоперт-Майер върху разпространението на изотопите. Чикаго, 1948*

# Супер орбитали

$$V(r) \rightarrow V(r) + V_{SO}$$

$$V_{SO} = -f(r) \underline{l} \cdot \underline{s}$$





**японски суперкомпютър побеждава най-добрата американска машина**

## Scalable from 32 GFLOPS to 7.3 TFLOPS



**Hitachi SR8000**

**128** NODE



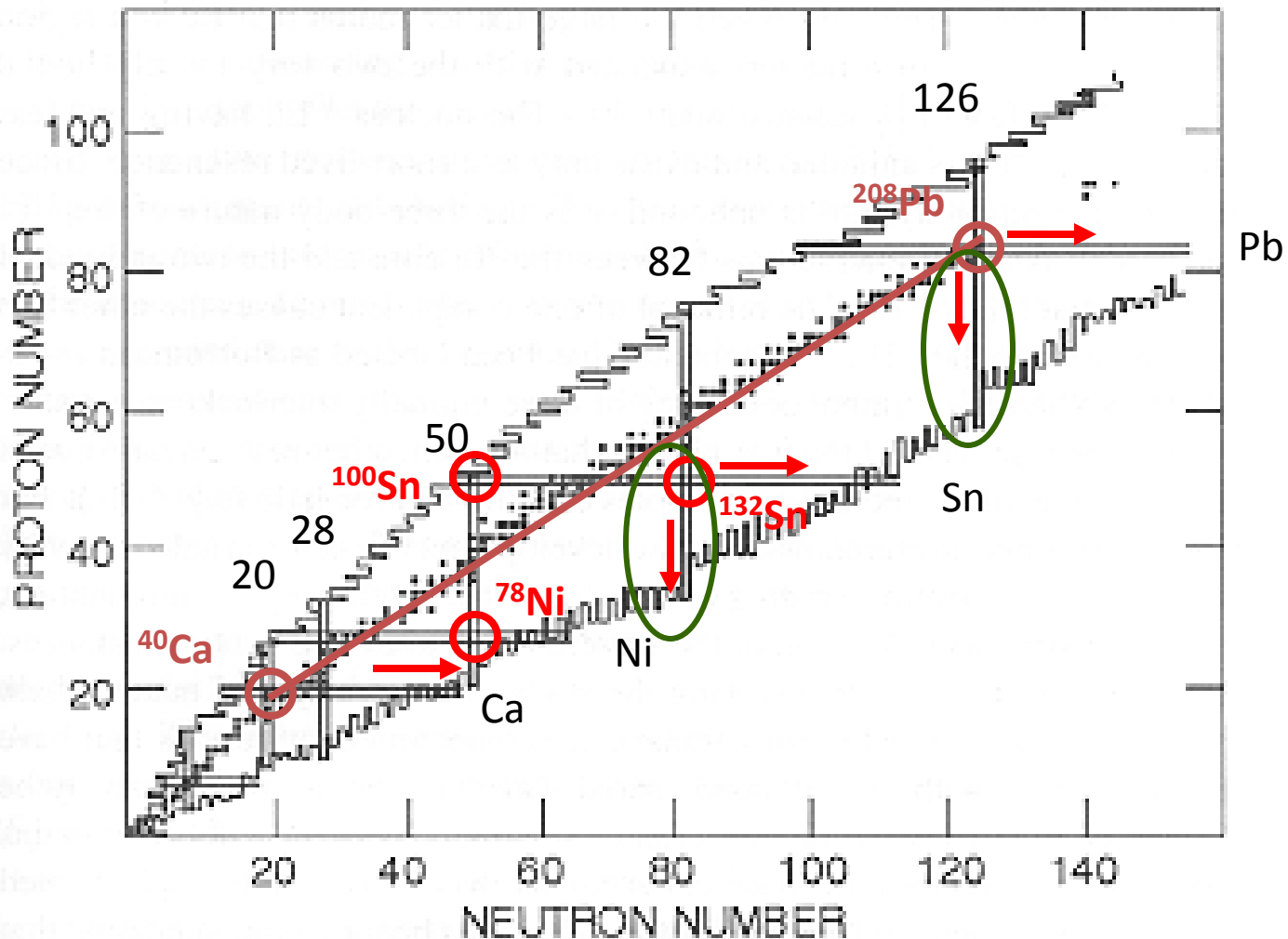
## ORNL Jaguar supercomputer surpasses 50 teraflops



Тук трябва да спомена прекрасния приятел и колега Марио Стоицов, който доскоро беше сред основните “шофьори” на Ягуара...

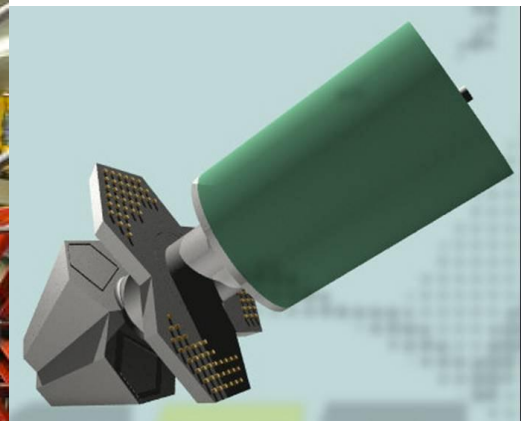
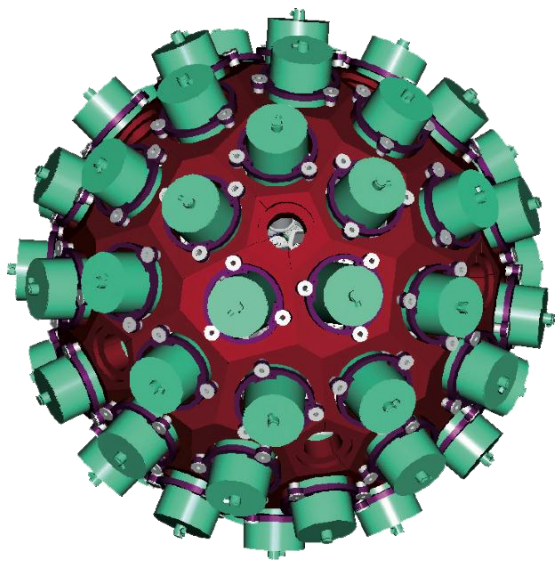
*Apropo*, подобна машина работи в Университета в Берген (там Мортен Хьорт-Йенсен разработва своите модели)

***DOE's Oak Ridge Supercomputer Now World's Fastest for Open Science***



- каква е слоестата структура далеч от стабилност
- как се променя формата на “екзотични” ядра





18.7.2012 г.

Българска учителска програма,  
ЦЕРН, 17-21.9.2012 г.

57

# γ лъчи

## Какво измерваме?

енергии,  
интензивности и ъглови  
разпределения

енергии, спинове и  
четности на възбудени  
състояния

## Какво научаваме?

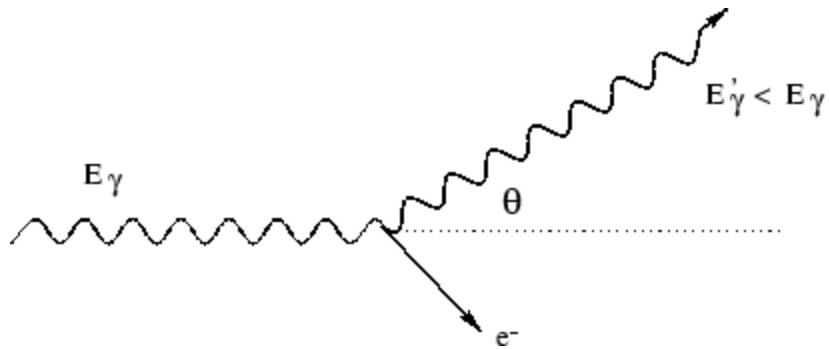
- *едночастични или колективни възбуждания*
- *фазови промени на формата*
- *etc.*

наблюдаема

“експериментална” величина

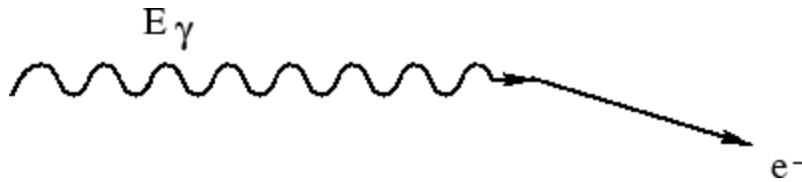
теория

## Interaction of $\gamma$ -rays with matter



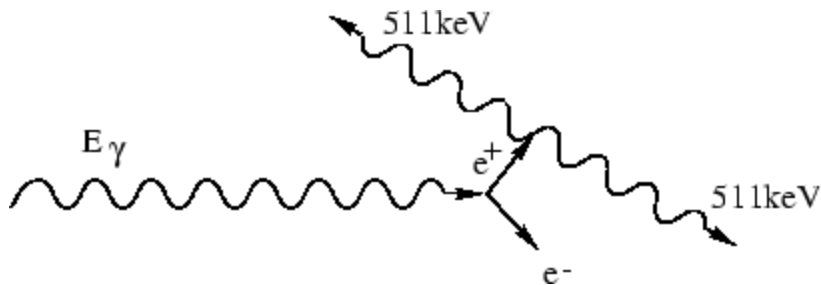
$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + (E_\gamma/m_0c^2)(1 - \cos \theta)},$$

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma = \frac{E_\gamma^2(1 - \cos \theta)}{m_0c^2 + E_\gamma(1 - \cos \theta)}.$$



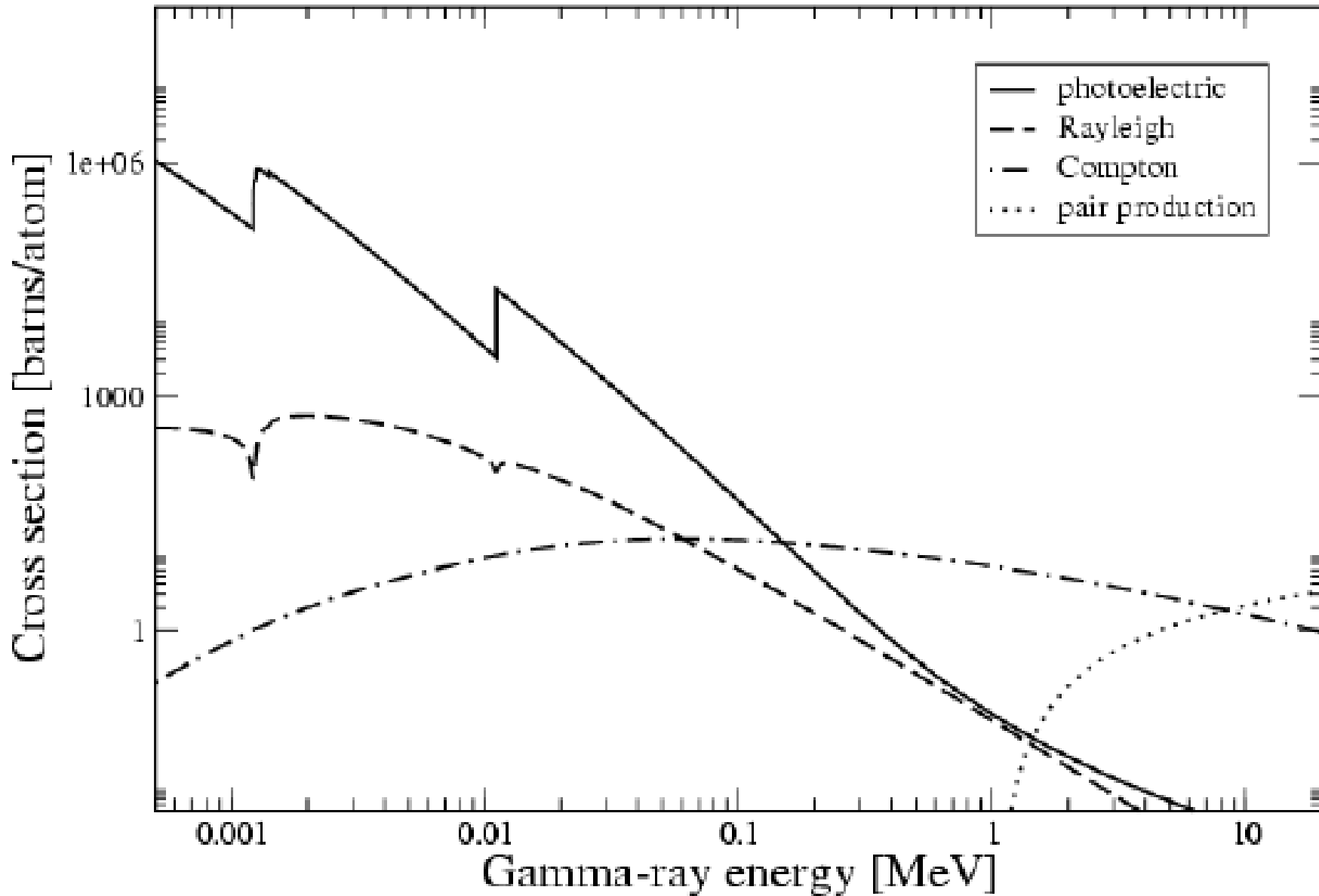
$$T_e = E_\gamma - B_e$$

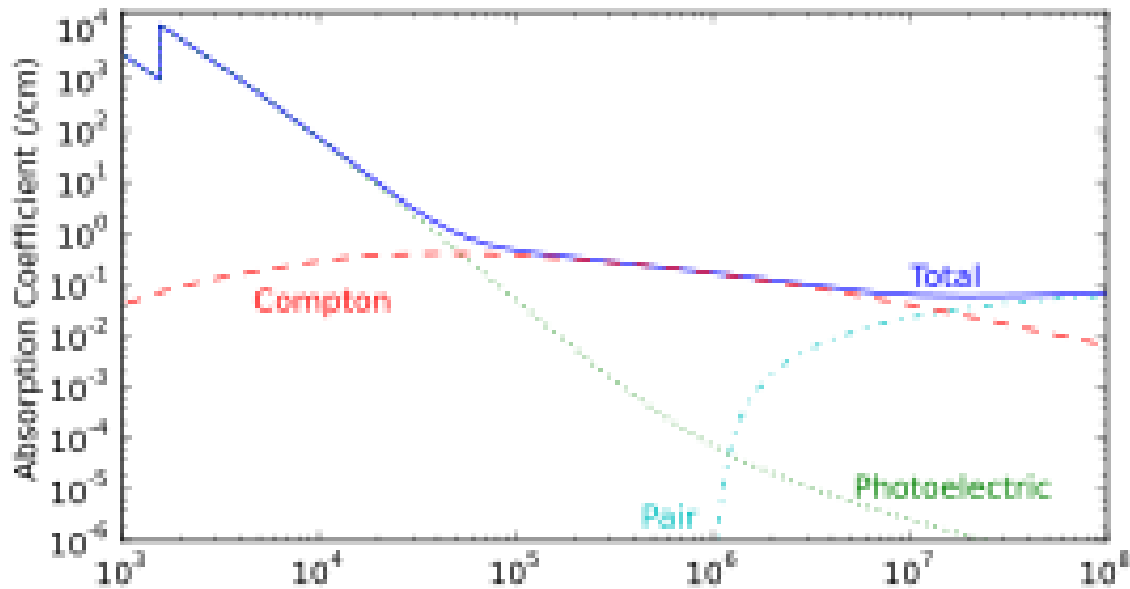
$$\tau \propto \frac{Z^n}{E_\gamma^{3.5}}.$$



