

原子核存在极限与新元素探索

周善贵

中国科学院理论物理研究所 / 理论物理前沿重点实验室
中国科学院大学 物理科学学院
兰州重离子加速器国家实验室 理论核物理中心
量子效应及其应用协同创新中心（湖南师范大学）

Supported by: NSFC & MOST; IAEA
HPC Cluster of KLTP/ITP-CAS
ScGrid of CNIC-CAS

1869年：门捷列夫元素周期表

ОПЫТЪ СИСТЕМЫ ЭЛЕМЕНТОВЪ,

ОСНОВАННОЙ НА ИХЪ АТОМНОМЪ ВѢСѢ И ХИМИЧЕСКОМЪ СХОДСТВѢ.

			Ti=50	Zr= 90	?=180.
			V=51	Nb= 94	Ta=182.
			Cr=52	Mo= 96	W=186.
			Mn=55	Rh=104,4	Pt=197,1.
			Fe=56	Ru=104,4	Ir=198.
			Ni=Co=59	Pd=106,6	Os=199.
H=1			Cu=63,4	Ag=108	Hg=200.
	Be= 9,4	Mg=24	Zn=65,2	Cd=112	
	B=11	Al=27,3	?=68	Ur=116	Au=197?
	C=12	Si=28	?=70	Sn=118	
	N=14	P=31	As=75	Sb=122	Bi=210?
	O=16	S=32	Se=79,4	Te=128?	
	F=19	Cl=35,5	Br=80	I=127	
Li=7	Na=23	K=39	Rb=85,4	Cs=133	Tl=204.
		Ca=40	Sr=87,6	Ba=137	Pb=207.
		?=45	Ce=92		
		?Er=56	La=94		
		?Yt=60	Di=95		
		?In=75,6	Th=118?		

Д. Менделѣевъ

Reihen	Gruppe I. — R ⁰	Gruppe II. — R ⁰	Gruppe III. — R ⁰	Gruppe IV. RH ⁴ R ⁰	Gruppe V. RH ³ R ⁰	Gruppe VI. RH ² R ⁰	Gruppe VII. RH R ⁰	Gruppe VIII. — R ⁰
1	II=1							
2	Li=7	Be=9,4	B=11	C=12	N=14	O=16	F=19	
3	Na=23	Mg=24	Al=27,3	Si=28	P=31	S=32	Cl=35,5	
4	K=39	Ca=40	—=44	Ti=48	V=51	Cr=52	Mn=55	Fo=56, Co=59, Ni=60, Cu=63.
5	(Cu=63)	Zn=65	—=68	—=72	As=75	So=73	Br=80	
6	Rb=86	Sr=87	?Yt=88	Zr=90	Nb=94	Mo=96	—=100	Ru=104, Rh=104, Pd=106, Ag=108.
7	(Ag=108)	Cd=112	In=113	Sn=118	Sb=122	Te=125	J=127	
8	Ca=133	Ba=137	?Di=138	?Ce=140	—	—	—	—
9	(—)	—	—	—	—	—	—	—
10	—	—	?Er=178	?La=180	Ta=182	W=184	—	Os=195, Ir=197, Pt=198, Au=199.
11	(Au=199)	Hg=200	Tl=204	Pb=207	Bi=208	—	—	—
12	—	—	—	Th=231	—	U=240	—	—



国际化学元素周期表年

IYPT 2019

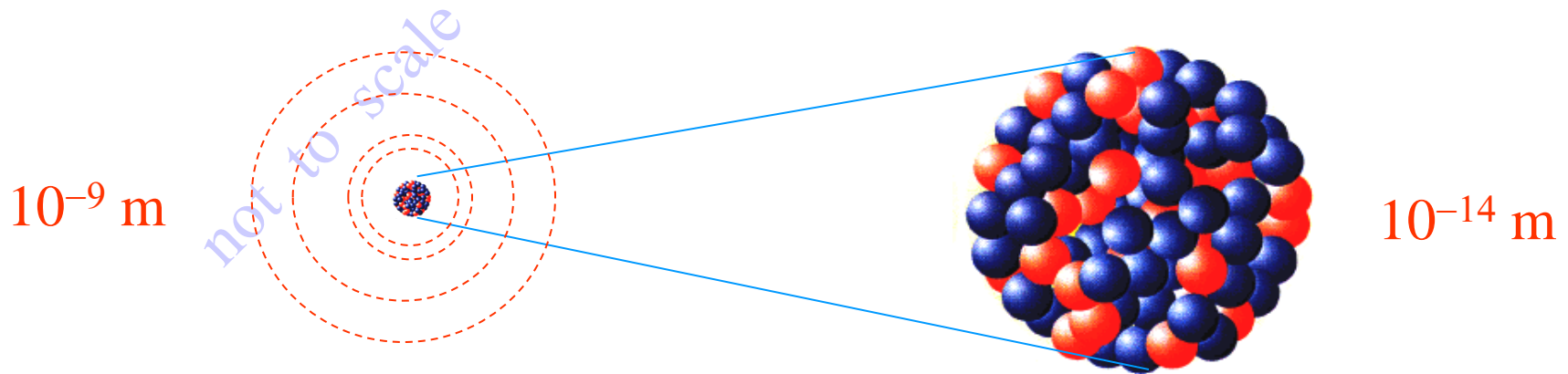


United Nations
Educational, Scientific and
Cultural Organization



International Year
of the Periodic Table
of Chemical Elements

原子核 (Atomic nucleus)



- **原子核**: 由一定数目的质子 & 中子 (核子) 组成
- **化学元素**: 质子数 Z 相同的原子的统称
 - 例: 氢 (H, $Z = 1$)、氧 (O, $Z = 8$)
- **同位素**: 质子数相同、中子数不同的核素
 - 例: 氢 (^1H , $N = 0$)、氘 (^2H 或D, $N = 1$)、氚 (^3H 或T, $N = 2$)
氧-16 (^{16}O , $N = 8$)、氧-18 (^{18}O , $N = 10$), ...

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

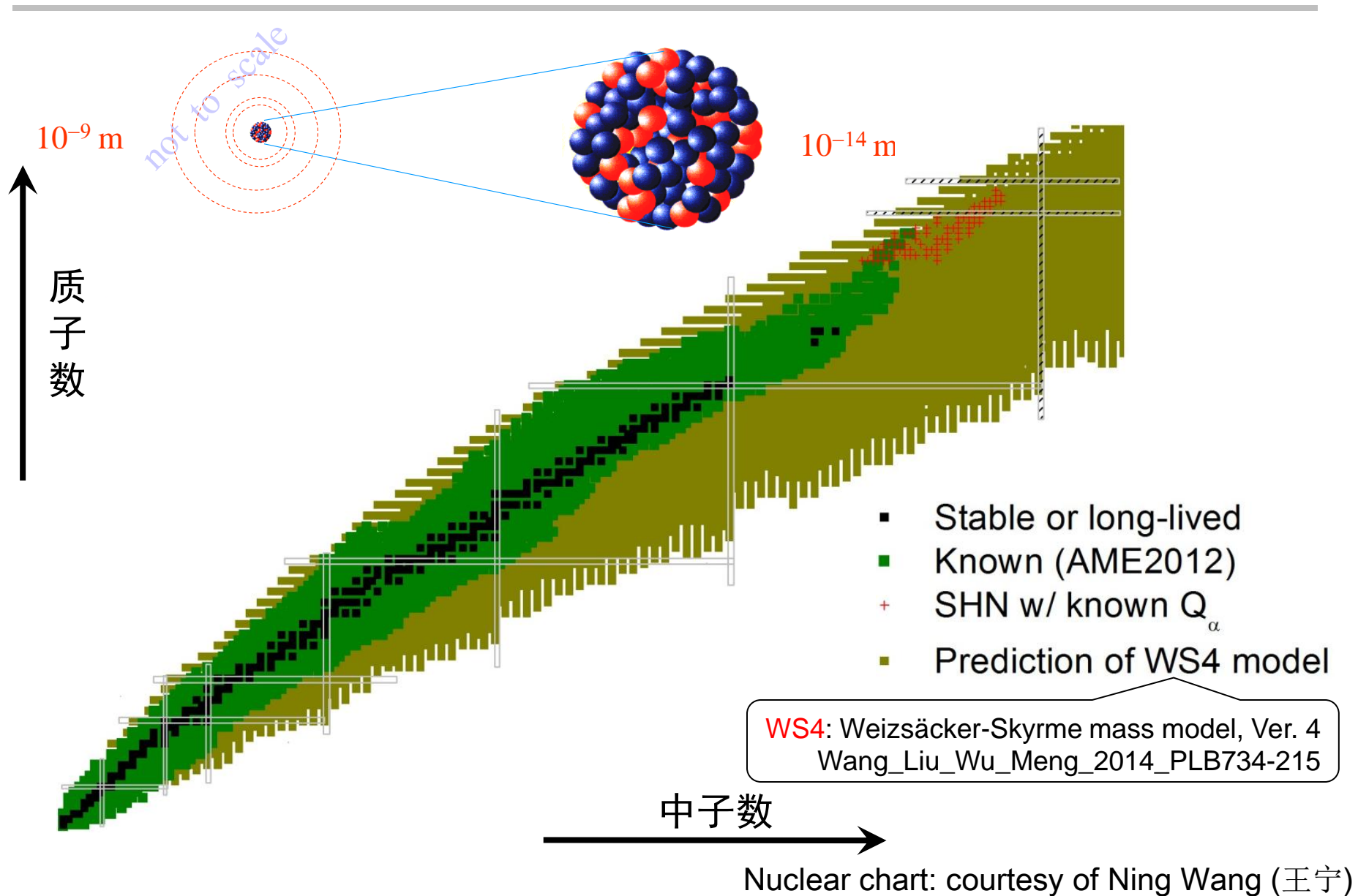
周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

核素图



核物理研究的意义

□ 基础研究

- 原子核是**物质结构**的一个重要层次——基本粒子和介观物质之间
- 核物理研究涉及四种**基本相互作用**：强、弱、电磁、引力
- 原子核是一个**复杂的量子多体系统**，体现了丰富的层展性质
- 宇宙中重子物质的绝大部分是由原子核构成，研究核物理对于认识**元素的起源和星体演化**具有关键意义
- ...

核物理研究的意义

□ 基础研究

- 原子核是物质结构的一个重要层次——基本粒子和介观物质之间
- 核物理研究涉及四种基本相互作用：强、弱、电磁、引力
- 原子核是一个复杂的量子多体系统，体现了丰富的层展性质
- 宇宙中重子物质的绝大部分是由原子核构成，研究核物理对于认识元素的起源和星体演化具有关键意义
- ...

□ 国家安全与核能的利用： $E = mc^2$

- 核武器
- 核能

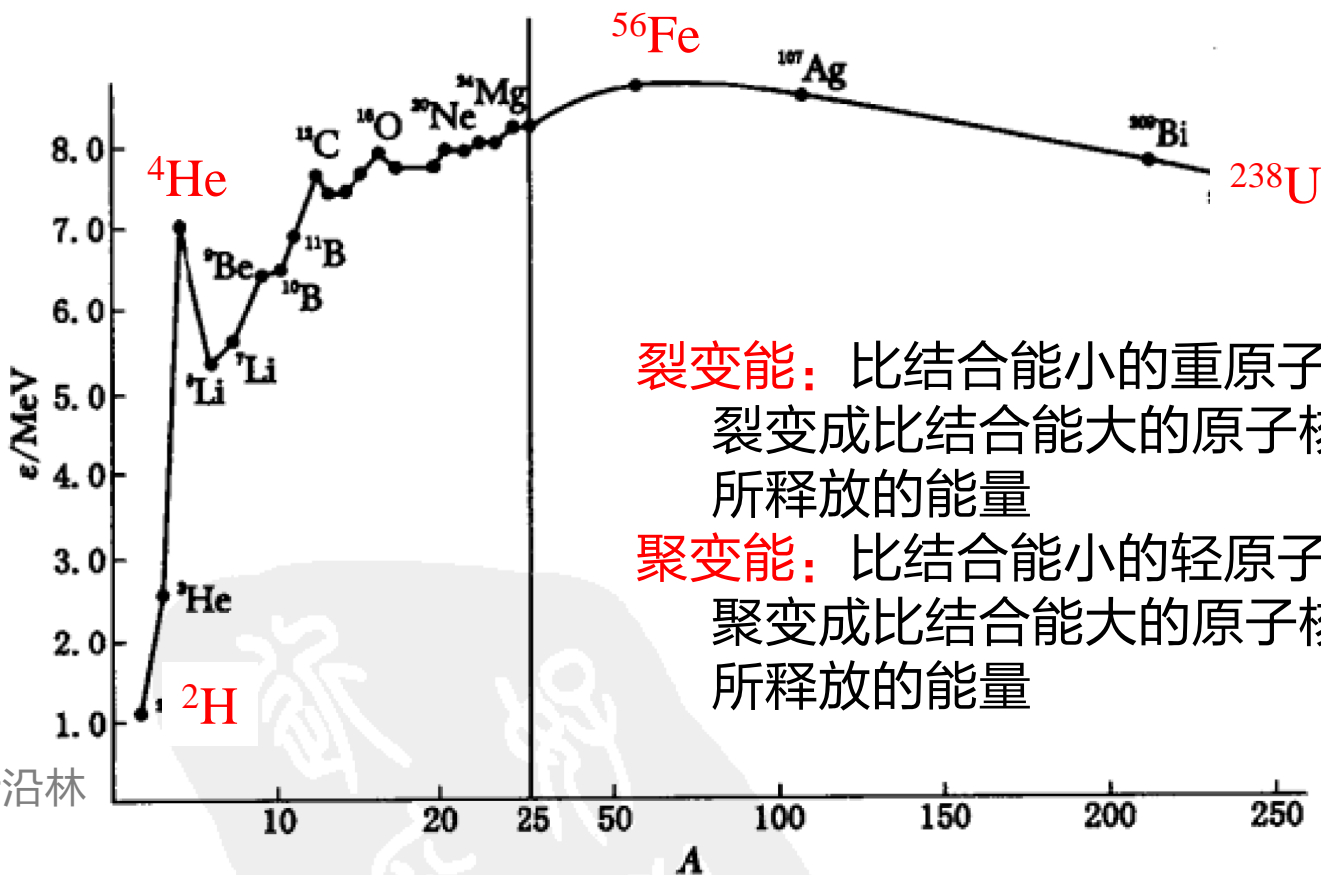
“1千克铀-235裂变释放出的能量，相当于2735吨标准煤的能量。”
欧阳钟灿、周善贵，物理：从IT到ET，《2009科学发展报告》

原子核结合能的基本规律

$$E = mc^2$$

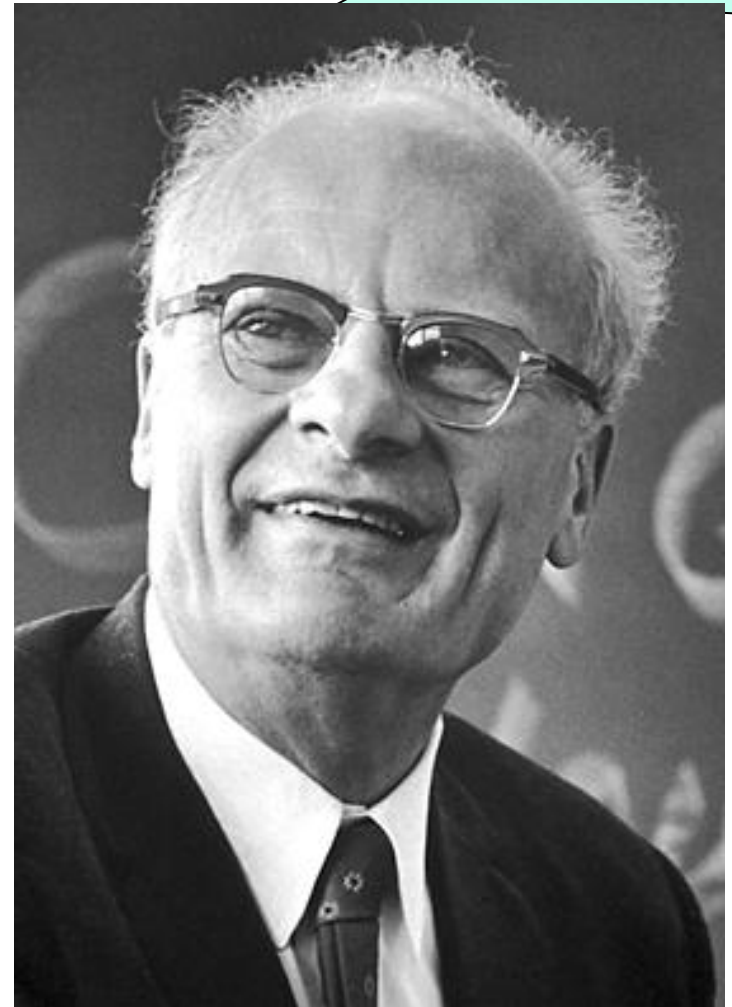
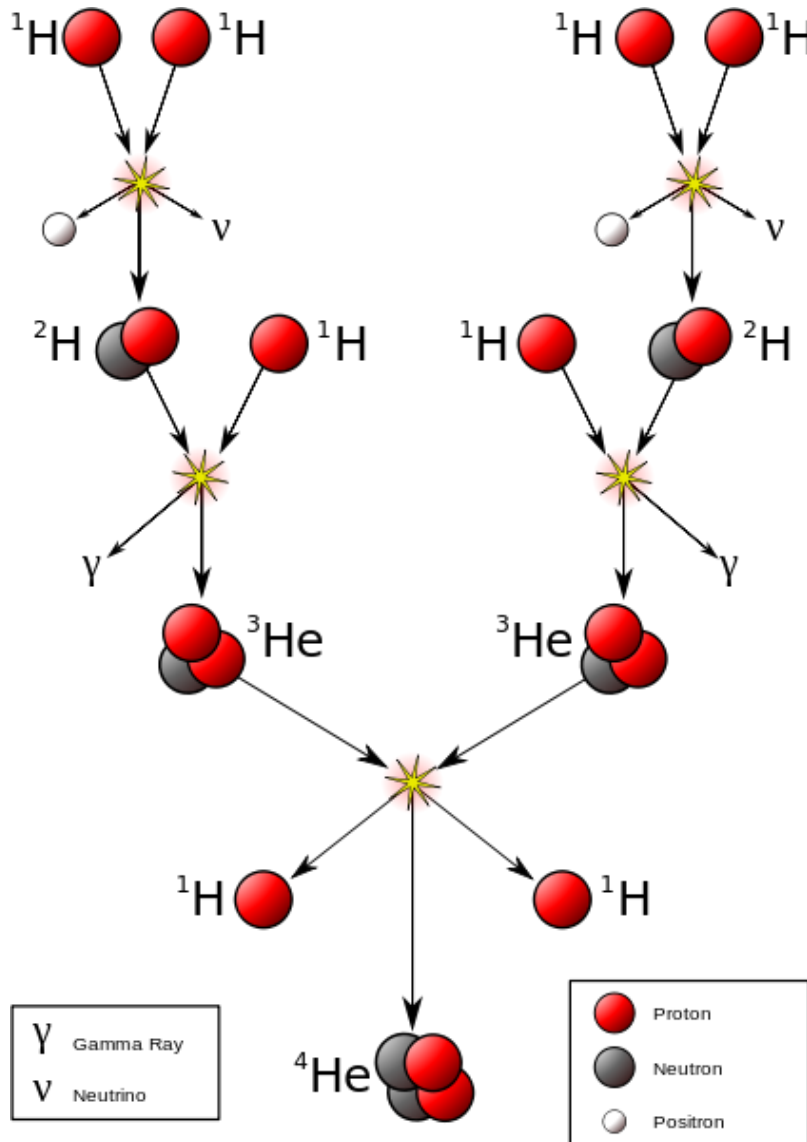
- 比结合能（平均结合能）即总结结合能与核子数的比值
- 比结合能表示，为把原子核拆成自由核子，平均对每个核子所做的功；因此，比结合能标志着原子核结合的松紧程度

^2H : 1.112 MeV
 ^4He : 7.07 MeV
 ^{56}Fe : 8.79 MeV
 ^{238}U : 7.57 MeV



聚变——太阳的能量来源

$$E = mc^2$$



Hans A. Bethe (1906--2005)

1967年诺贝尔物理奖

核武器

$$E = mc^2$$

原子核裂变

原子弹



原子核聚变

氢弹



核武器与核能的和平利用

$$E = mc^2$$

原子核裂变

原子弹



当前：
核电站

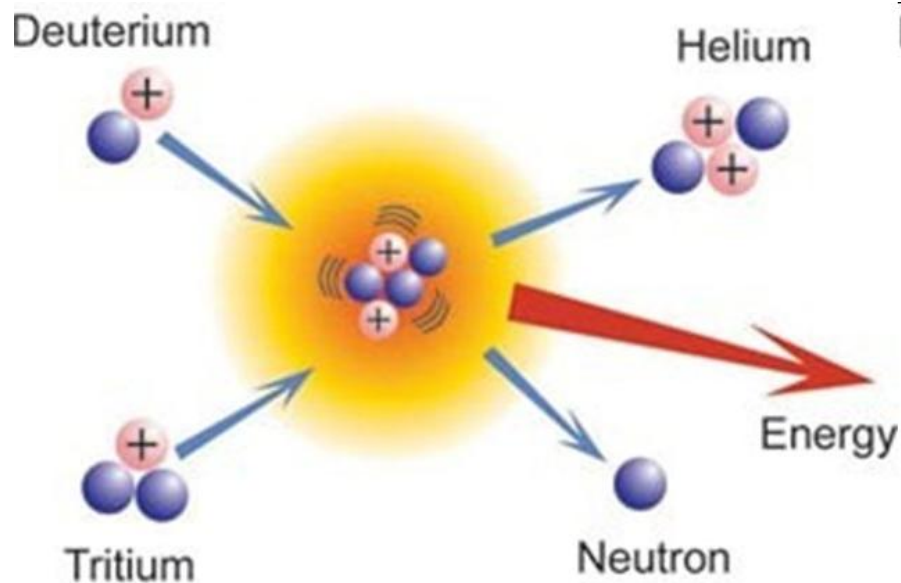


秦山核电站

将来：
聚变能的利用

原子核聚变

氢弹



核物理研究的意义

□ 基础研究

- 原子核是**物质结构**的一个重要层次——基本粒子和介观物质之间
- 核物理研究涉及四种**基本相互作用**：强、弱、电磁、引力
- 原子核是一个**复杂的量子多体系统**，体现了丰富的层展性质
- 宇宙中重子物质的绝大部分是由原子核构成，研究核物理对于认识**元素的起源和星体演化**具有关键意义
- ...

