Nuclear Physics

Sakura-i　Hiro-yoshi
櫻　　井　博　　儀

日研究人员称第三次合成113号元素

新华网东京9月27日电(记者 蓝建中)日本研究人员27日称，他们第三次成功合成了113号元素。日本研究人员曾两次报告合成这一新元素，但均未被相关国际专门机构承认。

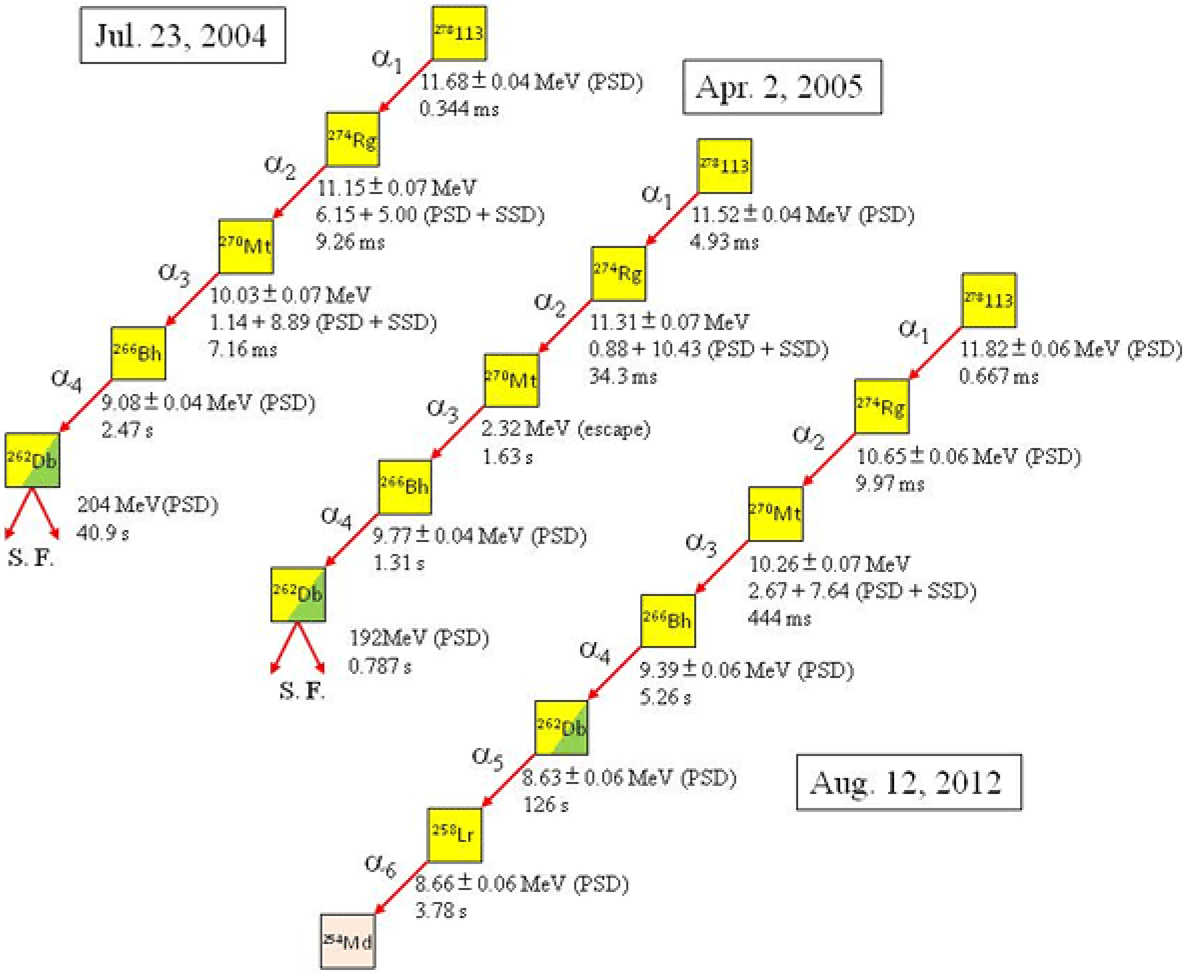
日本理化学研究所研究人员在新一期《日本物理学会志》网络版上报告说，

他们从2003年开始，在加速器中使30号元素锌和83号元素铋融合，开始进行合成新元素的实验，2004年和2005年都曾成功合成113号元素。113号元素合成后平均2毫秒(1毫秒是千分之一秒)就开始衰变。此次合成的元素与过去两次合成的元素相比，衰变次数更多，而且能够在理论上预测其衰变是以一定概率发生，这进一步证实了新元素的存在。

日本理化学研究所此前曾两次宣称合成了113号元素，但是国际纯粹与应用化学联合会和国际纯粹与应用物理联合会认为“数据过少”，不予承认。俄罗斯和美国研究人员也曾于2004年宣布合成113号元素。

迄今为止，排在元素周期表第105号元素之后的超重元素，在自然界中都很难出现。科学家们发现的一系列超重元素都是在实验室中合成的，它们往往在生成后极短时间内就衰变成原子量较小的其他元素。

Element 113th



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？

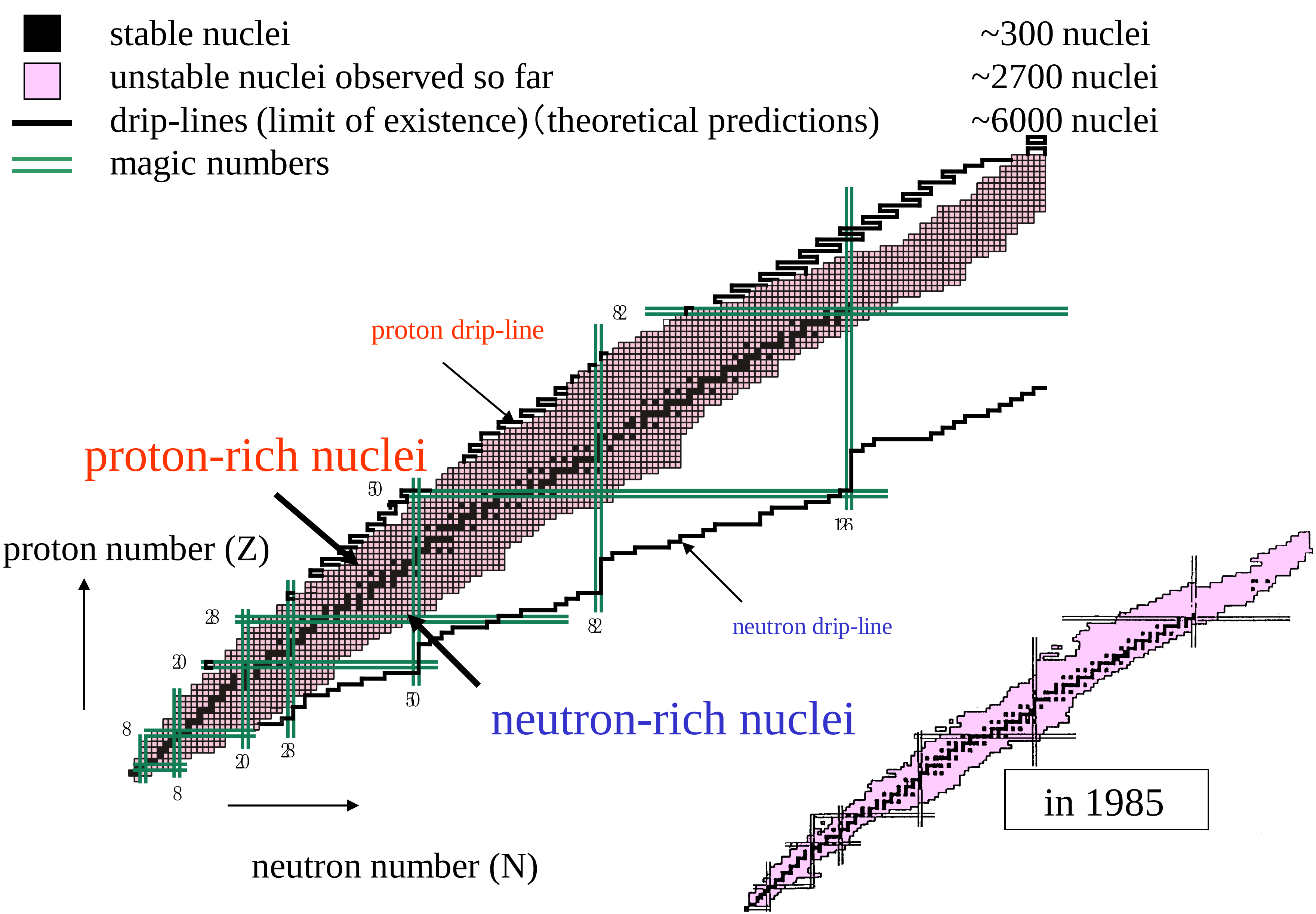
Q. 5 Magic numbers of nuclei？

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

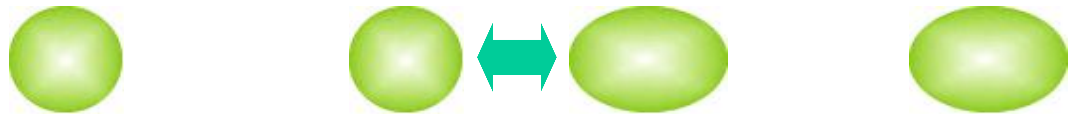


Nuclear Collective Motion

closed shell ⟷ open shell

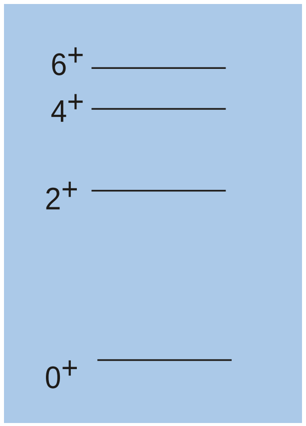
at magic number

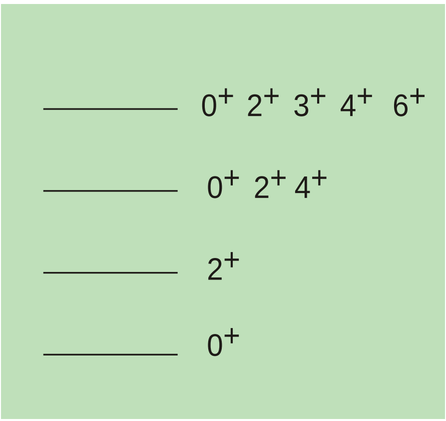
spherical nuclei | surface vibration | deformed nuclei