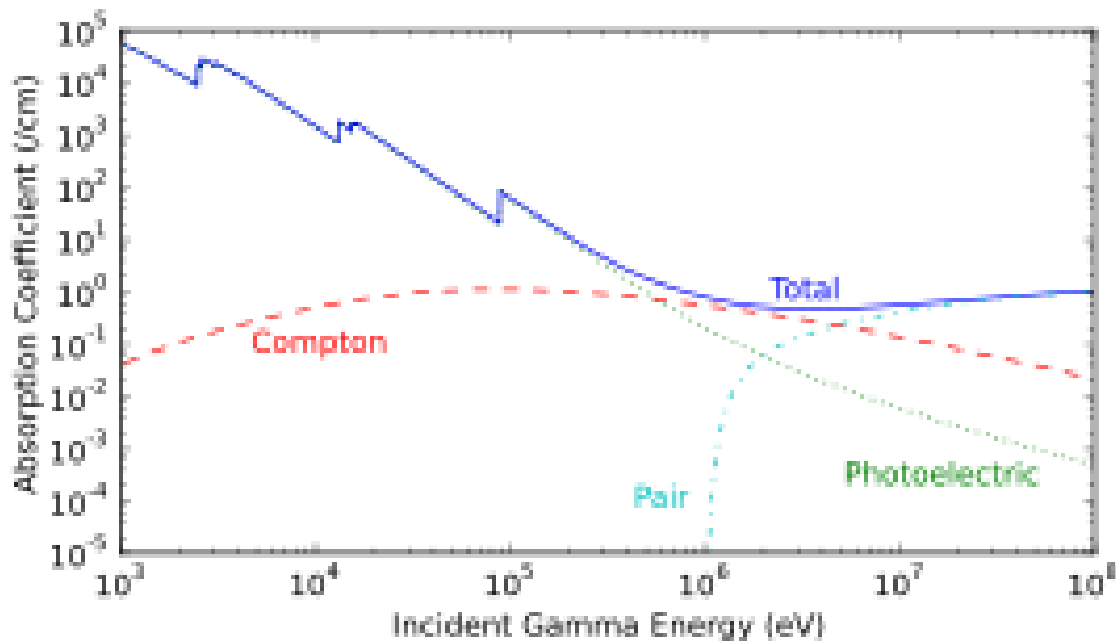
$$E_\gamma - m_0c^2$$

$$E_\gamma - 2m_0c^2$$





Al,  $Z = 13$



Pb,  $Z = 82$

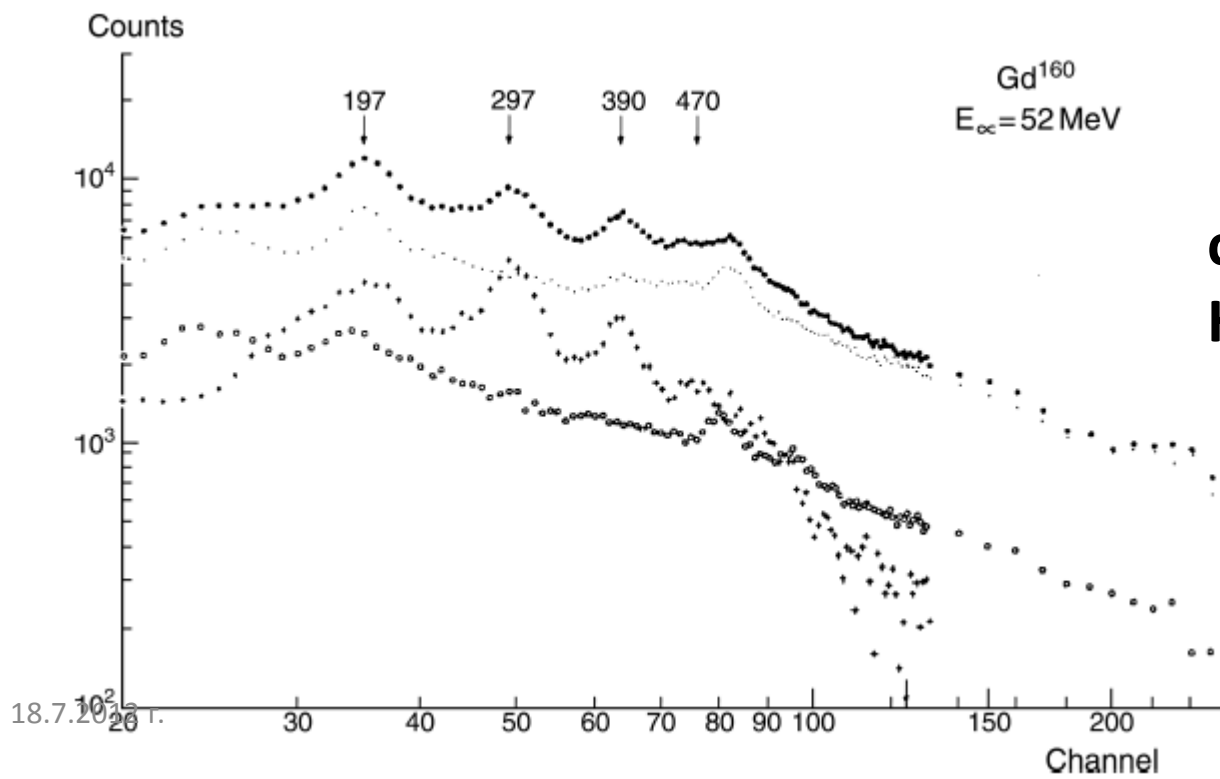
# Nuclear Shapes



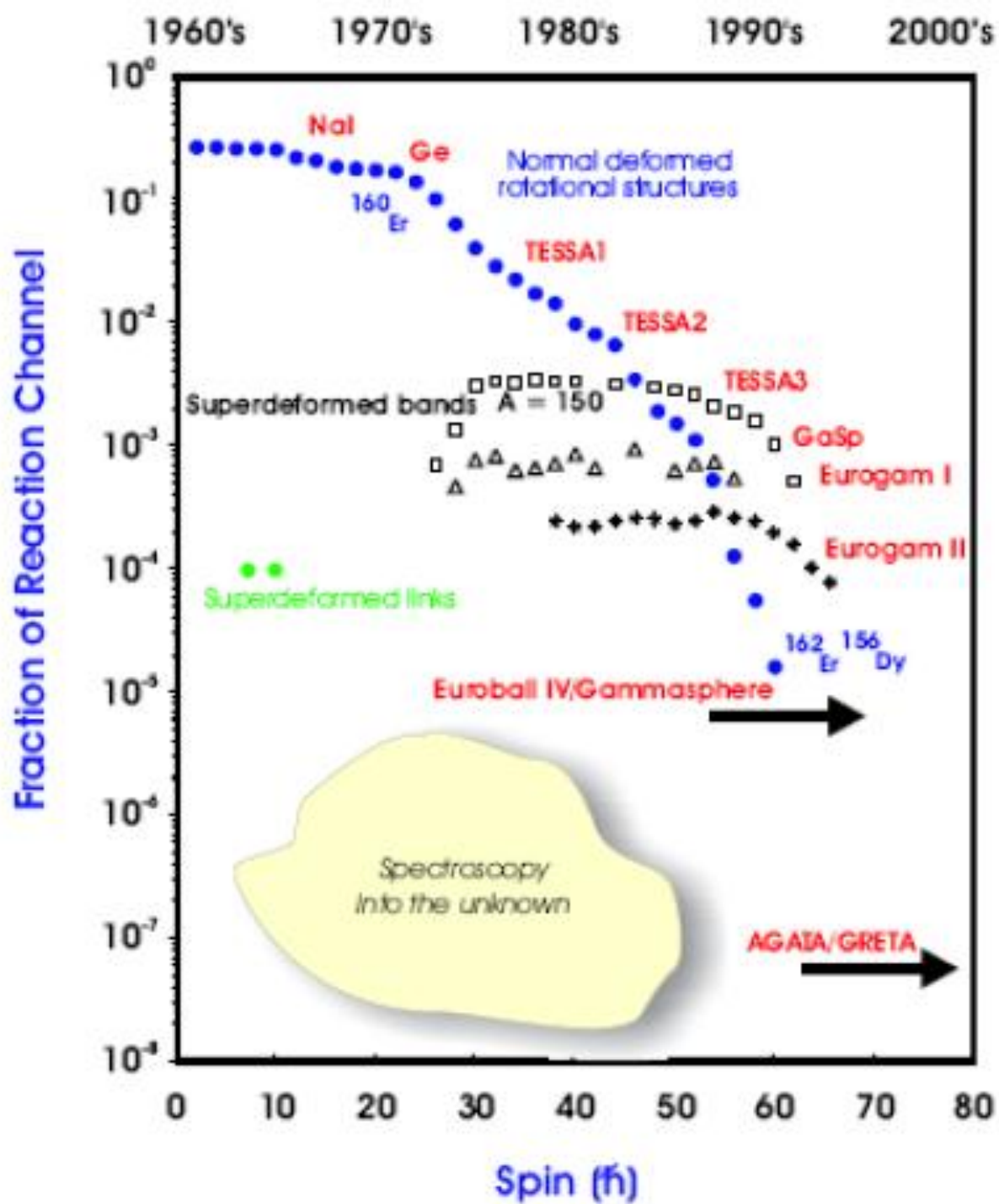
**SPHERICAL  
NUCLEUS**

**HIGHLY DEFORMED  
NUCLEUS**

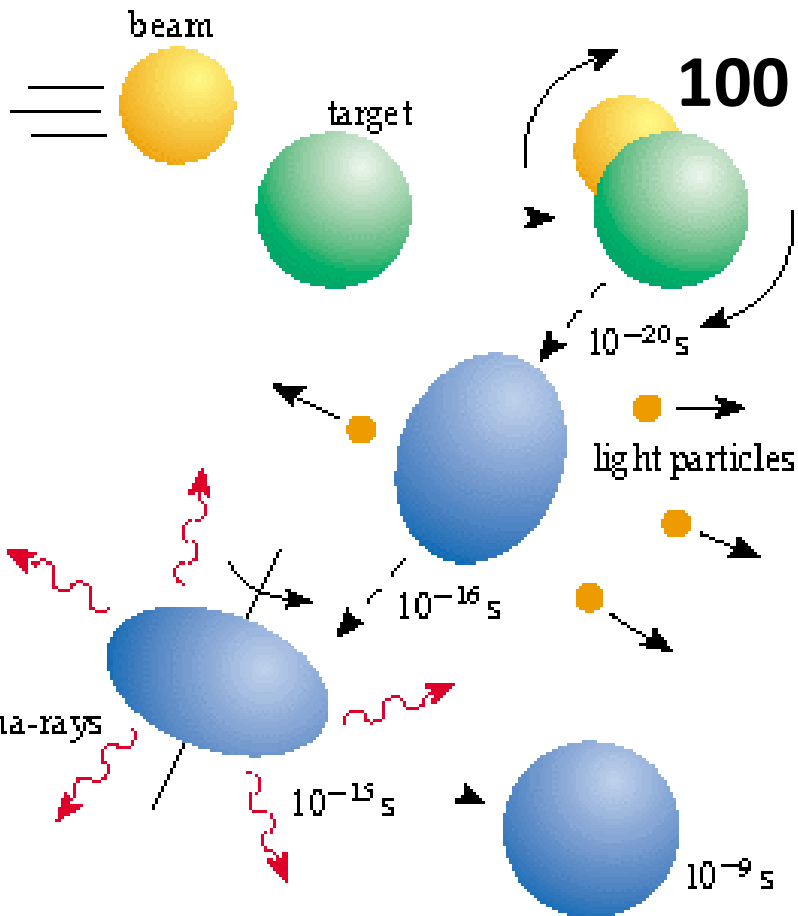
**SUPERDEFORMED  
NUCLEUS**



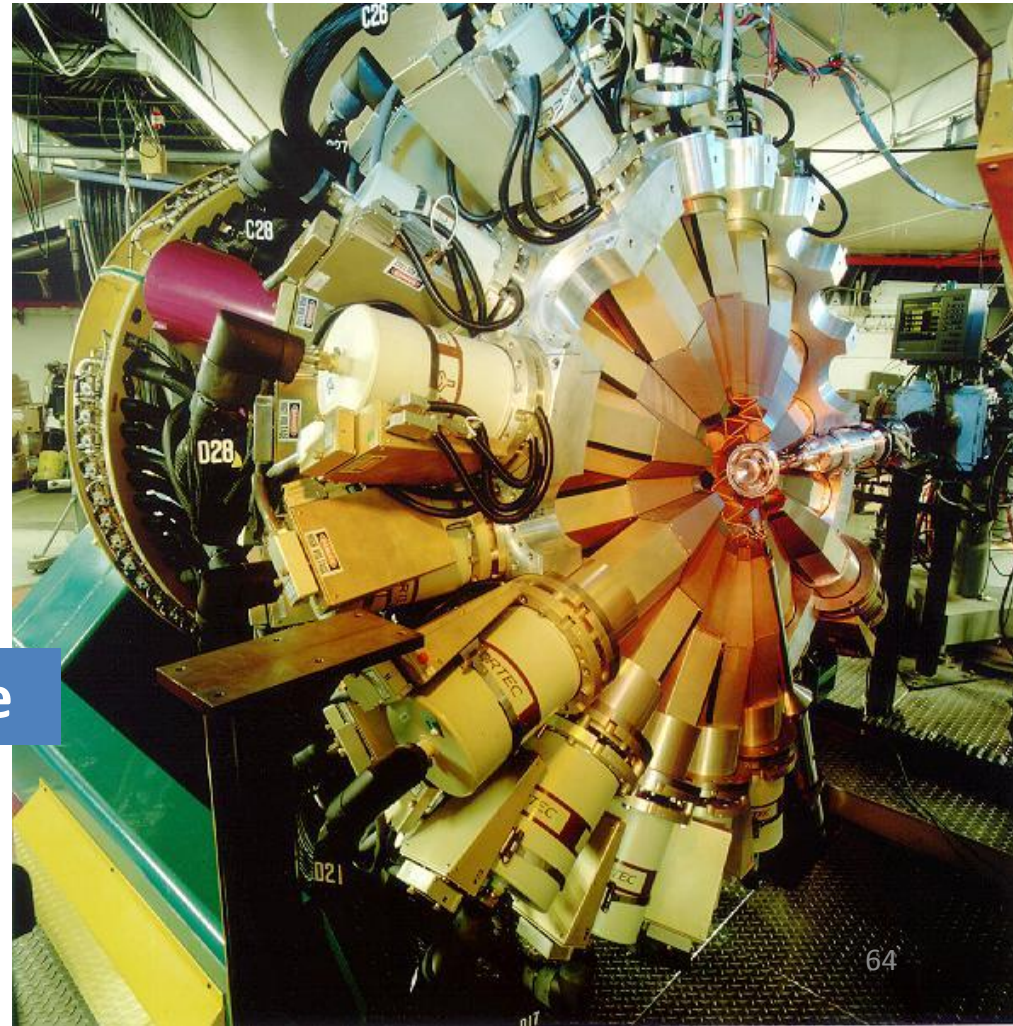
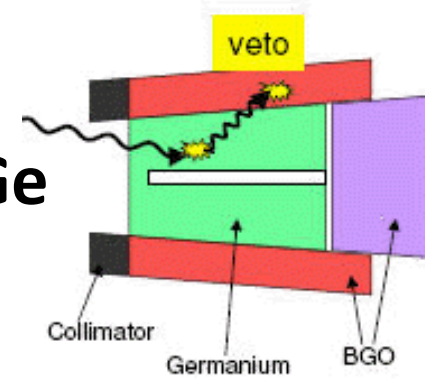
**спектр с цената на  
Нобелова награда**



