Nuclear Physics

Sakura-i Hiro-yoshi
櫻　　井　博　儀

Fundamental interactions

Elementary particles

Composite particles

Nuclear Physics is not Particle Physics,
not Condensed Matter Physics

Interaction?
Effective interaction ?
Correlations ?
Isospin, Density, temperature dependences ?
Surface boundary, non-linear, finite system
Collective motions

Q. 1 Life time of neutron？

Q. 2 Age of universe is 13.7B Years after BigBang.
At present, there are neutrons in materials. Why?

Q. 3 Spin-parity for ground state of deuteron？

Q. 4 Limits of existence of nuclei？

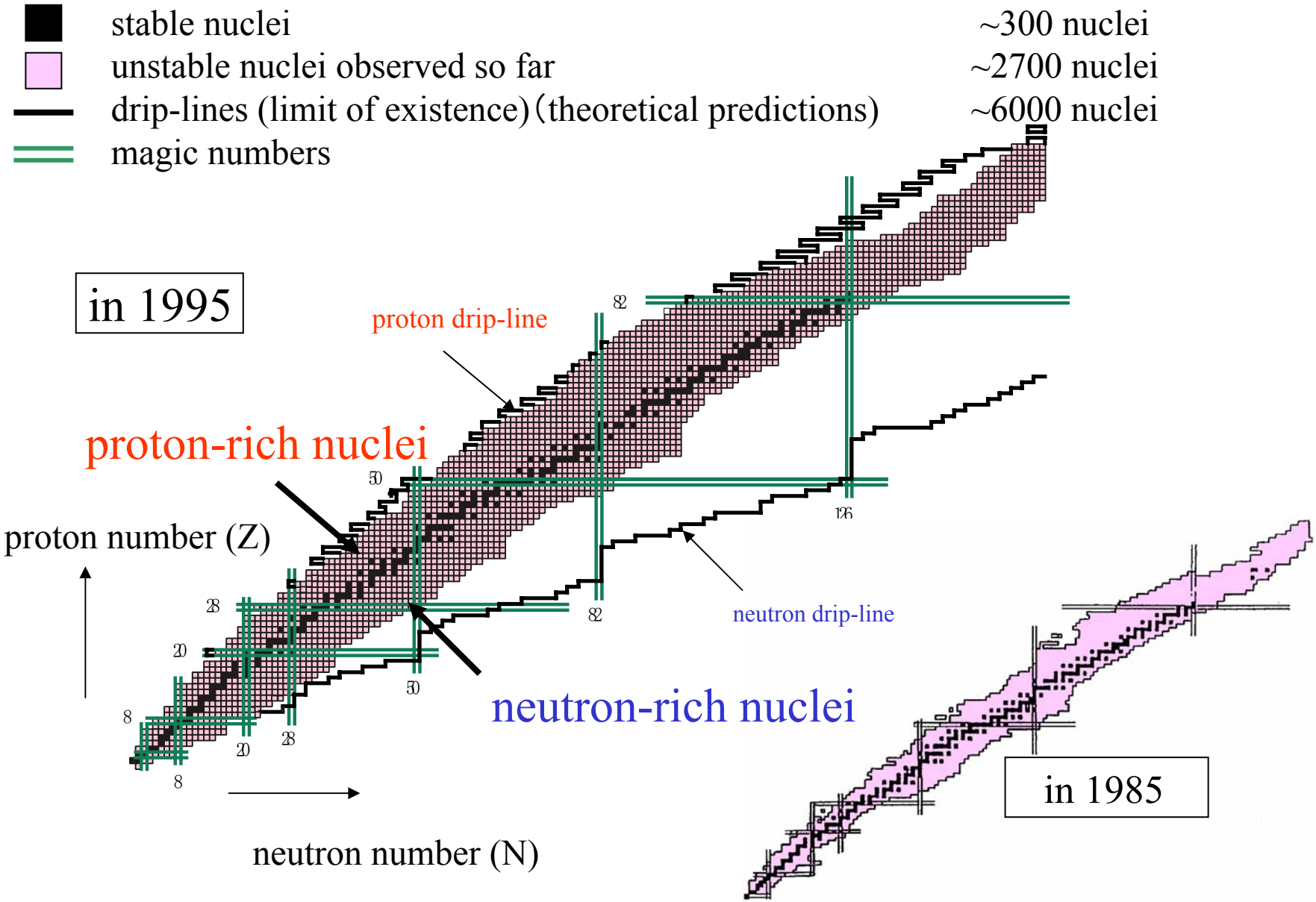
Q. 5 Magic numbers of nuclei？

Q. 6 Size of nuclei？

Q. 7 Collective motions of nuclei？

Q. 8 How and where elements around us have been created ？

Exploration of the Limit of Existence

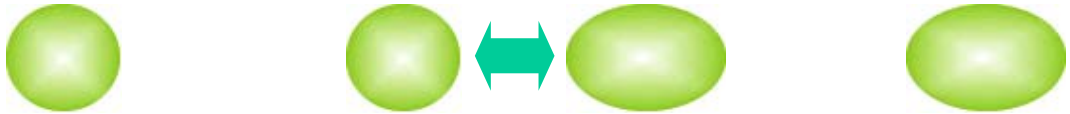


Nuclear Collective Motion

closed shell ⟷ open shell

at magic number

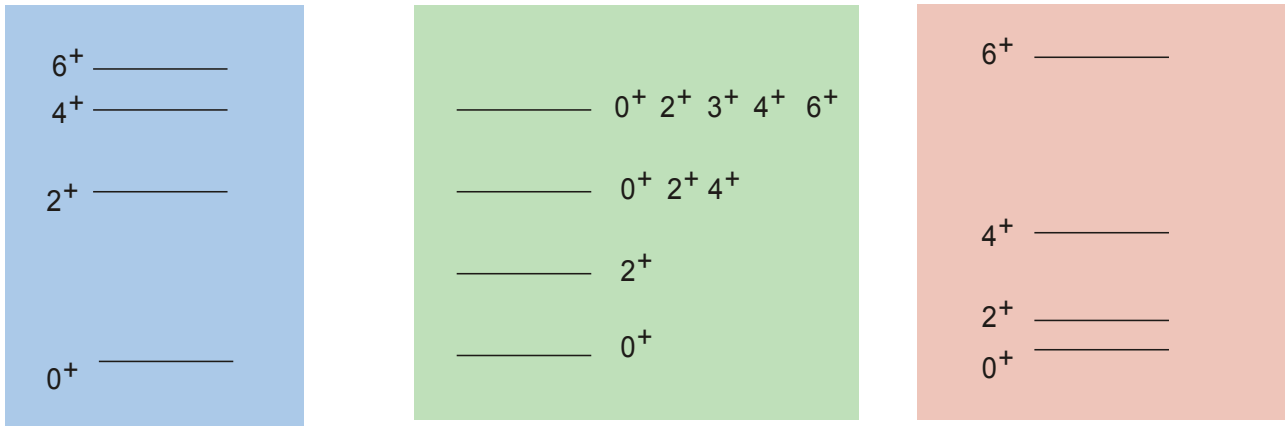
spherical nuclei | surface vibration | deformed nuclei