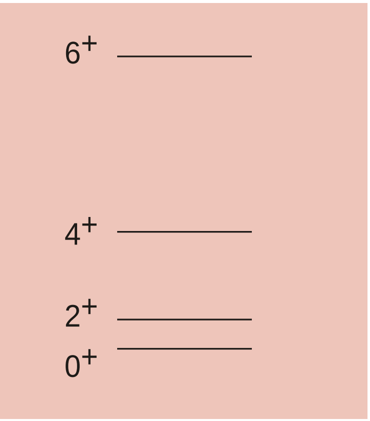


$|\beta| \sim 0$ ← Quadrupole deformation parameter β → $|\beta|$ large

degree of collectivity

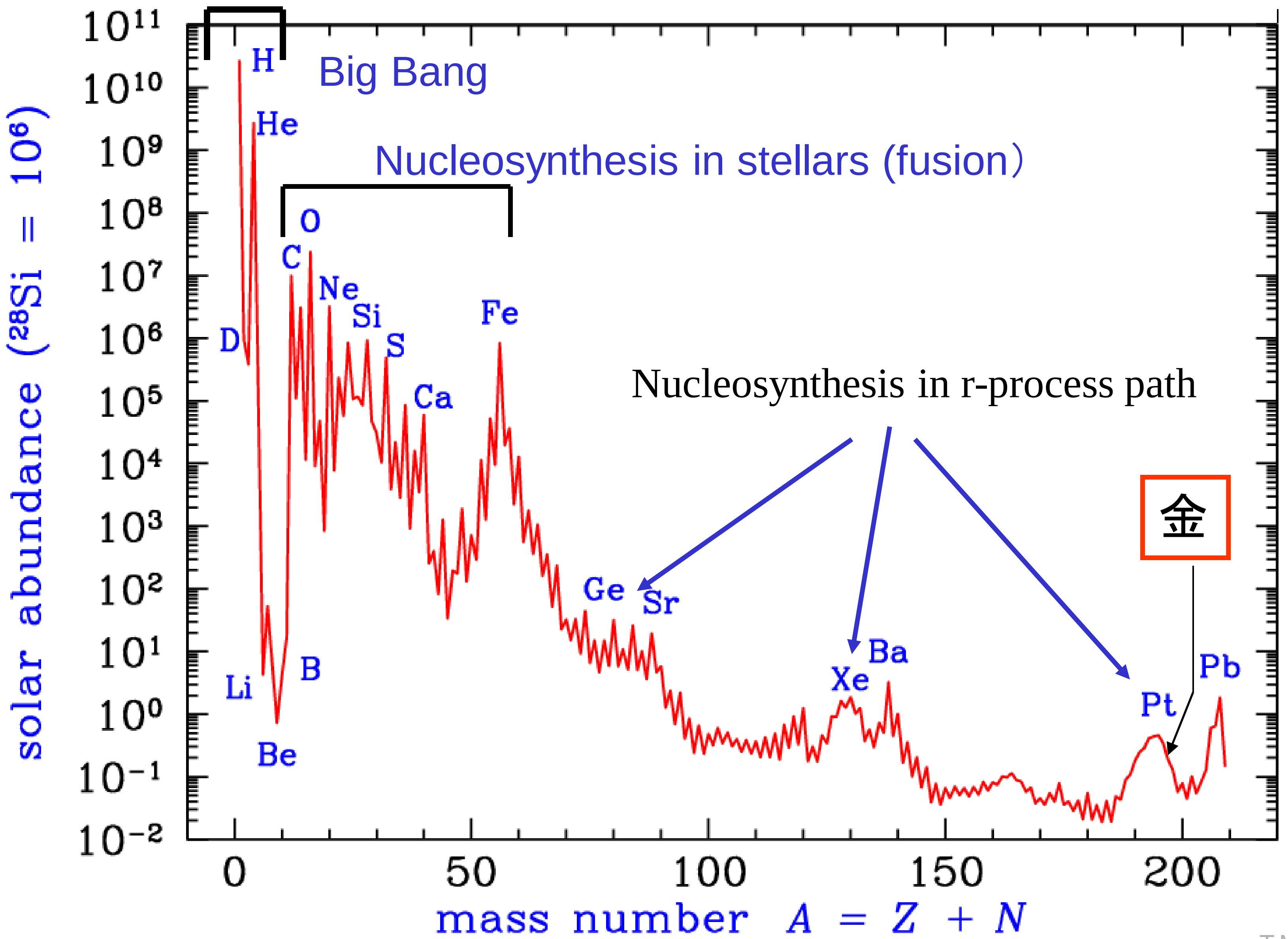






$E(4^+)/E(2^+)$	~ 1.8	~ 2.2	~ 3.3

Solar Abundance of Elements



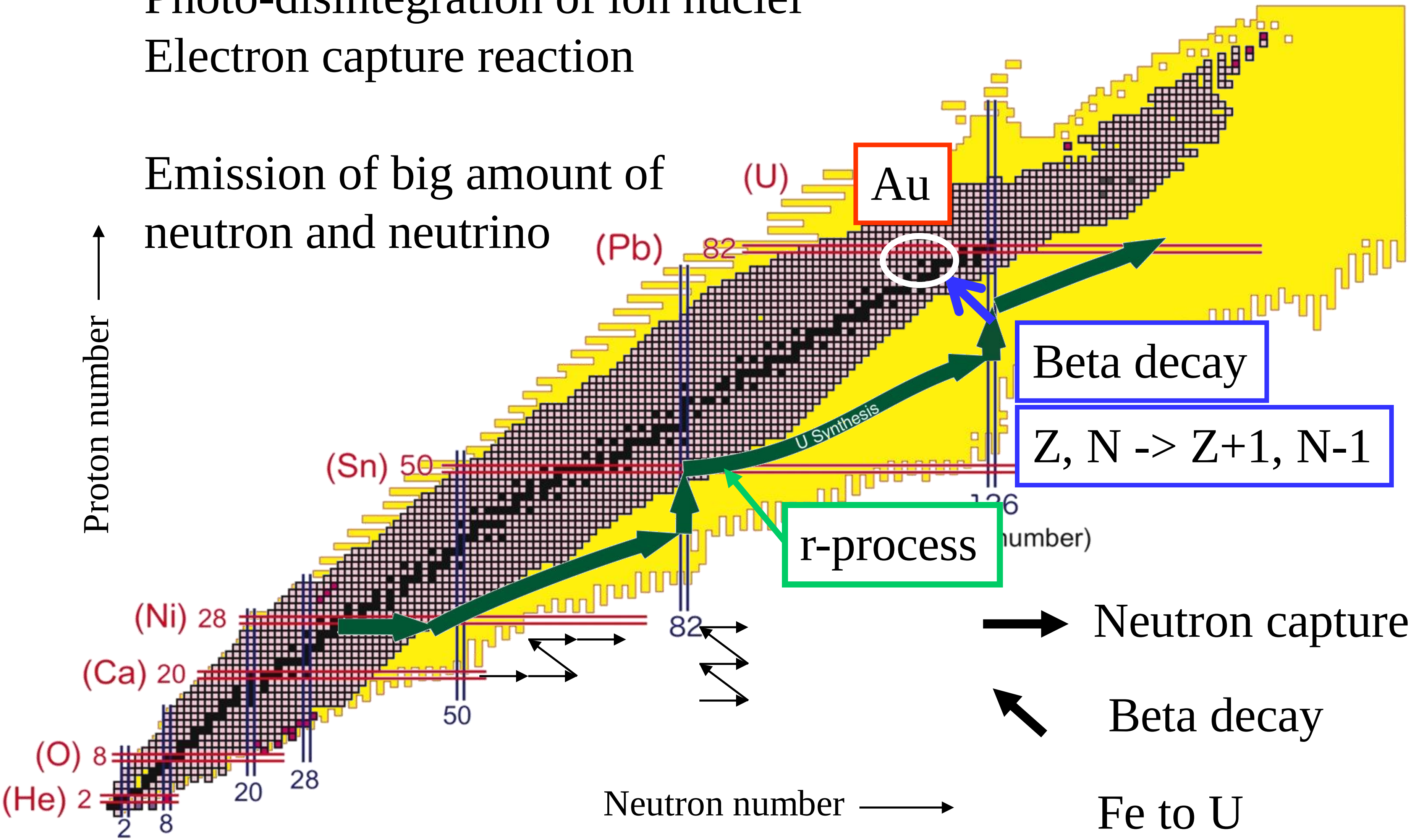
T.Motobayashi

Gold···

r-process path in supernova explosion

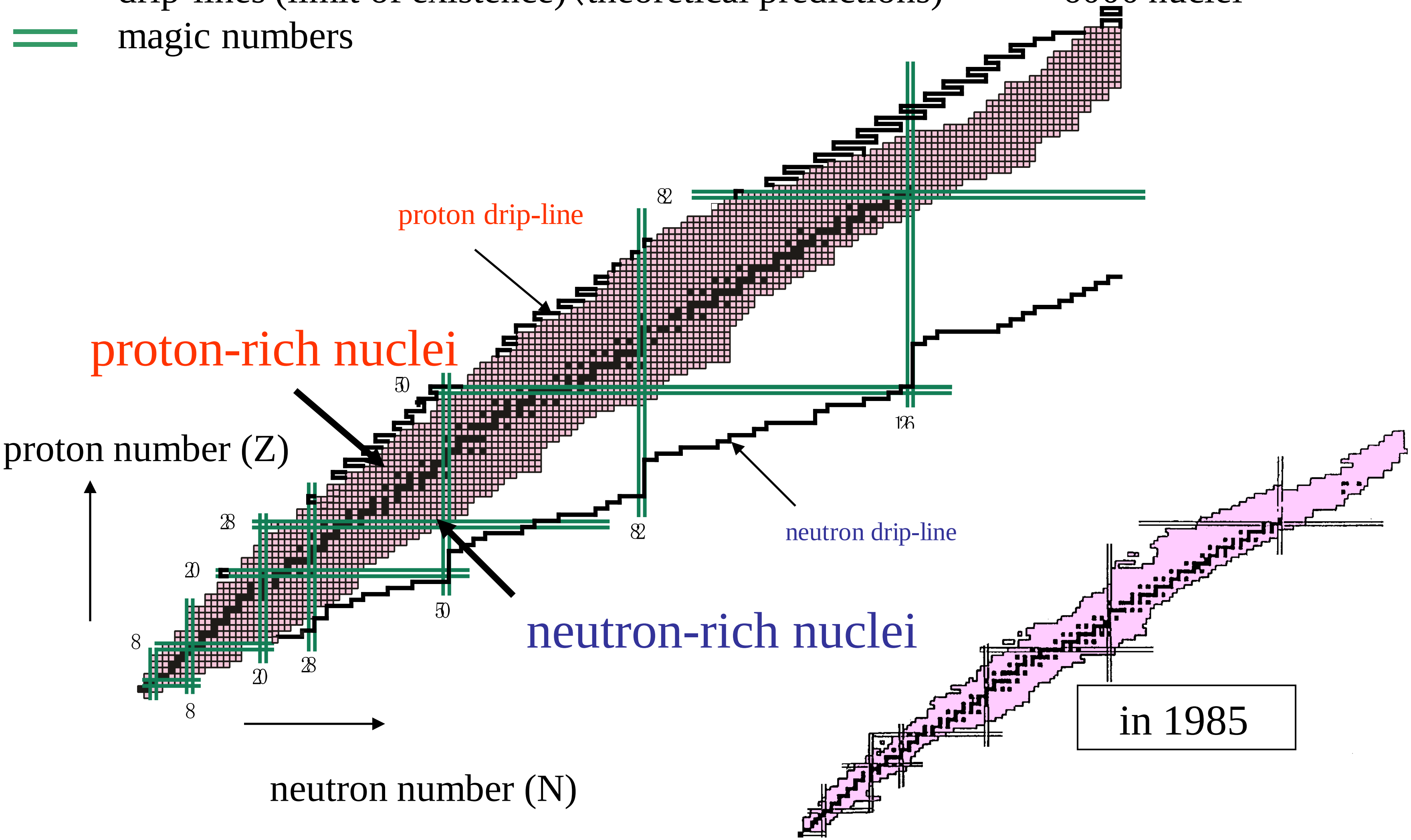
Photo-disintegration of ion nuclei
Electron capture reaction