□ 国家安全与核能的利用： $E = mc^2$

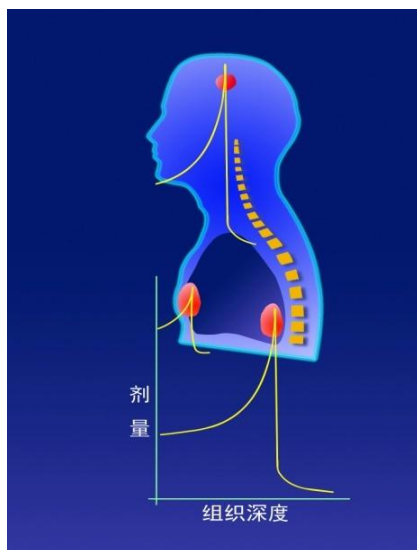
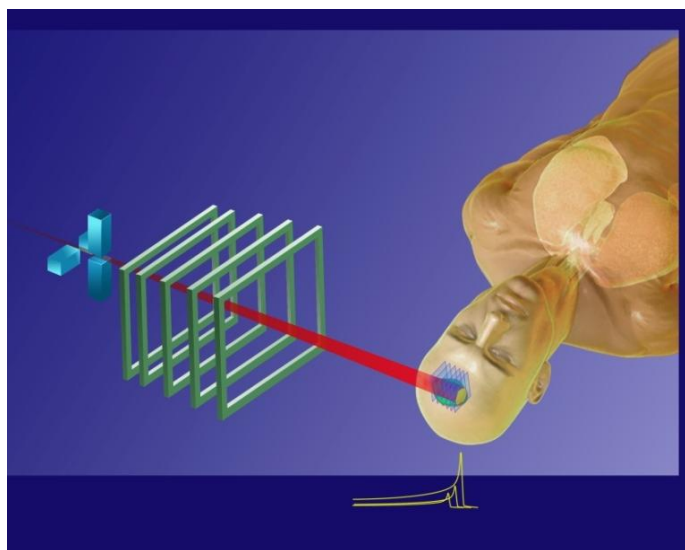
- 核武器
- 核能

“1千克铀-235裂变释放出的能量，相当于2735吨标准煤的能量。”
欧阳钟灿、周善贵，物理：从IT到ET，《2009科学发展报告》

□ 核技术在其他领域的应用

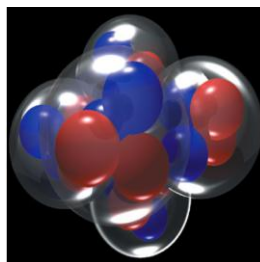
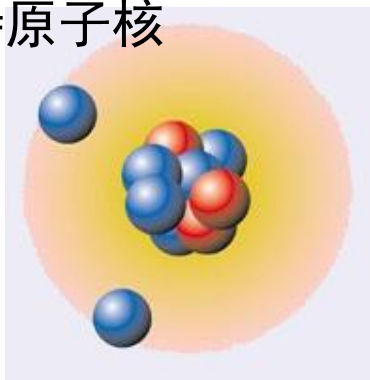
- 农业；医学；探测；等等

首台国产医用重离子加速器系统开始临床试验治疗

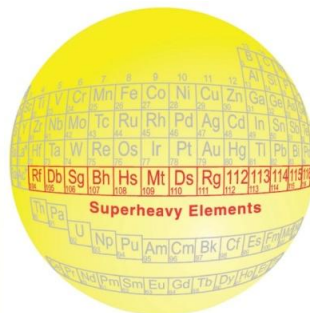


低能核物理研究前沿

奇特原子核

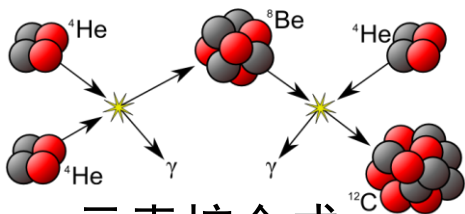


集团结构



超重原子核

质子数



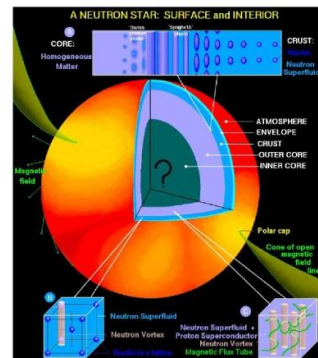
元素核合成

转动原子核

奇异原子核



中子数



Two-nucleon force	
LO	
NLO	

对称性/多体理论/相互作用

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

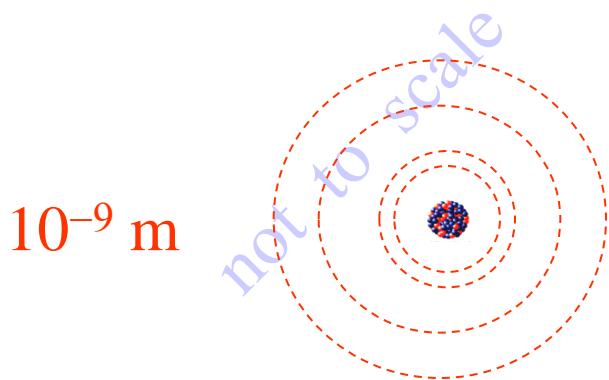
周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

核电荷和质量极限——从原子层次看



杨福家, 1985, 原子物理学
Greiner & Reinhardt 1994, QED
Indelicato 2013, Nature 498, 40-41

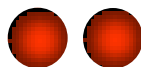
□ 玻尔原子理论：原子最内层轨道上的电子运动速度为

- 氢原子： $v_1 = \alpha c$
- 重原子： $v_1 \sim Z\alpha c$, $Z < 137$

□ 量子电动力学：原子最内层轨道上的电子能量为

- 假设原子核为点电荷：
 $E_1 \sim m_e c^2 [(1 - (Z\alpha)^2)^{1/2} - 1]$, $Z < 137$
- 考虑原子核的大小： ..., $Z < 173$

核电荷和质量极限——从原子核层次看

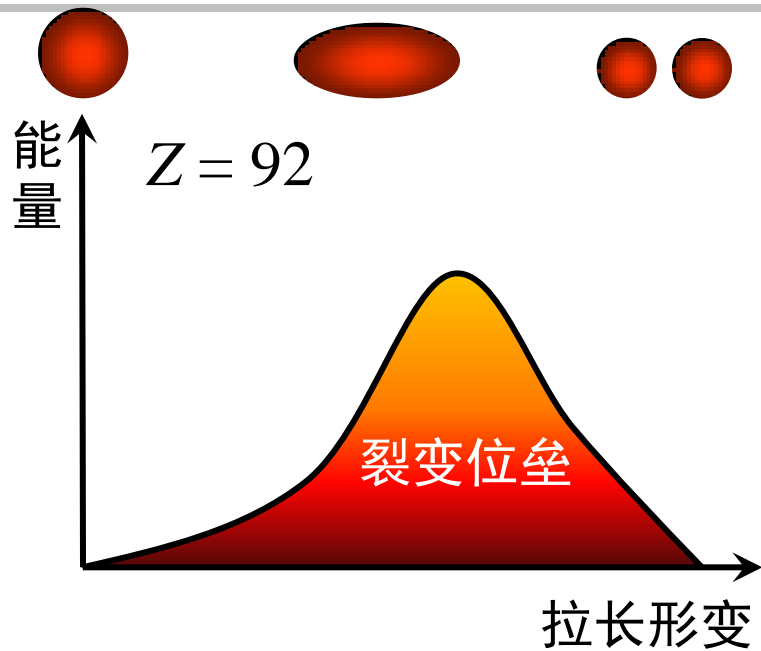


□ 核 力：力程短、吸引，而且具有饱和性

□ 库仑力：力程长、排斥

□ 把原子核看成带电液滴：稳定性由长程库仑排斥与短程核力的吸引之间的竞争

核电荷和质量极限——从原子核层次看

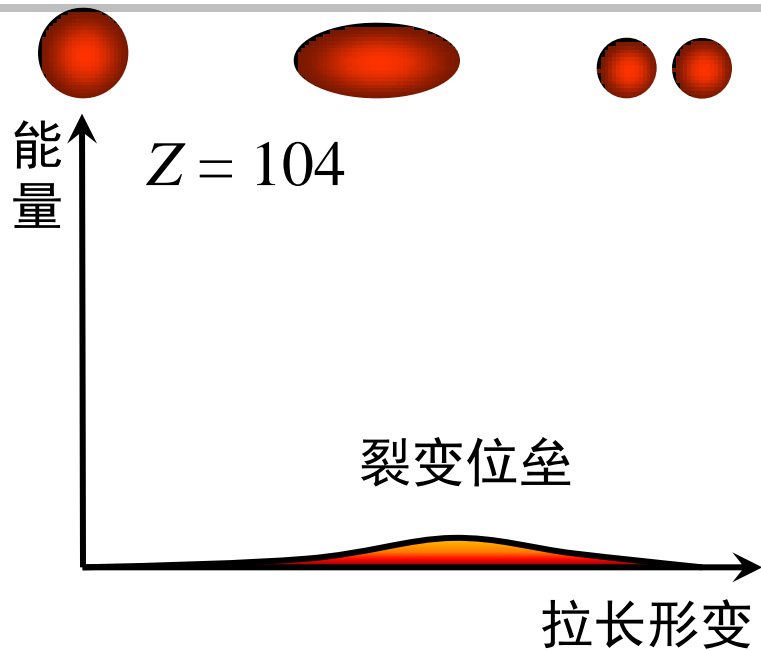


□ 核力：力程短、吸引，而且具有饱和性

□ 库仑力：力程长、排斥

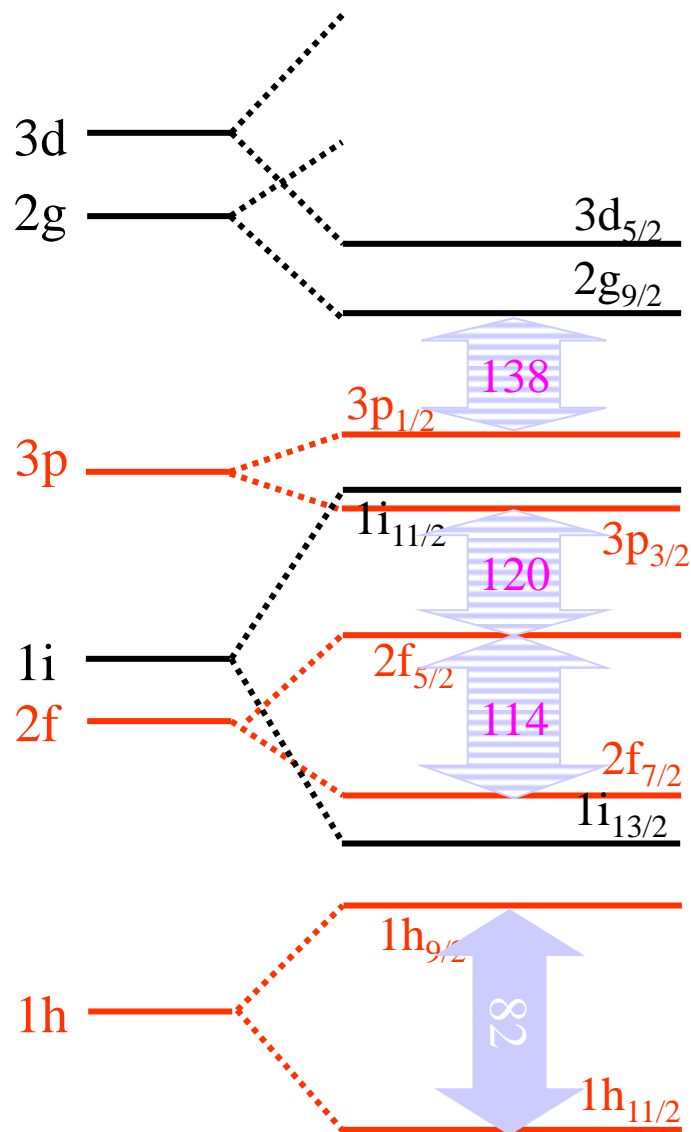
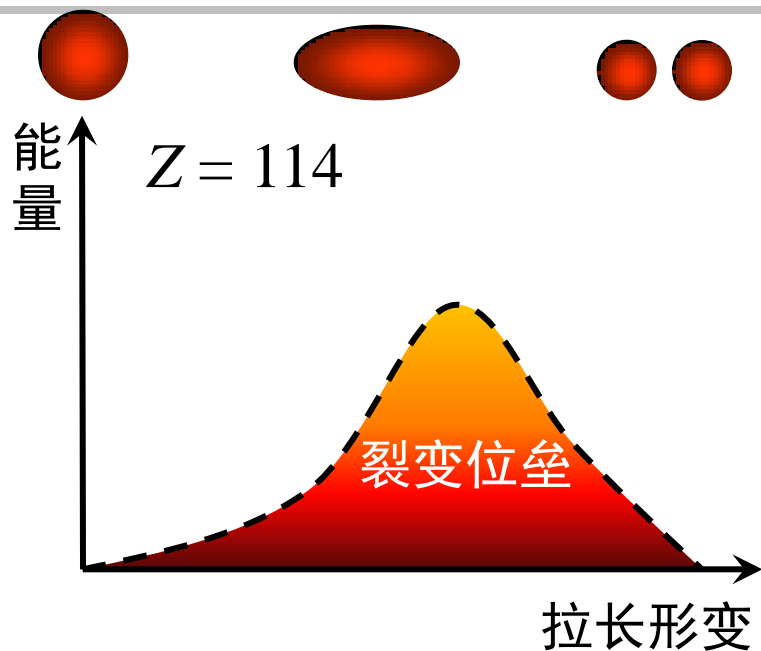
□ 把原子核看成带电液滴：稳定性由长程库仑排斥与短程核力的吸引之间的竞争

核电荷和质量极限——从原子核层次看



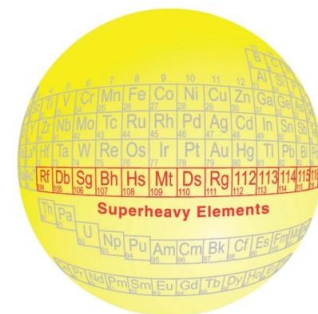
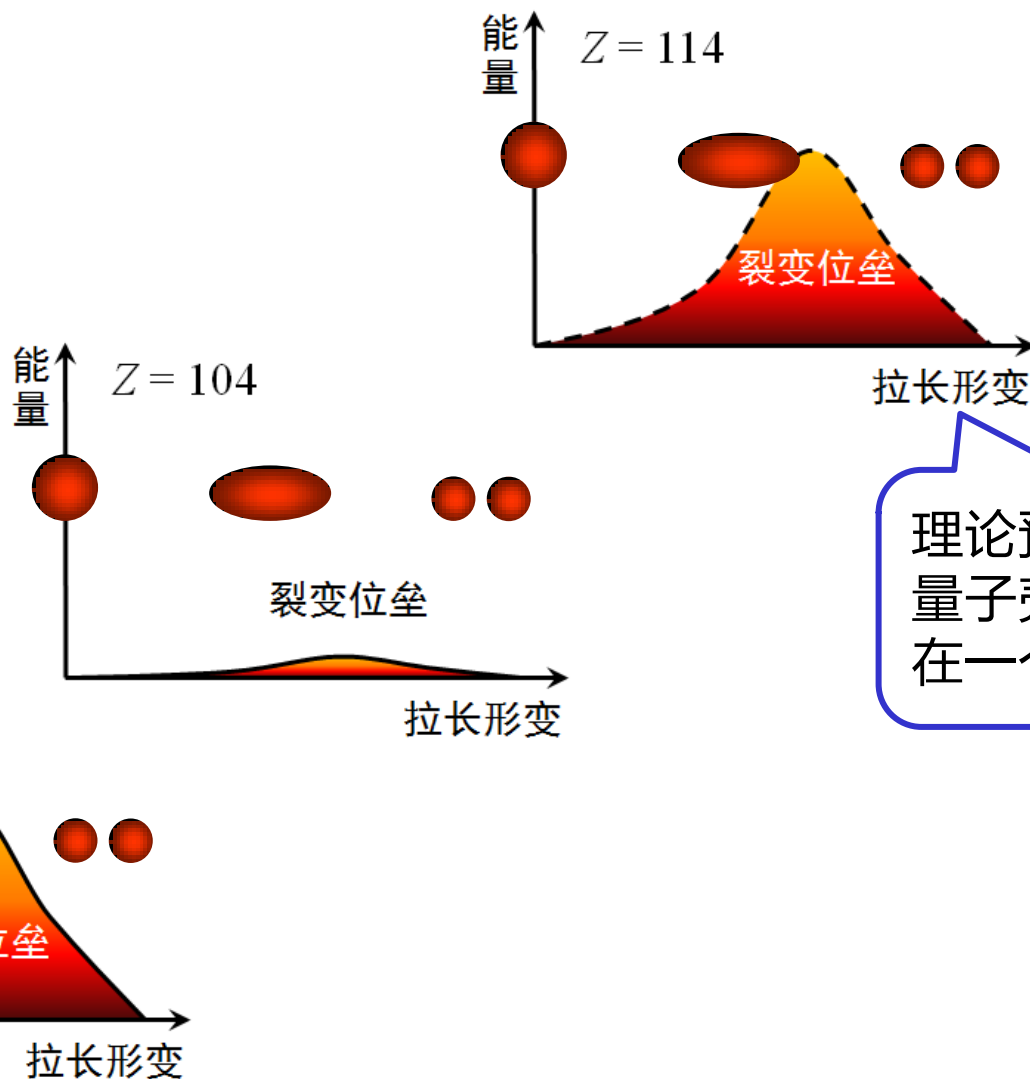
- 核力：力程短、吸引，而且具有饱和性
- 库仑力：力程长、排斥
- 把原子核看成带电液滴：稳定性由长程库仑排斥与短程核力的吸引之间的竞争

超重核的存在源于量子壳效应



何为超重原子核？

把原子核看成是经典带电液滴，则不存在104号以上的元素



超重原子核

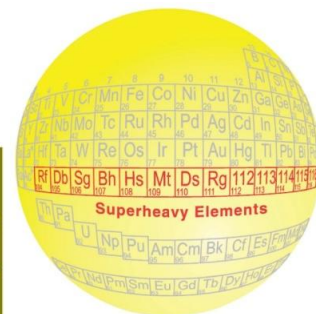
理论预言，由于量子壳效应，存在一个超重岛

超重原子核 (SHN) —— 电荷与质量极限

Are there stable high-atomic-number elements?