Quadrupole deformation parameter β

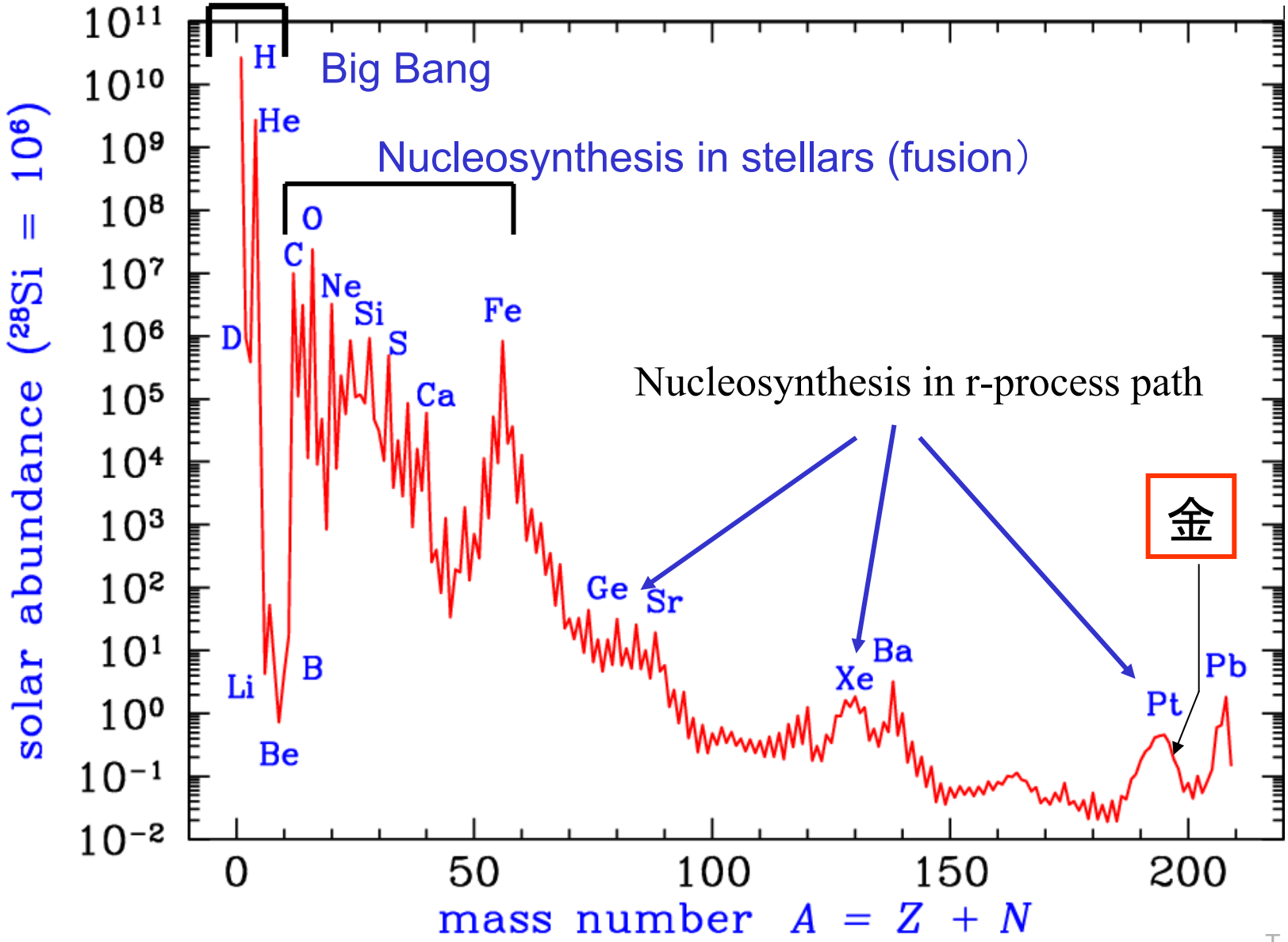
degree of collectivity

|β|~0 ← | → |β| large



$E(4^+)/E(2^+)$ ~ 1.8 ~ 2.2 ~ 3.3

Solar Abundance of Elements



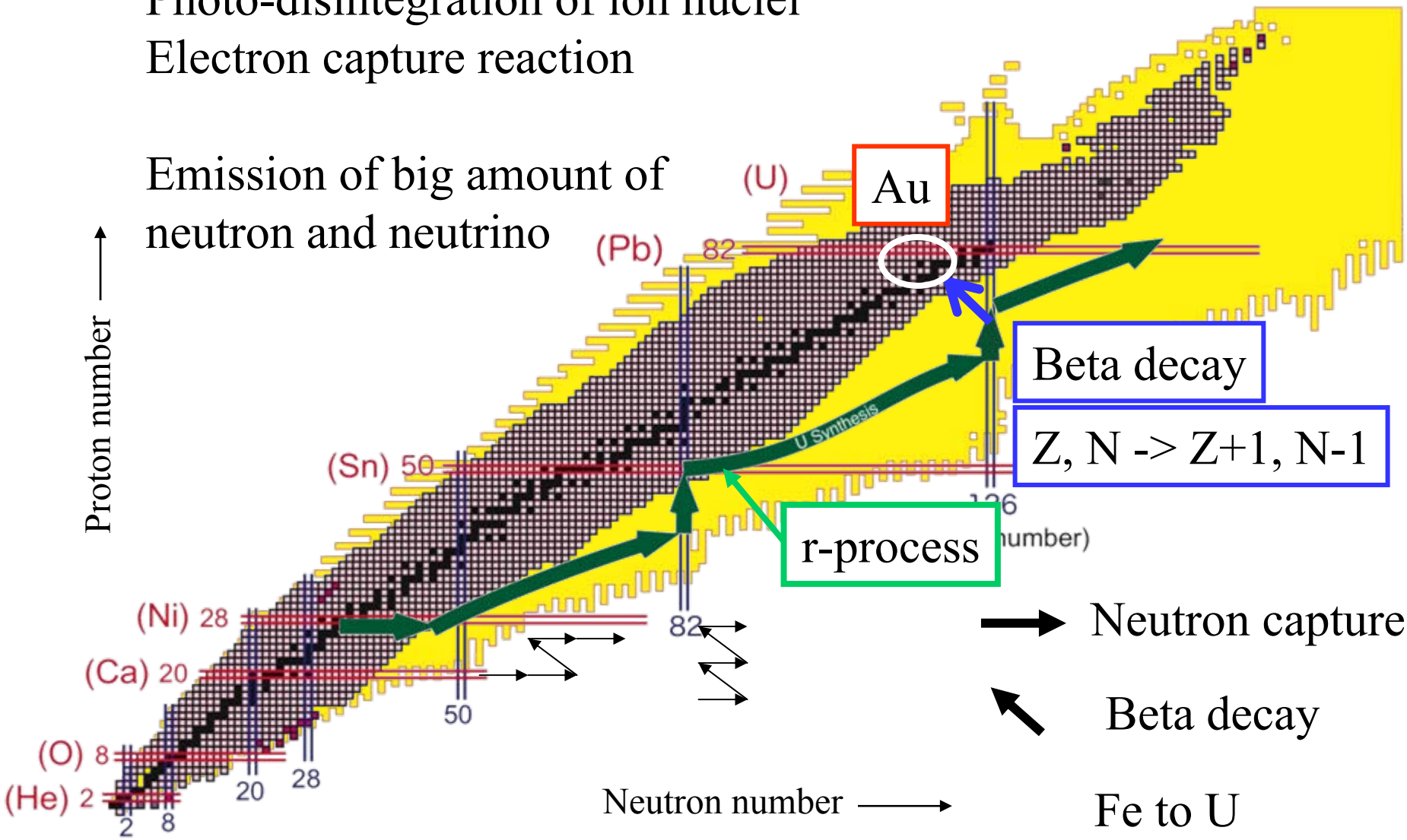
T.Motobayashi

Gold･･･

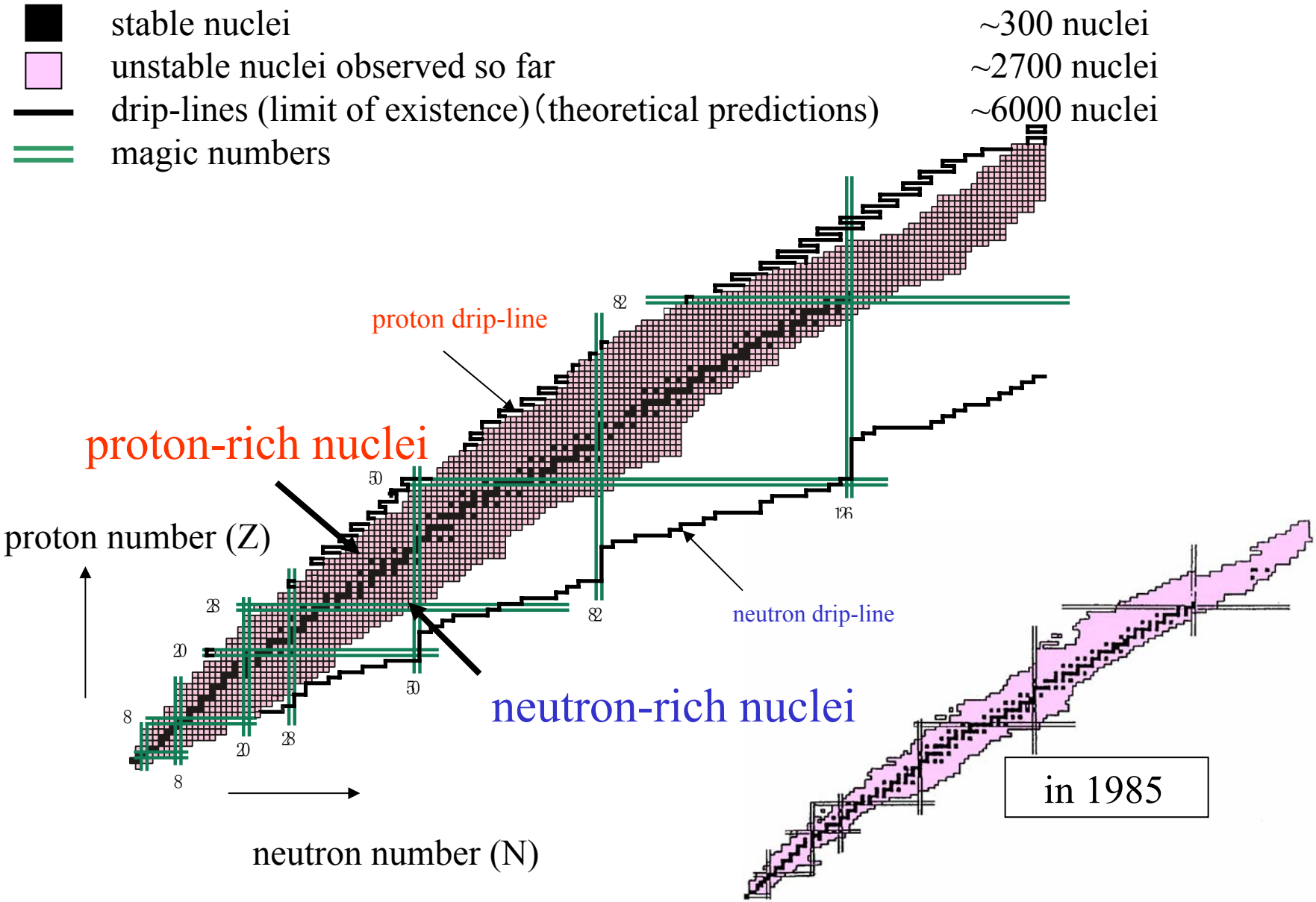