Emission of big amount of neutron and neutrino



Exploration of the Limit of Existence

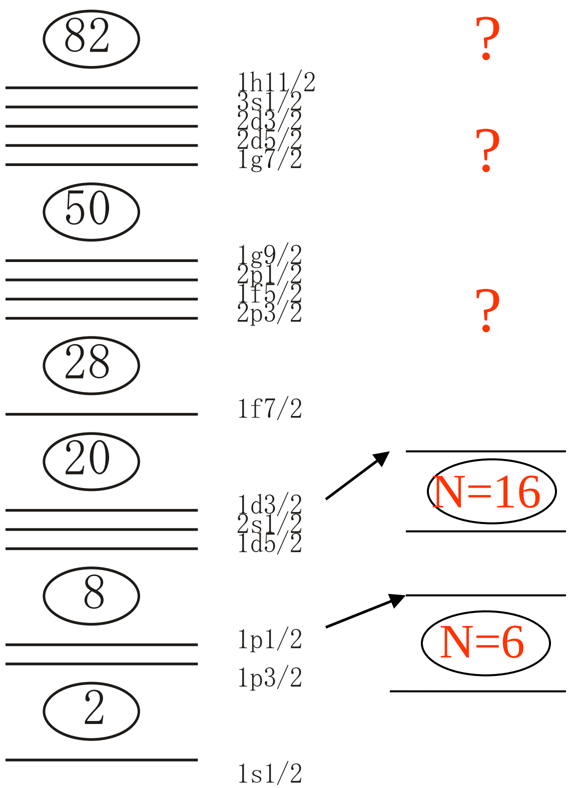
■	stable nuclei	~300 nuclei
□	unstable nuclei observed so far	~2700 nuclei
—	drip-lines (limit of existence)（theoretical predictions)	~6000 nuclei
=	magic numbers	



New frameworks for the new region of nuclear chart

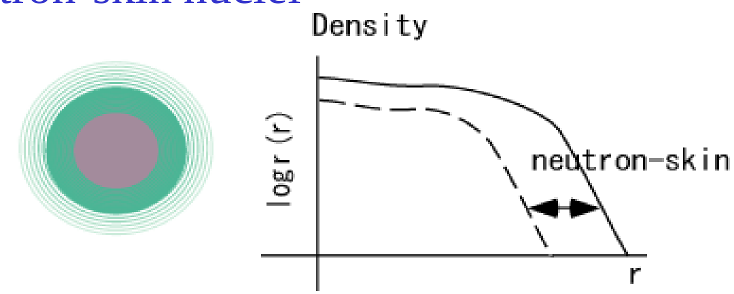
Nuclear Structure: Shell evolution

Stable Nuclei | Neutron-rich Nuclei

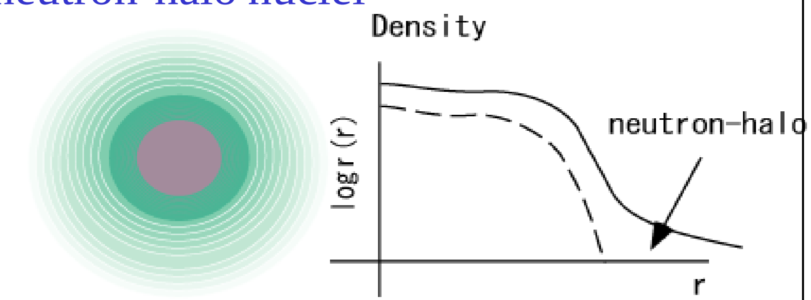


Nuclear Matter: New forms

neutron-skin nuclei



neutron-halo nuclei



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

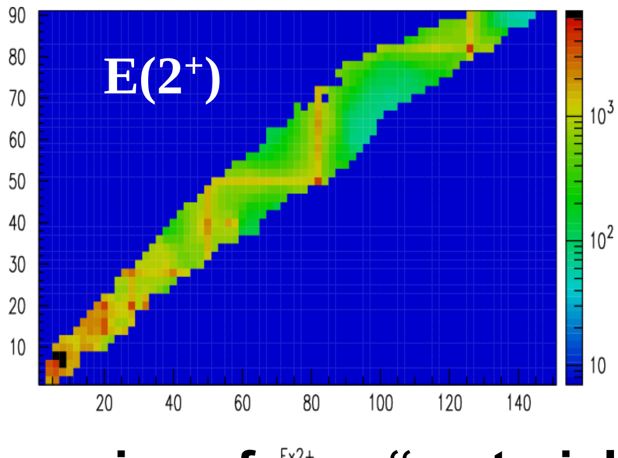
To write up new text book: Exotic phenomena, Systematics, etc.

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

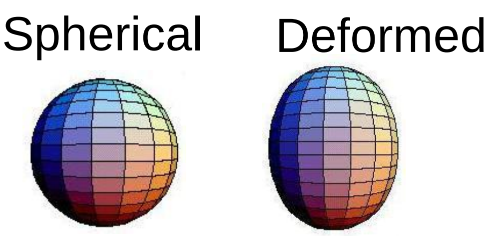
Microscopic system (nuclei) to Macroscopic system (neutron stars)

Liberation from Stable Region and Exotic Nuclei

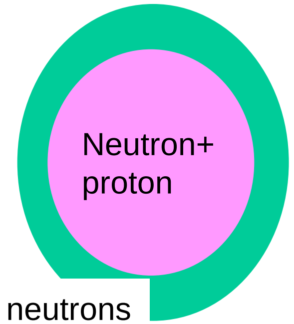
Shell Evolution : magicity loss and new magicity

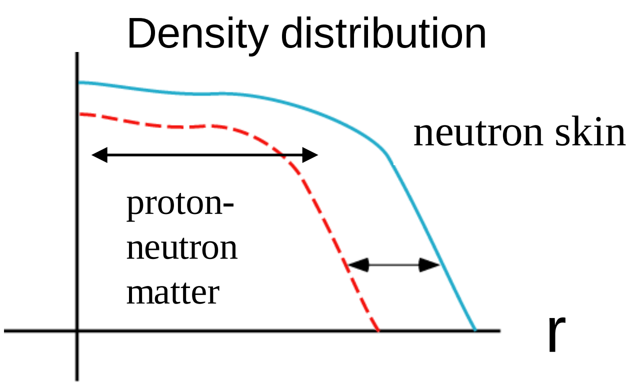


Shape ?
Shell gap ?
Single particle level ?
Cluster formation?
Role of 3NF ?
Magicity loss ?
50、82、126、184



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

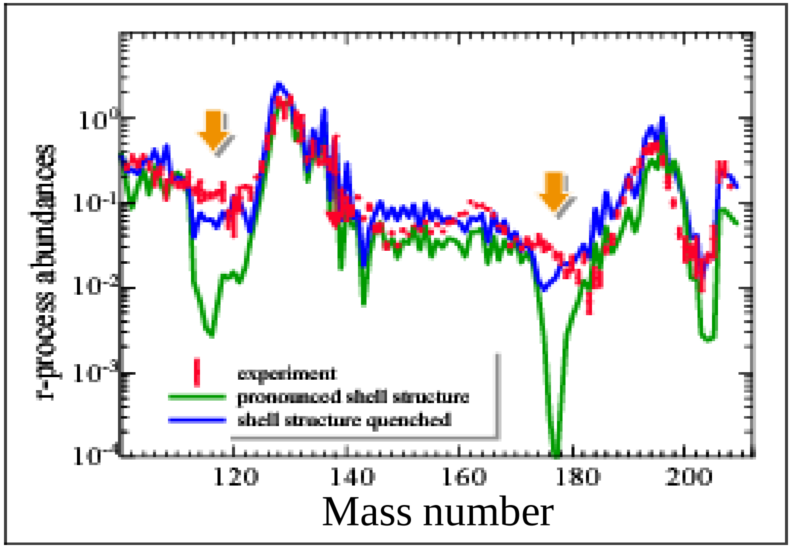
Challenges in establishing new frame work of nuclear physics

Challenge for r-process path and explosion in supernovae

Synthesis up to U（r-process）

unknown neutron-rich nuclei
theoretical predictions only

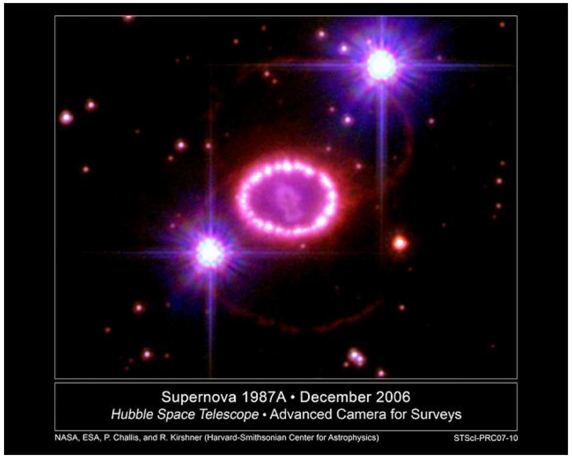
Necessary of experimental investigation for nuclear properties of heavy and neutron-rich nuclei
Mass, life-time, decay mode



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

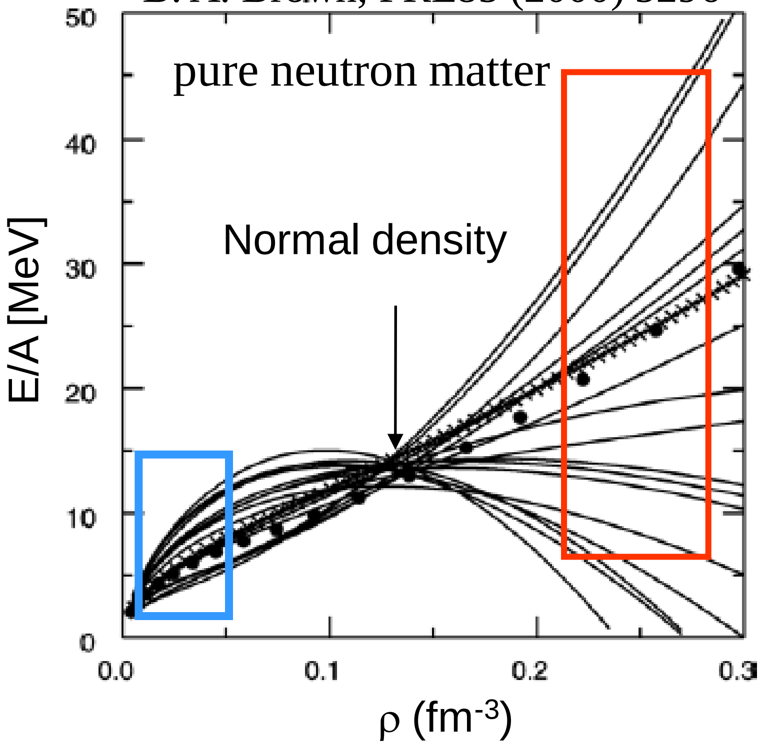


1987A

Challenge to investigate EOS of neutron matter

from nuclei to neutron stars

B. A. Brown, PRL85 (2000) 5296



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 $\rho \sim 2\text{-}3\rho 0$?

$^{3}P_{2}$ correlation

pairing gap?

Density depencence?