A superheavy element with 184 neutrons and 114 protons should be relatively stable, if physicists can create it.

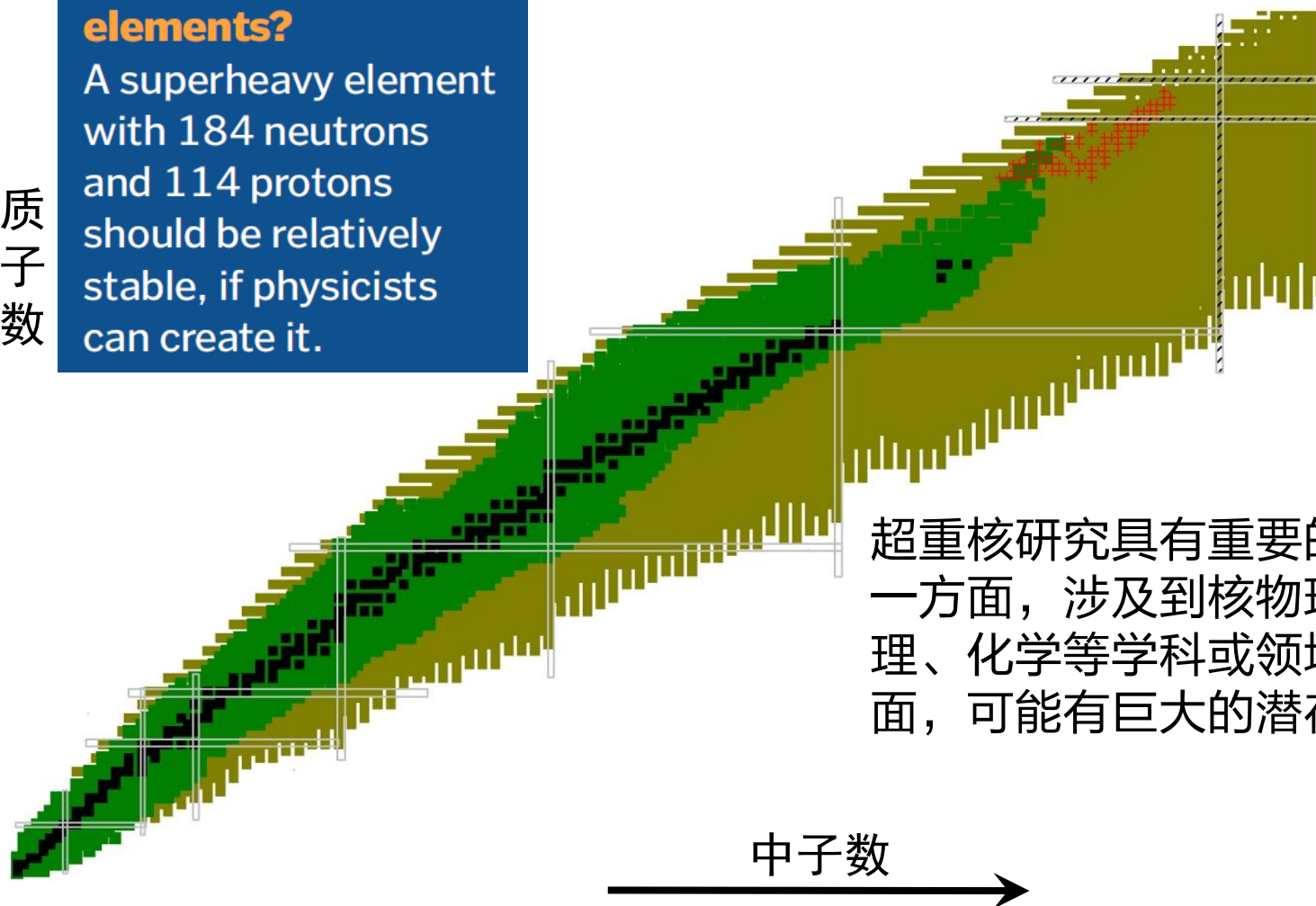
Top 125 science questions
Science July 2005



超重原子核



质子数



超重核研究具有重要的科学意义，一方面，涉及到核物理、原子物理、化学等学科或领域，另一方面，可能有巨大的潜在应用价值。

中子数



Nuclear chart: courtesy of Ning Wang (王宁)

元素周期表——何处是尽头？

	IA																		0	
1	¹ 氢 H																			² 氦 He
2	³ 锂 Li	⁴ 铍 Be																		
3	¹¹ 钠 Na	¹² 镁 Mg																		
4	¹⁹ 钾 K	²⁰ 钙 Ca	²¹ 钪 Sc	²² 钛 Ti	²³ 钒 V	²⁴ 铬 Cr	²⁵ 锰 Mn	²⁶ 铁 Fe	²⁷ 钴 Co	²⁸ 镍 Ni	²⁹ 铜 Cu	³⁰ 锌 Zn	³¹ 镓 Ga	³² 锗 Ge	³³ 砷 As	³⁴ 硒 Se	³⁵ 溴 Br	³⁶ 氪 Kr		
5	³⁷ 铷 Rb	³⁸ 锶 Sr	³⁹ 钇 Y	⁴⁰ 锆 Zr	⁴¹ 铌 Nb	⁴² 钼 Mo	⁴³ 锝* Tc	⁴⁴ 钌 Ru	⁴⁵ 铑 Rh	⁴⁶ 钯 Pd	⁴⁷ 银 Ag	⁴⁸ 镉 Cd	⁴⁹ 铟 In	⁵⁰ 锡 Sn	⁵¹ 锑 Sb	⁵² 碲 Te	⁵³ 碘 I	⁵⁴ 氙 Xe		
6	⁵⁵ 铯 Cs	⁵⁶ 钡 Ba	⁵⁷⁻⁷¹ 镧系 La-Lu	⁷² 铪 Hf	⁷³ 钽 Ta	⁷⁴ 钨 W	⁷⁵ 铼 Re	⁷⁶ 锇 Os	⁷⁷ 铱 Ir	⁷⁸ 铂 Pt	⁷⁹ 金 Au	⁸⁰ 汞 Hg	⁸¹ 铊 Tl	⁸² 铅 Pb	⁸³ 铋 Bi	⁸⁴ 钋 Po	⁸⁵ 砹* At	⁸⁶ 氡* Rn		
7	⁸⁷ 钫* Fr	⁸⁸ 镭* Ra	⁸⁹⁻¹⁰³ 锕系 Ac-Lr	¹⁰⁴ 𬬻* Rf	¹⁰⁵ 𬬺* Db	¹⁰⁶ 𬬻* Sg	¹⁰⁷ 𬬾* Bh	¹⁰⁸ 𬬽* Hs	¹⁰⁹ 𬬼* Mt	¹¹⁰ 𬬻* Ds	¹¹¹ 𬬺* Rg	¹¹² 𬬻* Cn	¹¹³ Uut* Uut	¹¹⁴ Uuq* Fl	¹¹⁵ Uup* Uup	¹¹⁶ Uuq* Lv	¹¹⁷ Uus* Uus	¹¹⁸ Uuo* Uuo		

带*为放射性元素

其中黑色为天然放射性元素

红色为人造元素

蓝色为新命名元素

周善贵，超重原子核与超重元素，物理 43 (2014) 817-825

镧系	⁵⁷ 镧 La	⁵⁸ 铈 Ce	⁵⁹ 镨 Pr	⁶⁰ 钕 Nd	⁶¹ 钷* Pm	⁶² 钐 Sm	⁶³ 铕 Eu	⁶⁴ 钆 Gd	⁶⁵ 铽 Tb	⁶⁶ 镝 Dy	⁶⁷ 钬 Ho	⁶⁸ 铒 Er	⁶⁹ 铥 Tm	⁷⁰ 镱 Yb	⁷¹ 镱 Lu
锕系	⁸⁹ 锕* Ac	⁹⁰ 钍* Th	⁹¹ 镤* Pa	⁹² 铀* U	⁹³ 镎* Np	⁹⁴ 钚* Pu	⁹⁵ 镅* Am	⁹⁶ 锔* Cm	⁹⁷ 锫* Bk	⁹⁸ 锿* Cf	⁹⁹ 镄* Es	¹⁰⁰ 镆* Fm	¹⁰¹ 钷* Md	¹⁰² 锘* No	¹⁰³ 铹* Lr

Courtesy of Xu Meng (孟旭)

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

超重核和超重稳定岛的实验探索

- 如果超重核半衰期 $T_{1/2} \sim 10^8$ 年且已在元素核合成过程中生成
 - 超重核应在自然界中存在

Herrmann1979_Nature280-543

超重核和超重稳定岛的实验探索

□ 如果超重核半衰期 $T_{1/2} \sim 10^8$ 年且已在元素核合成过程中生成

➤ 超重核应在自然界中存在

Herrmann1979_Nature280-543

- ✓ 1860、1861年，德国化学家本生在一种矿泉水中提取出**铯**和**铷**
- ✓ 1861年，英国化学家克鲁克斯在一种淤泥中发现重金属**铊**
- ✓ 1868年，英、法天文学家在太阳光谱中发现新谱线，对应着**氦**
- ✓ ...
- ✓ 1898年，居里夫妇在沥青铀矿提纯物中观测到新的放射线，发现**钋**和**镭**



超重核和超重稳定岛的实验探索

□ 如果超重核半衰期 $T_{1/2} \sim 10^8$ 年且已在元素核合成过程中生成

➤ 超重核应在自然界中存在

Herrmann1979_Nature280-543

➤ 目前仍**无确切证据表明自然界中存在超重元素，但相关研究意义重大**

Ter-Akopian_Dmitriev2015_NPA944-177

□ 实验室里，利用重离子熔合蒸发反应合成超重核

➤ GSI in Darmstadt, Germany

➤ Flerov Laboratory of Nuclear Reactions in Dubna, Russia

➤ Lawrence Berkeley National Laboratory, USA

➤ Lawrence Livermore National Laboratory, USA

➤ RIKEN in Wako, Japan

➤ GANIL in Caen, France

➤ HIRFL in Lanzhou, China

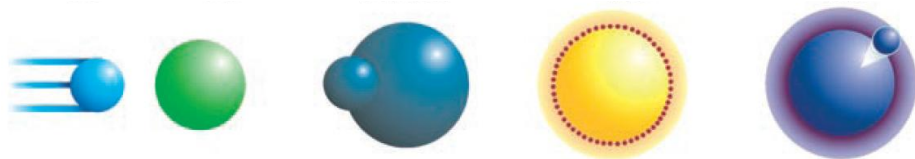
Hofmann_Münzenberg2000_RMP72-733

Morita...2004_JPSJ73-2593

Oganessian...2007_JPG34-R165

Oganessian...2010_PRL104-142502

Zhang...2012_CPL29-012502



实验室合成超重核

□ 俘获中子，之后进行 β 衰变

➤ 反应堆：94号元素钚至100号元素镆

➤ 核爆炸：98号元素钔至100号元素镆



□ 轻离子（氢、氘、氚、氦）轰击靶核：最重到101号元素钷

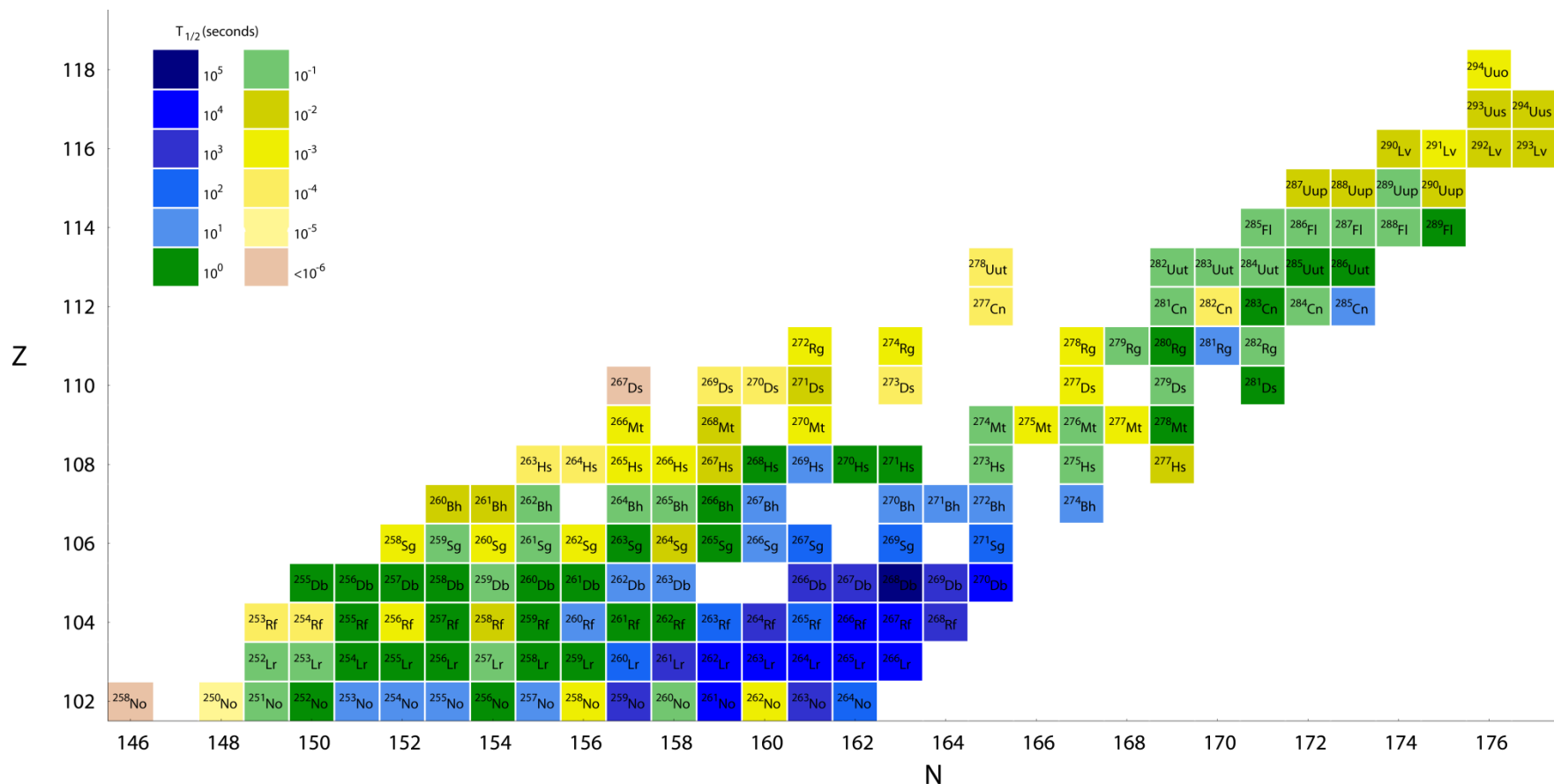
□ 重离子轰击靶核

➤ 冷融合：用 ^{208}Pb （铅-208）和 ^{209}Bi （铋-209）做靶，目前最重合成至113号元素

➤ 热熔合：用 ^{48}Ca （钙-48）做炮弹，目前最重合成到118号元素



超重原子核 (SHN) —— 实验进展



实验室合成了118号及118号以下的超重元素，并都已经被命名
最近命名的四个元素：113、115、117和118号

元素周期表——何处是尽头？

	IA																		0	
1	¹ 氢 H																			² 氦 He
2	³ 锂 Li	⁴ 铍 Be																		
3	¹¹ 钠 Na	¹² 镁 Mg																		
4	¹⁹ 钾 K	²⁰ 钙 Ca	²¹ 钪 Sc	²² 钛 Ti	²³ 钒 V	²⁴ 铬 Cr	²⁵ 锰 Mn	²⁶ 铁 Fe	²⁷ 钴 Co	²⁸ 镍 Ni	²⁹ 铜 Cu	³⁰ 锌 Zn	³¹ 镓 Ga	³² 锗 Ge	³³ 砷 As	³⁴ 硒 Se	³⁵ 溴 Br	³⁶ 氪 Kr		
5	³⁷ 铷 Rb	³⁸ 锶 Sr	³⁹ 钇 Y	⁴⁰ 锆 Zr	⁴¹ 铌 Nb	⁴² 钼 Mo	⁴³ 锝* Tc	⁴⁴ 钌 Ru	⁴⁵ 铑 Rh	⁴⁶ 钯 Pd	⁴⁷ 银 Ag	⁴⁸ 镉 Cd	⁴⁹ 铟 In	⁵⁰ 锡 Sn	⁵¹ 锑 Sb	⁵² 碲 Te	⁵³ 碘 I	⁵⁴ 氙 Xe		
6	⁵⁵ 铯 Cs	⁵⁶ 钡 Ba	⁵⁷⁻⁷¹ 镧系 La-Lu	⁷² 铪 Hf	⁷³ 钽 Ta	⁷⁴ 钨 W	⁷⁵ 铼 Re	⁷⁶ 锇 Os	⁷⁷ 铱 Ir	⁷⁸ 铂 Pt	⁷⁹ 金 Au	⁸⁰ 汞 Hg	⁸¹ 铊 Tl	⁸² 铅 Pb	⁸³ 铋 Bi	⁸⁴ 钋 Po	⁸⁵ 砹* At	⁸⁶ 氡* Rn		
7	⁸⁷ 钫* Fr	⁸⁸ 镭* Ra	⁸⁹⁻¹⁰³ 锕系 Ac-Lr	¹⁰⁴ 𬬻* Rf	¹⁰⁵ 𬬼* Db	¹⁰⁶ 𬬽* Sg	¹⁰⁷ 𬬾* Bh	¹⁰⁸ 𬬿* Hs	¹⁰⁹ 𬭀* Mt	¹¹⁰ 𬬻* Ds	¹¹¹ 𬬼* Rg	¹¹² 𬭁* Cn	¹¹³ Uut* Uut	¹¹⁴ Uuq* Fl	¹¹⁵ Uup* Uup	¹¹⁶ Uuq* Lv	¹¹⁷ Uus* Uus	¹¹⁸ Uuo* Uuo		

带*为放射性元素

其中黑色为天然放射性元素

红色为人造元素

蓝色为新命名元素

周善贵，超重原子核与超重元素，物理 43 (2014) 817-825

镧系	⁵⁷ 镧 La	⁵⁸ 铈 Ce	⁵⁹ 镨 Pr	⁶⁰ 钕 Nd	⁶¹ 钷* Pm	⁶² 钐 Sm	⁶³ 铕 Eu	⁶⁴ 钆 Gd	⁶⁵ 铽 Tb	⁶⁶ 镝 Dy	⁶⁷ 钬 Ho	⁶⁸ 铒 Er	⁶⁹ 铥 Tm	⁷⁰ 镱 Yb	⁷¹ 镱 Lu
锕系	⁸⁹ 锕* Ac	⁹⁰ 钍* Th	⁹¹ 镤* Pa	⁹² 铀* U	⁹³ 镎* Np	⁹⁴ 钚* Pu	⁹⁵ 镅* Am	⁹⁶ 锔* Cm	⁹⁷ 锫* Bk	⁹⁸ 锿* Cf	⁹⁹ 镄* Es	¹⁰⁰ 镆* Fm	¹⁰¹ 钔* Md	¹⁰² 锘* No	¹⁰³ 铹* Lr

Courtesy of Xu Meng (孟旭)

元素周期表——填满第七行

□ 113: Nihonium (Nh)

➤ 中文名选项：钅尔、钅锐、钅铈、钅宏

□ 115: Moscovium (Mc)

➤ 中文名选项：镆

□ 117: Tennessine (Ts)

➤ 中文名选项：砹、硃

□ 118: Oganesson (Og)

➤ 中文名选项：𫟛、𫟛



113号新元素的实验发现得到认可

JWP ASSESSMENT: Three chains of $^{278}113$ observed by the RIKEN collaborations, the first in 2004 [9], the second in 2007 [10], and the third in 2012 [16], are now construed as being consistent. Firm connection to established nuclides is provided. The remaining criterion achieved for acknowledgement of discovery is an identification of Z which is now embodied in the cross reaction production and characterization of the chain beginning with ^{266}Bh as found by the RIKEN collaboration in 2009 [14] and by Qin *et al.* in 2006 [12]. The Criteria for discovery have been met.