# GAMMASHPERE



100 anti-Compton HPGe

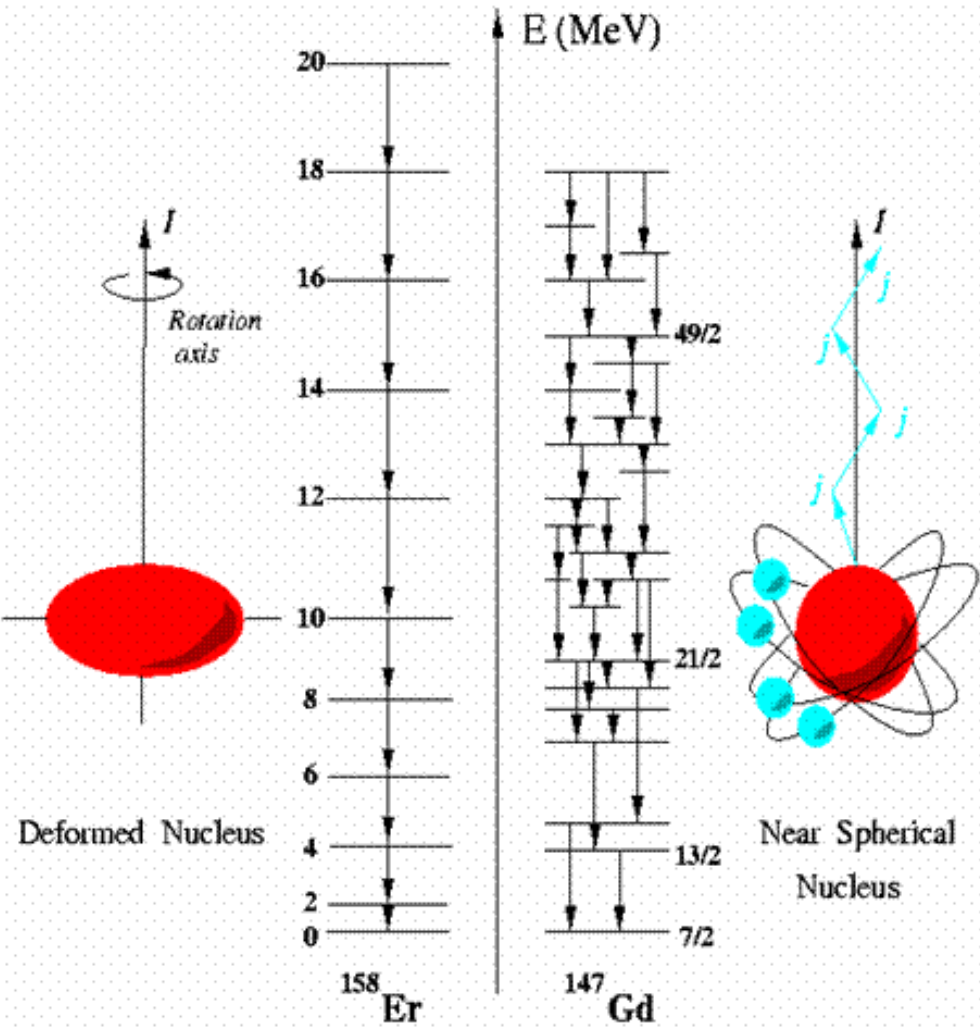
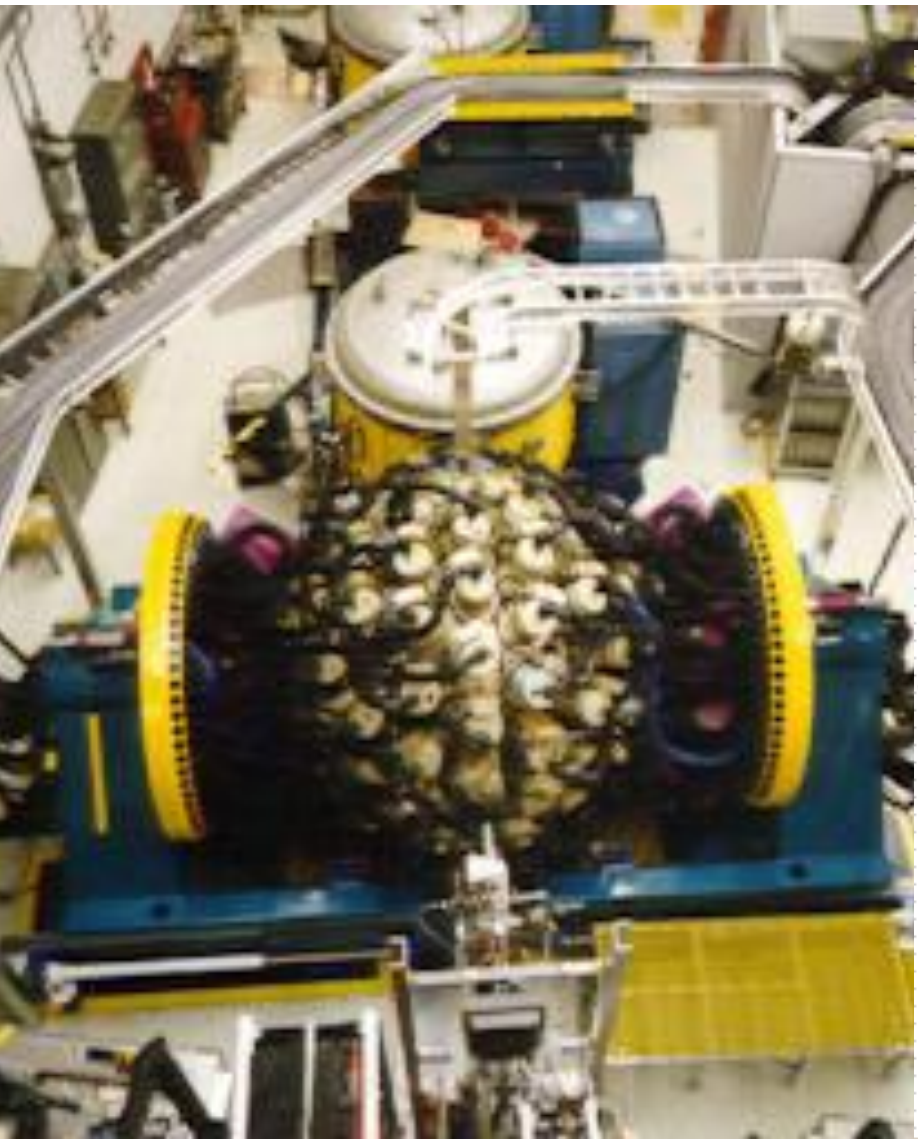


$$\sigma_R = \pi \tilde{\lambda}^2 \sum_{l=0}^{l_{\max}} (2l+1) T_l = \pi \tilde{\lambda}^2 (l_{\max} + 1)^2$$

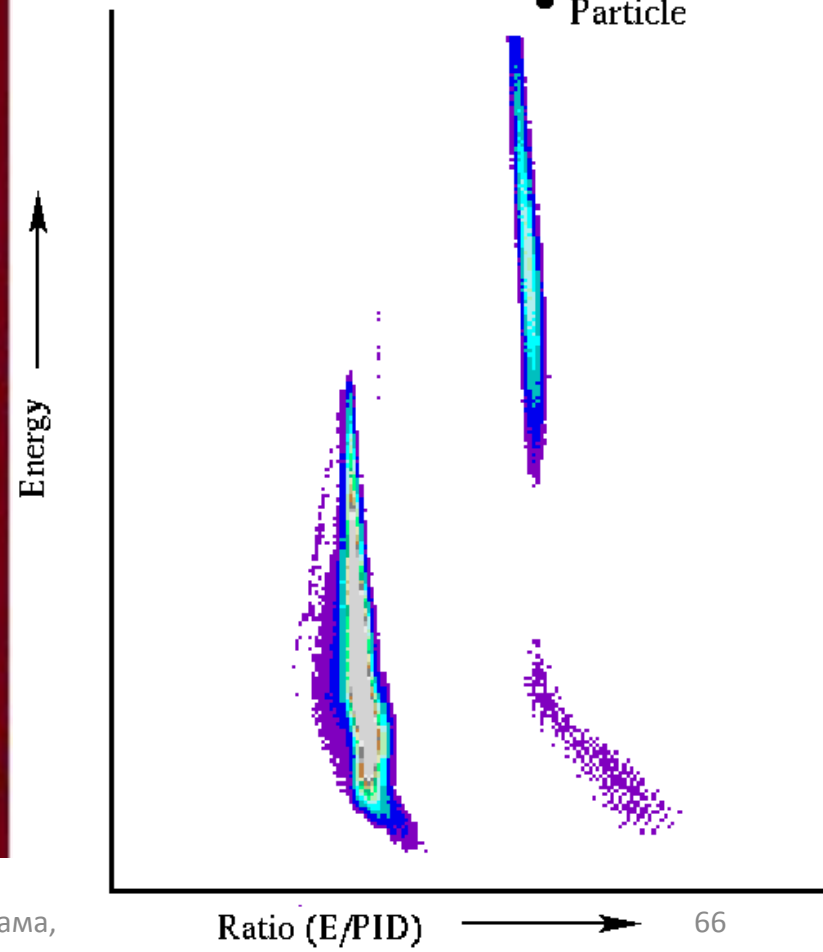
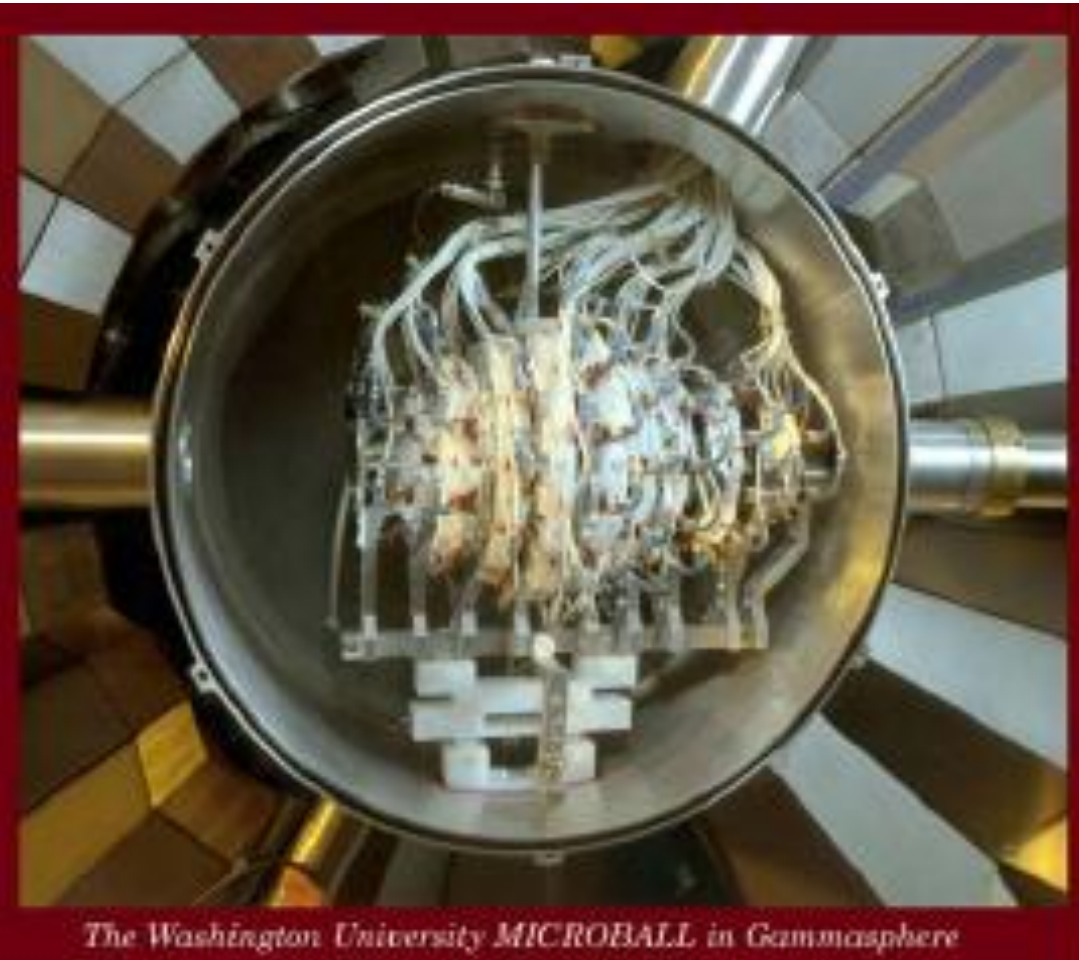
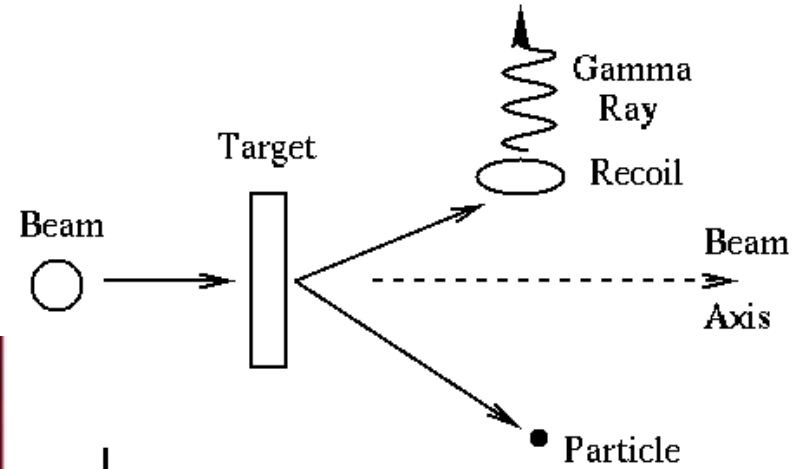
$$\tilde{\lambda} = \hbar / \sqrt{2\mu E_{CM}}, \mu = \frac{A_1 A_2}{A_1 + A_2}$$

$$18.7.20 \quad l_{\max}^2 = \left( \frac{2\mu R^2}{\hbar^2} \right) (E_{CM} - V_C)$$