^{1}S correlation

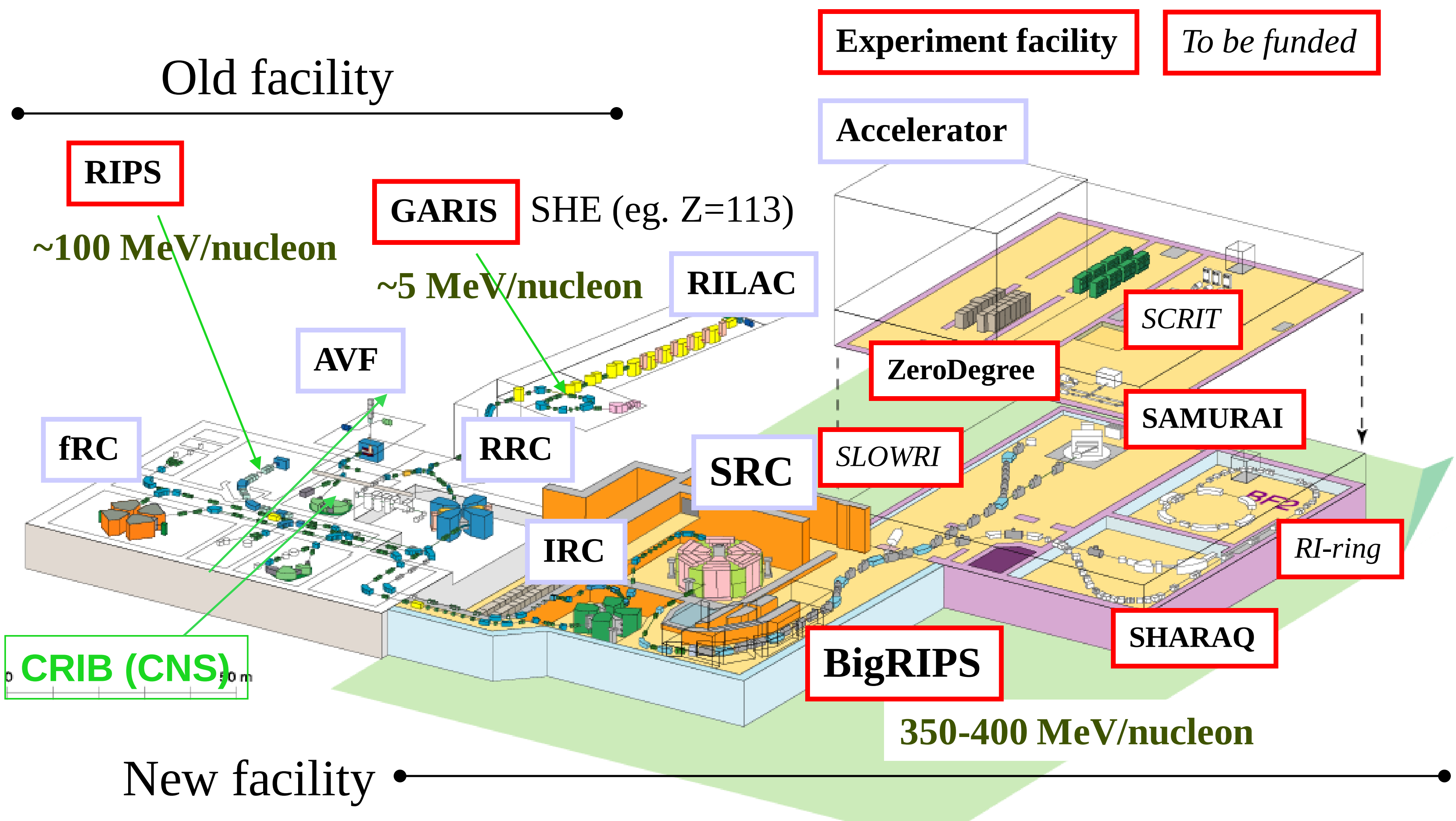
BCS-BEC crossover

in dilute system ($\rho \sim 0.1\rho_0$) ?

????