Karol+2016_PureApplChem88-139

Morita+2004

[9] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, T. Akiyama, S. Goto, H. Haba, E. Ideguchi, R. Kanungo, K. Katori, H. Koura, H. Kudo, T. Ohnishi, A. Ozawa, T. Suda, K. Sueki, H. Xu, T. Yamaguchi, A. Yoneda, A. Yoshida, Y.-L. Zhao. *J. Phys. Soc. Jpn.* **73**, 2593 (2004).

Morita+2007

[10] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, T. Akiyama, S. Goto, H. Haba, E. Ideguchi, K. Katori, H. Koura, H. Kikunaga, H. Kudo, T. Ohnishi, A. Ozawa, N. Sato, T. Suda, K. Sueki, F. Tokanai, T. Yamaguchi, A. Yoneda, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn.* **76**, 045001 (2007).

[11] P. A. Wilk, K. E. Gregorich, A. Türler, C. A. Laue, R. Eichler, V. Ninov, J. L. Adams, U. W. Kirbach, M. R. Lane, D. M. Lee, J. B. Patin, D. A. Shaughnessy, D. A. Strellis, H. Nitsche, D. C. Hoffman. *Phys. Rev. Lett.* **85**, 2697 (2000).

[12] Z. Qin, X. Wu, H. Ding, W. Wu, W. Huang, X. Lei, Y. Xu, X. Yuan, B. Guo, W. Yang, Z. Gan, H. Fan, J. Guo, H. Xu, G. Xiao. *Nucl. Phys. Rev.* **23**, 400 (2006).

秦芝等2006

[13] Yu. Ts. Oganessian, V. K. Utyonkov, Yu. V. Lobanov, F. Sh. Abdullin, A. N. Polyakov, R. N. Sagaidak, I. V. Shirokovsky, Yu. S. Tsyganov, A. A. Voinov, G. G. Gulbekian, S. L. Bogomolov, B. N. Gikal, A. N. Mezentsev, V. G. Subbotin, A. M. Sukhov, K. Subotic, V. I. Zagrebaev, G. K. Vostokin, M. G. Itkis, R. A. Henderson, J. M. Kenneally, J. H. Landrum, K. J. Moody, D. A. Shaughnessy, M. A. Stoyer, N. J. Stoyer, P. A. Wilk. *Phys. Rev. C* **76**, 011601(R) (2007).

Morita+2009

[14] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, H. Haba, K. Ozeki, Y. Kudou, N. Sato, T. Sumita, A. Yoneda, T. Ichikawa, Y. Fujimori, S. Goto, E. Ideguchi, Y. Kasamatsu, K. Katori, Y. Komori, H. Koura, H. Kudo, K. Ooe, A. Ozawa, F. Tokanai, K. Tsukada, T. Yamagichi, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn.* **78**, 064201 (2009).

[15] Y. A. Akevali. *Nucl. Data Sheets* **94**, 131 (2001).

Morita+2012

[16] K. Morita, K. Morimoto, D. Kaji, H. Haba, K. Ozeki, Y. Kudou, T. Sumita, Y. Wakabayashi, A. Yoneda, K. Tanaka, S. Yamaki, R. Sakai, T. Akiyama, S. Goro, H. Hasebe, M. Huang, T. Huang, E. Ideguchi, Y. Kasamatsu, K. Katori, Y. Kariya, H. Kikunaga, H. Koura, H. Kudo, A. Mashiko, K. Mayama, S. Mitsuoka, T. Moriya, M. Murakami, H. Murayama, S. Namai, A. Ozawa, N. Sato, K. Sueki, M. Takeyajma, F. Tokanai, T. Yamaguchi, A. Yoshida. *J. Phys. Soc. Jpn.* **81**, 103201 (2012).

113号新元素： Why RIKEN?

JWP ASSESSMENT: The 2004 collaborations of Oganessian *et al.* at Dubna and those of Morita *et al.* at RIKEN were published on 2 February and 15 October, respectively. Recent results from the RIKEN group have cross reactions that support anchoring their claims to known atomic numbers. For Dubna, many alpha-decay chains from the $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca},3n)^{288}115$ fusion serve to duplicate and reinforce the characteristics assigned to $^{284}113$ observed earlier. But, the 2004 and 2007 Dubna physical measurements were not able to within reasonable doubt determine Z . Chemistry probes that had been employed in previous experiments remain unconvincing in their ability to assure the Z value. (Details are discussed below in the consideration for $Z = 115$.) No new chemistry separations or simulations have been instituted to nullify that JWP criticism although preliminary studies have been done to explore alternatives [23]. We conclude the Criteria for discovery have not been met by the Dubna-Livermore group claims for $Z = 113$ while the RIKEN claim does meet the Criteria. Priority for the discovery has been fulfilled by the RIKEN collaboration.

Why RIKEN? Why not Dubna?
RIKEN team fulfilled the criteria, just before
Dubna & USA team
2009 & 2012 in 2013 & 2014 in

13/56

My note on Kouji Morimoto's talk
"The discovery of element 113 at RIKEN" (INPC2016)

元素周期表——何处是尽头？

	IA																	0
1	¹ 氢 H																	² 氦 He
2	³ 锂 Li	⁴ 铍 Be																¹⁰ 氖 Ne
3	¹¹ 钠 Na	¹² 镁 Mg																¹⁸ 氩 Ar
4	¹⁹ 钾 K	²⁰ 钙 Ca																³⁶ 氪 Kr
5	³⁷ 铷 Rb	³⁸ 锶 Sr																⁵⁴ 氙 Xe
6	⁵⁵ 铯 Cs	⁵⁶ 钡 Ba																⁸⁶ 氡 Rn
7	⁸⁷ 钫* Fr	⁸⁸ 镭* Ra																¹¹⁸ 气 Og

带*为放射性元素
其中黑色为天然放射性元素
红色为人造元素

113: Nihonium (Nh, 铈) 2004-2006-2007-2009-2012
115: Moscovium (Mc, 镆) 2004-2010-2013
117: Tennessine (Ts, 碽) 2010-2012-2013
118: Oganesson (Og, 氮) 2006-2012

周善贵，超重原子核与新元素研究，原子核物理评论 34 (2017) 318-331

镧系	⁵⁷ 镧 La	⁵⁸ 铈 Ce	⁵⁹ 镨 Pr	⁶⁰ 钕 Nd	⁶¹ 钷* Pm	⁶² 钐 Sm	⁶³ 铕 Eu	⁶⁴ 钆 Gd	⁶⁵ 铽 Tb	⁶⁶ 镝 Dy	⁶⁷ 钬 Ho	⁶⁸ 铒 Er	⁶⁹ 铥 Tm	⁷⁰ 镱 Yb	⁷¹ 镱 Lu
锕系	⁸⁹ 锕* Ac	⁹⁰ 钍* Th	⁹¹ 镤* Pa	⁹² 铀* U	⁹³ 镎* Np	⁹⁴ 钚* Pu	⁹⁵ 镅* Am	⁹⁶ 锔* Cm	⁹⁷ 锫* Bk	⁹⁸ 锿* Cf	⁹⁹ 镄* Es	¹⁰⁰ 镆* Fm	¹⁰¹ 钔* Md	¹⁰² 锘* No	¹⁰³ 铱* Lr

Courtesy of Xu Meng (孟旭)

元素周期表——何处是尽头？

	IA																		0	
1	¹ 氢 H																			² 氦 He
2	³ 锂 Li	⁴ 铍 Be																		¹⁰ 氖 Ne
3	¹¹ 钠 Na	¹² 镁 Mg																		¹⁸ 氩 Ar
4	¹⁹ 钾 K	²⁰ 钙 Ca	²¹ 钪 Sc	²² 钛 Ti	²³ 钒 V	²⁴ 铬 Cr	²⁵ 锰 Mn	²⁶ 铁 Fe	²⁷ 钴 Co	²⁸ 镍 Ni	²⁹ 铜 Cu	³⁰ 锌 Zn	³¹ 镓 Ga	³² 锗 Ge	³³ 砷 As	³⁴ 硒 Se	³⁵ 溴 Br		³⁶ 氪 Kr	
5	³⁷ 铷 Rb	³⁸ 锶 Sr	³⁹ 钇 Y	⁴⁰ 锆 Zr	⁴¹ 铌 Nb	⁴² 钼 Mo	⁴³ 锝* Tc	⁴⁴ 钌 Ru	⁴⁵ 铑 Rh	⁴⁶ 钯 Pd	⁴⁷ 银 Ag	⁴⁸ 镉 Cd	⁴⁹ 铟 In	⁵⁰ 锡 Sn	⁵¹ 锑 Sb	⁵² 碲 Te	⁵³ 碘 I		⁵⁴ 氙 Xe	
6	⁵⁵ 铯 Cs	⁵⁶ 钡 Ba	⁵⁷⁻⁷¹ 镧系 La-Lu	⁷² 铪 Hf	⁷³ 钽 Ta	⁷⁴ 钨 W	⁷⁵ 铼 Re	⁷⁶ 锇 Os	⁷⁷ 铱 Ir	⁷⁸ 铂 Pt	⁷⁹ 金 Au	⁸⁰ 汞 Hg	⁸¹ 铊 Tl	⁸² 铅 Pb	⁸³ 铋 Bi	⁸⁴ 钋 Po	⁸⁵ 砹* At		⁸⁶ 氡* Rn	
7	⁸⁷ 钫* Fr	⁸⁸ 镭* Ra	⁸⁹⁻¹⁰³ 锕系 Ac-Lr	¹⁰⁴ 𬬻* Rf	¹⁰⁵ 𬬾* Db	¹⁰⁶ 𬬿* Sg	¹⁰⁷ 𬬰* Bh	¹⁰⁸ 𬬱* Hs	¹⁰⁹ 𬬲* Mt	¹¹⁰ 𬬳* Ds	¹¹¹ 𬬴* Rg	¹¹² 𬬵* Cn	¹¹³ 𬬶* Nh	¹¹⁴ 𬬷* Fl	¹¹⁵ 𬬸* Mc	¹¹⁶ 𬬹* Lv	¹¹⁷ 𬬺* Ts		¹¹⁸ 𬬻* Og	

带*为放射性元素

其中黑色为天然放射性元素

红色为人造元素

主族金属	铜系元素	非金属元素
副族金属	镧系元素	稀有气体

周善贵，超重原子核与新元素研究，原子核物理评论 34 (2017) 318-331

镧系	⁵⁷ 镧 La	⁵⁸ 铈 Ce	⁵⁹ 镨 Pr	⁶⁰ 钕 Nd	⁶¹ 钷* Pm	⁶² 钐 Sm	⁶³ 铕 Eu	⁶⁴ 钆 Gd	⁶⁵ 铽 Tb	⁶⁶ 镝 Dy	⁶⁷ 钬 Ho	⁶⁸ 铒 Er	⁶⁹ 铥 Tm	⁷⁰ 镱 Yb	⁷¹ 镱 Lu
锕系	⁸⁹ 锕* Ac	⁹⁰ 钍* Th	⁹¹ 镤* Pa	⁹² 铀* U	⁹³ 镎* Np	⁹⁴ 钚* Pu	⁹⁵ 镅* Am	⁹⁶ 锔* Cm	⁹⁷ 锫* Bk	⁹⁸ 锿* Cf	⁹⁹ 镄* Es	¹⁰⁰ 镆* Fm	¹⁰¹ 钔* Md	¹⁰² 锘* No	¹⁰³ 铱* Lr

Courtesy of Xu Meng (孟旭)

元素的中文名称

核データニュース, No.118 (2017)

話題・解説(I)

Chinese Names of New Elements with $Z = 113, 115, 117$ & 118

Shan-Gui Zhou (周善贵/周善貴)¹

Institute of Theoretical Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

(中国科学院理论物理研究所/中國科學院理論物理研究所)

sgzhou@itp.ac.cn

兰州重离子加速器国家实验室： ^{271}Ds ($Z=110$)

2011.01.15 $^{64}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{272}\text{Ds}^*$ 7 days

2011.03.15 $^{64}\text{Ni} + ^{208}\text{Pb} \rightarrow ^{272}\text{Ds}^*$ 13 days

IMP/CAS, ITP/CAS

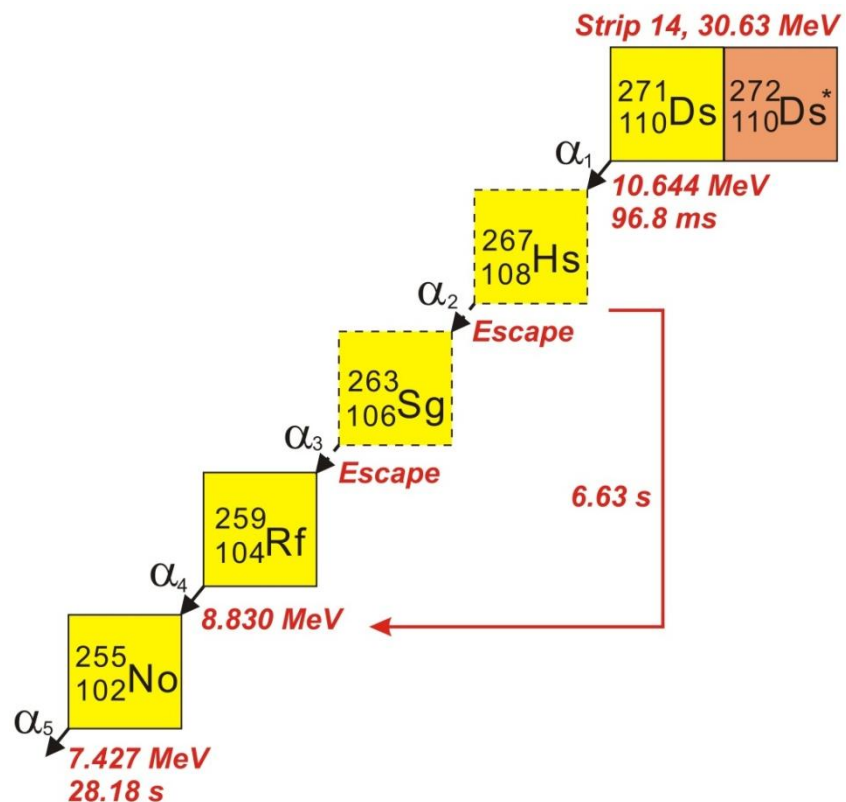
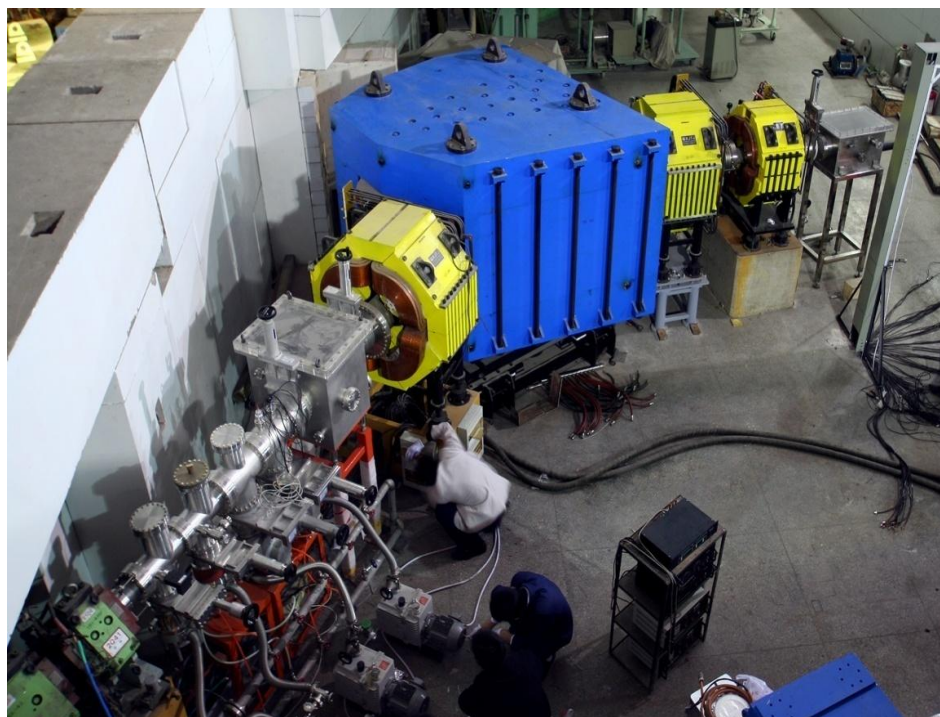
Nanjing Univ, CIAE

Zhang, Gan, Ma ...