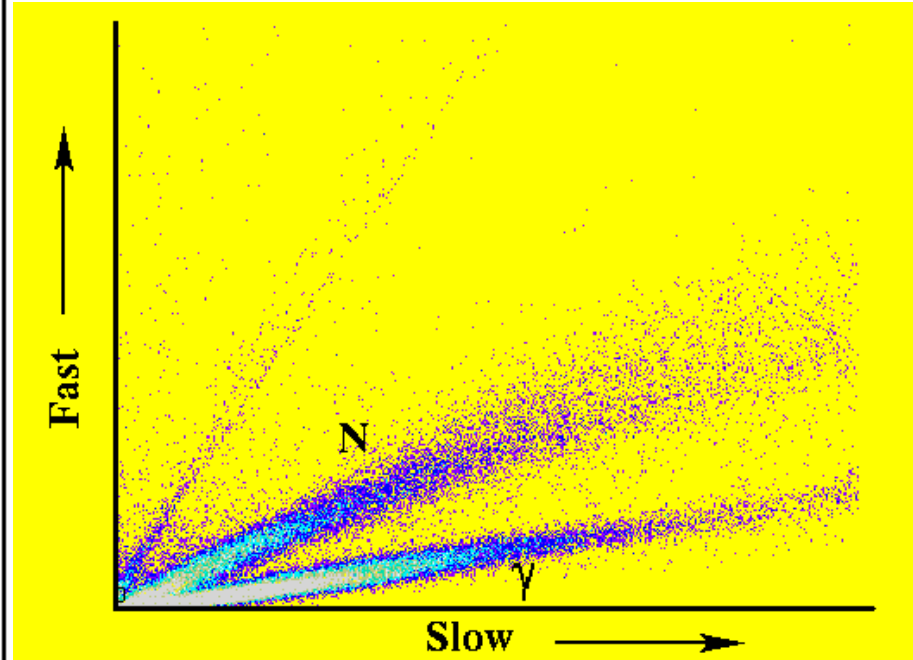
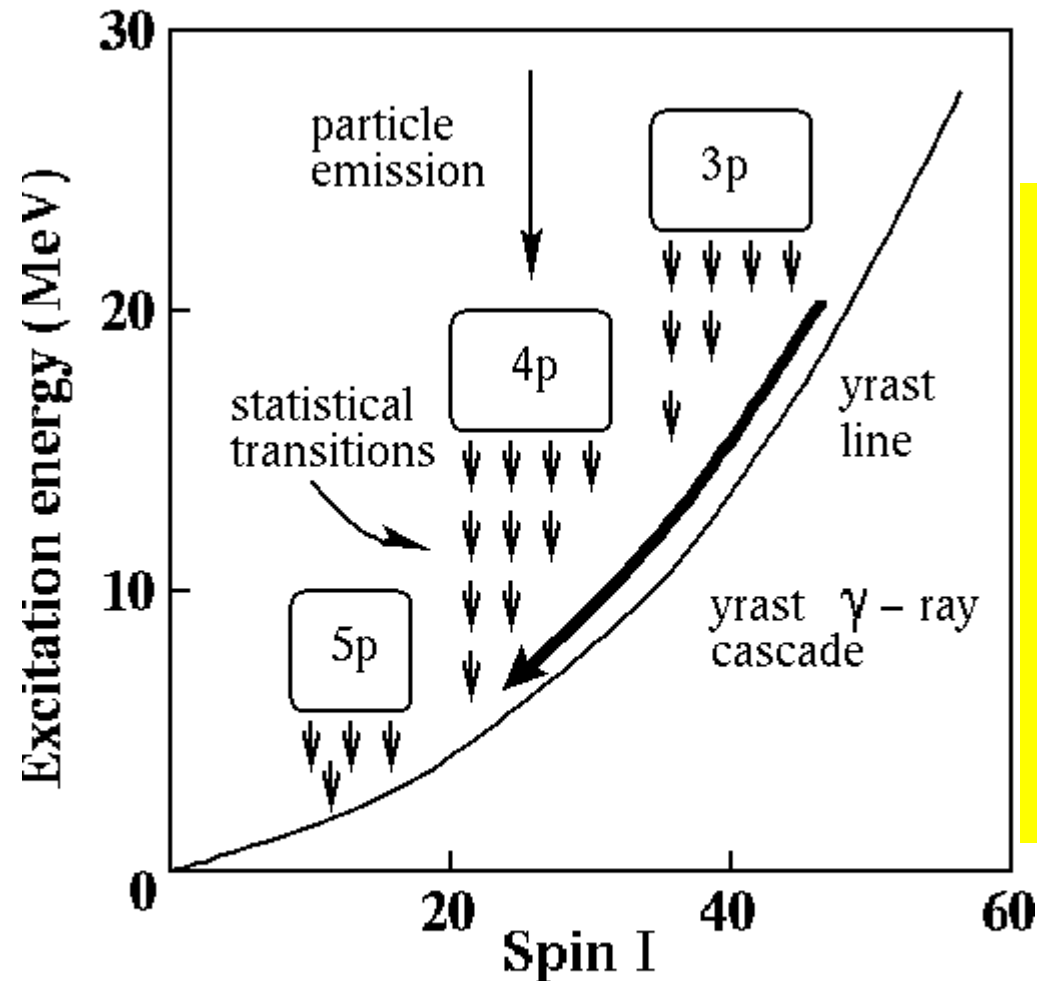




# MICROBALL particle array



# NE213 liquid scintillator neutron detectors

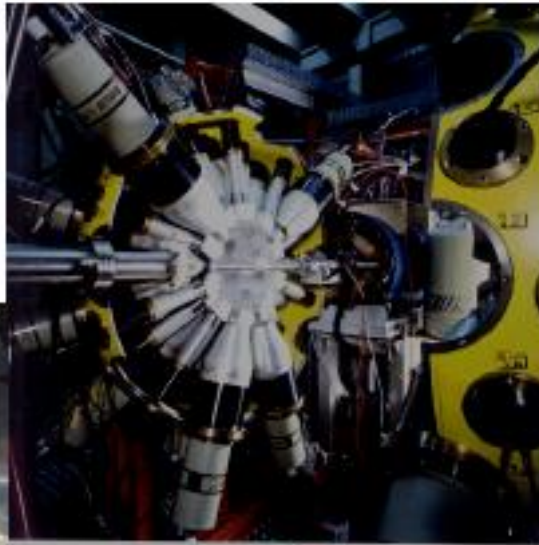


- $\gamma$ -ray fold k  $\Rightarrow$  spin I
- sum energy  $\Rightarrow$  excitation energy E

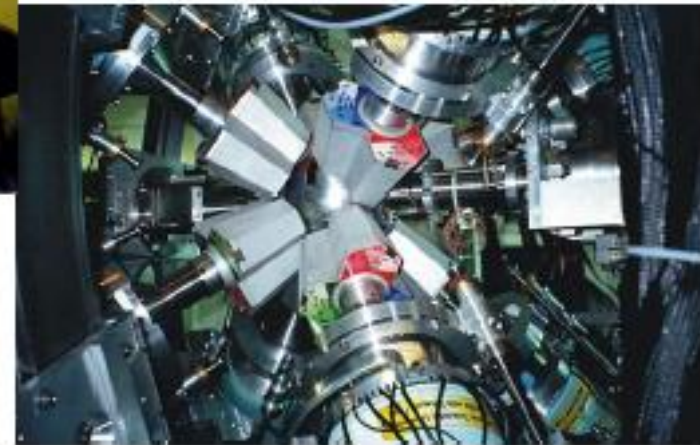
# Gamma-ray arrays in Europe

RISING,  
GSI

JUROGAM,  
JYFL



GASP,  
INFN



**EXOGRAM, Ganil**

**MINIBALL, REXISOLDE**

# Gamma-ray arrays in US & Canada



**FSU Array, USA**

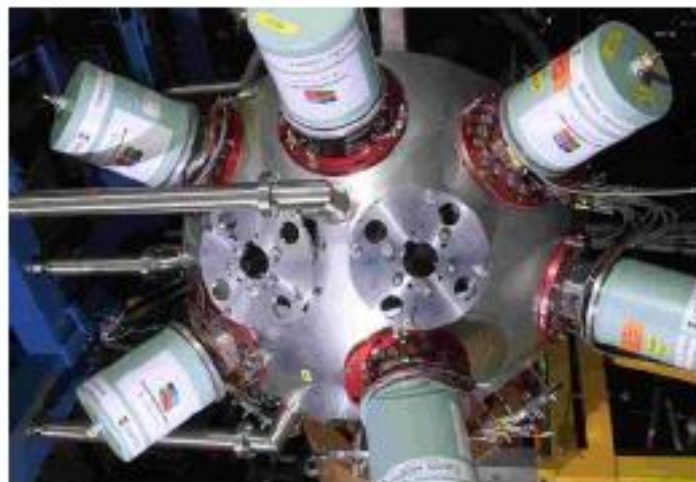


**8 $\pi$ , TRIUMF**  
**~40 Ge detectors**

**Yrast Ball, Yale University**

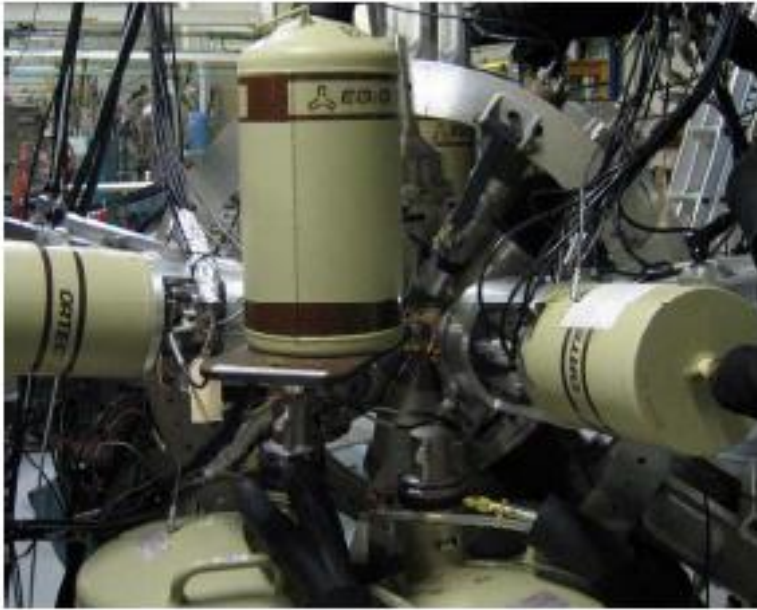
**10 Clover**

**17 Ge**



**CLARION, ORNL**

# *Australia, Asia & Africa*



**CAESAR, Australia**



**Afrodite, South Africa**

**Smaller arrays operate  
in India, China and Japan**

# Ge detectors - $\gamma$ -ray tracking



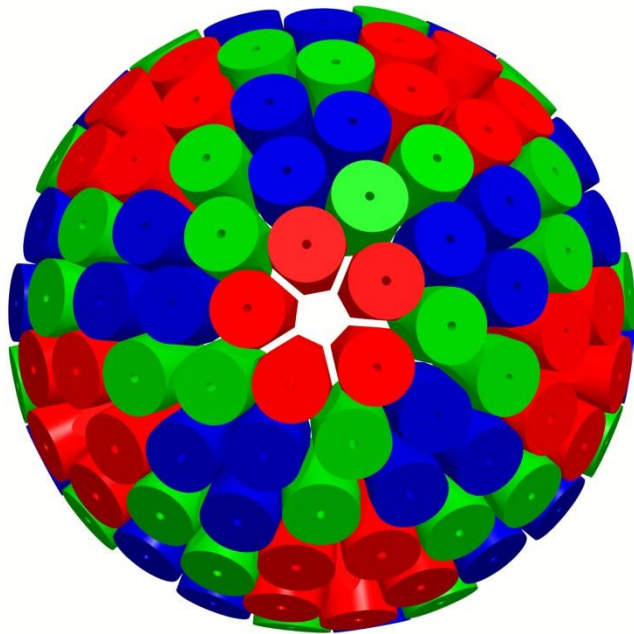
**AGATA Physics Case**, eds. D.Bucurescu, D.L. Balabanski

**AGATA Technical Design Report**, eds. W. Korten et al.

# AGATA

## (Design and characteristics)

$4\pi$   $\gamma$ -array for Nuclear Physics Experiments at European accelerators providing radioactive and stable beams



### Main features of AGATA

<b>Efficiency:</b>	43% ( $M_\gamma=1$ )	28% ( $M_\gamma=30$ )
today's arrays	~10% (gain ~4)	5% (gain ~1000)
<b>Peak/Total:</b>	58% ( $M_\gamma=1$ )	49% ( $M_\gamma=30$ )
today	~55%	40%
<b>Angular Resolution:</b>	~1° →	
FWHM (1 MeV, $v/c=50\%$ )	~ 6 keV !!!	
today	~40 keV	
<b>Rates:</b>	3 MHz ( $M_\gamma=1$ )	300 kHz ( $M_\gamma=30$ )
today	1 MHz	20 kHz



- 180 large volume 36-fold segmented Ge crystals in 60 triple-clusters
- Digital electronics and sophisticated Pulse Shape Analysis algorithms allow
- Operation of Ge detectors in position sensitive mode →  $\gamma$ -ray tracking





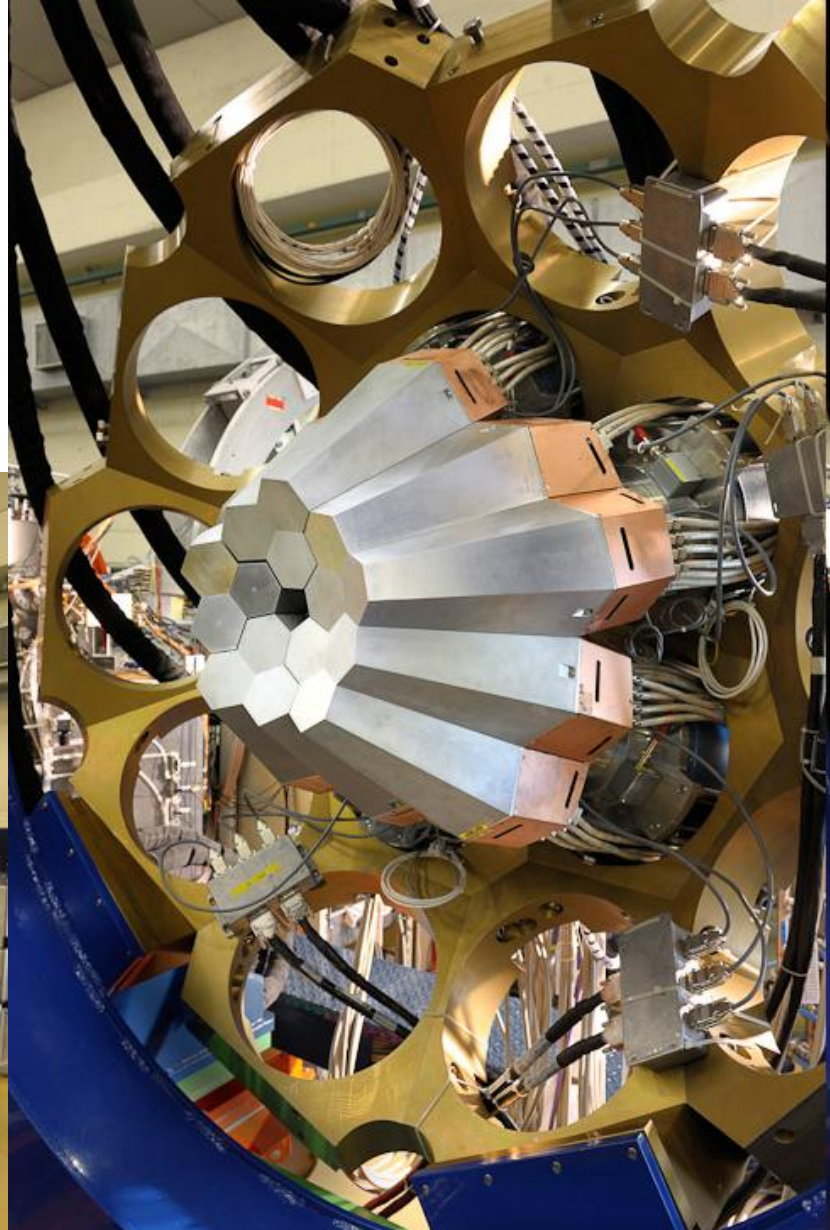
## мечтатели (2006)

18.7.2012 г.