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

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

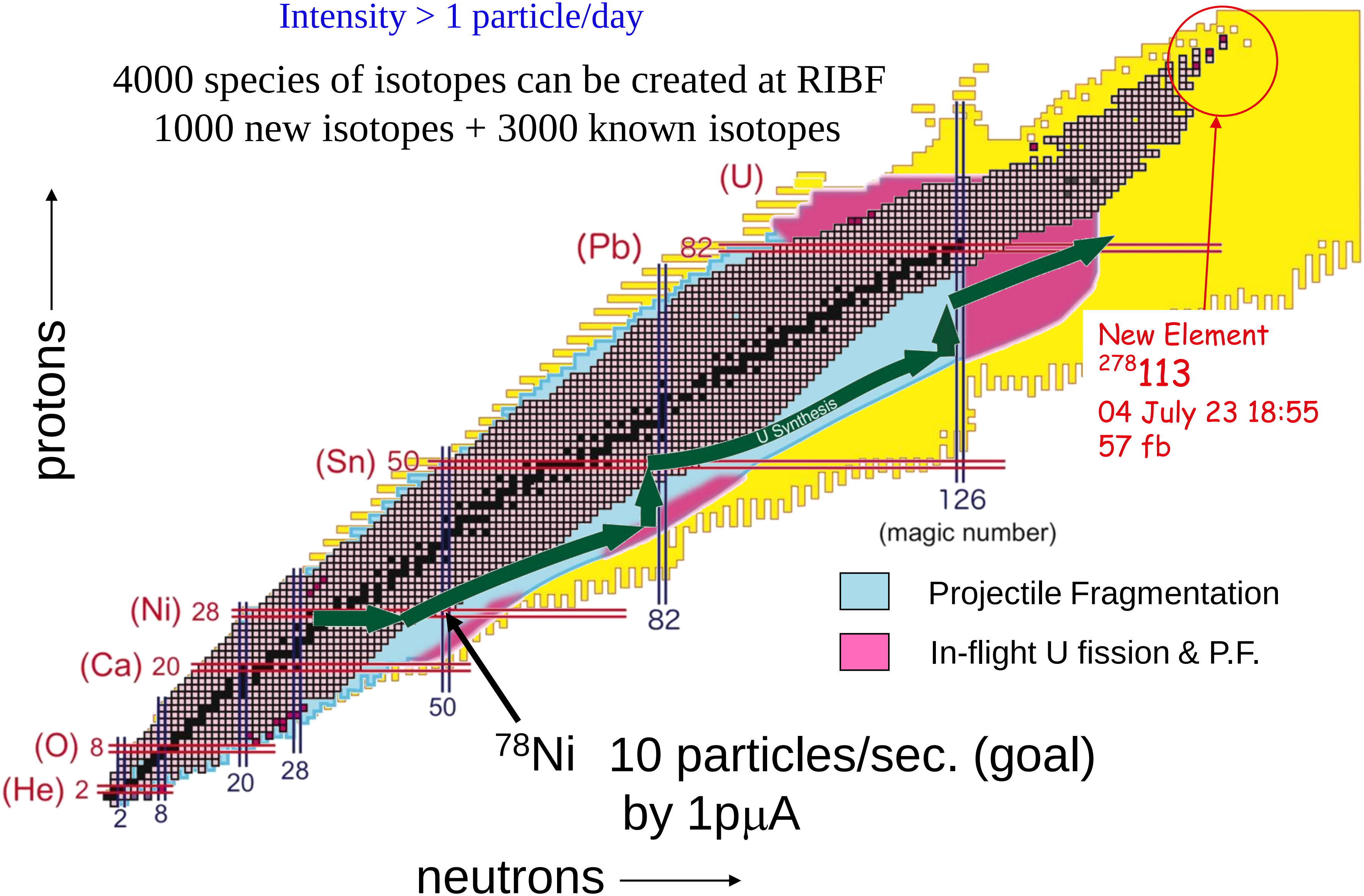
Exploration of the Limit of Existence

Great expansion of nuclear world by RIBF

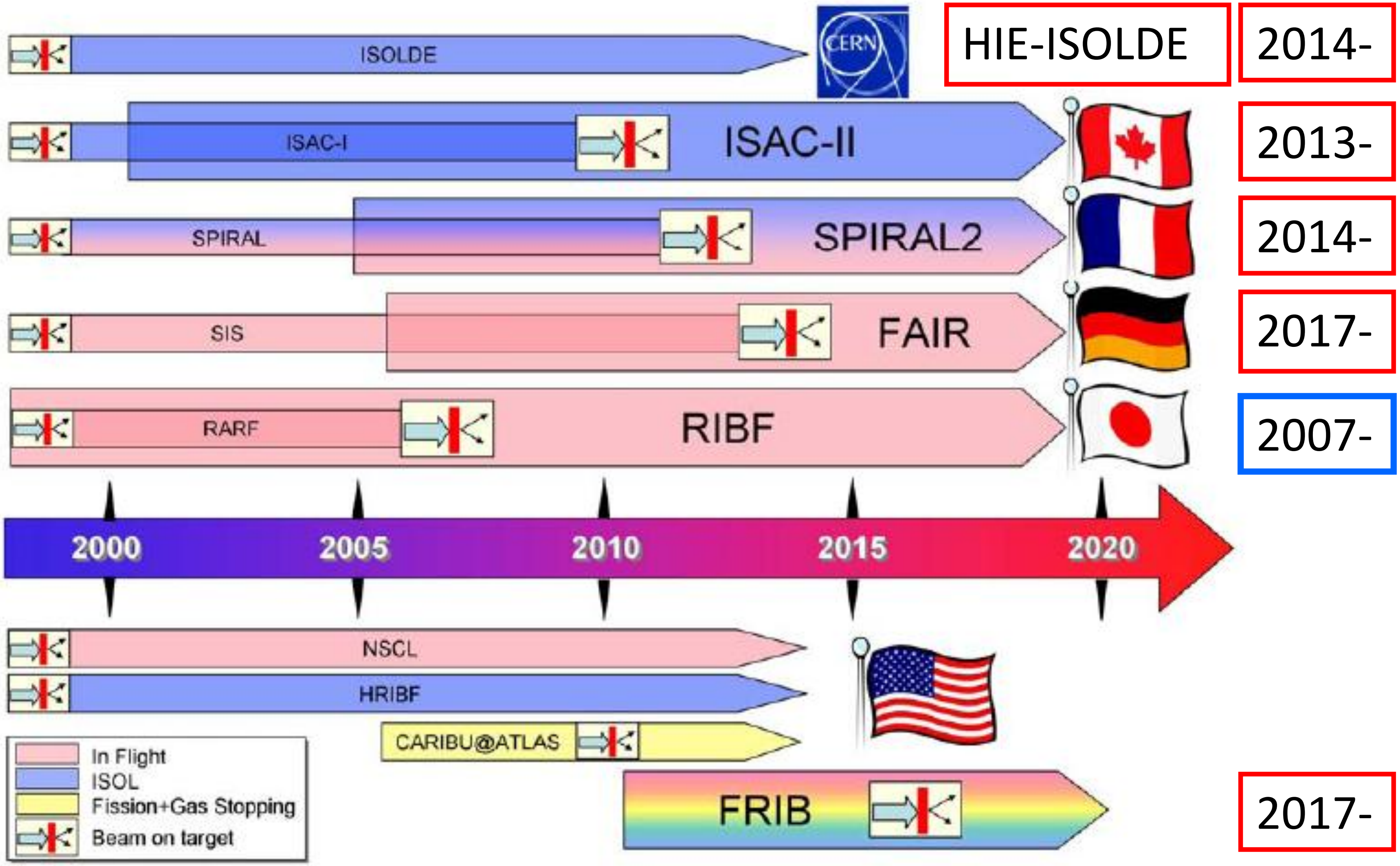
Intensity > 1 particle/day

4000 species of isotopes can be created at RIBF

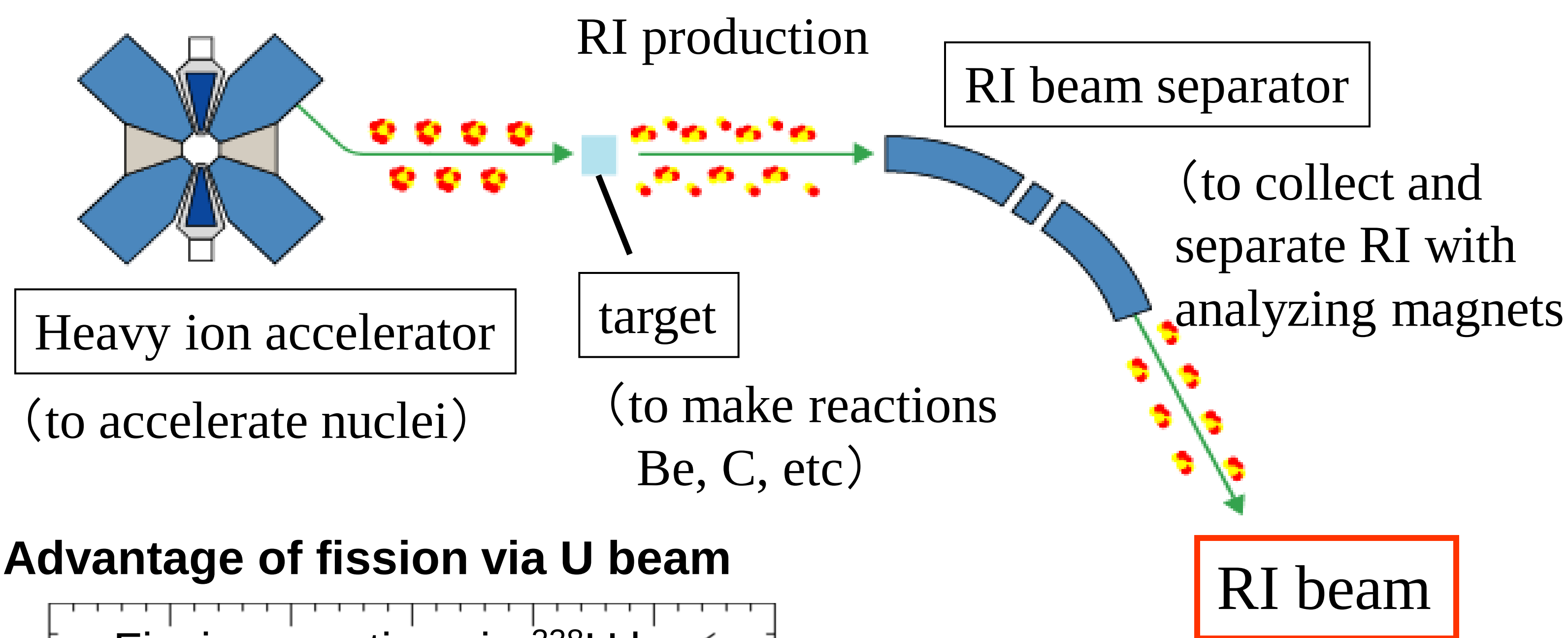
1000 new isotopes + 3000 known isotopes



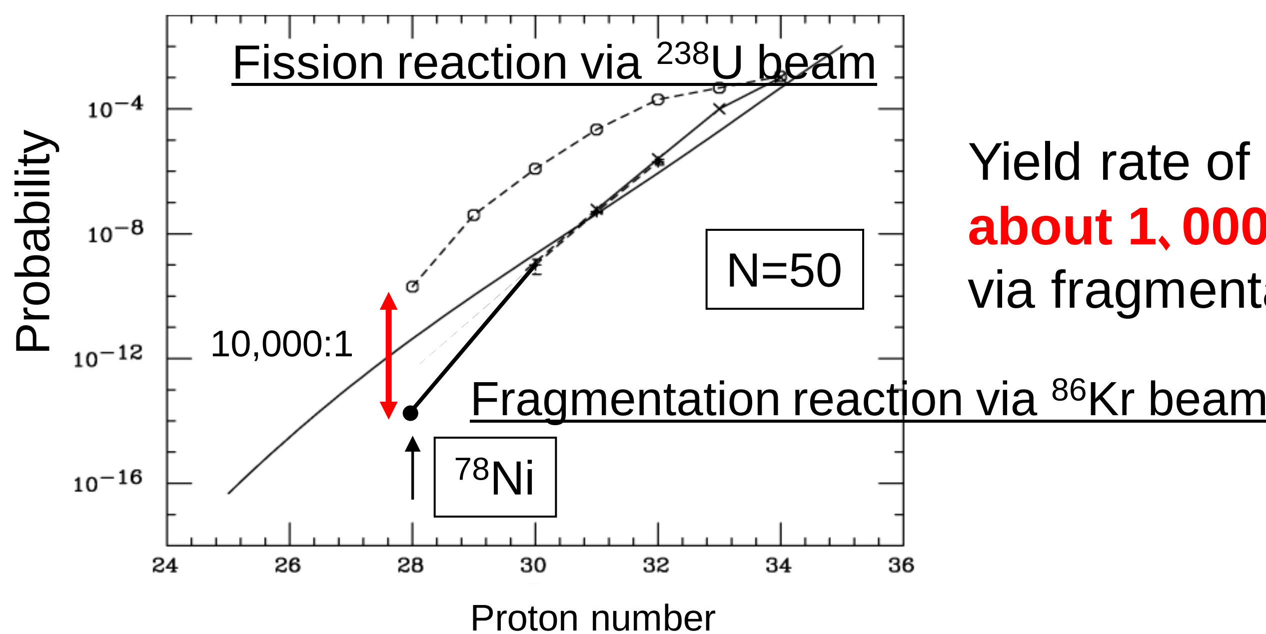
Large-scaled Facilities in the world



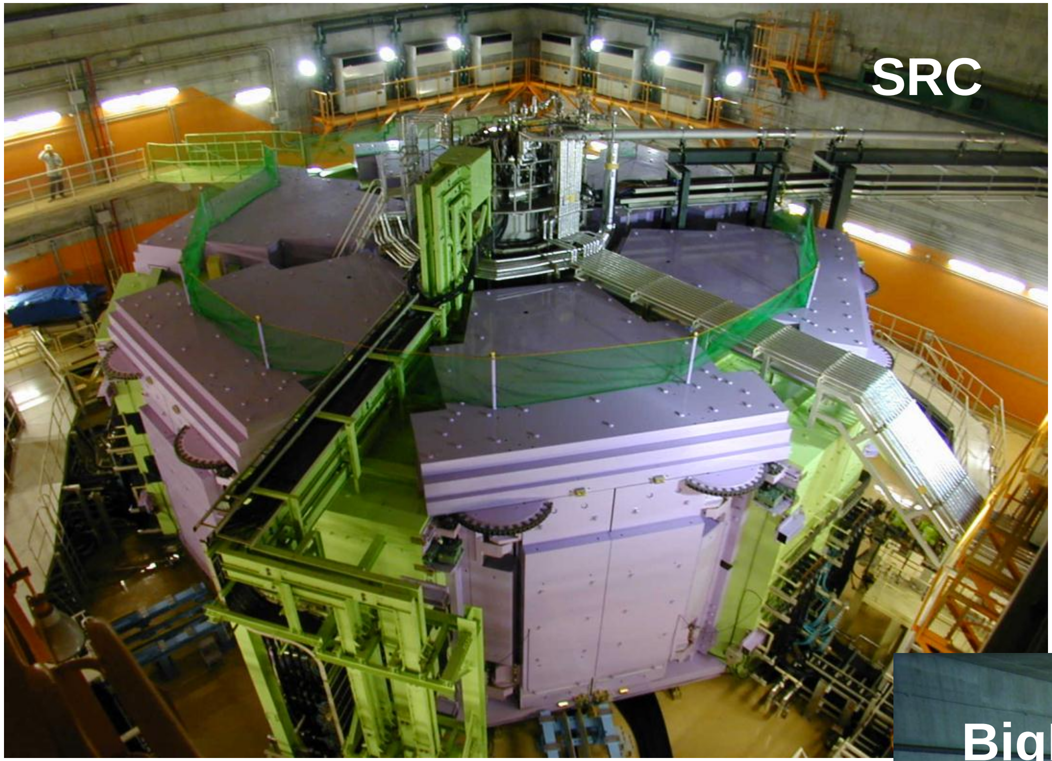
RI beam production via in-flight method



Advantage of fission via U beam



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



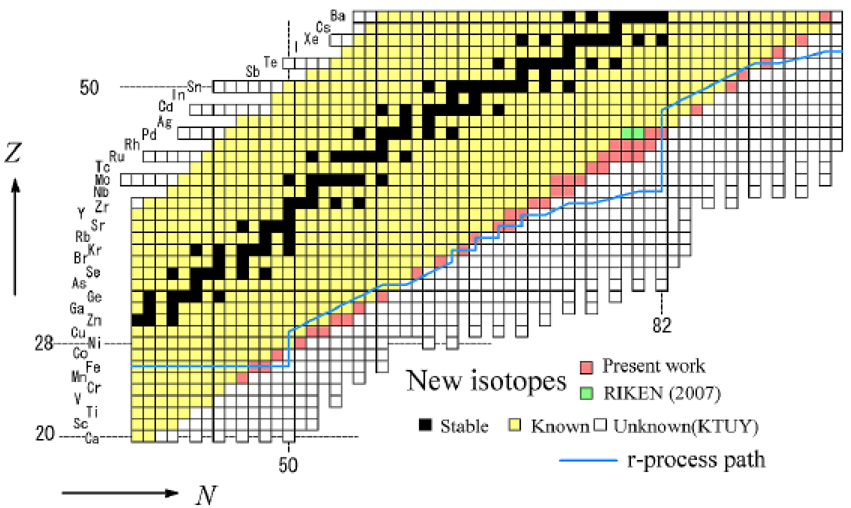
World's First and Strongest
K2600MeV
Superconducting Ring Cyclotron