r-process path in supernova explosion

Photo-disintegration of ion nuclei
Electron capture reaction

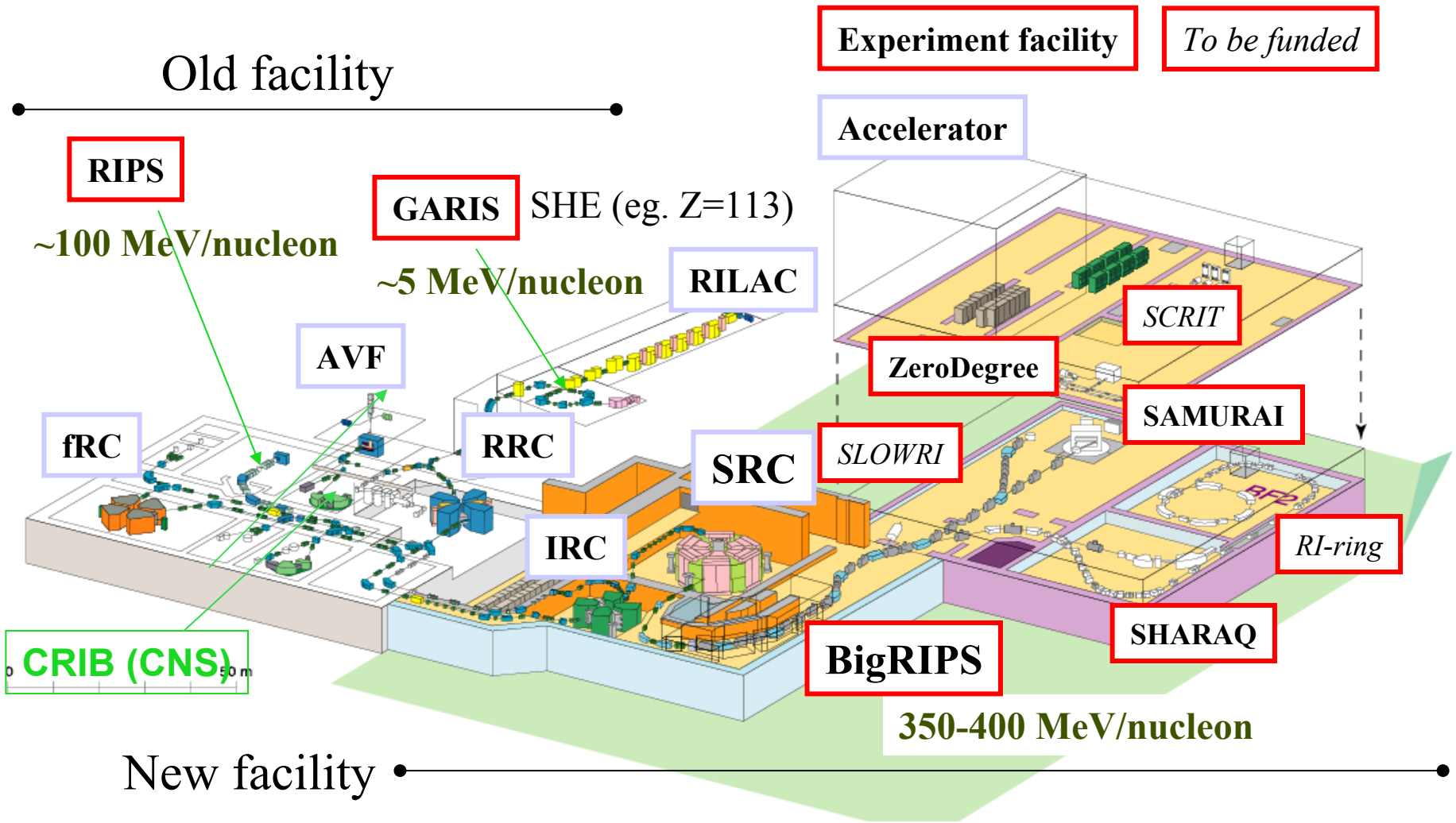
Emission of big amount of neutron and neutrino



Exploration of the Limit of Existence



RIKEN RI Beam Factory (RIBF)