Българска учителска програма,  
ЦЕРН, 17-21.9.2012 г.

73

# реалност: Legnaro 2010



18.7.2012 г.



**R**are **I**sotope **S**pectroscopic **I**Nvestigation at **G**SI



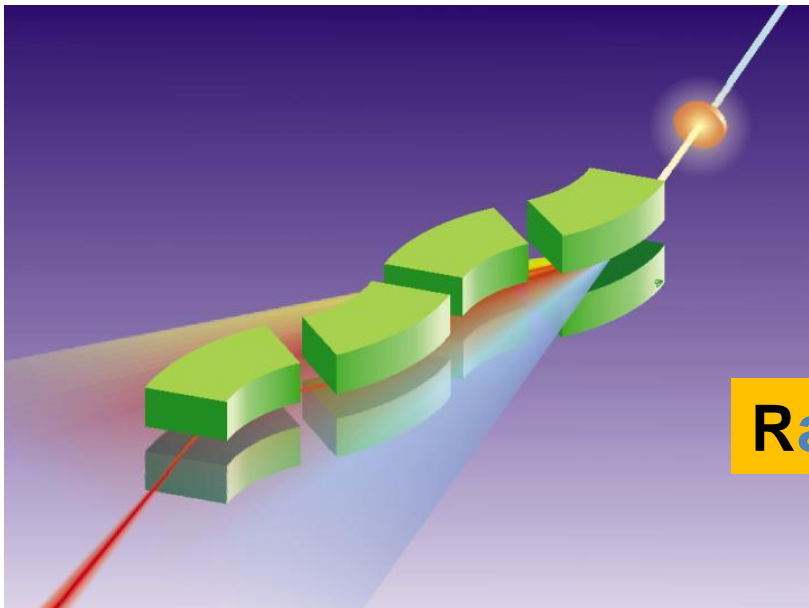
# Rare ISotope INvestigation at GSI

The Accelerators:

- **UNILAC** (injector) -  $E < 15$  A MeV
- **SIS 18Tm**  $^{238}\text{U}$  1 A GeV

Beam currents:

- $^{238}\text{U}$   **$10^9$  pps**
- medium mass nuclei  **$10^{10}$  pps**



## Fast beam campaign (2003-2005)

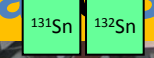


**Rare ISotope INvestigation at GSI**

- **FRS**: excellent in-flight A and Z selection  
energy resolution:  $\sim 1$  GeV



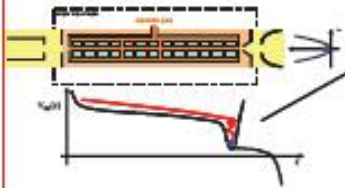
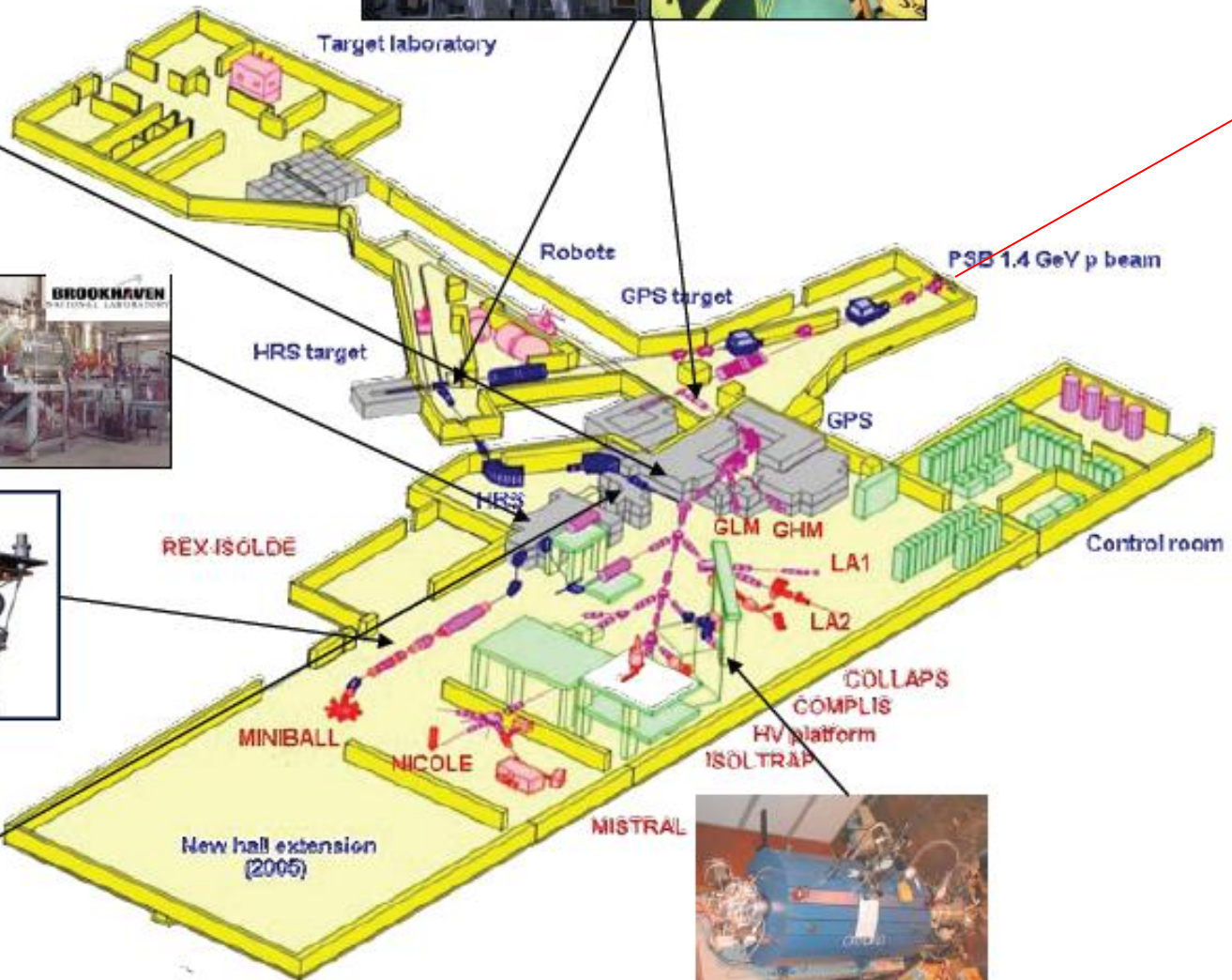
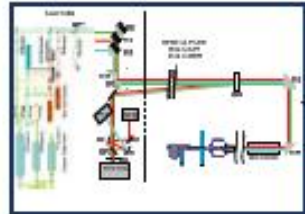
- **EUROBALL**: excellent  $\gamma$ -ray spectrometer  
intrinsic energy resolution:  $\sim 2$  keV



# Експериментът ИЗОЛДЕ В ЦЕРН



# HIE-ISOLDE



## Сриване на ядрената парадигма

from: NuPECC 2004 Long Range Plan

- *Nuclear radii don't go as  $A^{1/3}$ .*

For all stable isotopes the density in the atomic nucleus as well as the diffuseness of the surface are nearly constant. Explorations into the far-unstable regions of the nuclear chart have convincingly shown that the diffuseness, and thus the radii of the atomic nuclei, vary strongly.

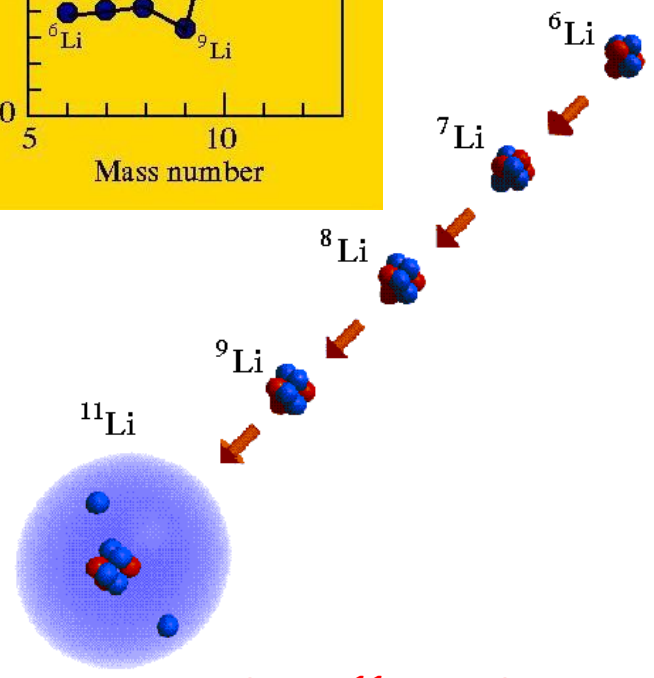
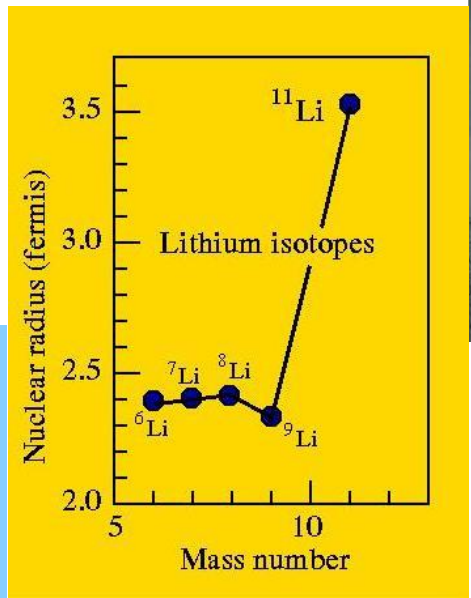
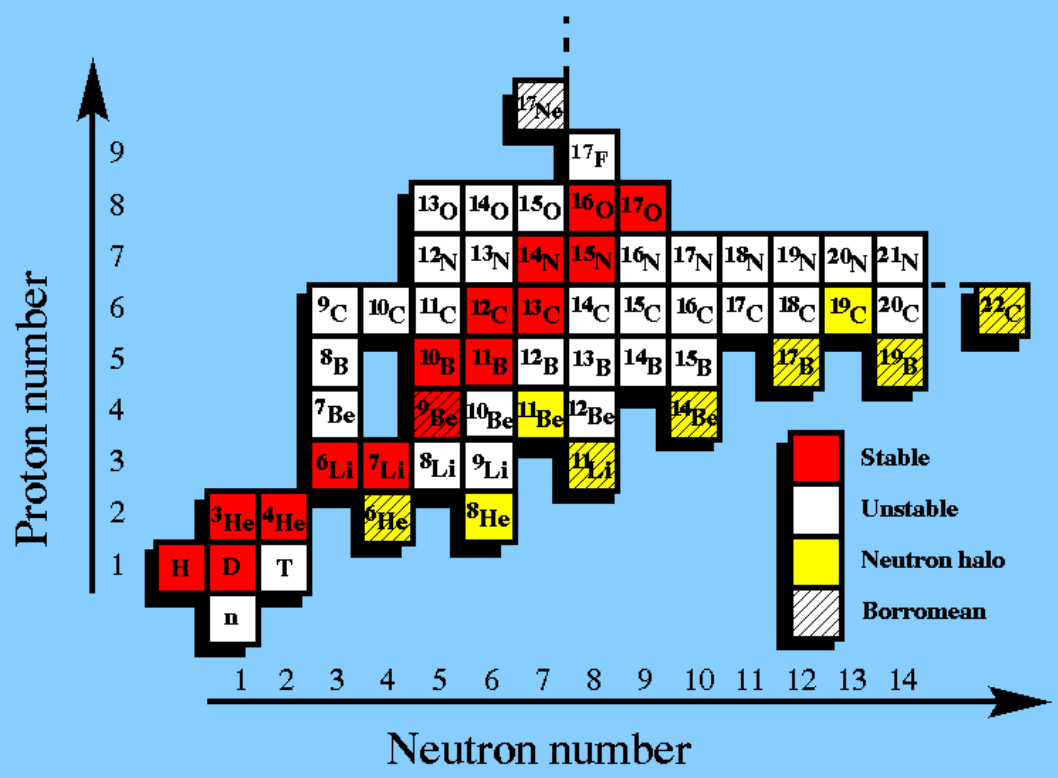
- *Magic Z and N numbers depend on N and Z, respectively.*

Shell gaps seem to shrink or disappear, and new ones appear when leaving the valley of stability. Also, experimental evidence for new deformed magic numbers is now available.

- *Many more bound nuclei exist than anticipated.*

The neutron drip line is much further out than anticipated twenty years ago. The importance of nucleon correlations and clustering that create more binding for the nuclear system has been underestimated.