Chinese Physics Letters 29 (2012) 012502

2001: ^{259}Db ($Z=105$)

2004: ^{265}Bh ($Z=107$)



Courtesy of Zai-Guo Gan (甘再国)

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

超重元素合成面临的问题与挑战

□ 现有方法合成截面极低，实验周期长

➤ ^{271}Ds : $\sigma \sim 10$ pb; 兰州: 20天, 1个事件

➤ ^{278}Nh : $\sigma \sim 0.02$ pb; RIKEN: 553天, 3个事件

超重元素合成面临的问题与挑战

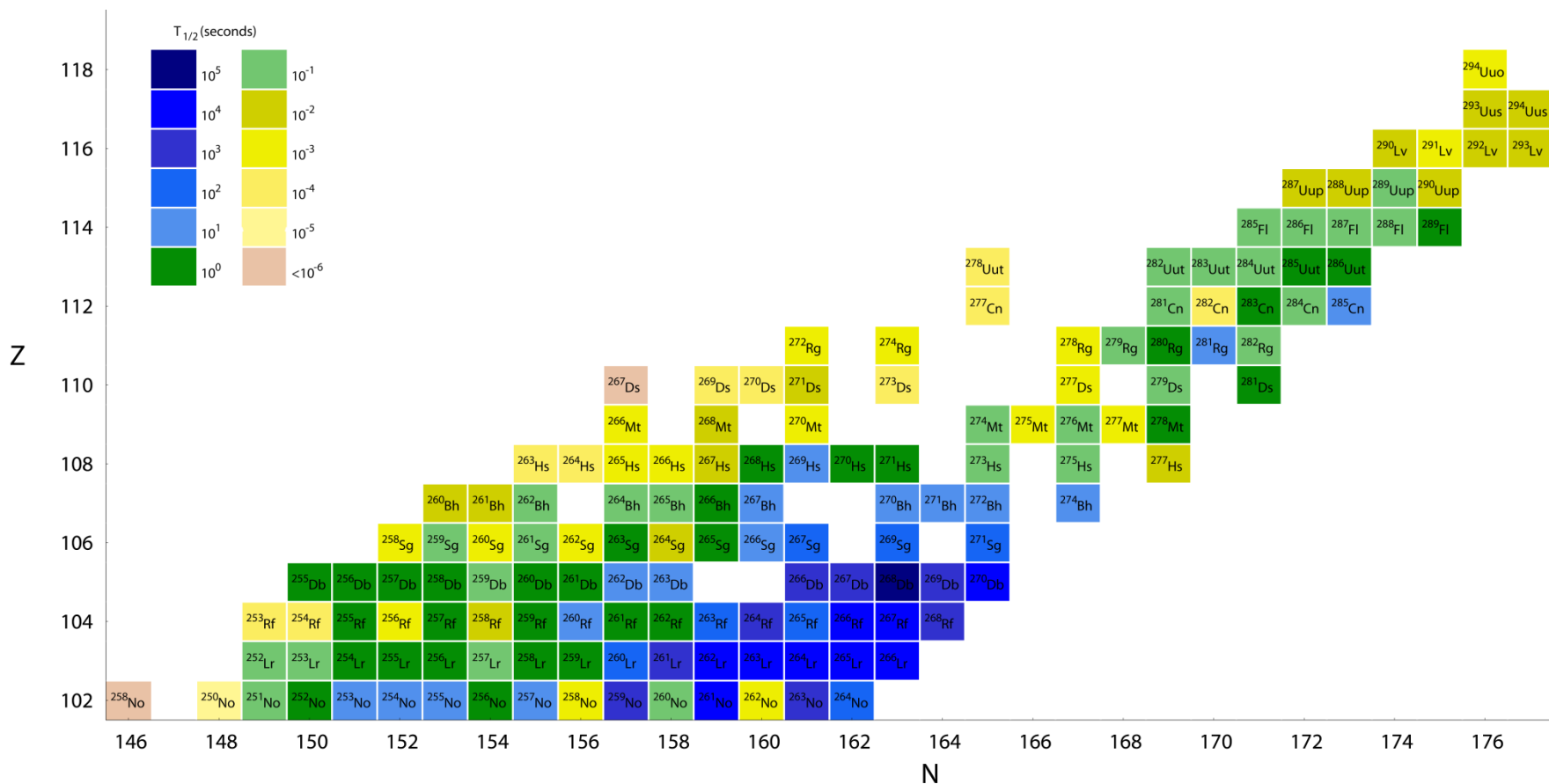
□ 现有方法合成截面极低，实验周期长

➤ ^{271}Ds : $\sigma \sim 10$ pb; 兰州: 20天, 1个事件

➤ ^{278}Nh : $\sigma \sim 0.02$ pb; RIKEN: 553天, 3个事件

□ 现有方法只能合成缺中子超重核，离预言的超重岛中心很远

利用现有方法只能合成缺中子超重核



目前合成的超重核都是缺中子的
随着中子数的增加，寿命变长

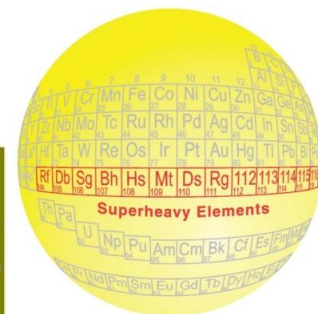
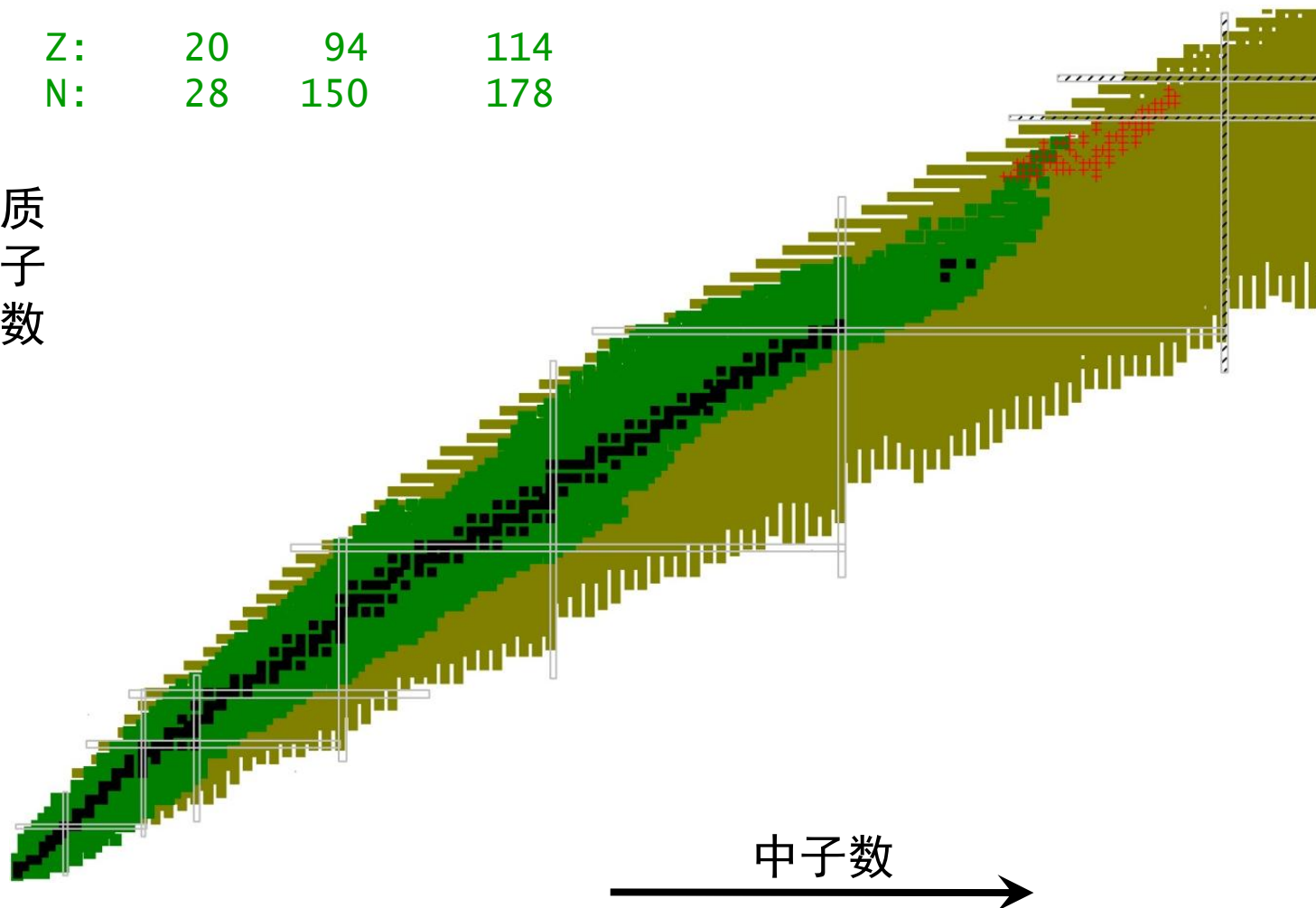
利用现有方法只能合成缺中子超重核



Z:	20	94	114
N:	28	150	178

↑
质子数

→
中子数



超重原子核

超重元素合成面临的问题与挑战

□ 现有方法合成截面极低，实验周期长

➤ ^{271}Ds : $\sigma \sim 10$ pb; 兰州: 20天, 1个事件

➤ ^{278}Nh : $\sigma \sim 0.02$ pb; RIKEN: 553天, 3个事件

□ 现有方法只能合成缺中子超重核，离预言的超重岛中心很远

□ 靶材料不易制备

实验室合成超重核：部分弹靶材料价格

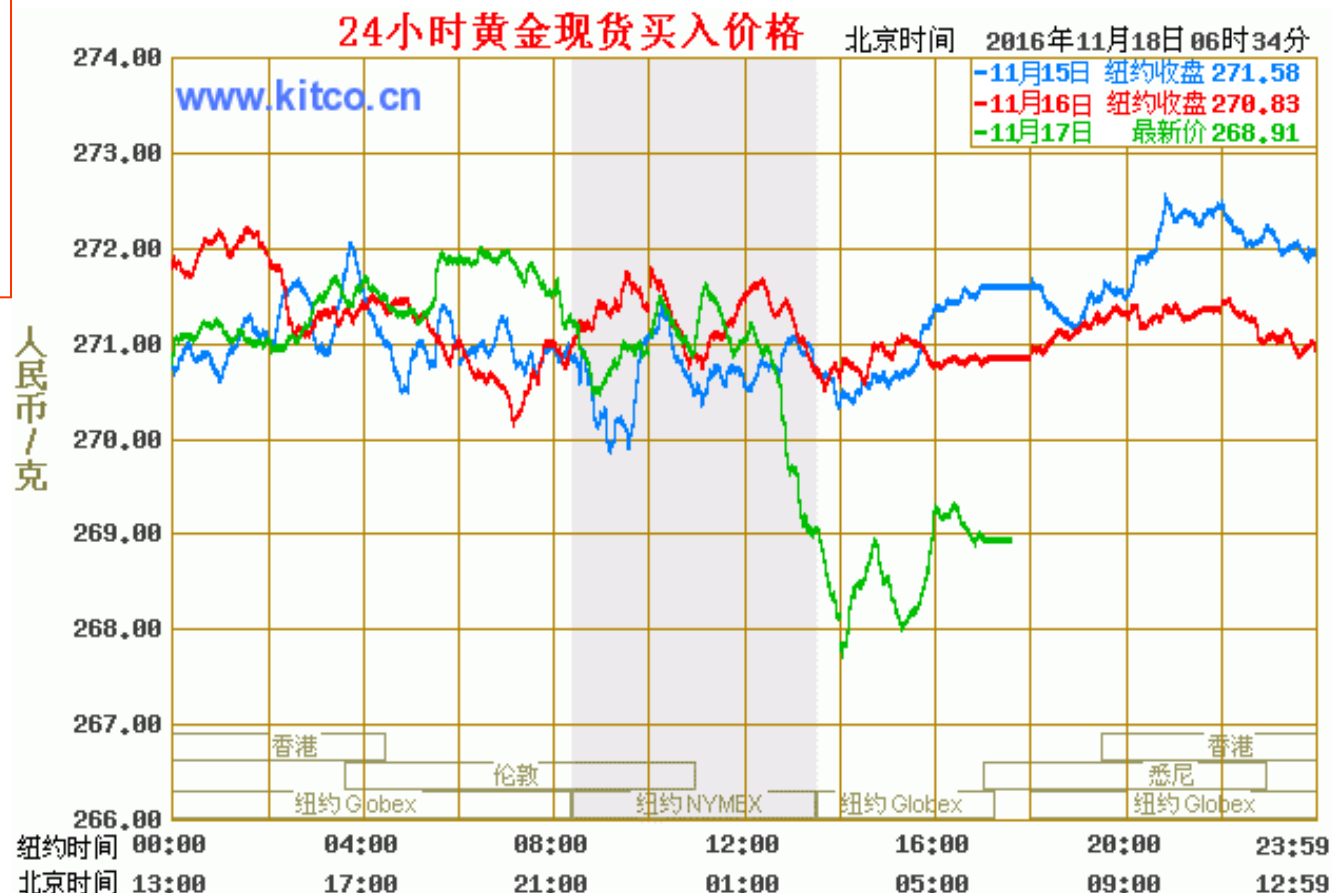
US\$ per 1 mg

$^{197}\text{Au} \approx 0.04$

$^{239}\text{Pu} \approx 4$

$^{252}\text{Cf} \approx 80$

$^{249}\text{Cf} \approx 180$



实验室合成超重核：部分弹靶材料价格

US\$ per 1 mg

$^{197}\text{Au} \approx 0.04$

$^{239}\text{Pu} \approx 4$

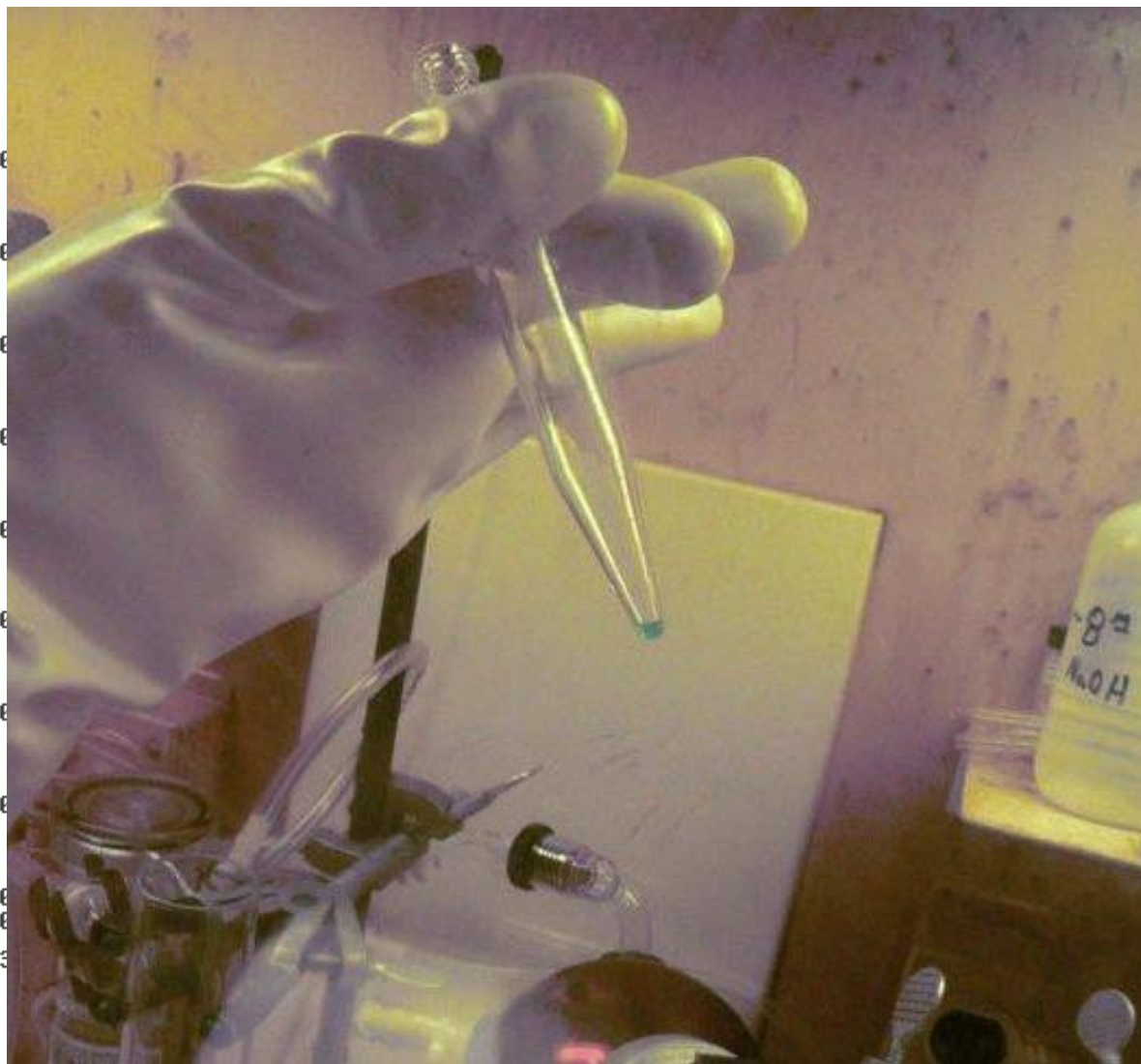
$^{252}\text{Cf} \approx 80$

$^{249}\text{Cf} \approx 180$

^{249}Bk : 22 mg (250 days in HFIR @ Oak Ridge)

人民币 / 克

274.00
273.00
272.00
271.00
270.00
269.00
268.00
267.00
266.00
纽约时间 00
北京时间 13



实验室合成超重核：部分弹靶材料价格

US\$ per 1 mg

$^{197}\text{Au} \approx 0.04$

$^{239}\text{Pu} \approx 4$

$^{252}\text{Cf} \approx 80$

$^{249}\text{Cf} \approx 180$

^{249}Bk : 22 mg (250 days in HFIR @ Oak Ridge)

人民币 / 克

274.00
273.00
272.00
271.00
270.00
269.00
268.00
267.00
266.00
纽约时间 00
北京时间 13



超重元素合成面临的问题与挑战

□ 现有方法合成截面极低，实验周期长

➤ ^{271}Ds : $\sigma \sim 10$ pb; 兰州: 20天, 1个事件

➤ ^{278}Nh : $\sigma \sim 0.02$ pb; RIKEN: 553天, 3个事件

□ 现有方法只能合成缺中子超重核，离预言的超重岛中心很远

□ 靶材料不易制备

□ 长寿命超重核如何探测

□ ...

超重元素合成面临的问题与挑战

□ 现有方法合成截面极低，实验周期长

更强（束流）、更厚（靶）、更高（探测效率）

✓ SHE Factory @ Dubna

✓ HIAF @ Huizhou

□ 现有方法只能合成缺中子超重核，离预言的超重岛中心很远

多核子转移反应；丰中子束流？ Bao_Gao_Li_Zhang2015_PRC91-064612

□ 靶材料不易制备

□ 长寿命超重核如何探测

SHANS @ Lanzhou or Huizhou

□ ...

布居超重核的同核异能态

Xu_Zhao_Wyss_Walker2004_PRL92-252501

内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

超重核研究——理论与实验结合

□ 超重核研究是理论与实验相互结合、相互促进的典型例子

- 1960年代，超重岛的理论预言促进了重离子加速器的建造；
1980年代，超重核合成实验开始取得重要进展

➤ ...

- 2010年，117号元素的合成

PRL **104**, 142502 (2010)

 Selected for a **Viewpoint in Physics**
PHYSICAL REVIEW LETTERS

week ending
9 APRIL 2010



Synthesis of a New Element with Atomic Number $Z = 117$

Yu. Ts. Oganessian,^{1,*} F. Sh. Abdullin,¹ P. D. Bailey,² D. E. Benker,² M. E. Bennett,³ S. N. Dmitriev,¹ J. G. Ezold,² J. H. Hamilton,⁴ R. A. Henderson,⁵ M. G. Itkis,¹ Yu. V. Lobanov,¹ A. N. Mezentsev,¹ K. J. Moody,⁵ S. L. Nelson,⁵ A. N. Polyakov,¹ C. E. Porter,² A. V. Ramayya,⁴ F. D. Riley,² J. B. Roberto,² M. A. Ryabinin,⁶ K. P. Rykaczewski,² R. N. Sagaidak,¹ D. A. Shaughnessy,⁵ I. V. Shirokovsky,¹ M. A. Stoyer,⁵ V. G. Subbotin,¹ R. Sudowe,³ A. M. Sukhov,¹

Yu. S. Tsy **[12] C. Shen *et al.*, Int. J. Mod. Phys. E **17**, 66 (2008).**

¹Join **[13] V. Zagrebaev *et al.*, Phys. Rev. C **78**, 034610 (2008).**

[14] Z. H. Liu *et al.*, Phys. Rev. C **80, 034601 (2009).**

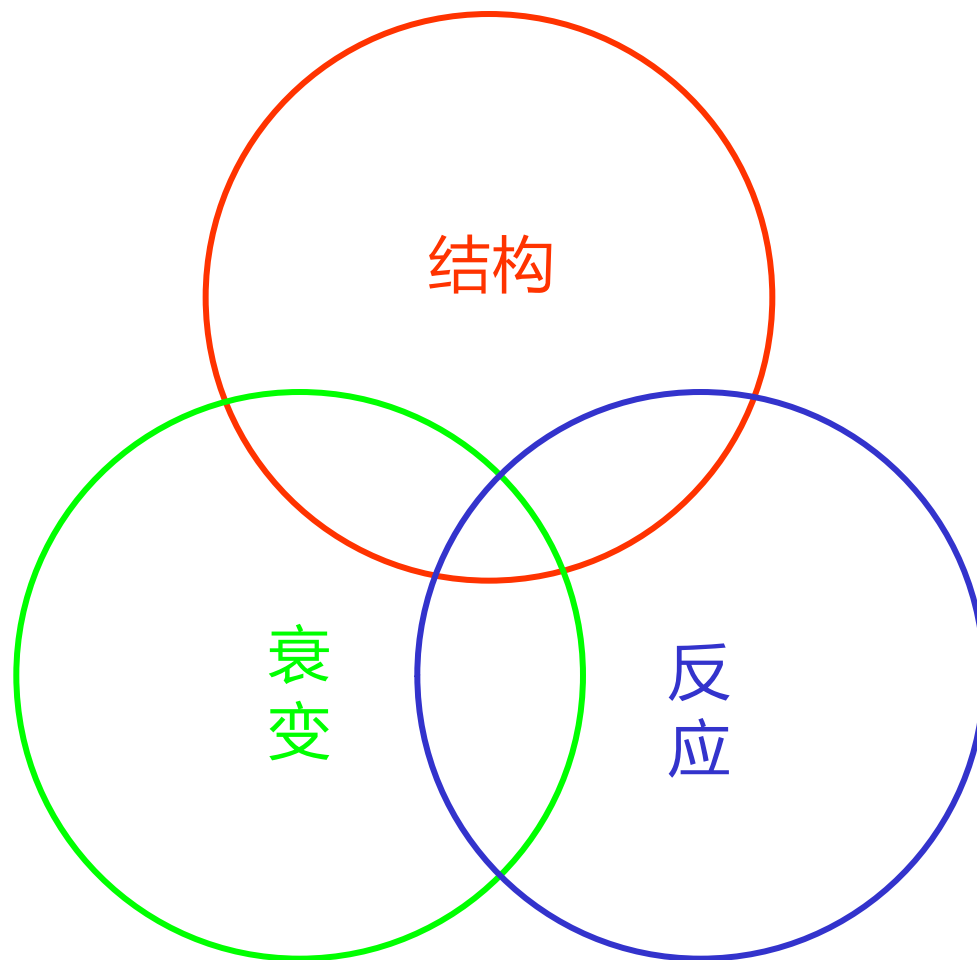
⁴Department of Physics and Astronomy, Vanderbilt University, Nashville, Tennessee 37235, USA