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

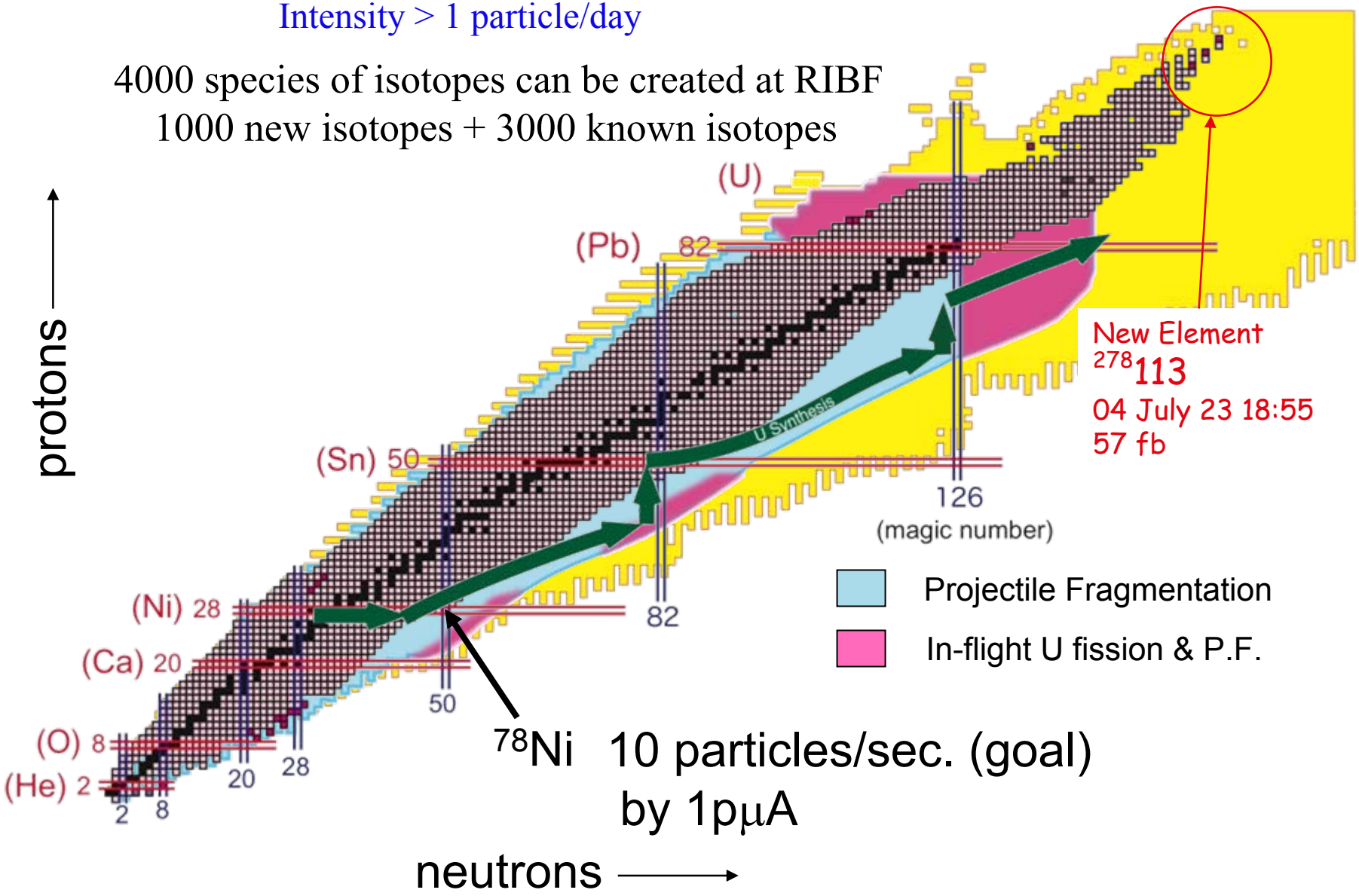
Exploration of the Limit of Existence

Great expansion of nuclear world by RIBF

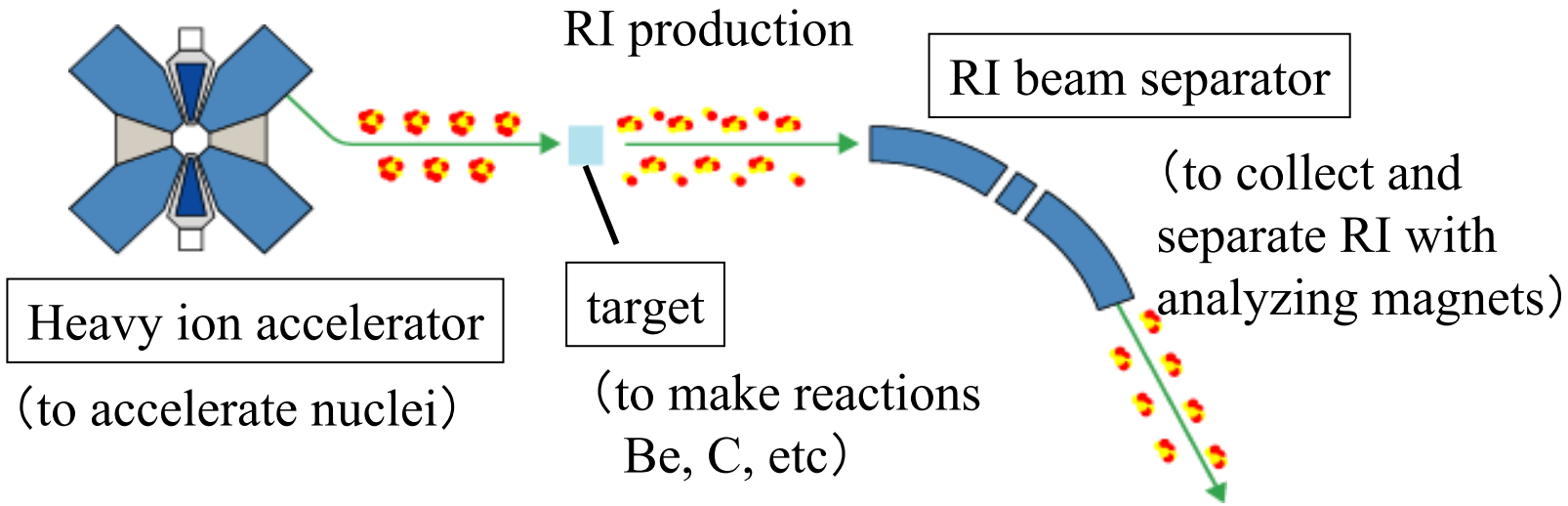
Intensity > 1 particle/day

4000 species of isotopes can be created at RIBF

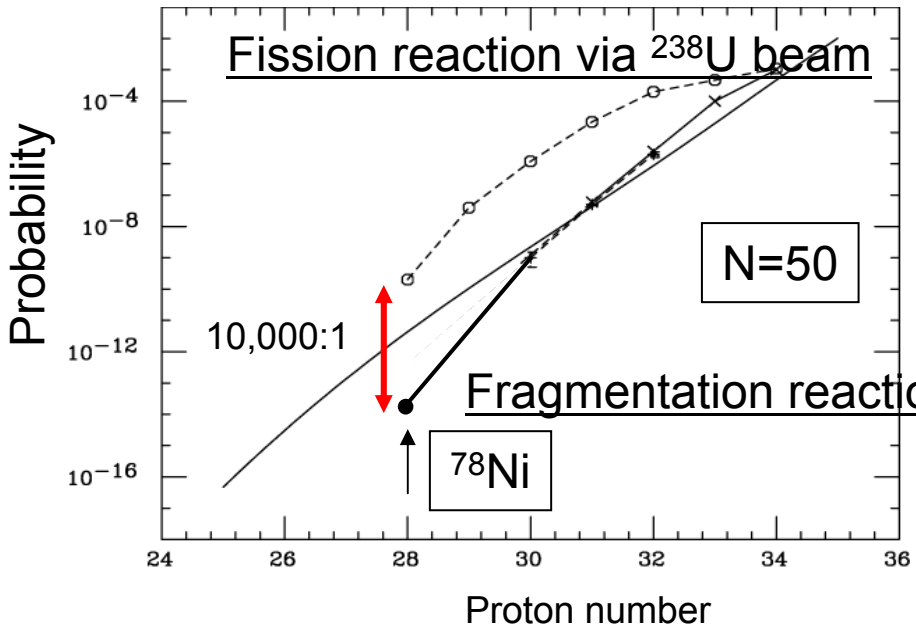
1000 new isotopes + 3000 known isotopes



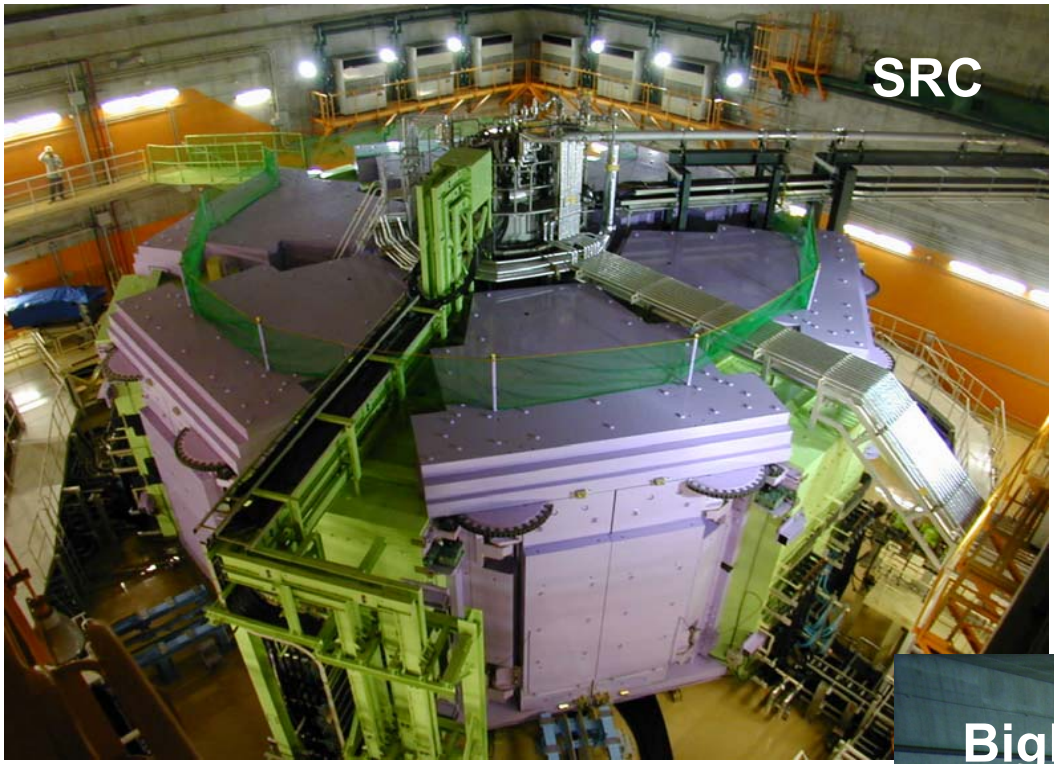
RI beam production via in-flight method



Advantage of fission via U beam



Yield rate of ^{78}Ni via fission is about 1、000 times higher than via fragmentation.



World's First and Strongest
K2600MeV
Superconducting Ring Cyclotron

400 MeV/u Light-ion beam
345 MeV/u Uranium beam

World's Largest Acceptance
9 Tm
Superconducting RI beam Separator

~250-300 MeV/nucleon RIB

Press-Conference on June 8th, 2010

June 8, 2010
RIKEN

Scientists discover 45 new radioisotopes in 4 days

毎日新聞　2010年（平成22年）6月22日（火）　23

放射性同位元素 効率的発見
4日で新たに45種
理研

理化学研究所はこのほど、埼玉県和光市の仁科加速器研究センターにある加速器「RIビームファクトリー」を使い、45種類の新たな放射性同位元素を、わずか4日間で発見したと発表した。世界の年間発見総数（平均約40種類）を大幅に上回る効率で「世界的に傑出した実験装置を使い、学問と産業応用の両面で世界をリードしたい」という。成果は日本物理学会欧文誌7月号に掲載される。

放射性同位元素は、ある元素の原子核にある中性子の数が、通常より多すぎたり少なかったりする状態のもの。これらは不安定なため、次第に放射線を出して崩壊し、他の物質に変わる。この性質を利用して、がんの放射線治療や、長い年月を経た物質の年代測定などに広く応用されている。理論上は、全元素で合計約1万種類の放射性同位体があると考えられているが、現在のところは約3000種類しか見つかっていない。

同センターは06年末に完成した同装置を改良し、光の速さ（秒速30万㌔）の70％まで加速したウラン原子を1秒間に20億個ずつ、標的物質の鉛とベリリウムにぶつけ、崩壊させてできた物質を調べた。この方法で、新たな放射性同位元素を集中的に見つけることに成功した。