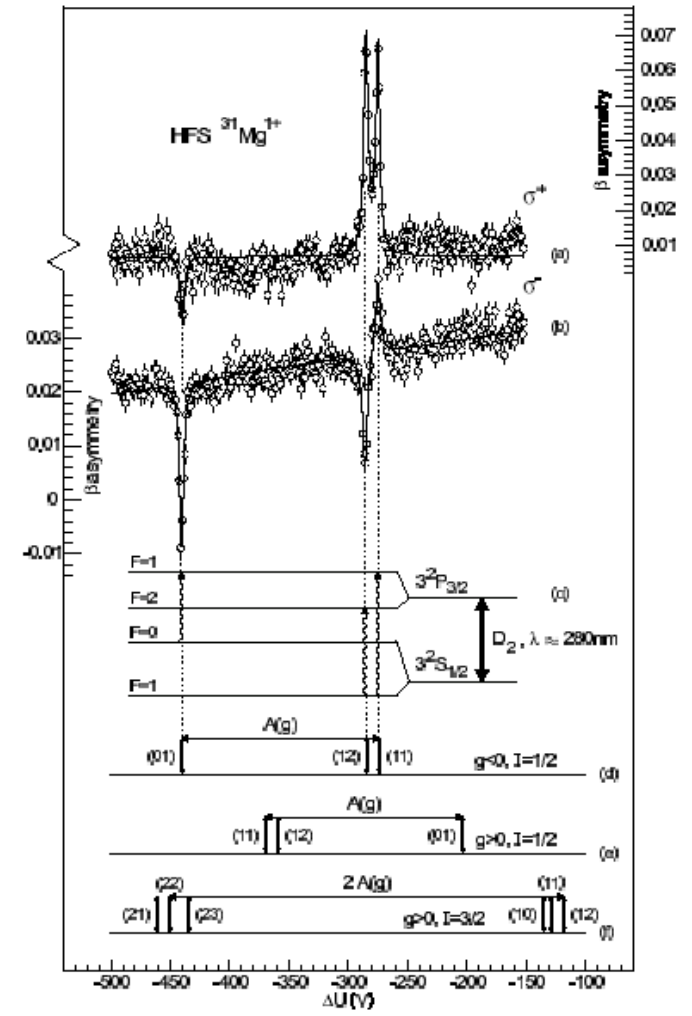
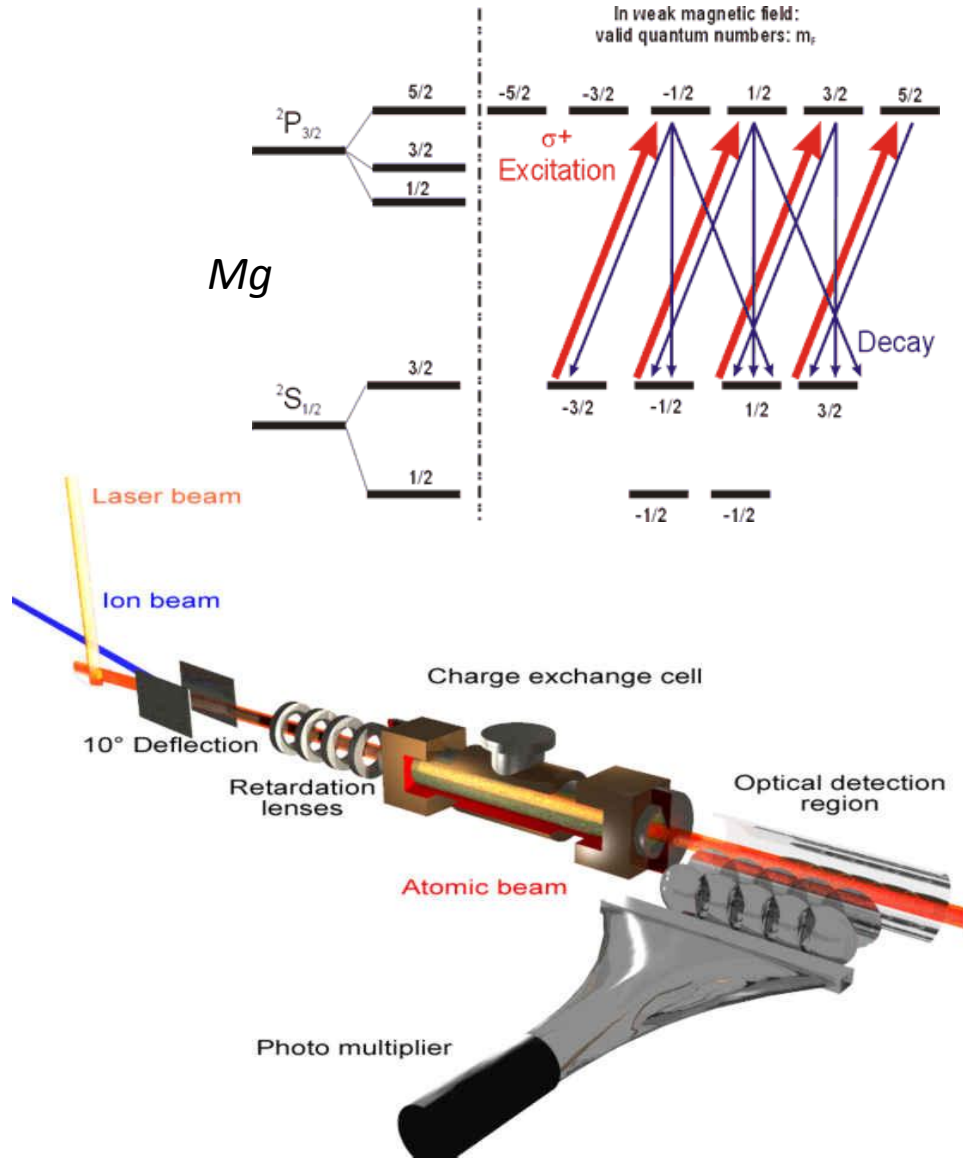
# The Li chain



**Why is <sup>11</sup>Li so big?**

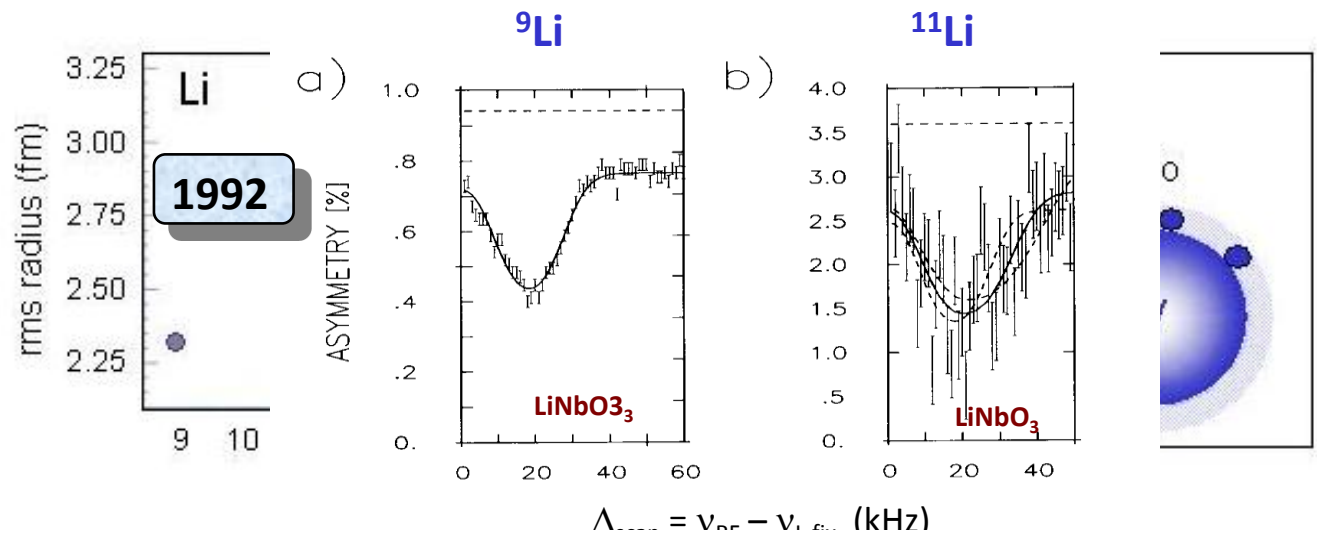


# Optical pumping

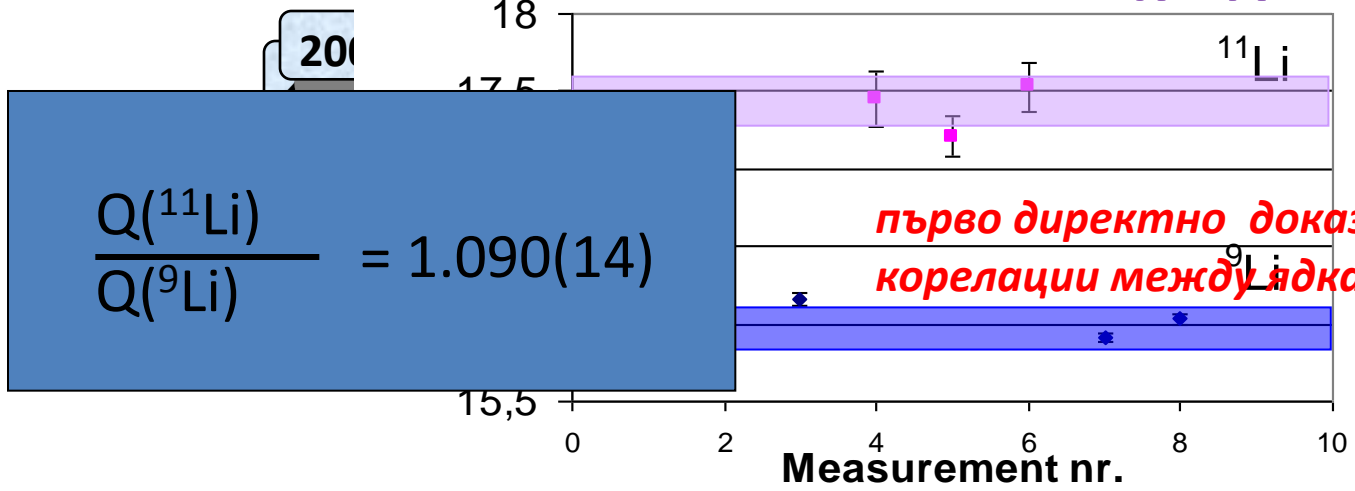


Дисертация на Деян Йорданов  
 G. Neyens et al, PRL (2005)

# The case of $^{11}\text{Li}$

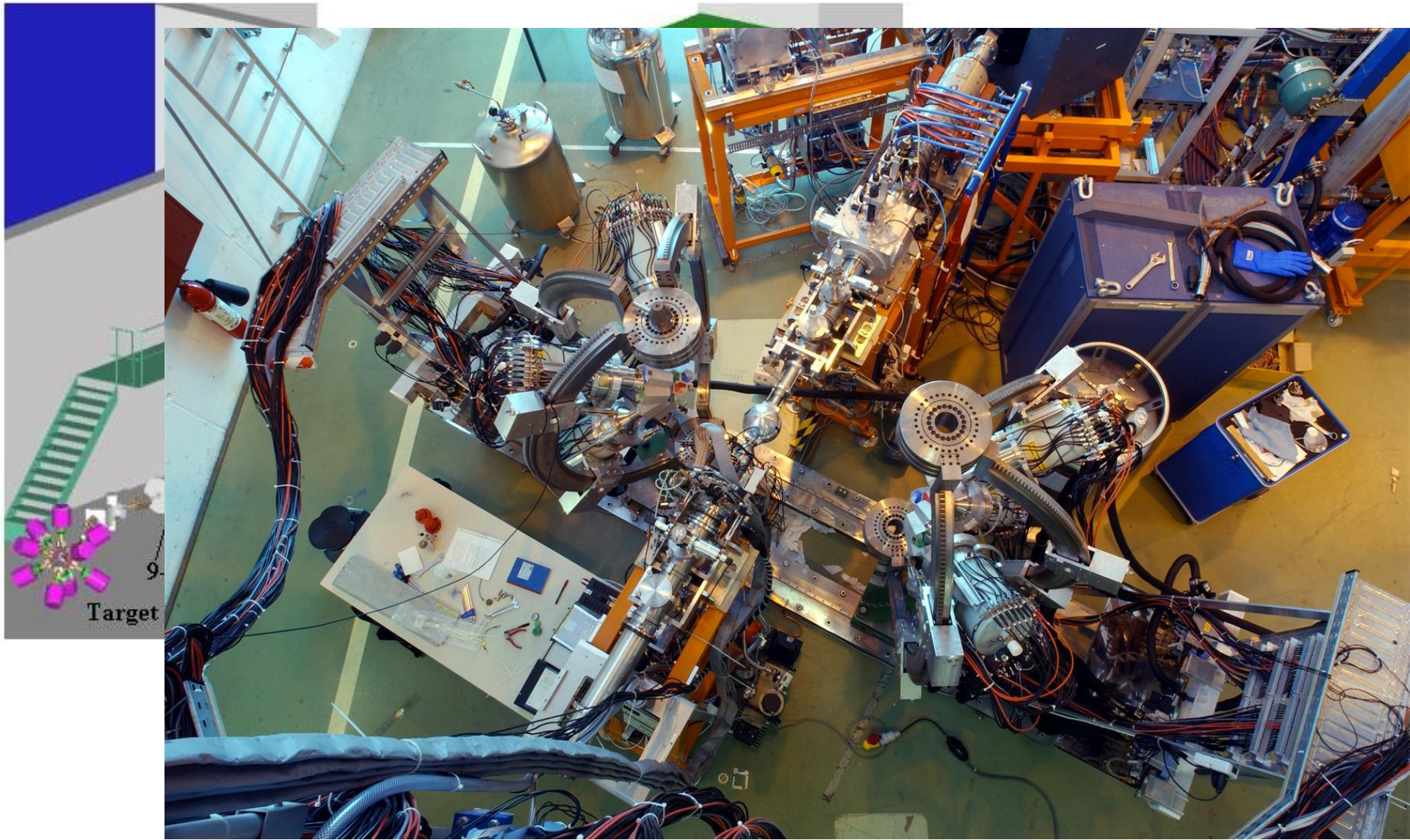


Quadrupole Splitting  $R \sim A^{1/3}$  ????

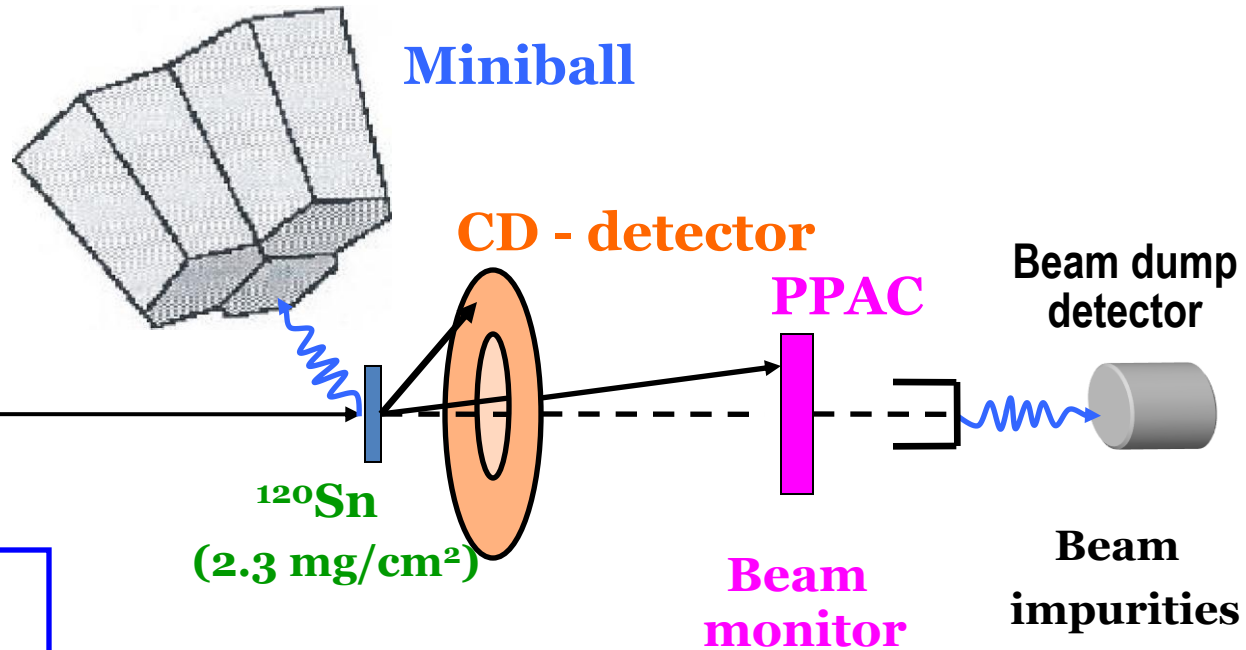
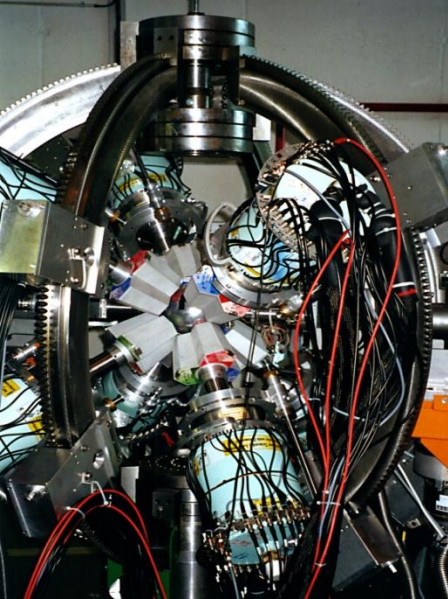


*първо директно доказателство за корелации между  $^{9}\text{Li}$  ядрка и хало*

# The state-of-the-art instrument



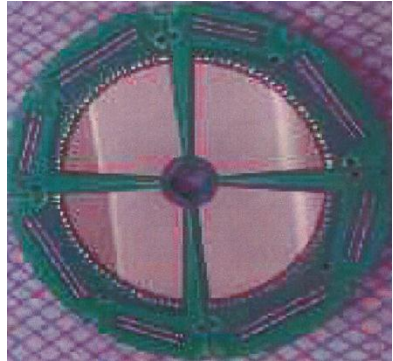
# Experimental setup for Coulex @ Isolde