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

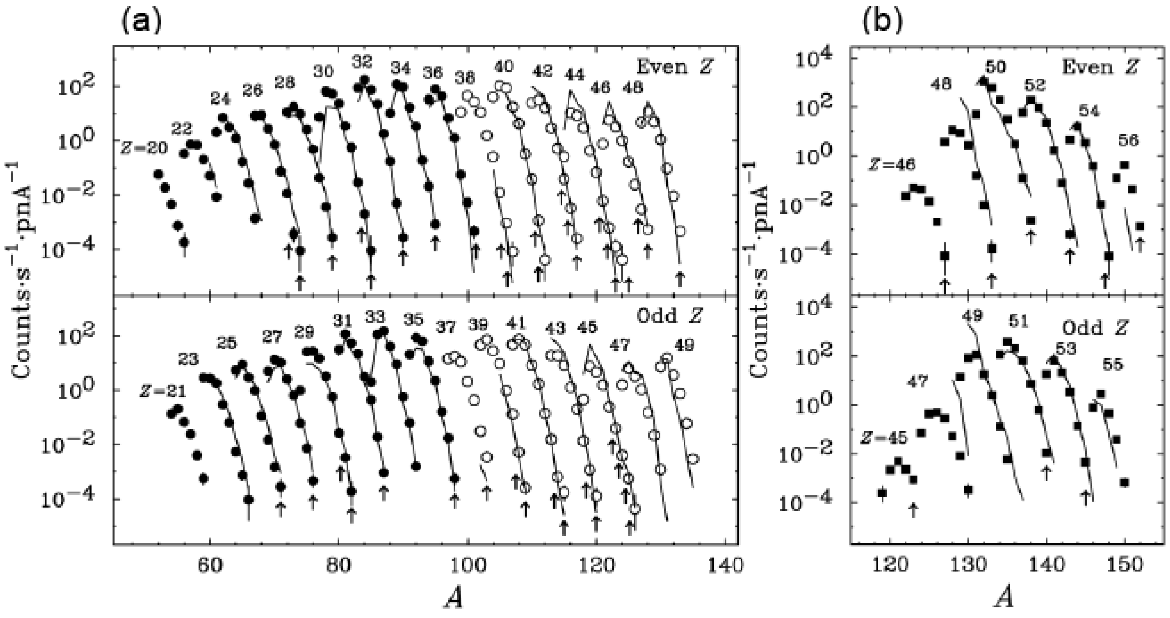
Identification of 45 New Neutron-Rich Isotopes Produced by In-Flight Fission of a ^{238}U Beam at 345 MeV/nucleon



T. Ohnishi, et al., JPSJ 79, 073201 (2010).

Nov., 2008
Averaged beam intensity ~0.2 pnA
Maximum intensity 0.4 pnA

Mn (Z=25) to Ba (Z=56)
Covered by three Brho settings
Be and Pb targets
Total dose 1-2x10^{14} for each Brho setting



Yield rates reasonably reproduced by LISE++

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30万キロ）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1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。

理化学研究所

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三千六百種。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。

IOP A website from the Institute of Physics

physicsworld.com

Home | News | Blog | Multimedia | In depth | Jobs | Events

News archive

- 2011
- 2010
  - December 2010
  - November 2010
  - October 2010
  - September 2010
  - August 2010
  - July 2010
  - June 2010
  - May 2010
  - April 2010
  - March 2010
  - February 2010
  - January 2010
- 2009
- 2008
- 2007
- 2006
- 2005
- 2004
- 2003
- 2002
- 2001
- 2000
- 1999

Radioisotopes galore at RIKEN

Jun 14, 2010

BigRIPS has found 45 new radioisotopes

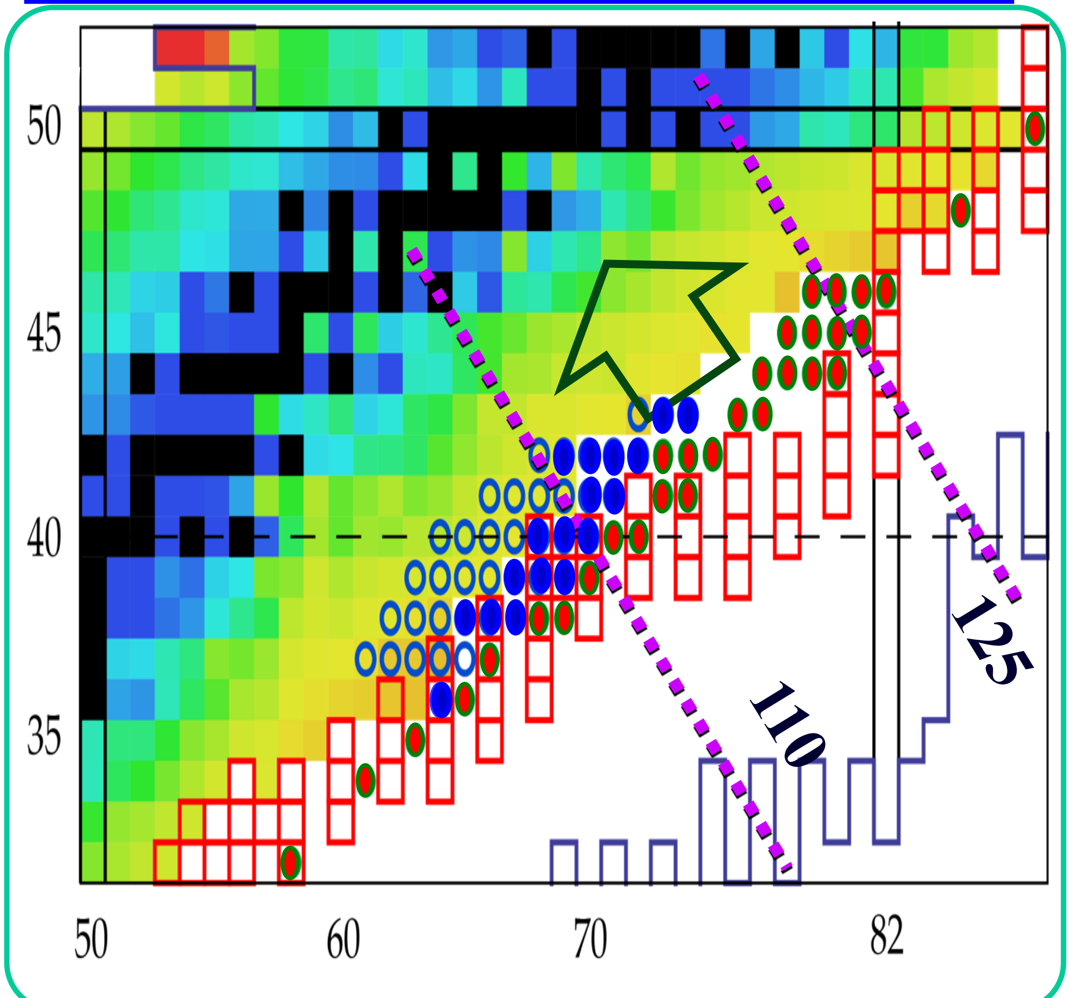
The chart of the known nuclides has been extended significantly by physicists in Japan, who have discovered 45 new neutron-rich isotopes. The nuclei were spotted at the RIKEN laboratory by smashing a powerful beam of heavy ions into beryllium and lead targets.

Half-Lives of Very Neutron-Rich Nuclei (Kr,Rb,Sr,Y,Zr,Nb,Mo,Tc) around 2nd R-Process Peak

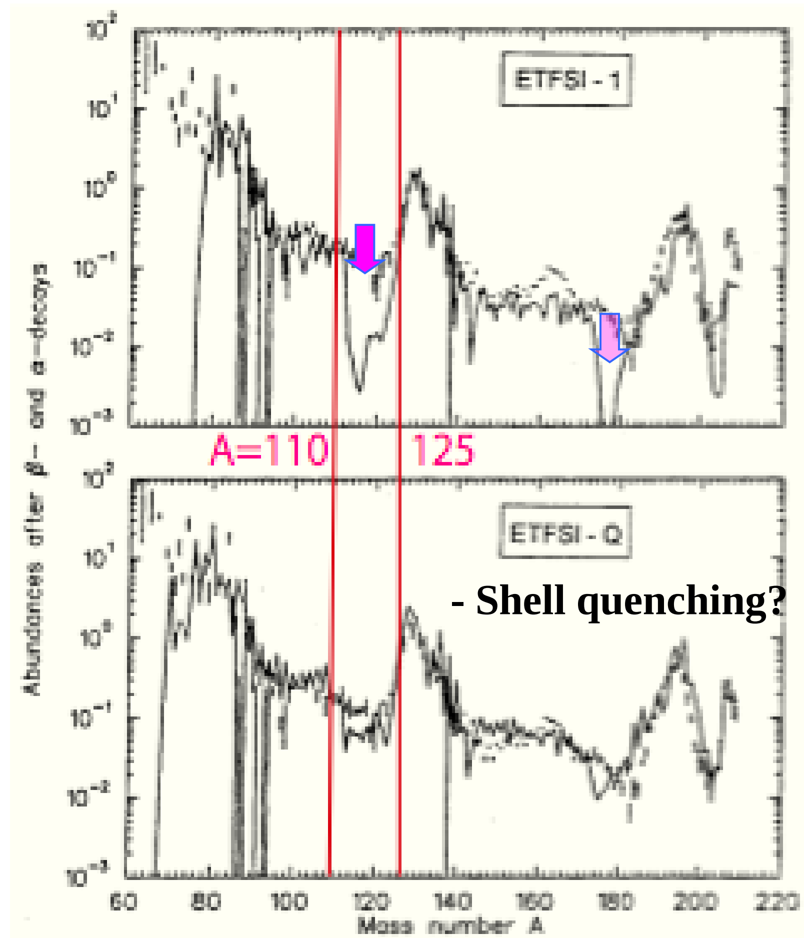
S. Nishimura et al.

T.Ohnishi, JPSJ 79 (2010).. 45 new isotopes

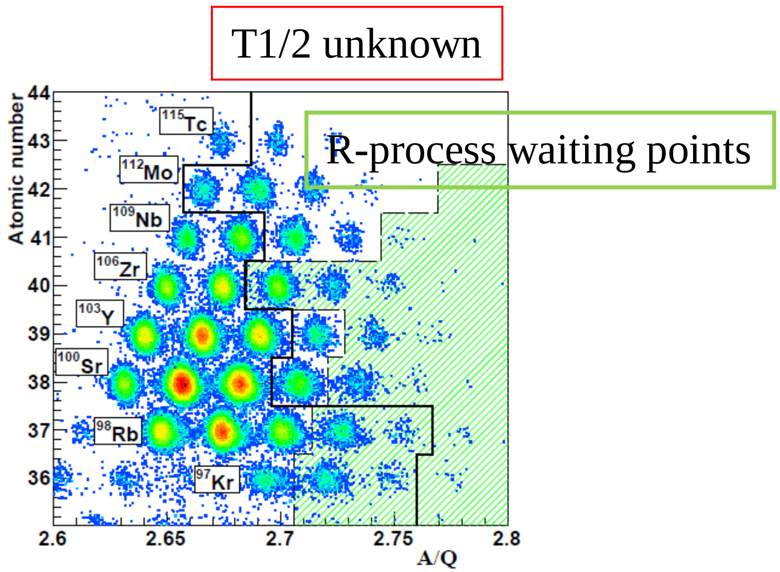
New half-lives (18 nuclei) are measured !