⁵Lawrence Livermore National Laboratory, Livermore, California 94551, USA

⁶Research Institute of Atomic Reactors, RU-433510 Dimitrovgrad, Russian Federation

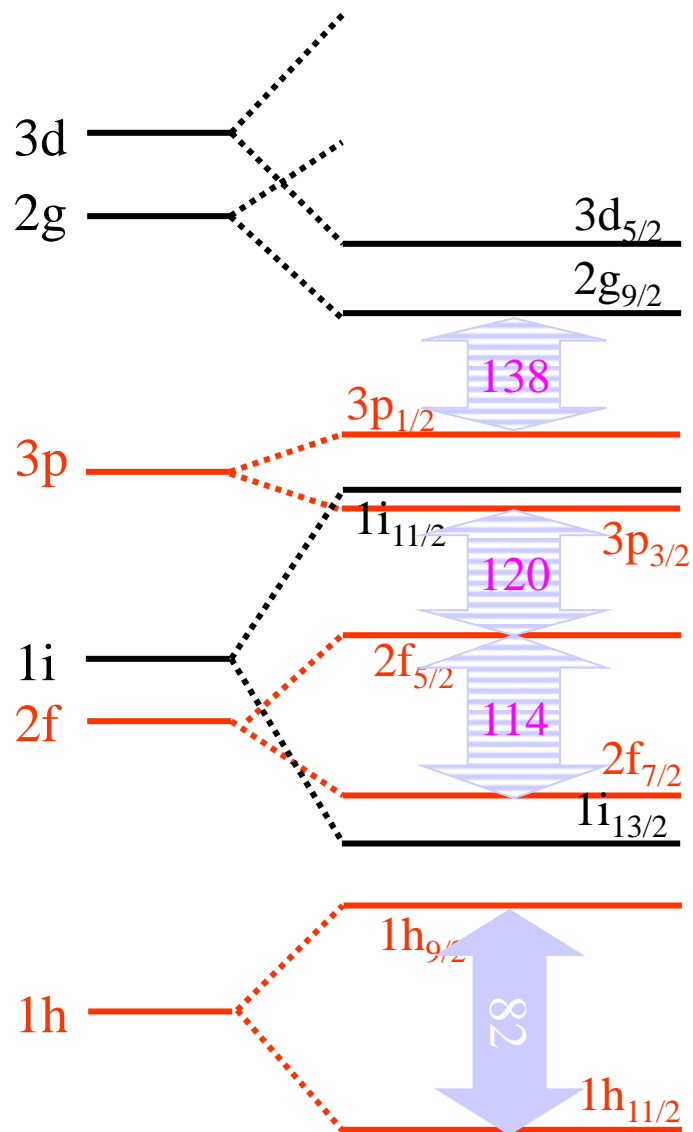
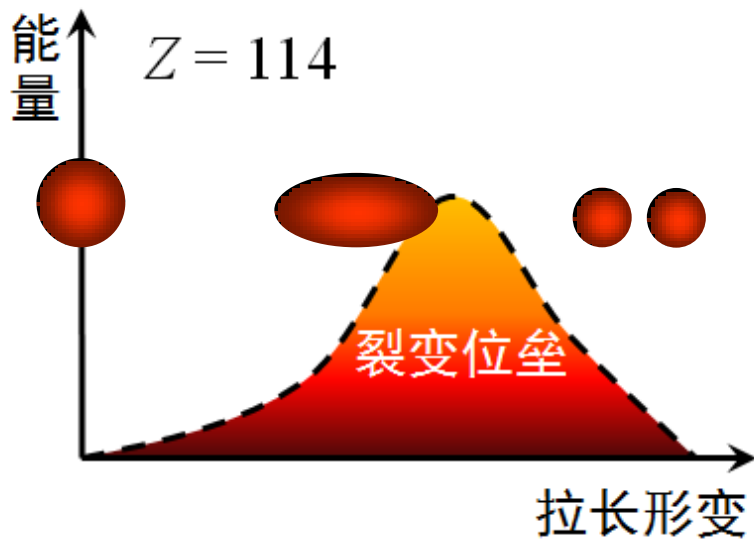
(Received 15 March 2010; published 9 April 2010)

超重原子核结构、衰变及合成机制



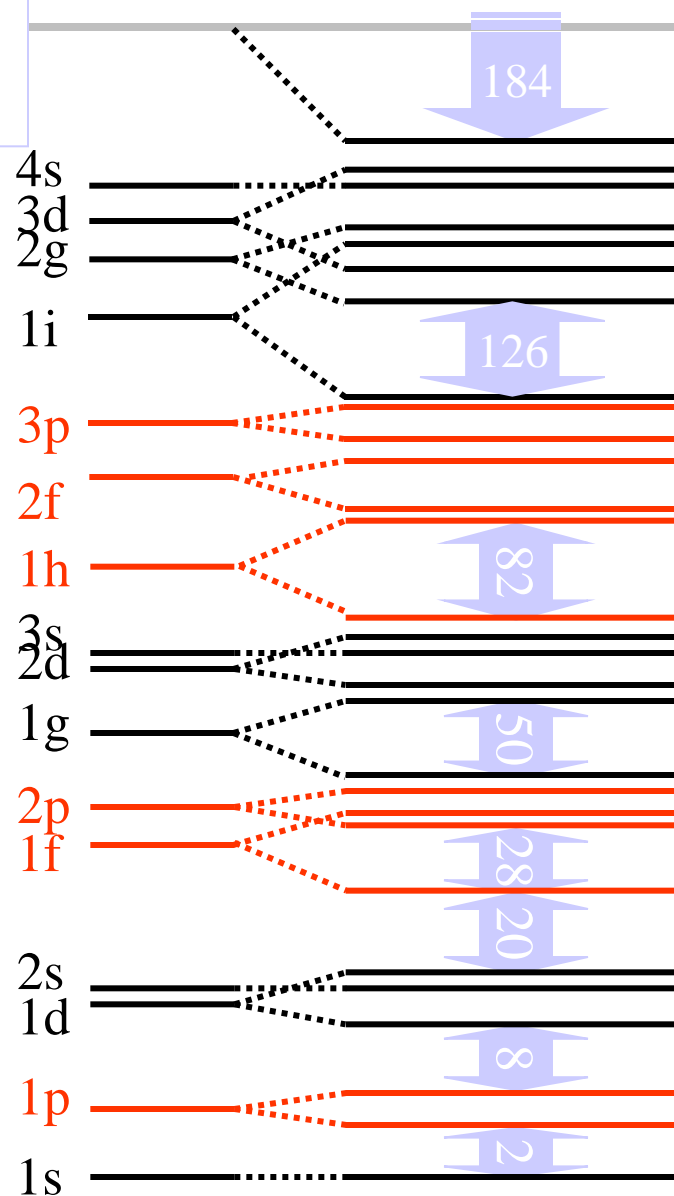
超重核结构

- 核结构
- 基态性质
 - 低激发谱
 - 裂变位垒
 - ...



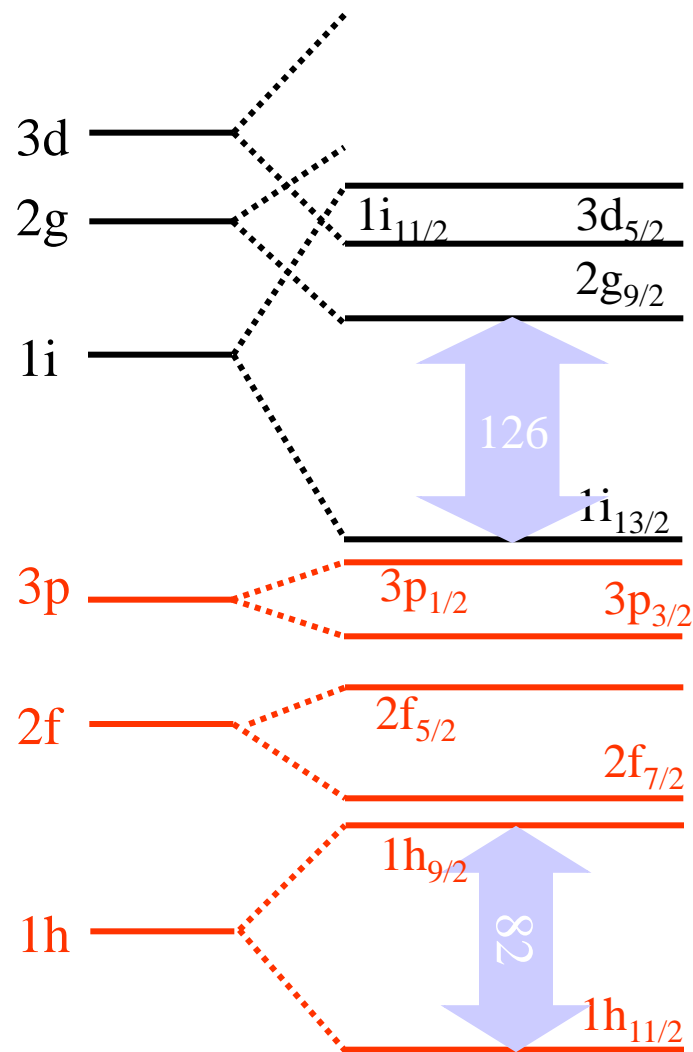
强库仑场可能改变质子壳层结构

Large A
Large Z



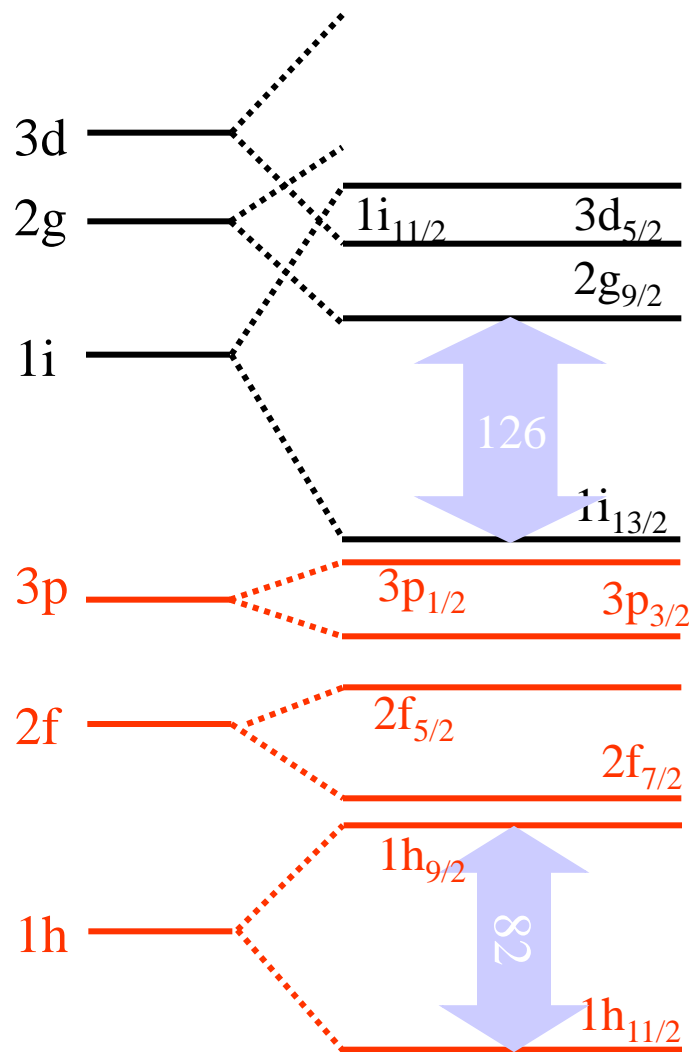
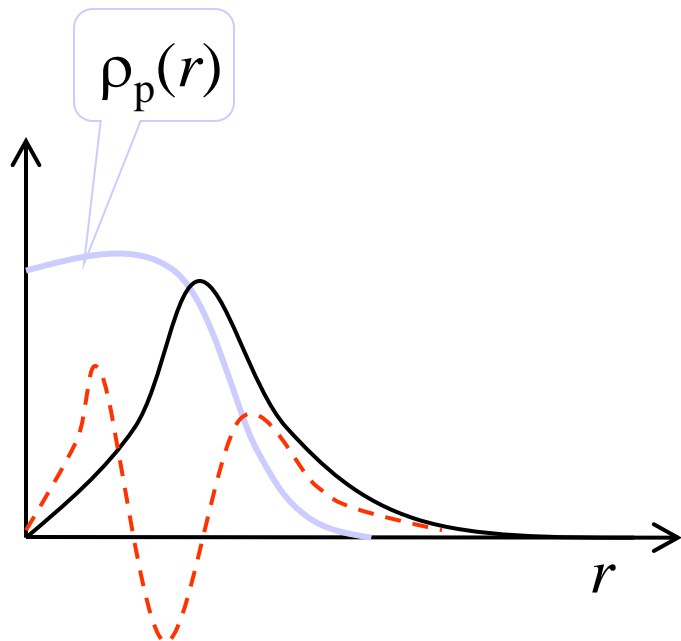
强库仑场可能改变质子壳层结构

Coulomb Repulsion



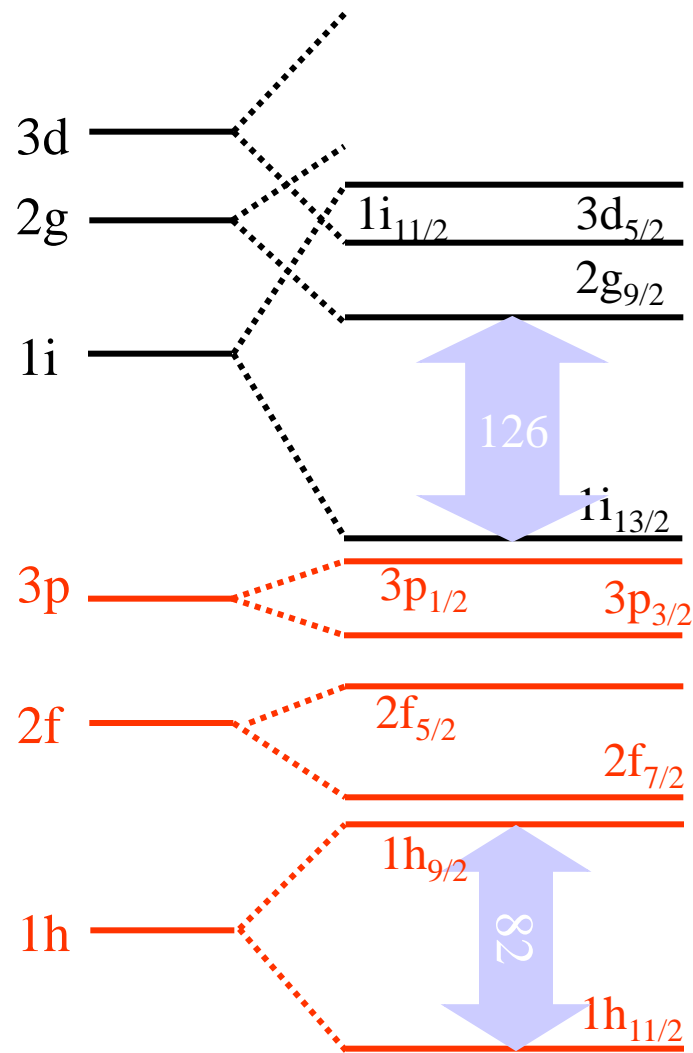
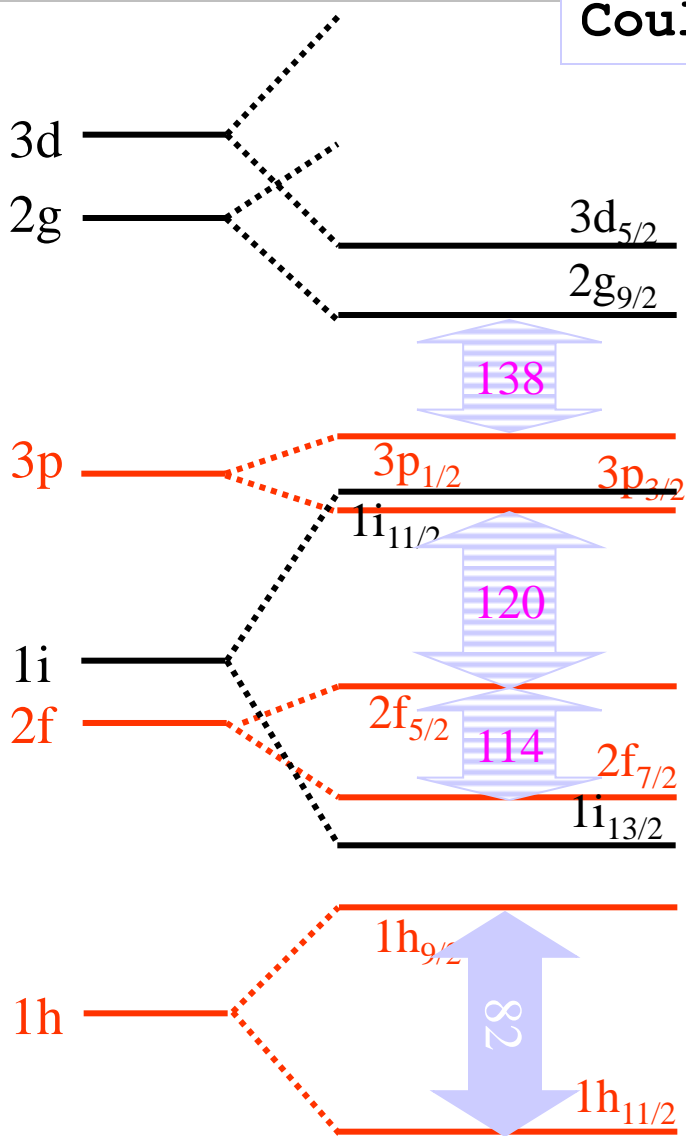
强库仑场可能改变质子壳层结构