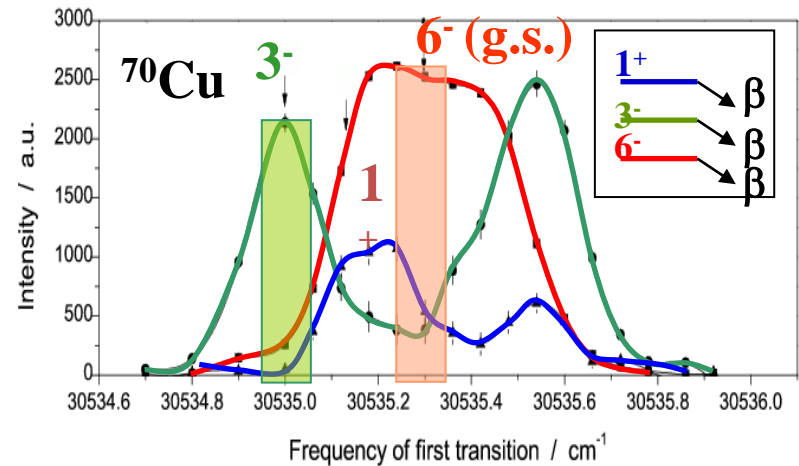
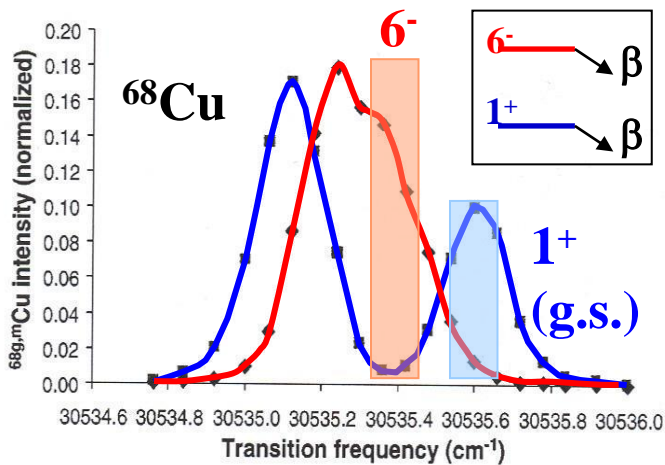
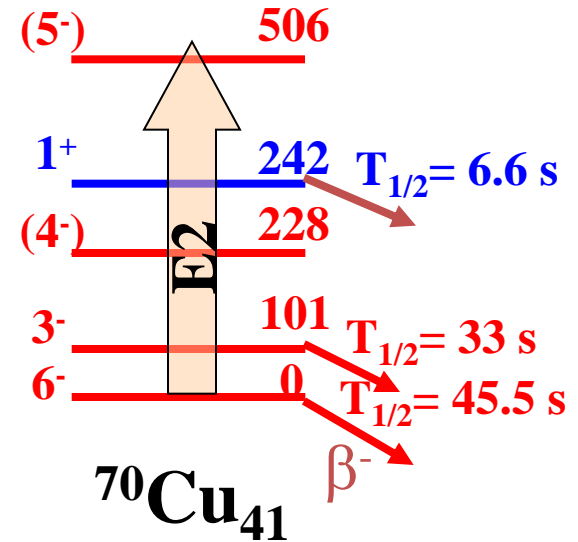
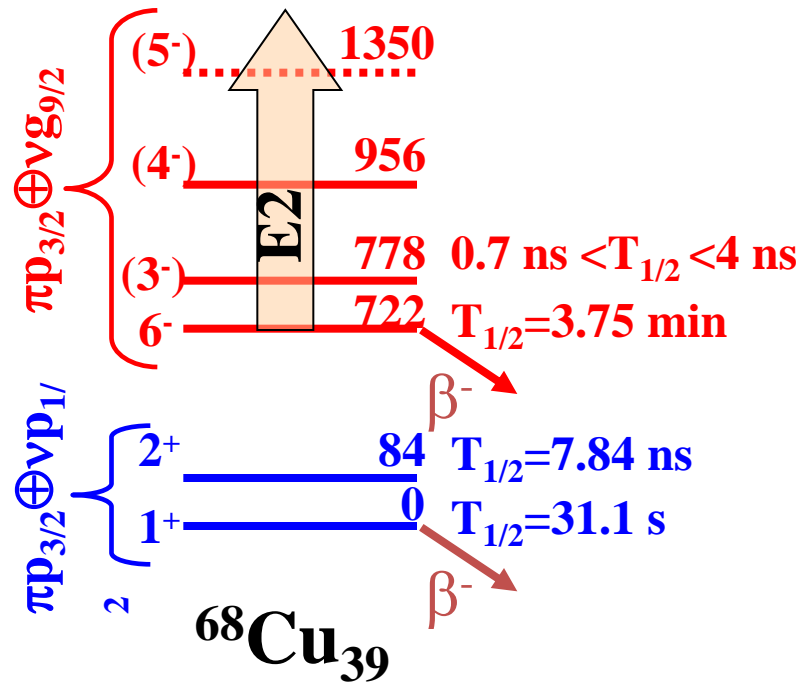
$Y_{\text{MB}}(^{68m}\text{Cu}) \sim 3 \cdot 10^5 \text{ pps}$

$Y_{\text{MB}}(^{70g}\text{Cu}) \sim 5 \cdot 10^4 \text{ pps}$

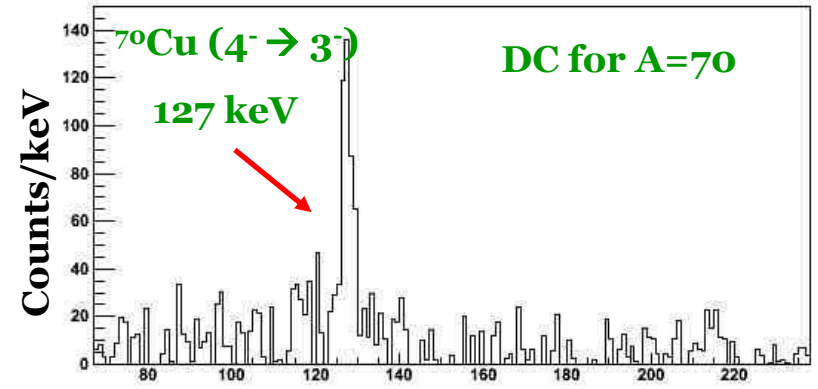
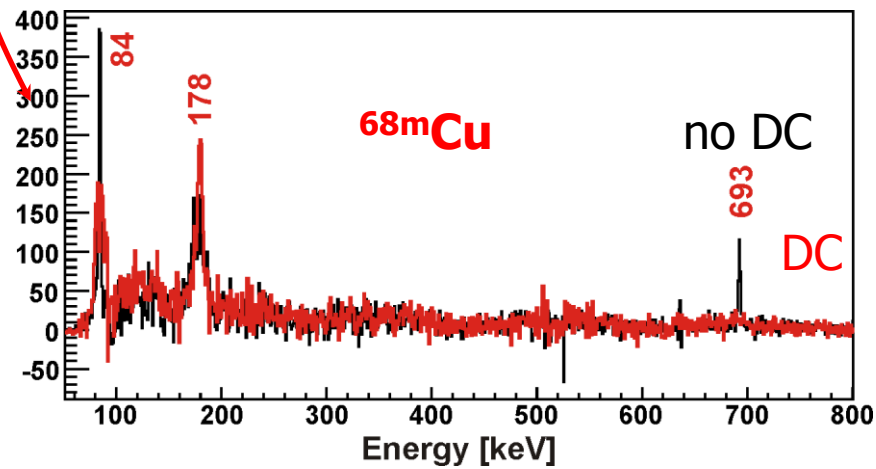
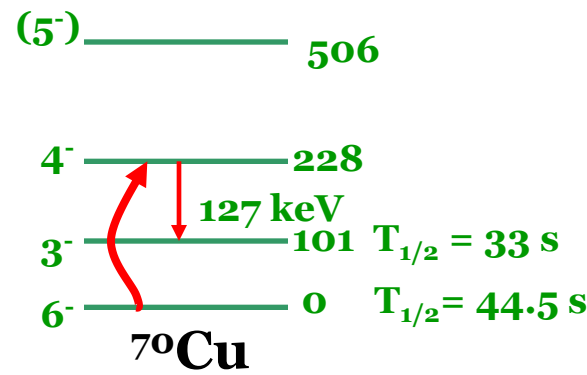
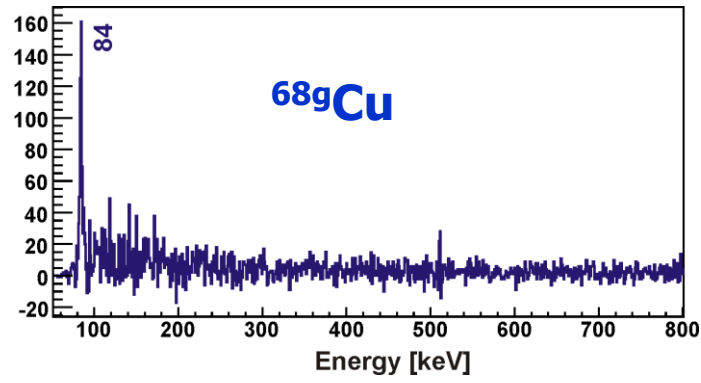
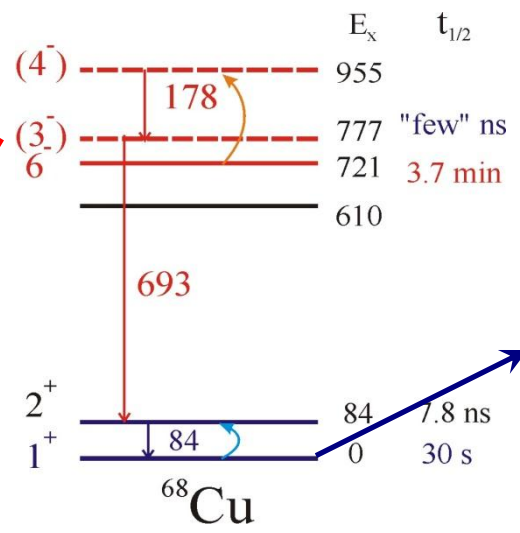
- particle identification: Double Sided Segmented Silicon Detector;
- detection range:  $16^\circ$ - $53^\circ$  in the laboratory system;
- 4 quadrants, each divided in 16 annular ( $\theta$ ) and 24 sector ( $\phi$ ) strips.



# “Non-standard” Coulomb excitation



# Study of selected structures in the same nucleus



I. Stefanescu et al., PRL 98, 122701(2007).

# Polarized beams at HIE-ISOLDE – from dreams to reality.

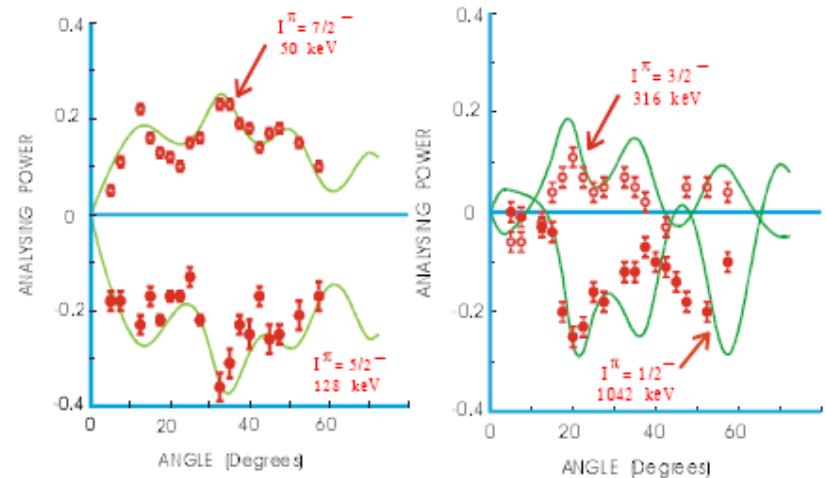
G. Georgiev<sup>1</sup>, M. Hass<sup>2</sup>, A. Herlert<sup>3</sup>, D.L. Balabanski<sup>4</sup>, L. Hemmingsen<sup>5</sup>, K. Johnston<sup>3</sup>, M. Lindroos<sup>3</sup>, K. Riisager<sup>6</sup>, J. Van de Walle<sup>3</sup>, D. Voulot<sup>3</sup>, F. Wenander<sup>3</sup>, W.-D. Zeitz<sup>7</sup>

1. CSNSM, Orsay, **France**; 2. The Weizmann Institute, Rehovot, **Israel**; 3. ISOLDE, CERN, Geneva, **Switzerland**;  
4. INRNE, BAS, Sofia, **Bulgaria**; 5. IGM, LIFE, University of Copenhagen, **Denmark**; 6. Department of Physics and Astronomy, University of Aarhus, **Denmark**; 7. Helmholtz-Zentrum Berlin für Materialien und Energie GmbH, **Germany**

## Polarized beams – WHY?

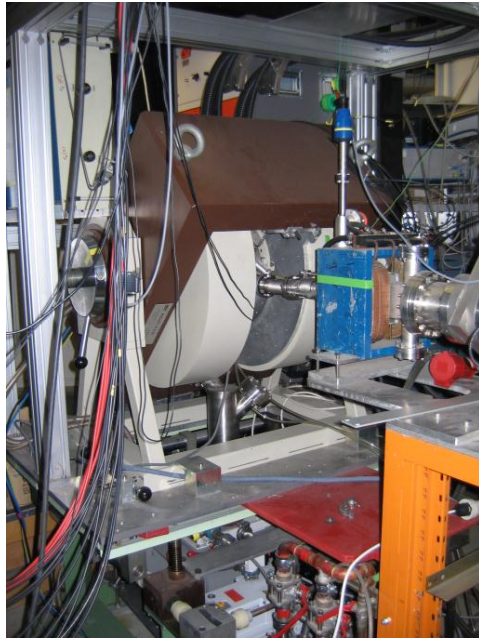
Precise test of the nuclear models for exotic nuclei:

- transfer reactions (analyzing power)  $\rightarrow j = \ell \pm \frac{1}{2}$
- **Coulomb excitation** – spin/parity; multiplicity assignments etc.
- **nuclear moments** – proton/neutron character, angular momentum  $j$



$$A_y = \frac{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\uparrow} - \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\downarrow}}{\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\uparrow} p_{\downarrow} + \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{\downarrow} p_{\uparrow}}$$

# What do we need to achieve it?



$\beta$ -NMR setup from HMI Berlin transferred to ISOLDE

- gain of complete control on the TF polarization
- **nuclear structure** (moments, reactions ...),  
nuclear methods in the **solid-state physics**,  
**biophysics** etc. ...