B.Pfeiffer et al. Z. Phys. A357 (1997)

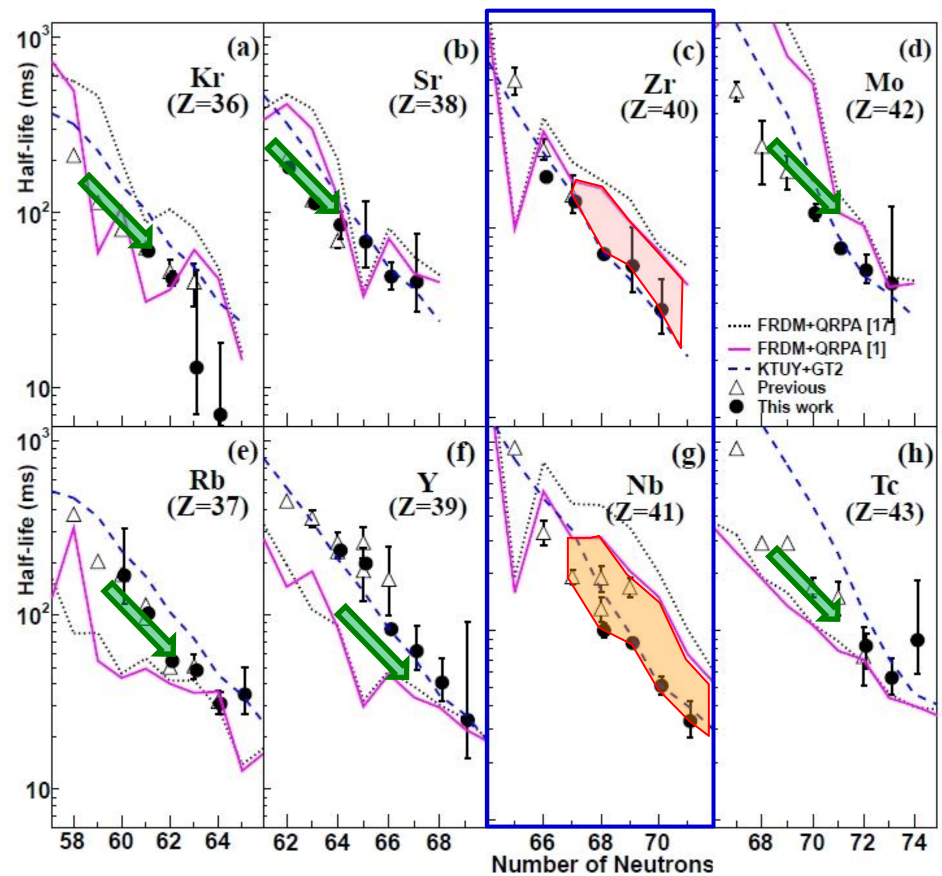


Brand-new half-life data for 18 isotopes



S. Nishimura et al., PRL 106 (11) 052502

1/3 ~ 1/2 Shorter Half-lives of
Zr and Nb (A~110)



8 hour data acquisition
T1/2 data of 38 isotopes including
first data for 18 isotopes
FRDM may underestimate Q-value
for Zr and Nb by 1 MeV at A~110
More rapid flow in the rapid
neutron-capture process
than expected

RIKEN NISHINA CENTER

Faster r-process synthesis in supernova explosion ?
ーnew half-life data for 18 neutron-rich nuclei

超新星爆発で重元素 再現

超新星爆発で重い元素が作られる様子を地上で再現したところ、一部の元素はこれまでの理論よりも多く作られることがわかった。理化学研究所が発表した。太陽系にあるいくつかの元素は理論予想より10倍多く、どう作られたのか20年間議論が続いていたが、超新星爆発が重元素の工場だった可能性が高まった。

理研の西村俊二先任研究員らは、埼玉県和光市の大強度重イオン加速器施設「RIBF」で、ウランを光速の70%に加速し、ベリリウムに毎秒10億個ぶつけた。ウランが分裂してできた元素のうち、18種類は世界で初めて寿命が調べられたという。（フィジカル・レビュー・レターズ）

産経新聞 平成23年(2011年)2月7日 月曜日 9

重元素は短時間で合成
超新星爆発の再現は世界初

超新星爆発によって鉄より重い元素が作られる過程で、一部の元素は従来の理論予測の2~3倍の速さで合成された証拠が、理化学研究所などの国際共同チームの実験で得られた。超新星爆発による重元素合成過程を再現したのは世界初。太陽系の一部の重元素が理論予測よりも多く存在する謎を解く糸口になるという。米科学誌「フィジカル レビュー レターズ」（電子版）に発表した。

自然界に存在する鉄からウランまでの元素の約半分は、巨大な恒星が寿命を迎えたときの超新星爆発でできたとする説が有力だ。恒星中心にあった鉄などの原子核が中性子過剰となり、中性子が陽子に変わる「ベータ崩壊」を繰り返してより重い安定した元素が合成されていくという。

国際チームは、理研の大強度重イオン加速器施設「RIビームファクトリー」（埼玉県）で、光速の約70%まで加速したウラン原子をベリリウム原子にぶつけて中性子過剰な重い原子核を生成し、ベータ崩壊の過程を測定。その結果、中性子過剰なジルコニウムとニオブは理論の2~3倍も速く崩壊することが判明した。

理研仁科加速器研究センターの西村俊二先任研究員は「重元素合成の謎を少しだけはぎ取った。これから超新星爆発の過程を解明していきたい」と話す。（小野晋史）

2011年（平成23年）2月11日（金曜日） 科学新聞

38個の中性子過剰なRIの寿命を測定 理研
理論予想より2~3倍速く崩壊

理研仁科加速器研究センター櫻井RI物理研究室の西村俊二・先任研究員、櫻井博儀・主任研究員らの研究グループは、クリプトンからテクネチウムまでの放射性同位元素（RI）を作り出し、不安定核である中性子過剰なRI38種の寿命を測定。質量数が110近傍の中性子過剰なRIの寿命が従来の理論予測よりも2~3倍短いことを発見した。「フィジカル・レビュー・レターズ」に掲載された。

私たちの周りにある鉄以上の重元素のうち、約半分はr過程（超新星爆発による元素合成）によって作られたと考えられている。安定した原子核は、元素とその同位体を含めこれまでに約300種ほど見つかっている。理論的には約1万種の原子核が存在するが、ほとんどが不安定な原子核であるRIだ。

r過程は、大量の中性子がある環境で、高速に連続して中性子を捕獲しながらβ崩壊を起こす。数千種の中性子過剰なRIが生成され、中性子の密度や温度の低下によるβ崩壊で、現在の環境に存在する安定した原子核に落ち着いたと考えられる。このメカニズムの詳細はわかっておらず、理論計算でも、その再現に成功していない。

r過程を解き明かすためには、数千種に及ぶ中性子過剰なRIの寿命や質量、中性子放出確率などのデータを集め、すでに消失してしまった中性子過剰なRIを再現することが必要だ。

研究グループでは、大強度重イオン加速器施設・RIビームファクトリー（RIBF）を用い、345MeVに加速したウランビームを標的のベリリウムに照射し、このうちクリプトンからテクネチウムまでの中性子過剰なRIをビームとして取り出した。崩壊に伴い放出されるβ線を測定し、統計処理することで高精度に寿命を決定した。その結果、新たに38種の中性子過剰なRIの寿命の測定に成功。そのうち18種が世界で初めて寿命測定に成功した原子核だ。今回は、質量110近傍（中重核領域）の中性子過剰なRIも測定。この領域では、理論計算でr過程の時間や元素存在度が観測データと一致していなかった。

今回のデータと理論予想を比較すると2~3倍も崩壊が速くなっていた。超新星爆発で作られる元素の量は、中性子過剰なRIの寿命の関係と密接で、寿命が予想より短いという今回のデータは、r過程が予想よりも速く重元素領域へ移行して、多くの重元素が生成されることを示唆している。理論予想でも謎だった、重元素生成量の不足問題の解決につながる可能性がある。今後は、RIBFのビーム強度を現状の4000倍にすることを目指しており、より多くのRIデータを取得していくという。

日本研究称超新星爆发时元素合成速度比预测快

2011-02-07 09:10:15 来源：新华网(广州) 跟贴 21 条 手机看新闻

核心提示：日本对38种中子过剩的放射性同位素的寿命进行精确测定，发现质量数在110左右的放射性同位素的衰变速度超过理论预测值的两三倍。这表明超新星爆发时的元素合成速度远高于预想。

新华网东京2月6日电 日本理化研究所日前发表公报说，该所研究人员与国内外同行通过对38种中子过剩的放射性同位素的寿命进行精确测定，发现质量数在110左右的放射性同位素的衰变速度超过理论预测值的两三倍。这表明超新星爆发时的元素合成速度远高于预想。

公报说，科学界认为，从铁到铀，自然界稳定存在的重元素中有约半数是大质量恒星在生命终结阶段发生超新星爆发时生成的。为了验证这一假说，有必要人工合成超新星爆发时生成的中子过剩的放射性同位素，并测定它们的寿命。

研究小组利用仁科加速器研究中心的重离子加速器“放射性同位素束流工厂”将铀238束流加速到345兆电子伏特，然后轰击铍9，从而人工制造出从氪97到锝117等数十种中子过剩的放射性同位素。接着，研究人员把这些放射性同位素分离，并让分离后的原子核束射入理化研究所研发的高性能寿命测定装置，精确测定它们的寿命，也即同位素衰变前保持稳定的时间。测定结果显示，质量数在110左右的放射性同位素的寿命只有理论预测值的二分之一到三分之一。这表明，超新星爆发时的重元素合成速度远高于理论预测值。

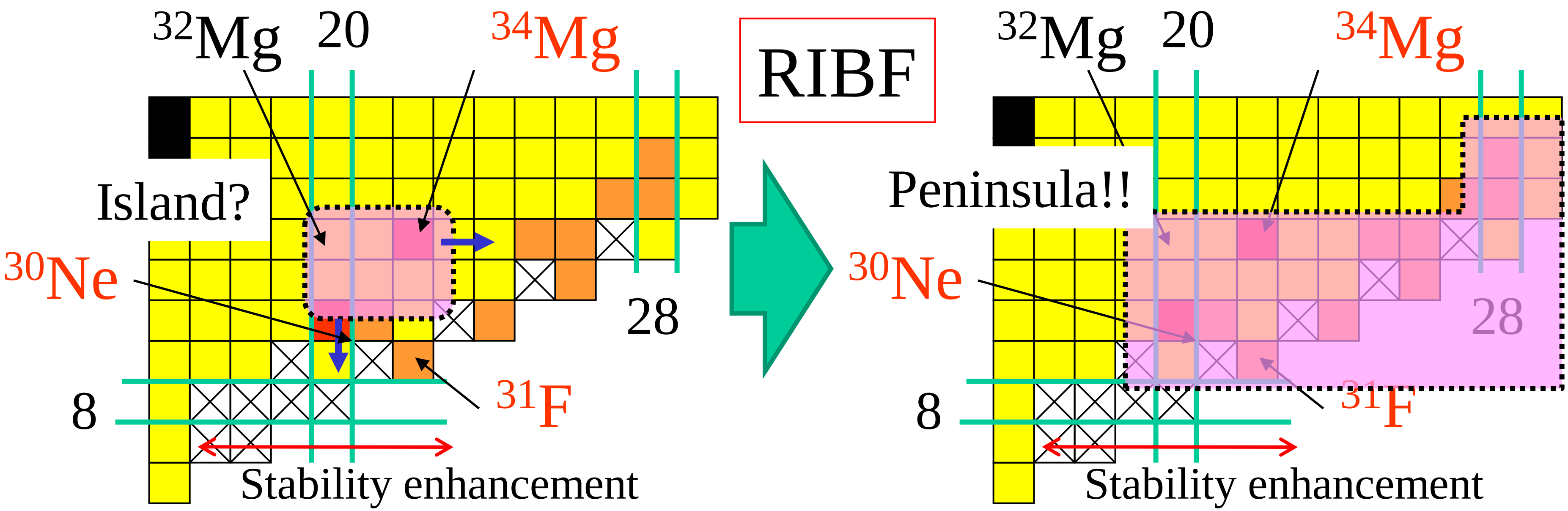
本次研究成果将发表于美国《物理评论通讯》周刊。

Feb 7th 2011

日本研究称超新星爆发时元素合成速度比预测快_网易新闻中心

(本文来源：新华网)

Extension of the deformation region up to the drip-line



How the deformation region is expanding ?