「各物質の性質を詳しく調べれば、宇宙誕生の理論に変更を迫る成果も期待できる」（久保敏幸・同センター室長）という。今後改良を重ね、数年間で約1000種類の発見を目指す。【山田大輔】

東京新聞　2010年（平成22年）6月9日（水曜日）　3

加速器施設 世界最高の性能
同位元素45種 一度に発見

理化学研究所

理化学研究所は八日、加速器施設「RIビームファクトリー」を使って四十五種の放射性同位元素（RI）を新たに見つけたと発表した。これほど多くの種類が一度の実験で発見されるのは初めて。物質の成り立ちを解明する手掛かりになると期待される。成果は来週にも日本物理学会誌の電子版に発表する。

ウランの原子を光速の70％まで加速して金属板にぶつけると、ウランの原子核が砕けて何種ものRIが飛び出す。同施設の研究グループでは、これらを磁石の"ふるい"にかけて一種ずつ効率よく選別して捕らえることに成功した。

約四日間の実験でマンガンやバリウムなどのRIを計四十五種確認した。世界で発見されるRIは年間四十種ほど。これを超す数を数日で見つけて世界最高の性能を示した。

宇宙の歴史の中で、鉄より重い元素がどのように作られたかは、はっきり分かっていない。RIがその謎を解く鍵と考えられ、欧米でも研究が始まっている。

RIは一万種近くあると予想され、これまで確認されたのは約二千六百種。グループでは「施設の性能がフルに発揮できれば、あと一千種は見つけられる」と話す。

日刊工業新聞　2010年（平成22年）6月9日　水曜日　21

中性子多い放射性同位元素
新たに45種類発見
理研など

理化学研究所や米ミシガン州立大学などの国際研究チームは理研の加速器施設「RIビームファクトリー（RIBF）」で、放射性同位元素（RI）のうち、原子核の中にある中性子が余分にあるものを新たに45種類発見した。世界で年間およそ40種類の新しいRIが見つかっているが、今回わずか4日間の実験で、それ以上の元素を発見。新しい原子核モデルの解明などにつながる。成果は日本物理学会の英文学術誌JPSJに掲載される。

RIの発見には「超電導リングサイクロトロン」という加速器を使用した。「ウラン238」という元素を光の速さの70％まで加速。鉛などに衝突させると核分裂を起こす。核分裂後、生成したRIを集めて分析し、中性子が多いRIを発見した。ウラン元素の集まったビームの強度は、2007年当時と比べ50倍に向上した。

IOP physicsworld.com
"Radioisotopes galore at RIKEN"
http://physicsworld.com/cws/article/news/42915

Three Challenges of RIBF

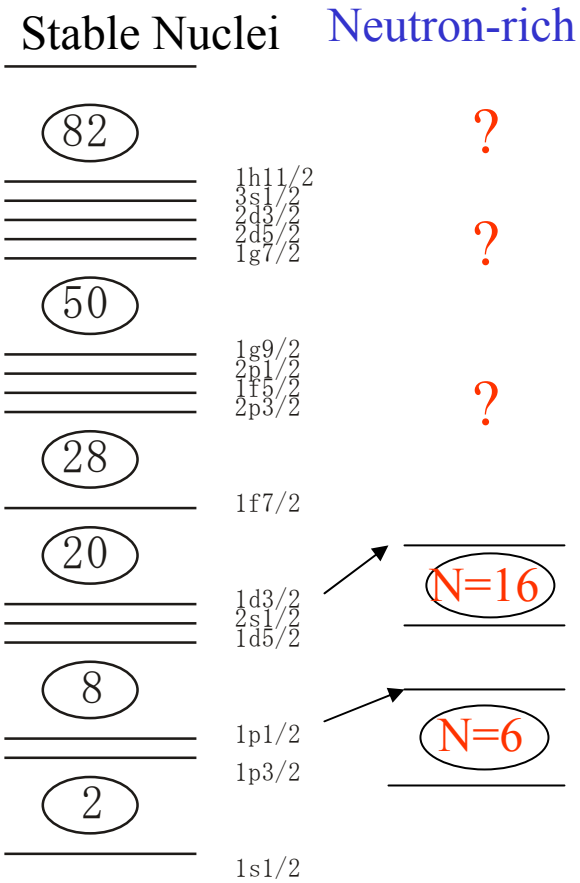
1 To Establish New Framework of Nuclear Physics

2 To Elucidate the Origin of Elements

3 To Explore New Applications with fast RI Beams

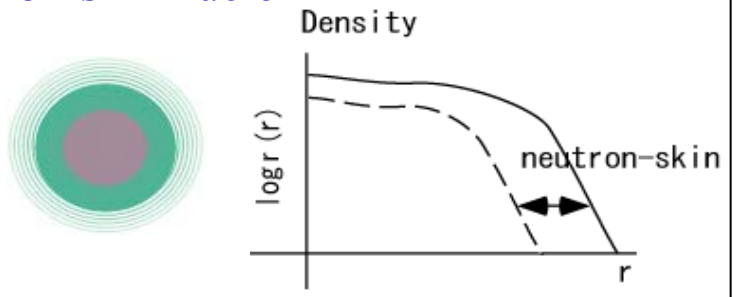
New frameworks for the new region of nuclear chart

Nuclear Structure: Shell evolution

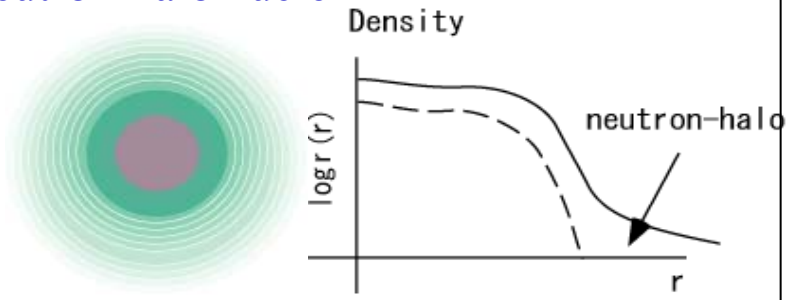


Nuclear Matter: New forms

neutron-skin nuclei



neutron-halo nuclei



^{11}Be, ^{11}Li, ^{19}C...

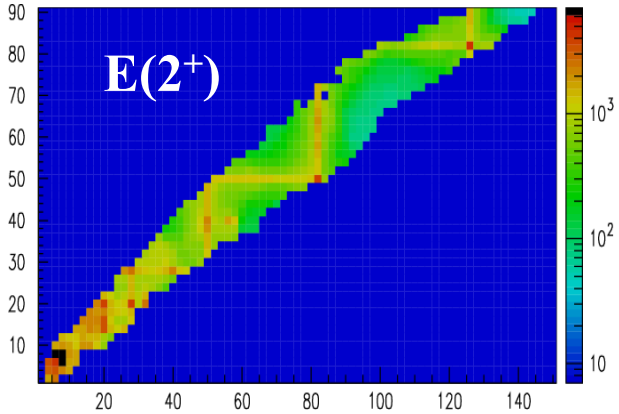
To write up new text book: Exotic phenomena, Systematics, etc.

Isospin-, density-dependences of effective interactions, nucleon-corrections

Microscopic system (nuclei) to Macroscopic system (neutron stars)

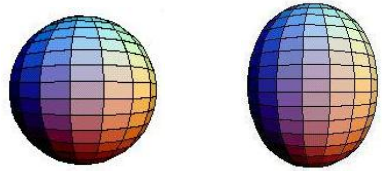
Liberation from Stable Region and Exotic Nuclei

Shell Evolution : magicity loss and new magicity

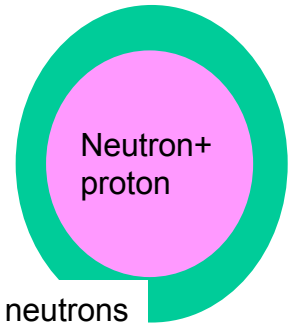


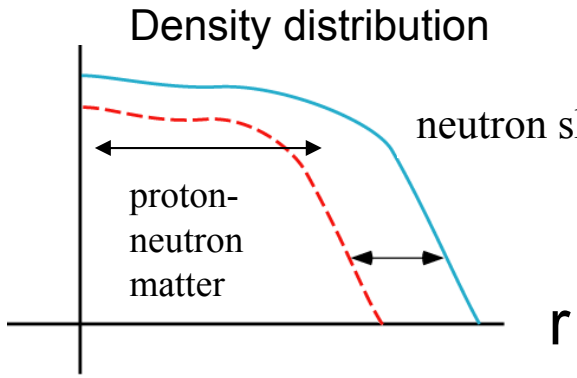
Shape ?
Shell gap ?
Single particle level ?
Cluster formation?
Role of 3NF ?
Magicity loss ?
50、82、126、184

Spherical Deformed



Dynamics of new "material" : Neutron-skin（halo）





New quantum objects with two surfaces
Skin thickness ? Density distribution ?
Role of skin in reactions ?
Pairing in skin ? di-neutrons?
Exotic modes of skin ?