Coulomb Repulsion



强库仑场可能改变质子壳层结构

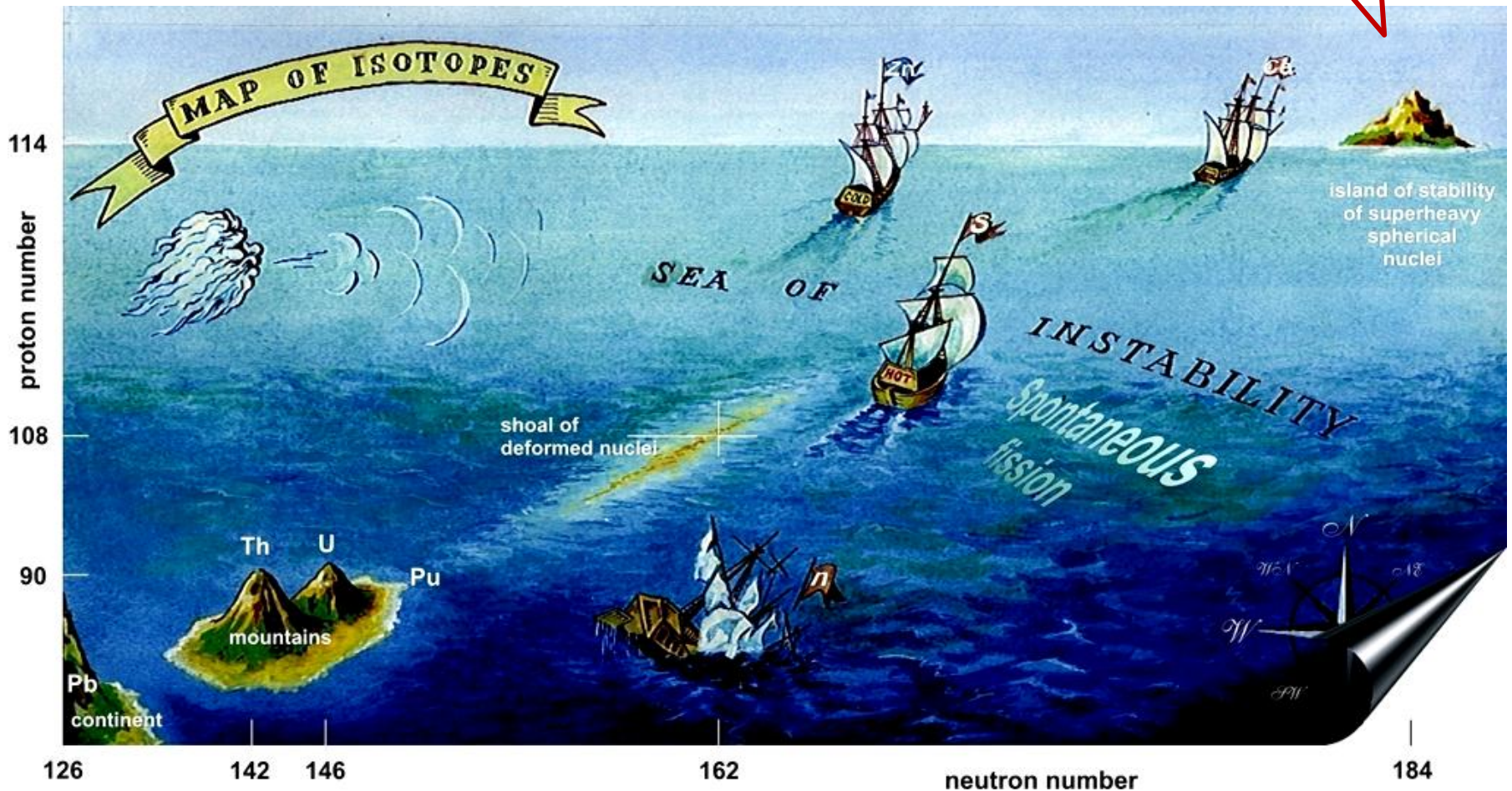
Coulomb Repulsion



超重岛在哪儿？

$Z = ?$ 114 120 126 132 138
 $N = ?$ 172 184 198 228 238 258

超重岛？

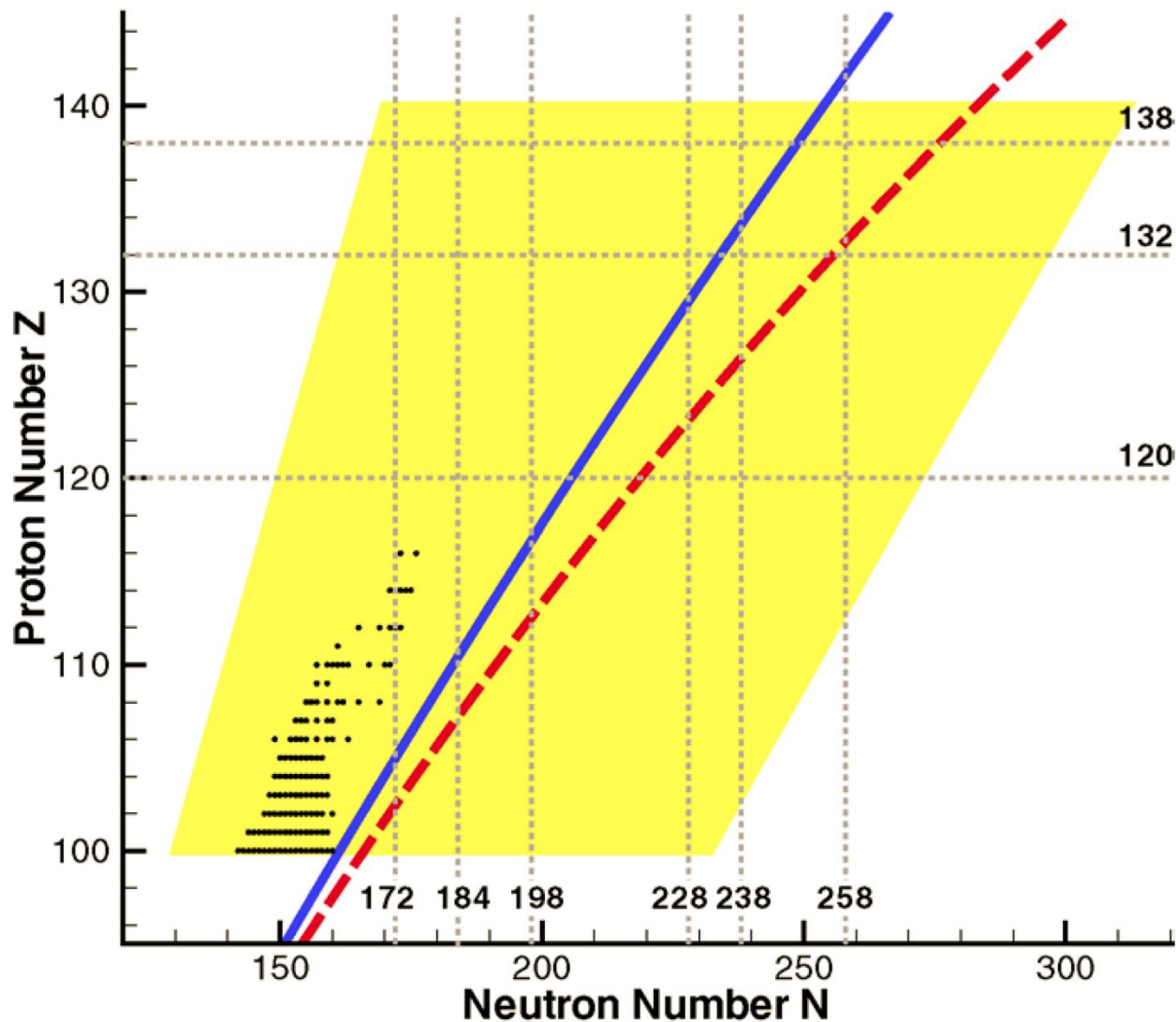


相对论平均场模型的预言

Z = 120 132 138

N = 172 184 198
228 238 258

Zhang_Meng_Zhang
Geng_Toki
2005_NPA753-106

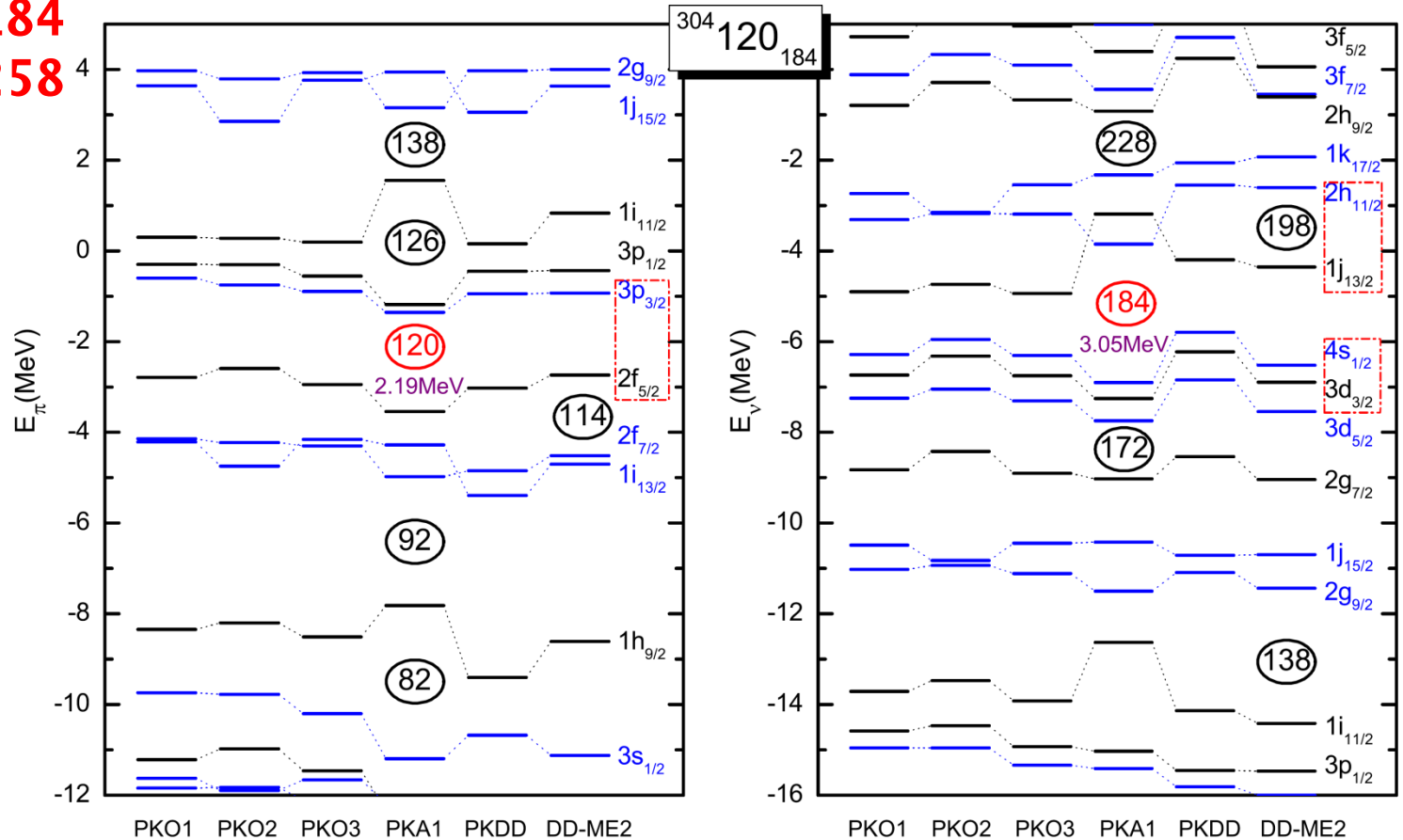


相对论Hartree-Fock-Bogoliubov模型的预言

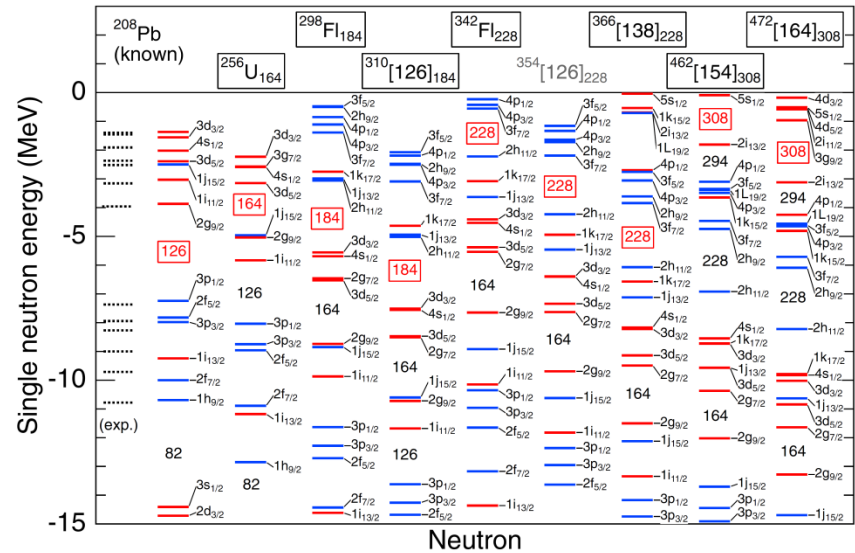
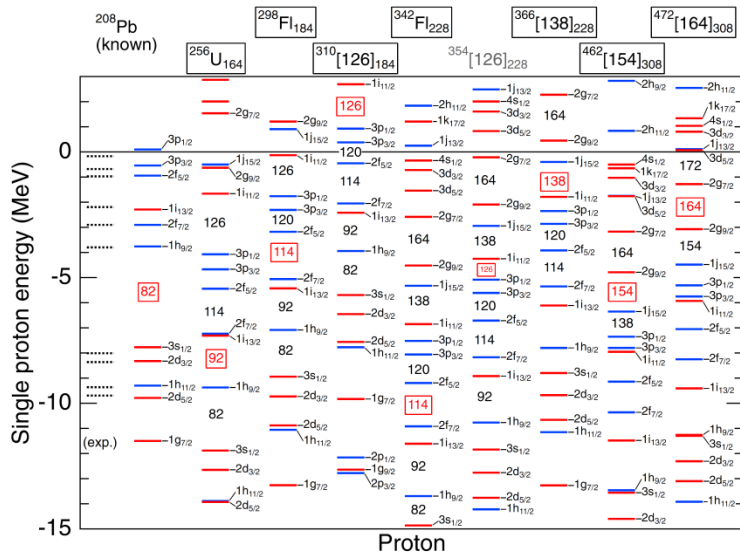
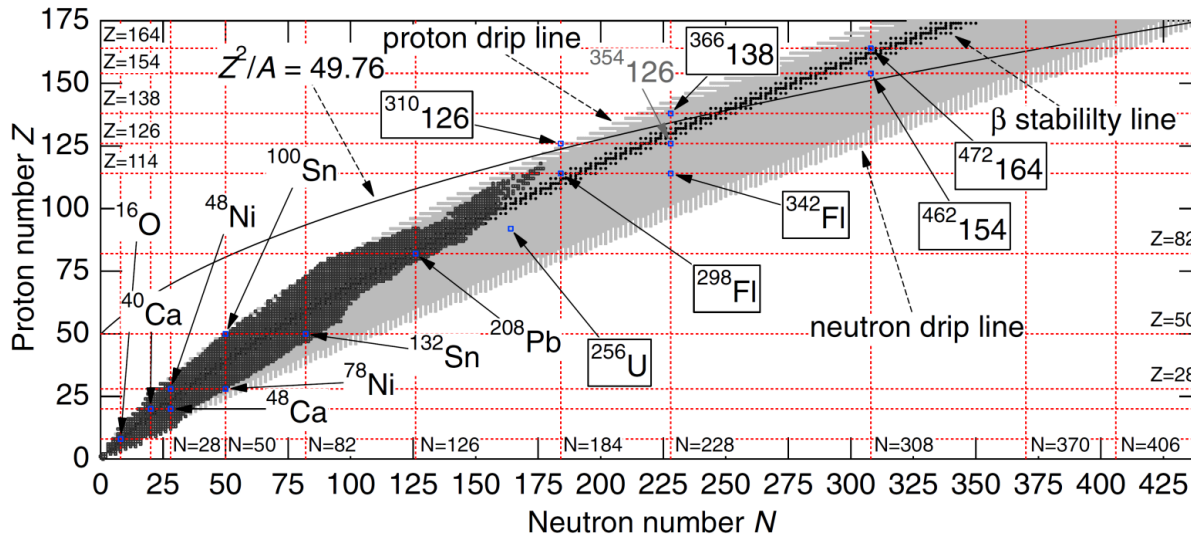
Z = 120 138

Li_Long_Margueron_Giai2014_PLB732-169

**N = 172 184
228 258**



Modified Woods-Saxon势的预言



张量力对壳层结构的影响

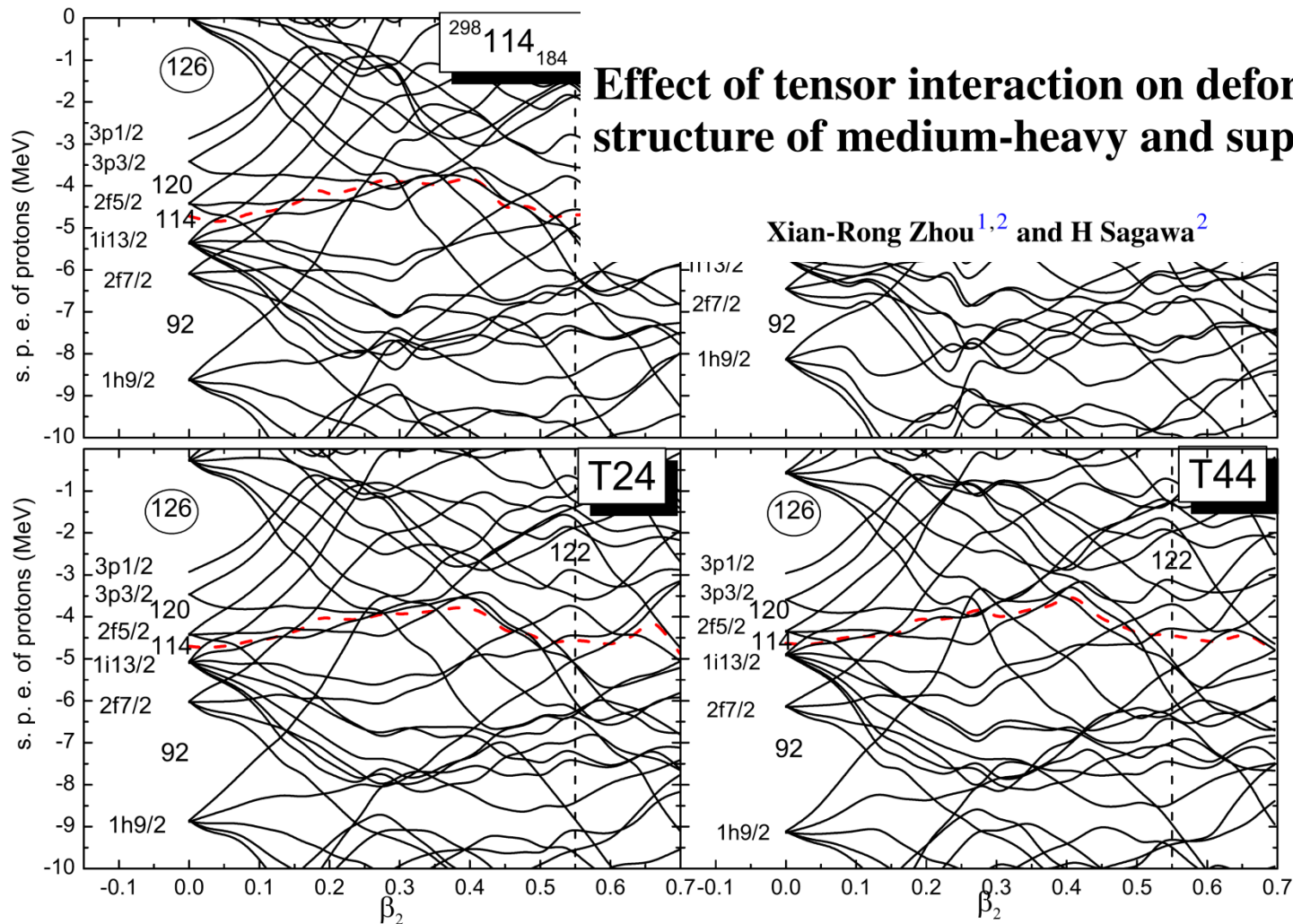
Zhou&Sagawa2012
JPG39-085104

IOP PUBLISHING

J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. **39** (2012) 085104 (17pp)

JOURNAL OF PHYSICS G: NUCLEAR AND PARTICLE PHYSICS

doi:10.1088/0954-3899/39/8/085104



超重核可能的奇特形状

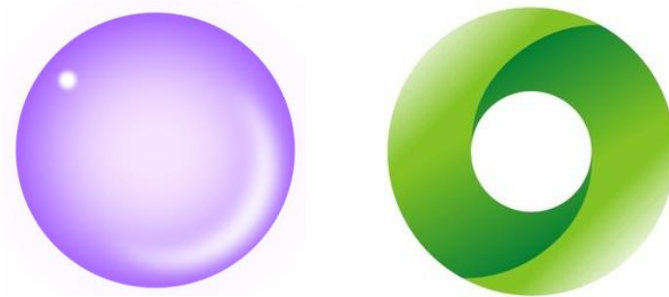
□ 气泡形、环形

1960年代, H. A. Bethe, J. A. Wheeler, ...