Something new associated with weakly bound natures?

- pairing gap ~ separation energy
- pairing?
- di-neutron ?
- cluster formation?

Doornenbal, Scheit, et al.

Ne-32 1st excited states: PRL 103, 032501 (2009)

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

Mg-36,-38: ARIS11; in preparation

F-29: in preparation

Chevier, Ueno et al.,

Intruder state in S-43: PRL 108, 162501 (2012)

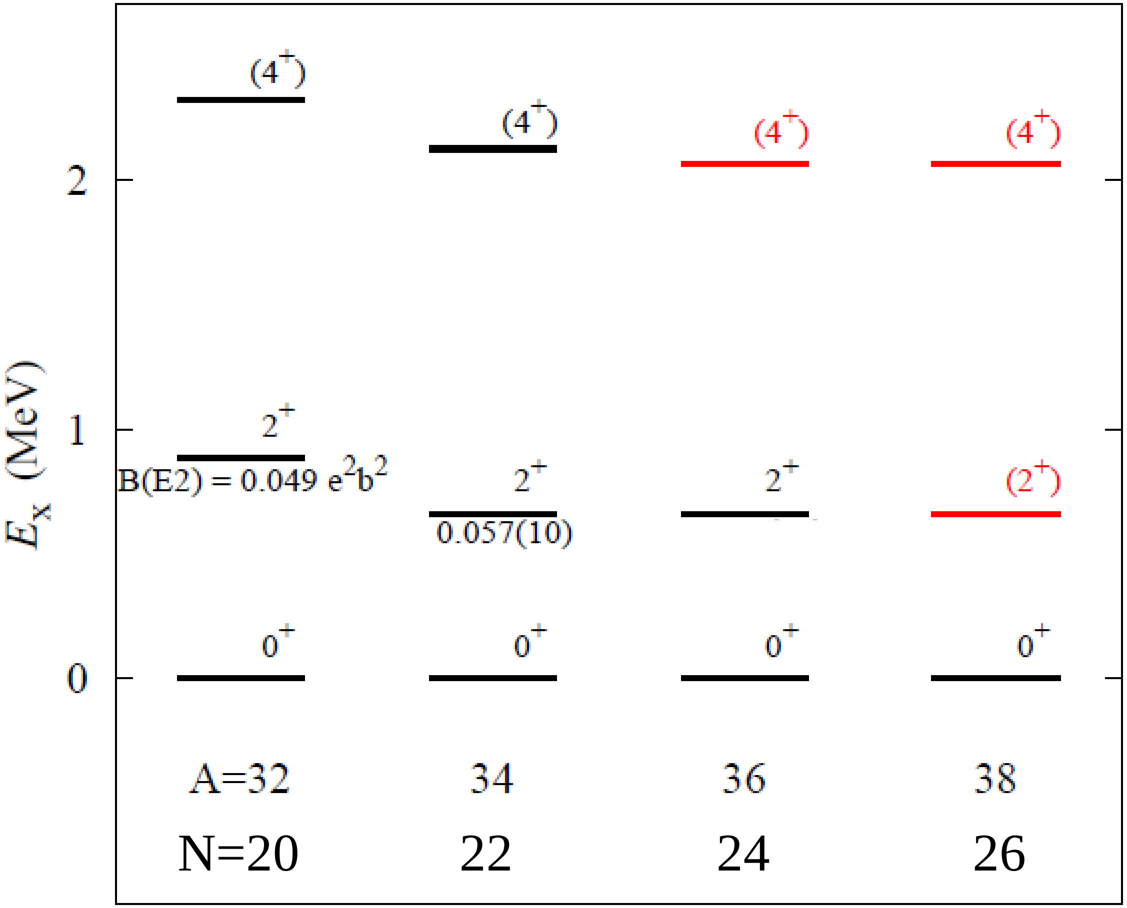
Takeuchi et al.

Si-42 : ARIS11; submitted

Collectivity of the neutron-rich Mg isotopes

P. Doornenbal, et al. in preparation

Excitation Energy of 2^+ and 4^+ in Mg



^{A}Al -> $^{A-1}$Mg

For A=34 to 38
E(2^+)~700 keV
E(4^+)/E(2^+)~3.1

At N=22, 24, 26 the nuclei are well deformed

No increase of E(2^+) at N=26
N=28 for Mg is not magic

B(E2)?
Mn/Mp?
E(2^+), E(4^+) in ^{40}Mg?
Energy of single particle states?

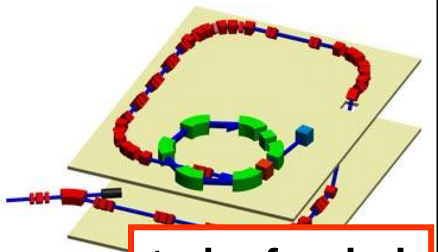
New Devices of RIBF

To maximize the potentials of intense RI beams available at RIBF

for several 100 – 1000 species

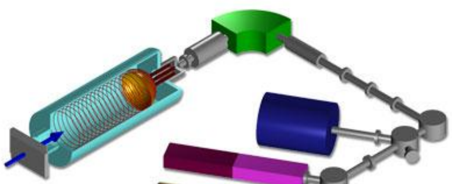
- mass
- half-life
- excited states
- deformation
- charge radii
- matter radii
- charge distribution
- matter distribution
- EM moments
- single particle states
- astrophysical reactions
- giant resonances
- exotic modes
- HI collisions (EOS)

Rare RI ring



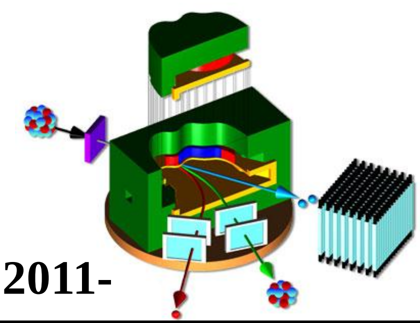
to be funded

SLOWRI



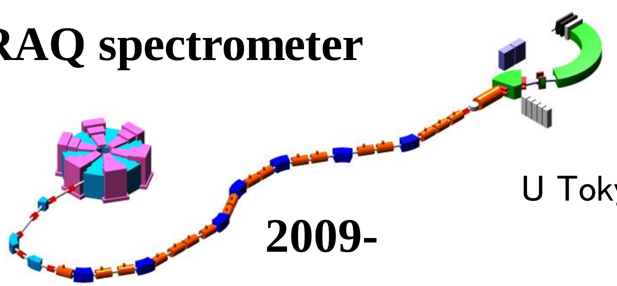
to be funded

SAMURAI



2011-

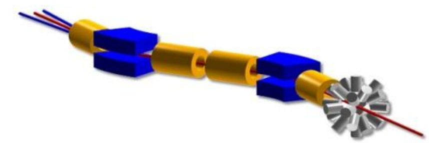
SHARAQ spectrometer



U Tokyo

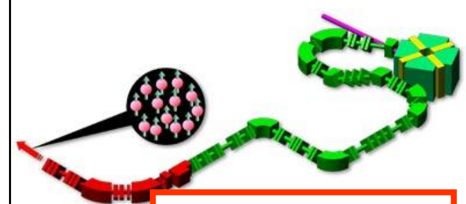
2009-

ZeroDegree



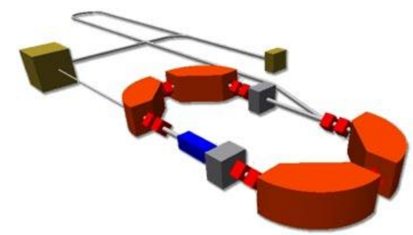
2008-

IRC-to-RIPS BT



to be funded

SCRIT

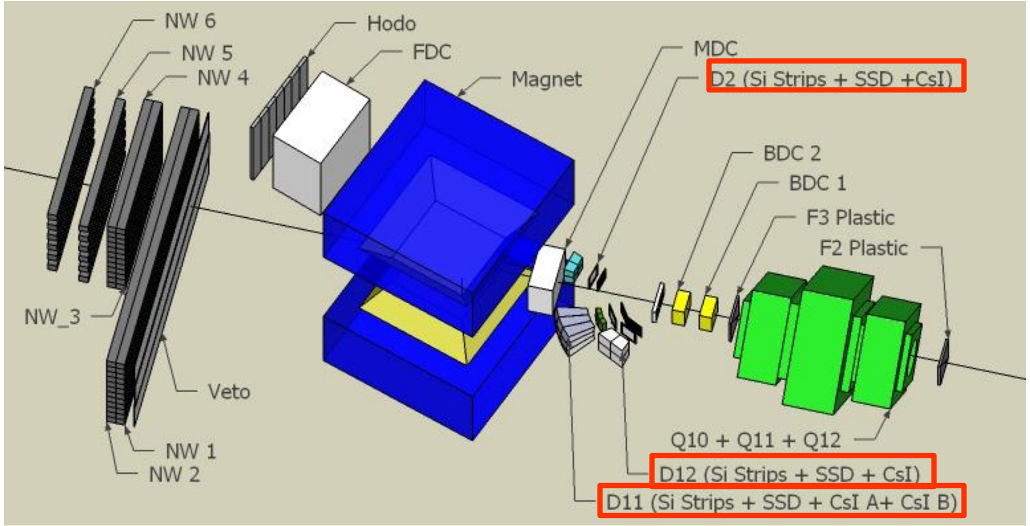


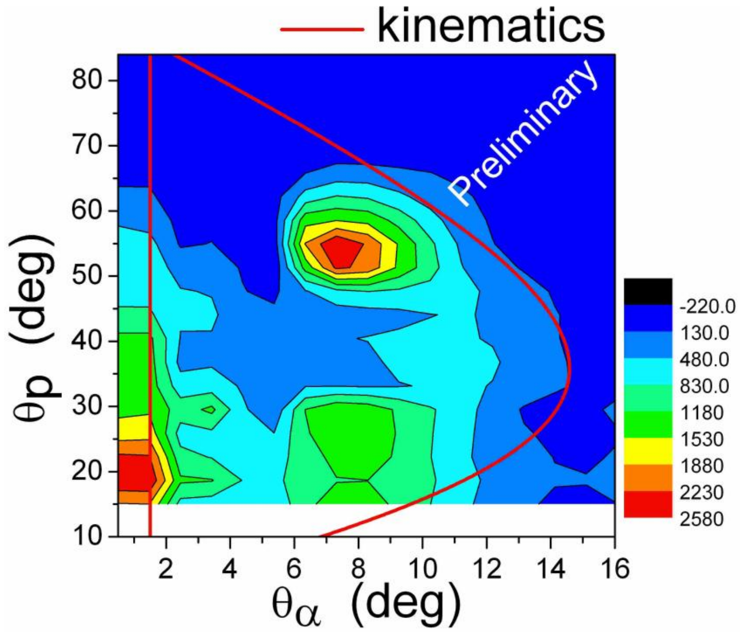
2010-

Recoiled proton tagged knockout reaction for He-8 at RIPS

PKU-RIKEN-IMP-TITech-Seaul

Ye et al., July 2009





"Quasi-elastic scattering of He-6 from C-12"
Lou and Ye et al., PRC 83, 034612 (2011)

"Recoil proton tagged knockout reaction for He-8"
Cao and Ye et al., PLB 707, 46-51 (2012)

Challenge

Action

Discussion

Enjoy

Next challenges for next 30 years