RIBF provides data for nuclei far from the stability line

Challenges in establishing new frame work of nuclear physics

Challenge for r-process path and explosion in supernovae

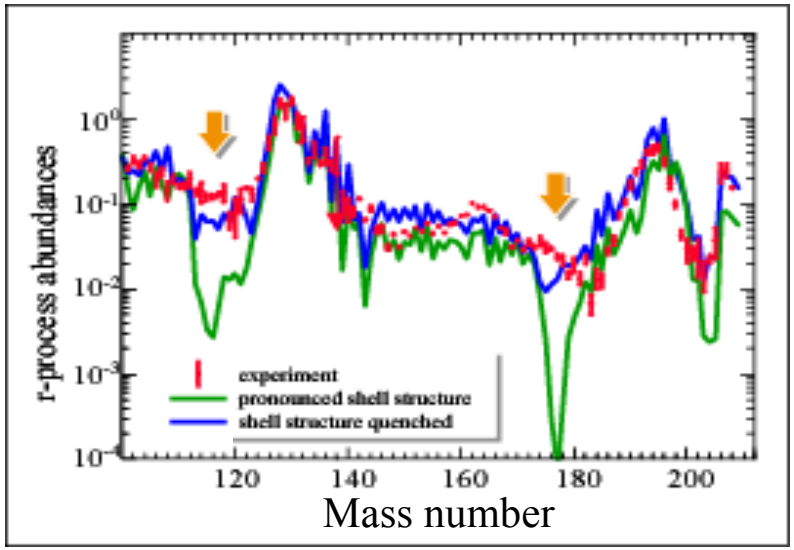
Synthesis up to U（r-process）

unknown neutron-rich nuclei

theoretical predictions only

Necessary of experimental investigation for nuclear properties of heavy and neutron-rich nuclei

Mass, life-time, decay mode

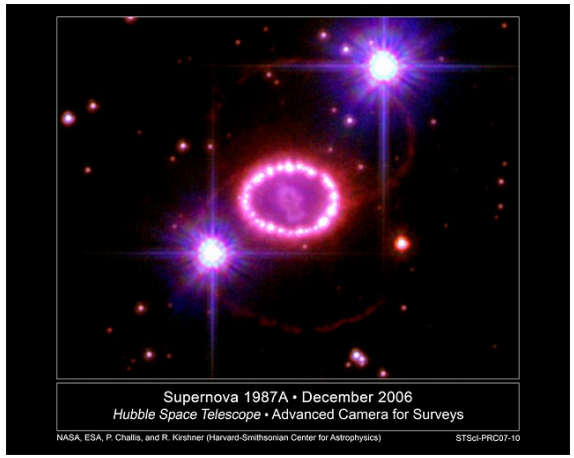


Explosion mechanism of supernova

No explosion in theoretical works

Outer clast of neutron star

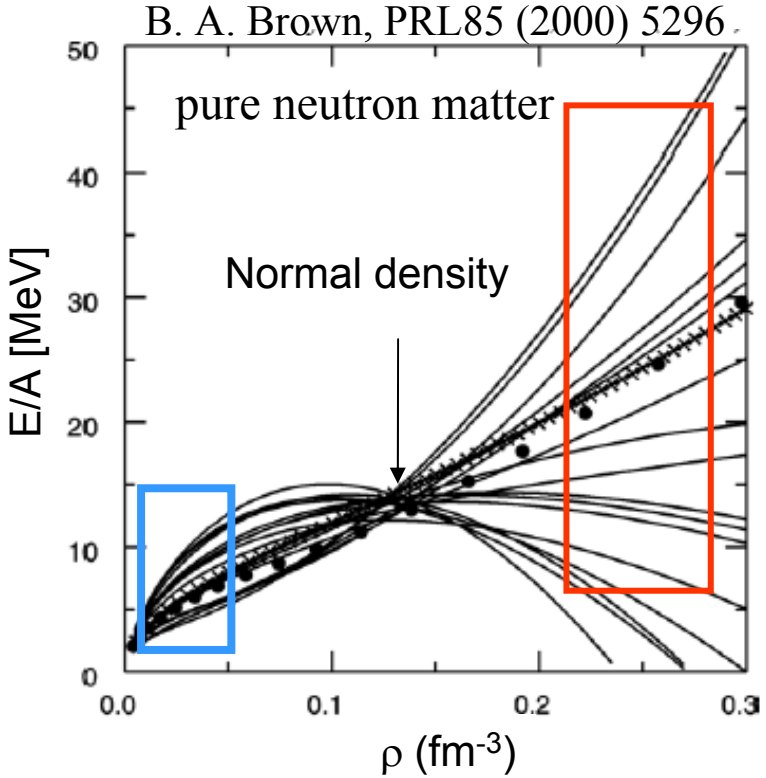
Necessary of experimental study for Equation-of-State for nuclear matter



1987A

Challenge to investigate EOS of neutron matter

from nuclei to neutron stars



3NF
T=3/2 channels?
density dependence?

Elastic d+p for T=1/2
Nuclear structure in
very neutron-rich nuclei for T=3/2?
Heavy-ion Collisions to achieve ρ~2-3ρ0 ?

$^3P_2$ correlation
pairing gap?
Density depencence?

????

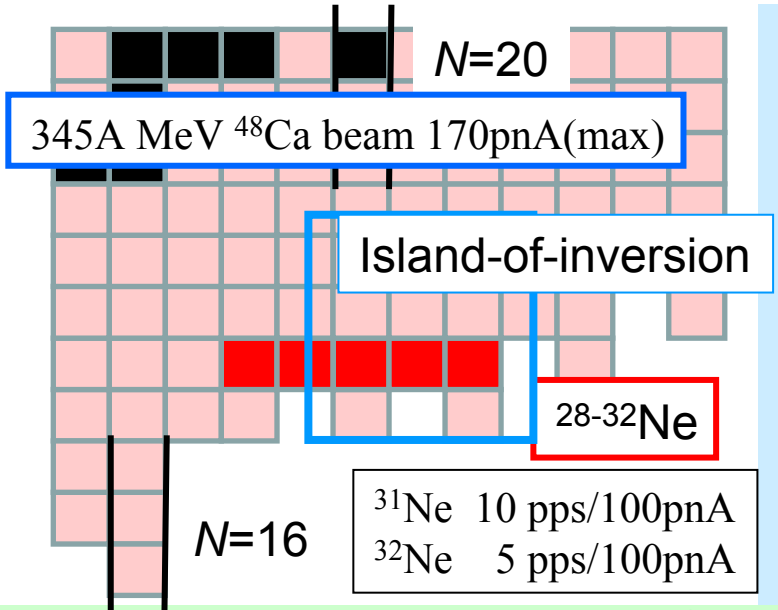
^1S correlation
BCS-BEC crossover
in dilute system ($\rho \sim 0.1\rho_0$) ?

Role of di-neutron in skin? : collectivity, transfer reactions

DayOne Experiments in Dec., 2008
-The first data in the "island-of-inversion" -

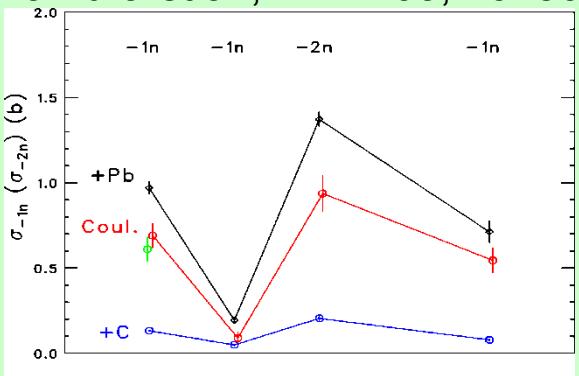
RIKEN NISHINA CENTER

Coordinated by Aoi

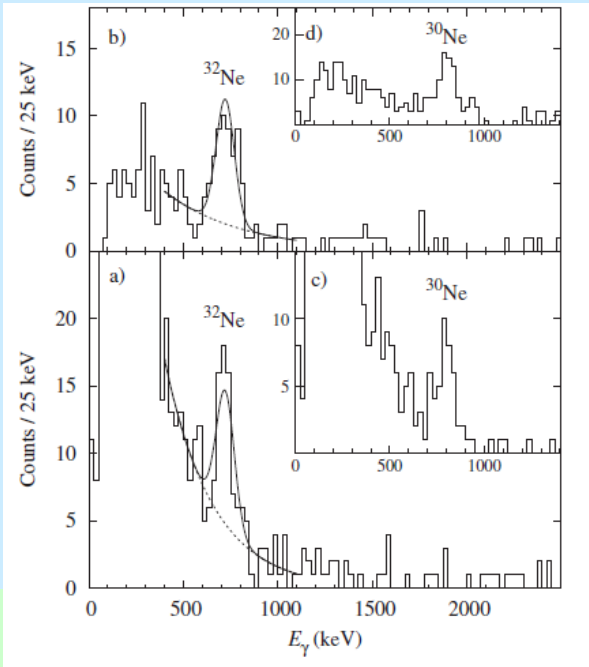


A new candidate of halo nuclei ^{31}Ne via Coulomb breakup

Nakamura et al., PRL 103, 262501(2009)