## REX-ISOLDE - unique opportunity



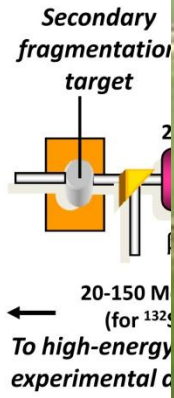
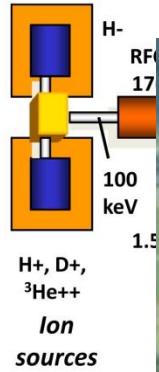
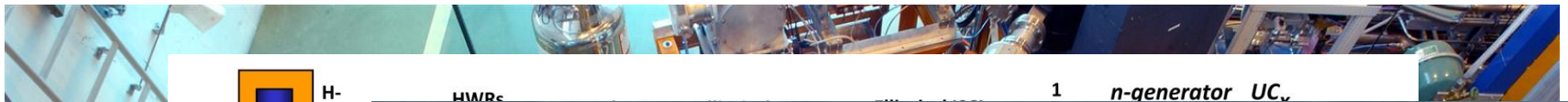
3 MeV/u and 0.3 MeV/u





## The HIE-ISOLDE linear accelerator

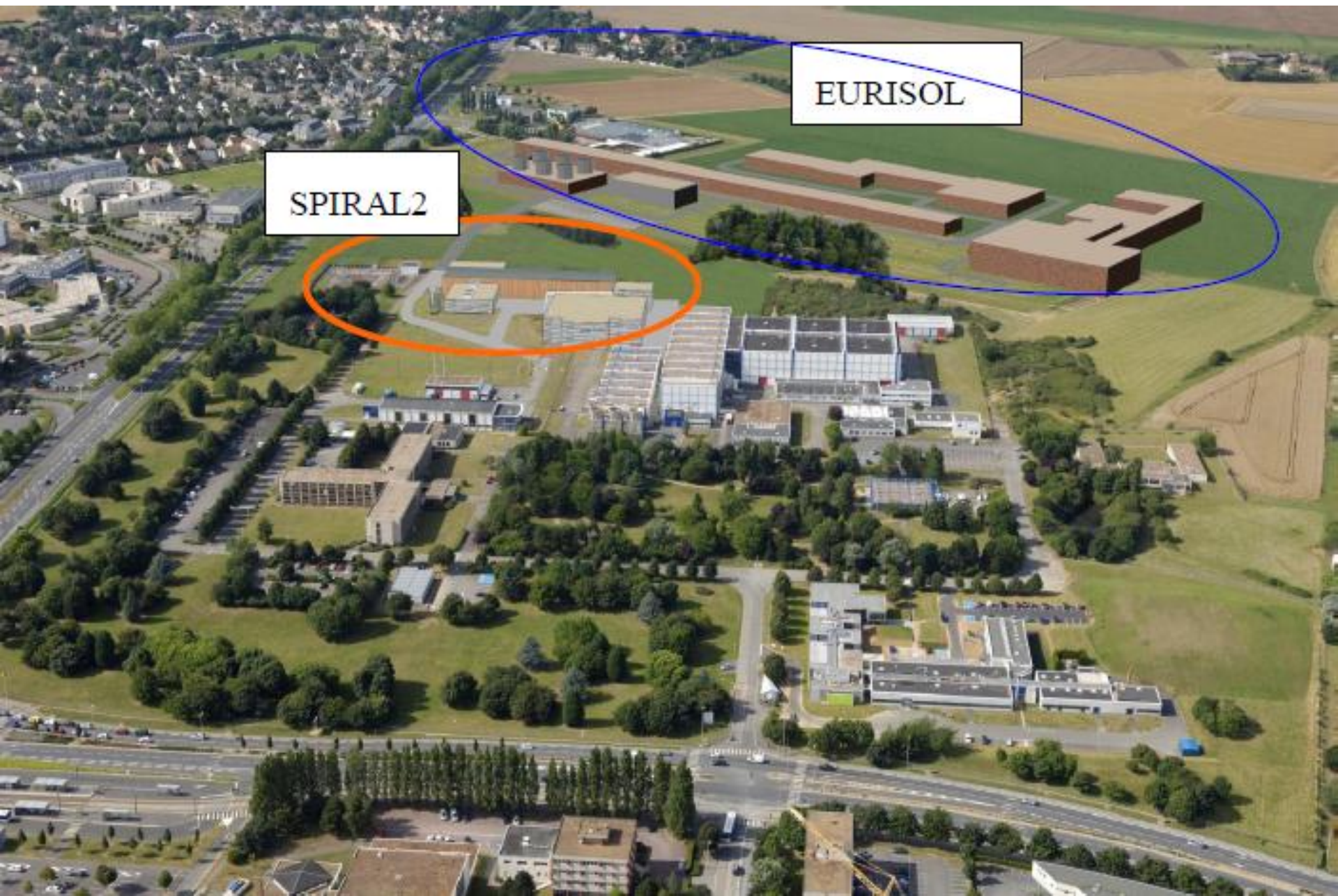
***The HIE (High Intensity and Energy)-ISOLDE project embraces new developments in radioisotopes selections, improvements in charge breeding and target-ion source development, as well as construction of the new injector for the PS Booster, LINAC4. For extending the physical reach of the facility, the most significant component is the SC linear accelerator with a minimum energy of 10 MeV/u (HIE-LINAC) which will replace most of the existing REX structure. It will be based on independently phased Quarter Wave Resonators (QWRs).***



HWRs 1 n-generator UC...

# EURISOL: The Main Challenges

- Design a 5MW; 1GeV proton driver with additional capability of 200 AMeV deuterons and  $A/Q=2$  Heavy Ions; build and test prototypes of the cavities.
- Design a liquid Hg converter which will accept 5 MW of beam power.
- Design a UCx target which will make the most efficient use of the neutrons produced.
- Evaluate the safety constraints of the above set up.
- Design an efficient multi-user beam distribution system.
- Design a superconducting HI LINAC capable of accelerating  $^{132}\text{Sn}$  up to 150 AMeV
- Investigate technologies for the instrumentation of the future
- Provide a conceptual study for a beta-beam neutrino facility.

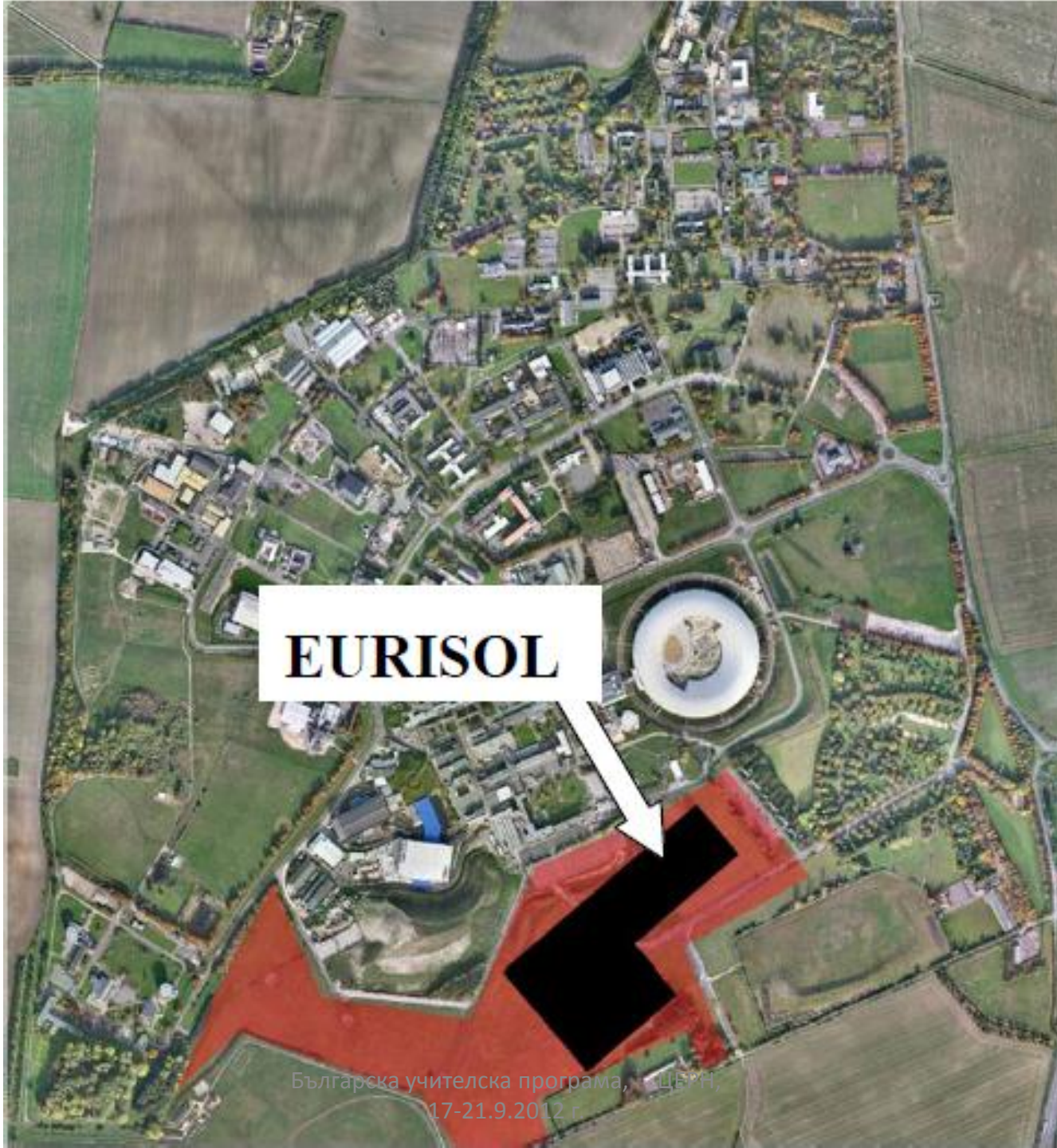


EURISOL

SPIRAL2

EURISOL





18.7.2012 г.

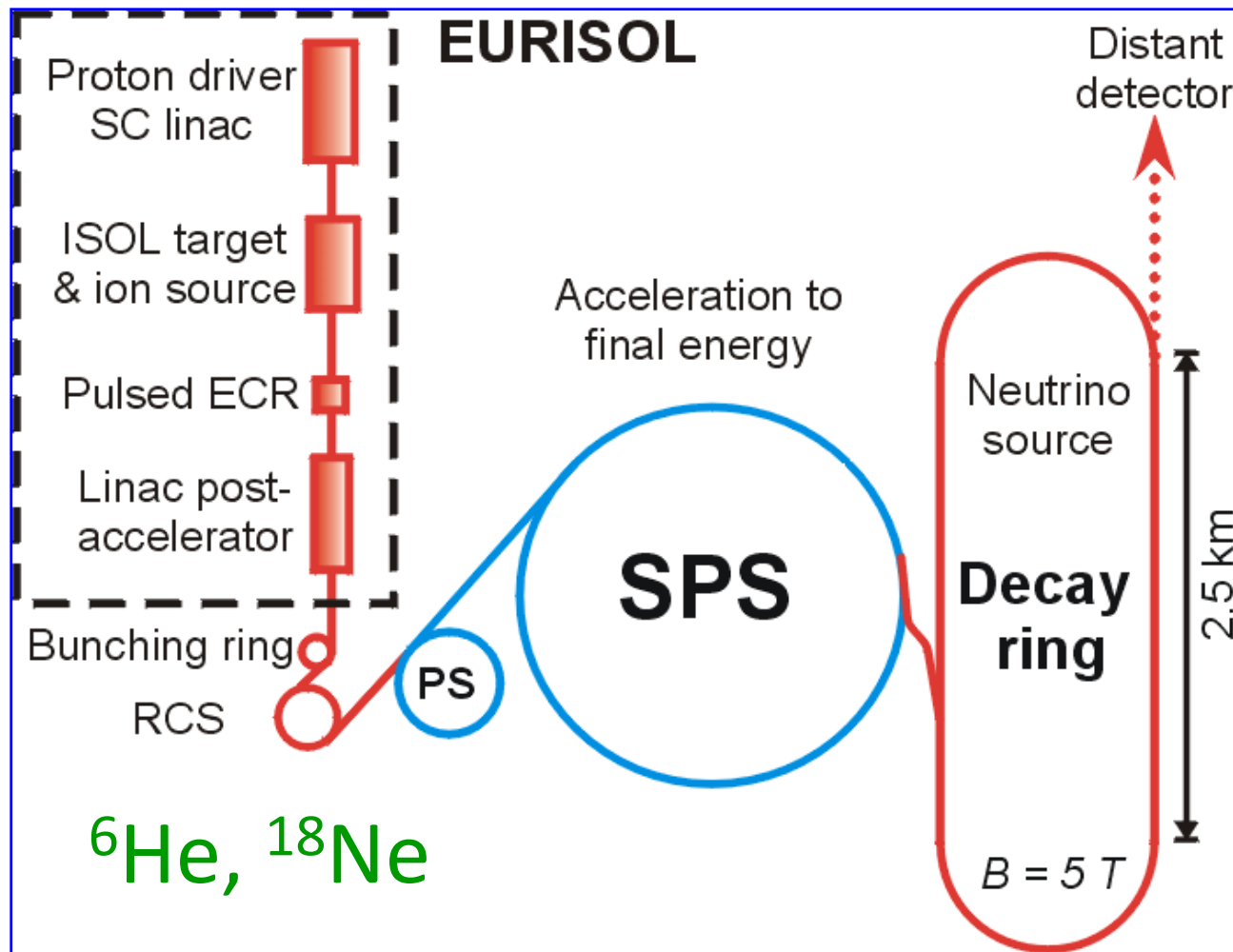
Българска учителска програма, ЦБН,  
17-21.9.2012 г.



**EURISOL**

# Beta-Beams

a collaboration between Nuclear and Particle communities





## МОИТЕ УЧЕНИЦИ, С КОИТО СЕ ГОРДЕЯ !

д-р Георги Райновски  
д-р Мирослав Данчев  
д-р Георги Георгиев  
д-р Калин Гладнишки  
д-р Елена Георгиева  
д-р Елена Стефанова  
д-р Андрей Блажев  
д-р Генчо Русев  
д-р Радомира Лозева  
д-р Милена Минева  
д-р Мартин Джонголов  
д-р Деян Йорданов  
    Лилия Атанасова  
    Галина Деянова  
    Павел Детистов  
    Динко Атанасов  
    Ангел Ангелов

доцент, СУ “Св. Климент Охридски”  
доцент, СУ “Св. Климент Охридски”  
ст. изследовател, СНРС, Орсе (Париж)  
гл. асистент, СУ “Св. Климент Охридски”  
ст. изследовател, НУЦ, Кейп Таун  
гл. асистент, ИЯИЯЕ – БАН  
лектор, Унив. Кьолн  
изследовател, Лаборатория Ливърмор  
изследовател, СНРС, Страсбург  
гл. асистент, ИФТТ – БАН  
физик, НИС, СУ “Св. Климент Охридски”  
изследовател, ЦЕРН  
физик, ИЯИЯЕ – БАН  
физик, СУ “Св. Климент Охридски”  
физик, ИЯИЯЕ – БАН  
докторант, Унив. Хайделберг  
студент, ЮЗУ “Неофит Рилски”

Ботевград  
Плевен  
Русе  
Враца  
Казанлък  
Петрич  
Ловеч  
В. Търново  
Хасково  
Ст. Загора  
София  
В. Търново  
Ст. Загора  
Пазарджик  
София  
Ямбол  
Благоевград

**ПРЕДИ ДА СТАНАТ МОИ УЧЕНИЦИ, ВСИЧКИ ТЕ СА БИЛИ ВАШИ УЧЕНИЦИ,  
ЗА КОЕТО ДЪЛБОКО ВИ БЛАГОДАРЯ**

*The end!*

*надявам се, че не ви отегчих!*