^{19}C ^{20}C ^{22}C ^{31}Ne



Spectroscopy of ^{32}Ne and the "island-of-inversion"

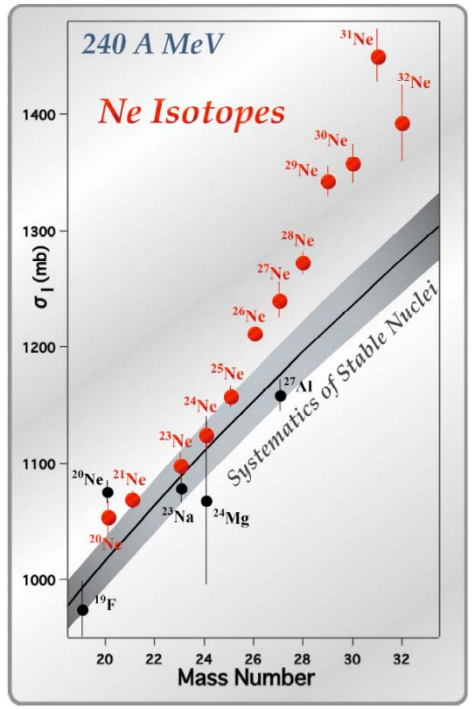
E(2+) = 722 keV

Doornenbal, Scheit et al.
PRL 103, 032501 (2009)

New states in ^{31,32,33}Na
PRC 81, 041305R (2010)

Total interaction cross sections for the neutron-rich Ne isotopes

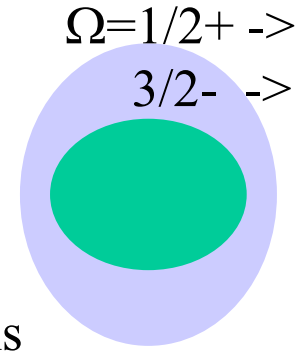
Takechi, Otsubo et al.,
Niigata 2010 symposium



Further investigation for nuclei in the island of inversion region and beyond

Next campaign
Nov.-Dec 2010

1. Halo states with deformed core?



Most of halo nuclei so far are located in deformed regions

Be-11, Li-11, C-19, Ne-31 …

Deformed core + valence neutron

low-L dominance in Nilsson orbits for weakly-bound neutrons

M. Misu et al., Nucl. Phys. A 614 (97) 44; I. Hamamoto, Phys. Rev. C69 (04) 041306R

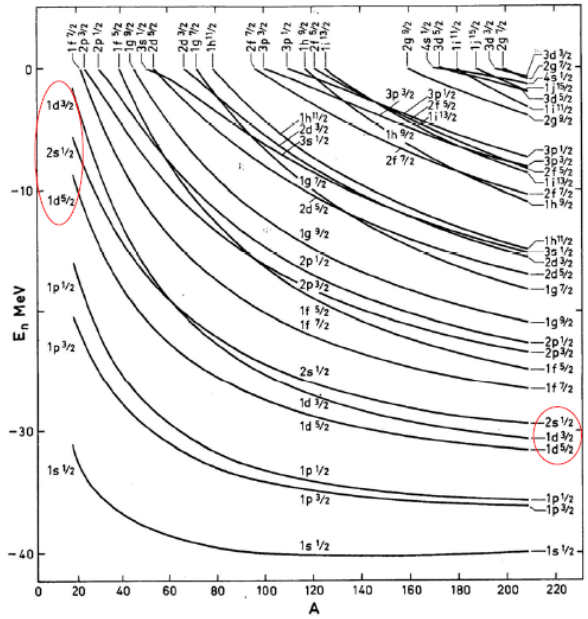
Many halo nuclei could be found on the nuclear chart?? Next candidates??

2. Mechanism of shell evolution ?

Tensor interactions — Otsuka et al.

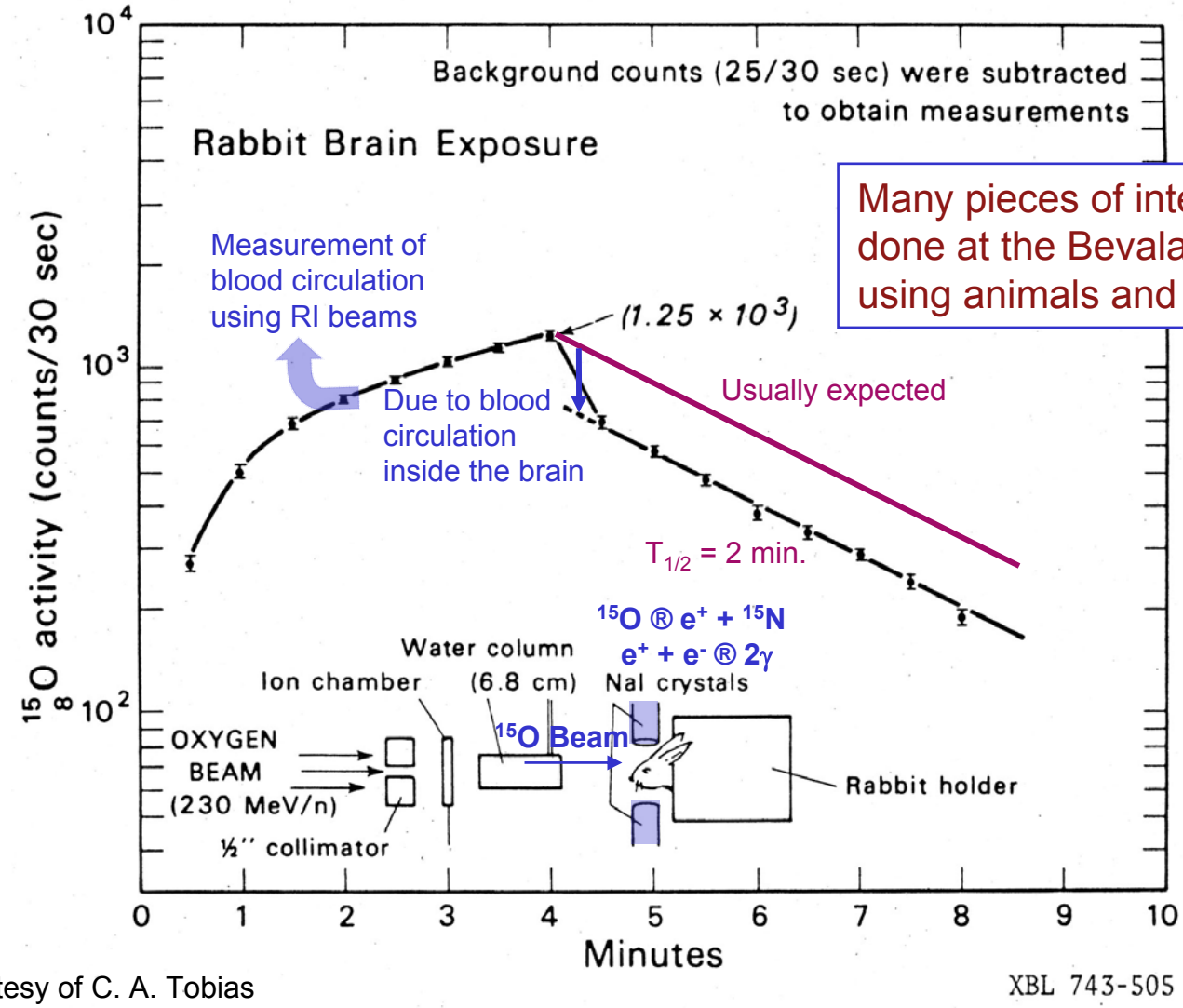
Weakly bound natures — Low-L orbits behaviors (Bohr-Mottelson Vol.1)

Cluster formation, What else….



E(2+), E(4+), B(E2), ..as many as possible for Ne and Mg isotopes

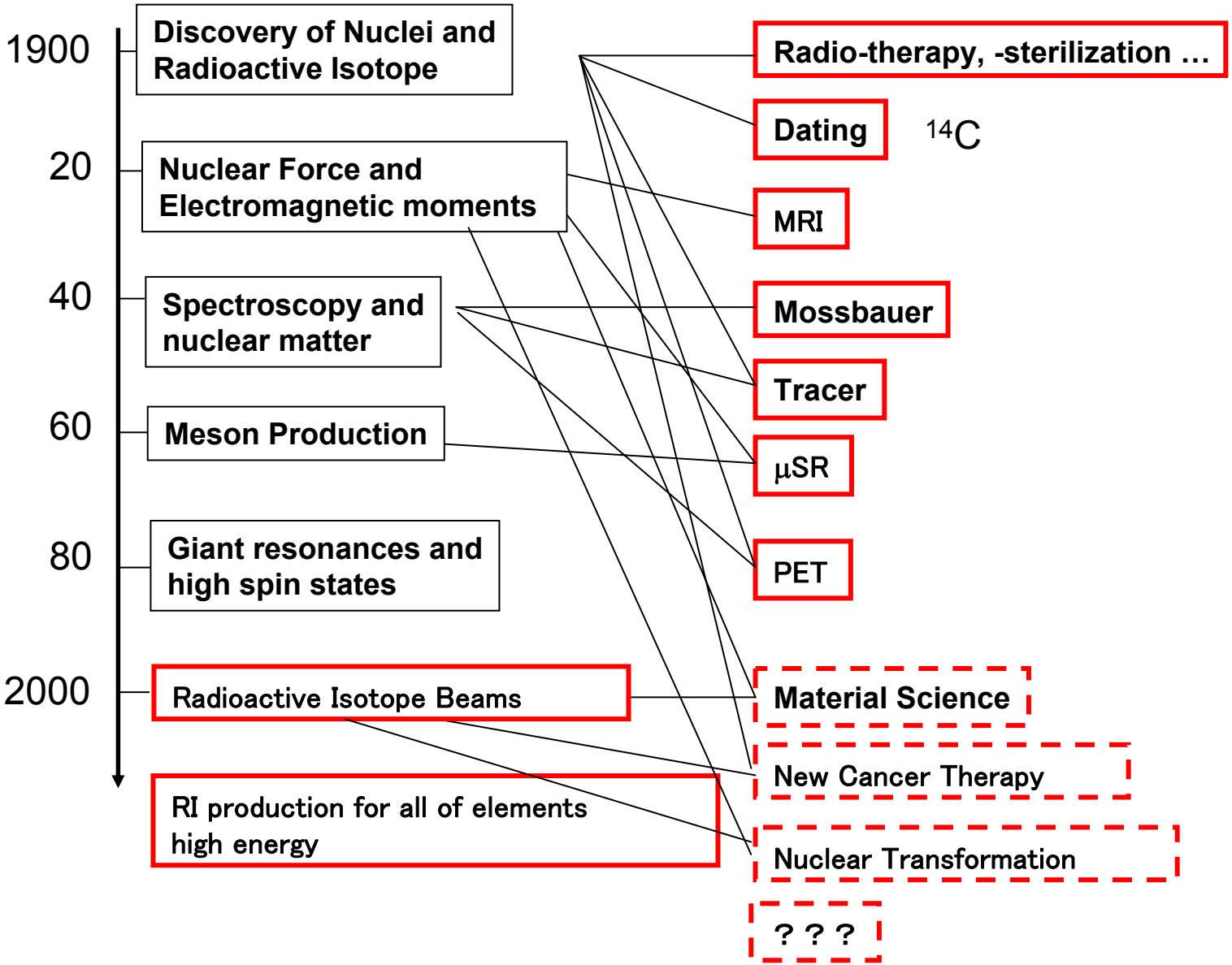
The First RI Beam Experiment (1974)



Many pieces of interesting work done at the Bevalac in biology using animals and plants

Courtesy of C. A. Tobias

Development of Nuclear Physics and Applications



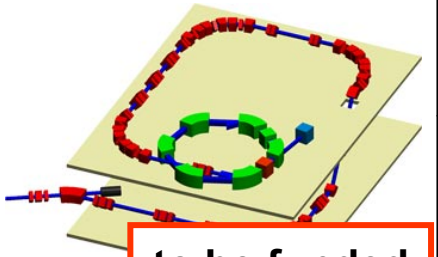
New Devices of RIBF

To maximize the potentials of intense RI beams available at RIBF

for several 100 – 1000 species

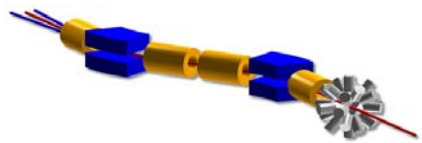
mass
half-life
excited states
deformation
charge radii
matter radii
charge distribution
matter distribution
EM moments
single particle states
astrophysical reactions
giant resonances
exotic modes
HI collisions (EOS)

Rare RI ring



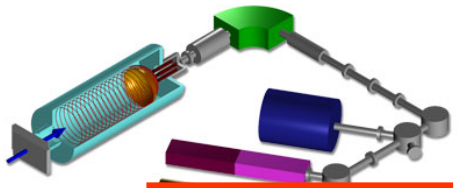
to be funded

ZeroDegree



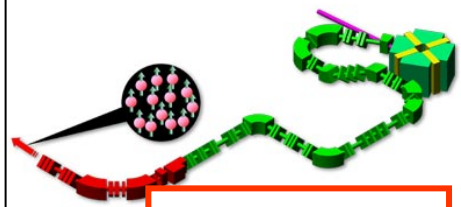
2008-

SLOWRI



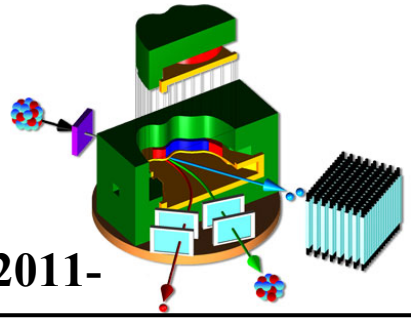
to be funded

IRC-to-RIPS BT



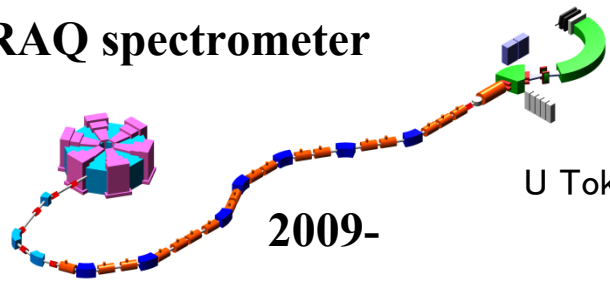
to be funded

SAMURAI



2011-

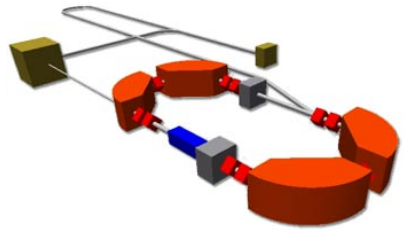
SHARAQ spectrometer



U Tokyo

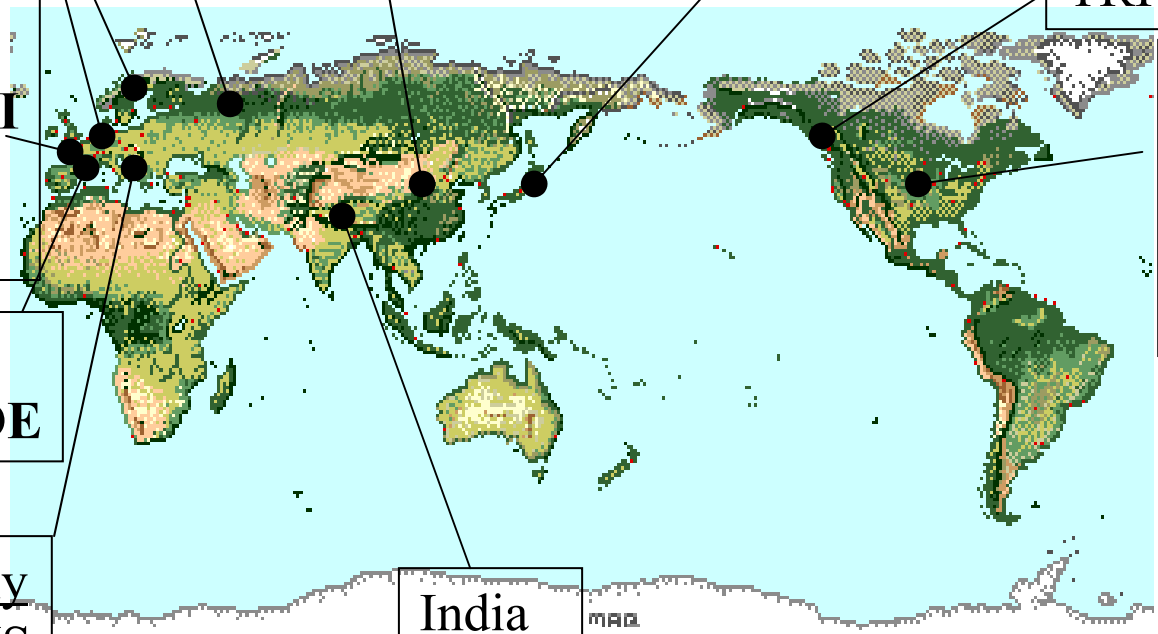
2009-

SCRIT



2010-

RI Beam Facilities in the world



Finland
JYFL

Germany
GSI

Russia
JINR

China
IMP
CIAE

Japan
RIKEN
KEK-JAEA/TRIAC

Canada
TRIUMF/ISAC

France
GANIL
SPIRAL-I, II
(2010-)
SISSI+LISE

USA
MSU/NSCL
ORNL/HRIBF
ANL
Texas A&M

Switzerland
CERN/ISOLDE

Italy
LNS

India
VECC
IUAC

Red colored: In-flight method

Challenge

Action

Discussion

Enjoy