Wong1973_APNY77-279

Dietrich_Pomorski1998_PRL80-37

Pei_Xu_Stevenson 2005_PRC71-034302



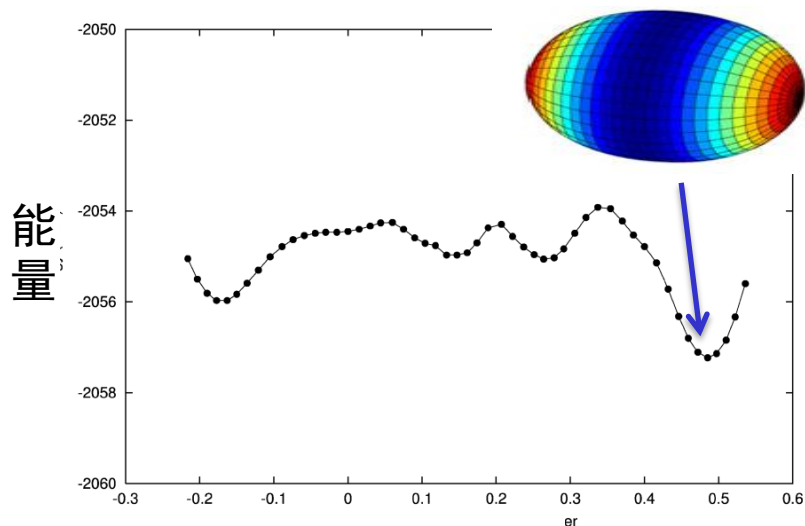
□ 超变形、正四面体

Ren_Toki2001_NPA689-691

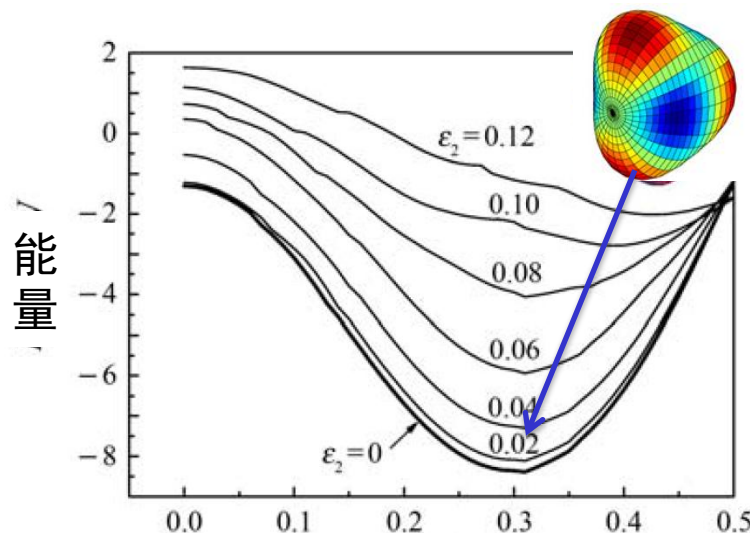
Ren2002_PRC65-051304R

Chen_Gao2010_NPA834-380c

2013_NPR30-278



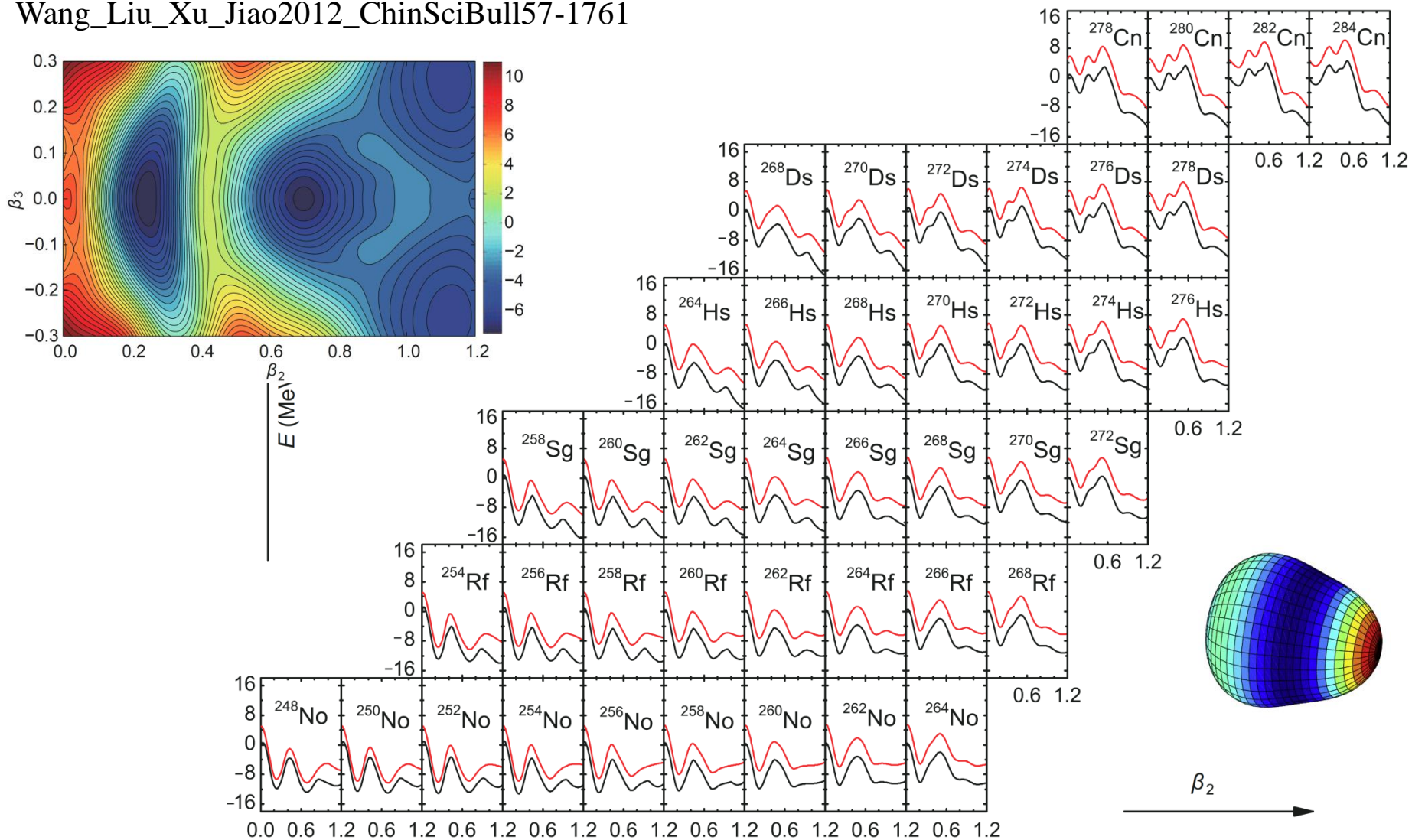
拉长形变



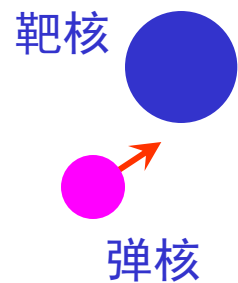
正四面体形变

八极关联（梨形）对超重核的影响

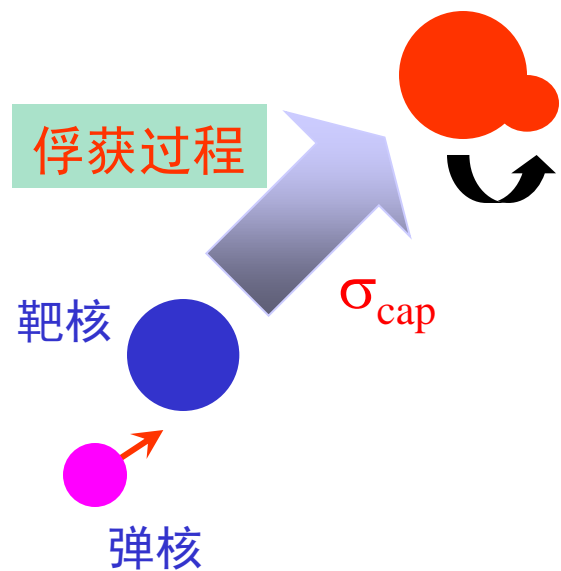
Wang_Liu_Xu_Jiao2012_ChinSciBull57-1761



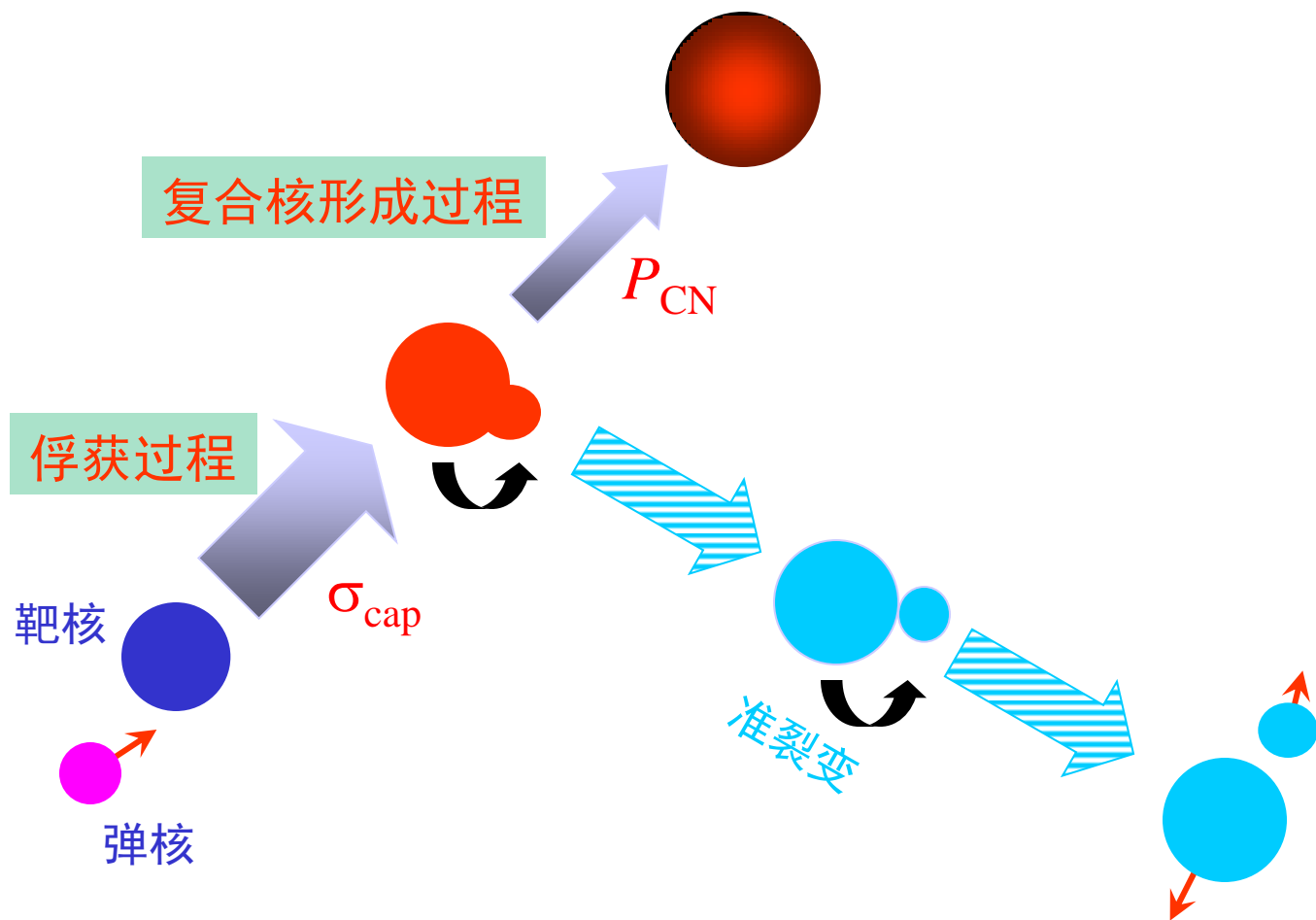
利用重离子融合反应合成超重核：三步过程



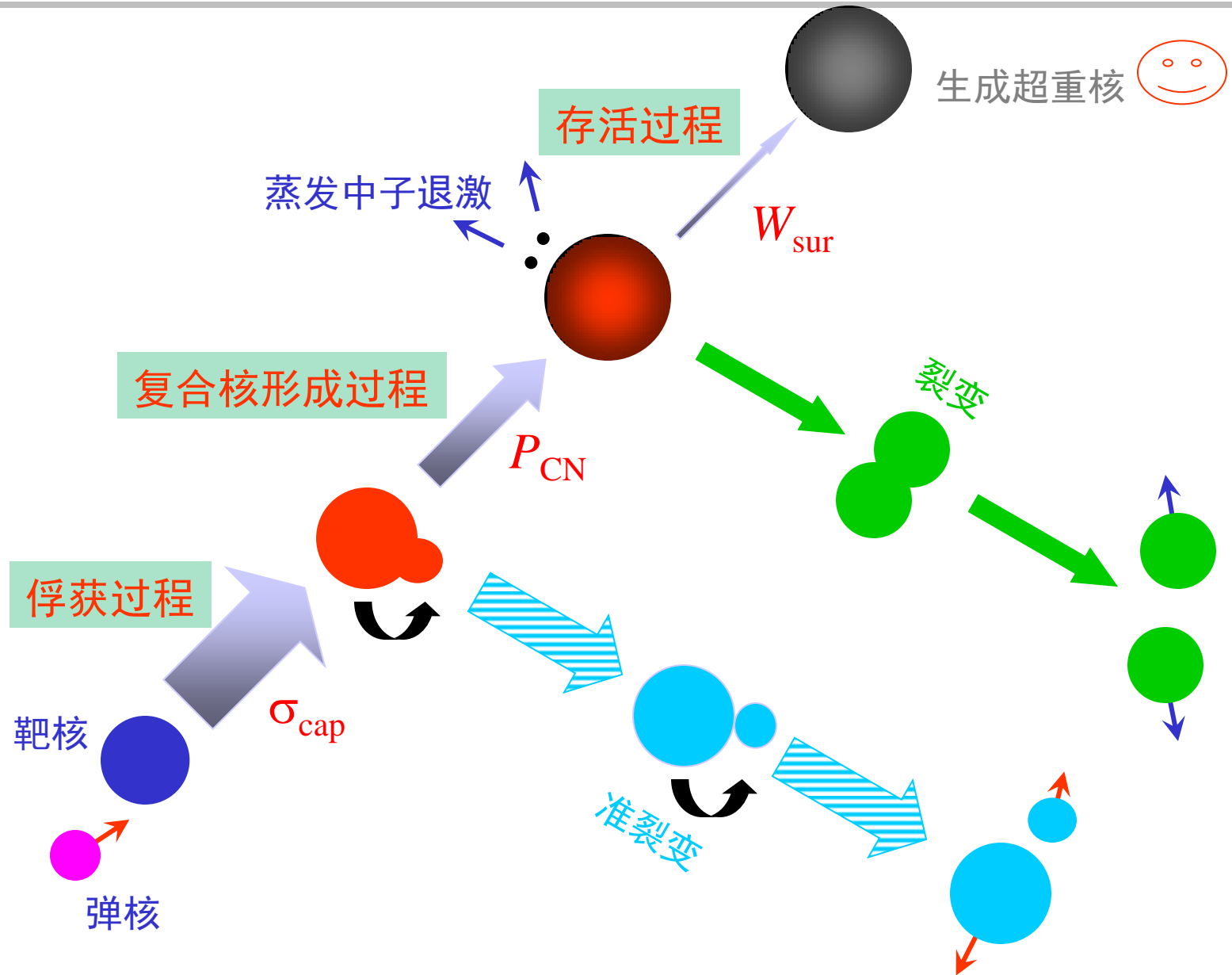
利用重离子融合反应合成超重核：三步过程



利用重离子融合反应合成超重核：三步过程



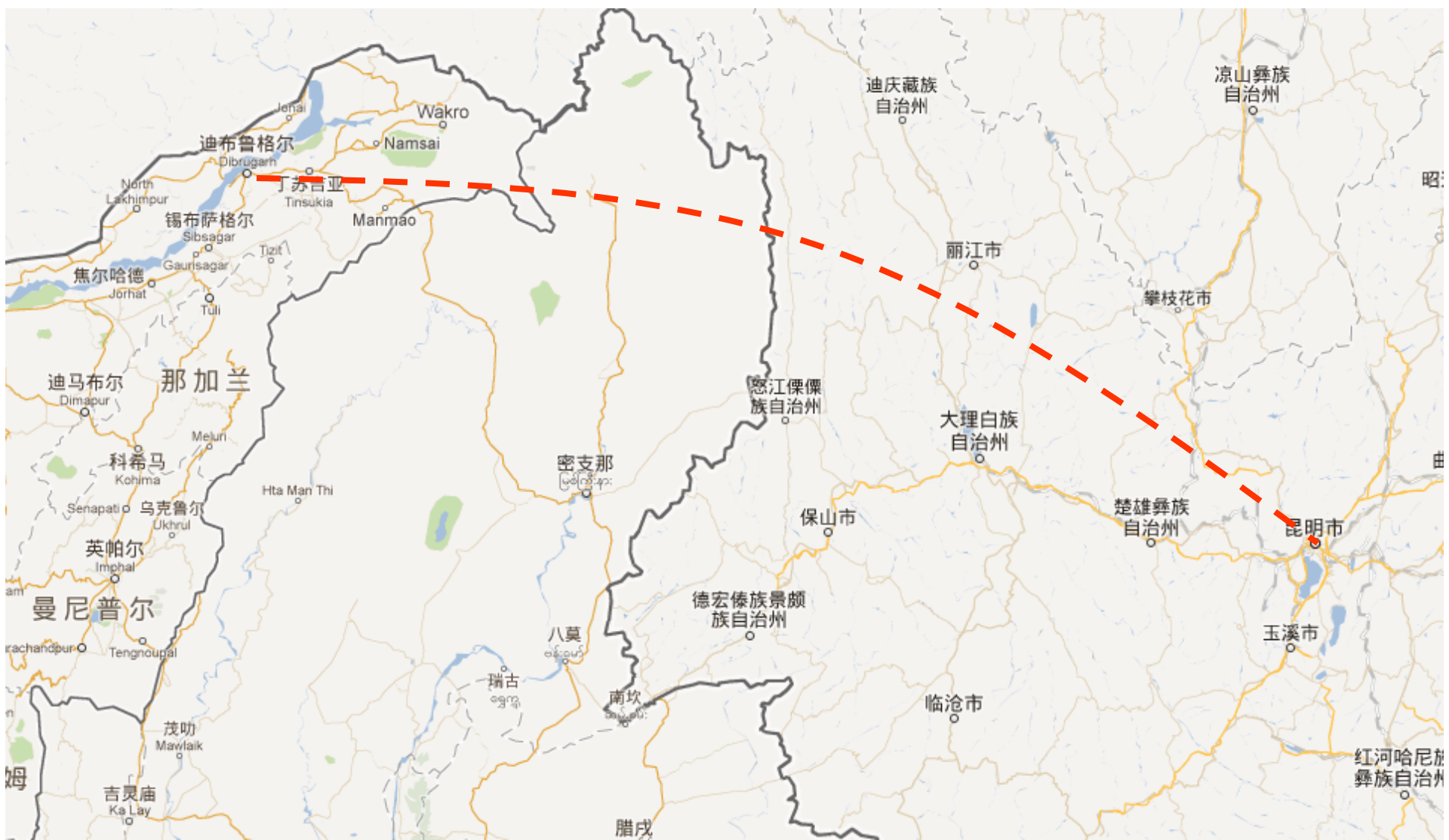
利用重离子融合反应合成超重核：三步过程



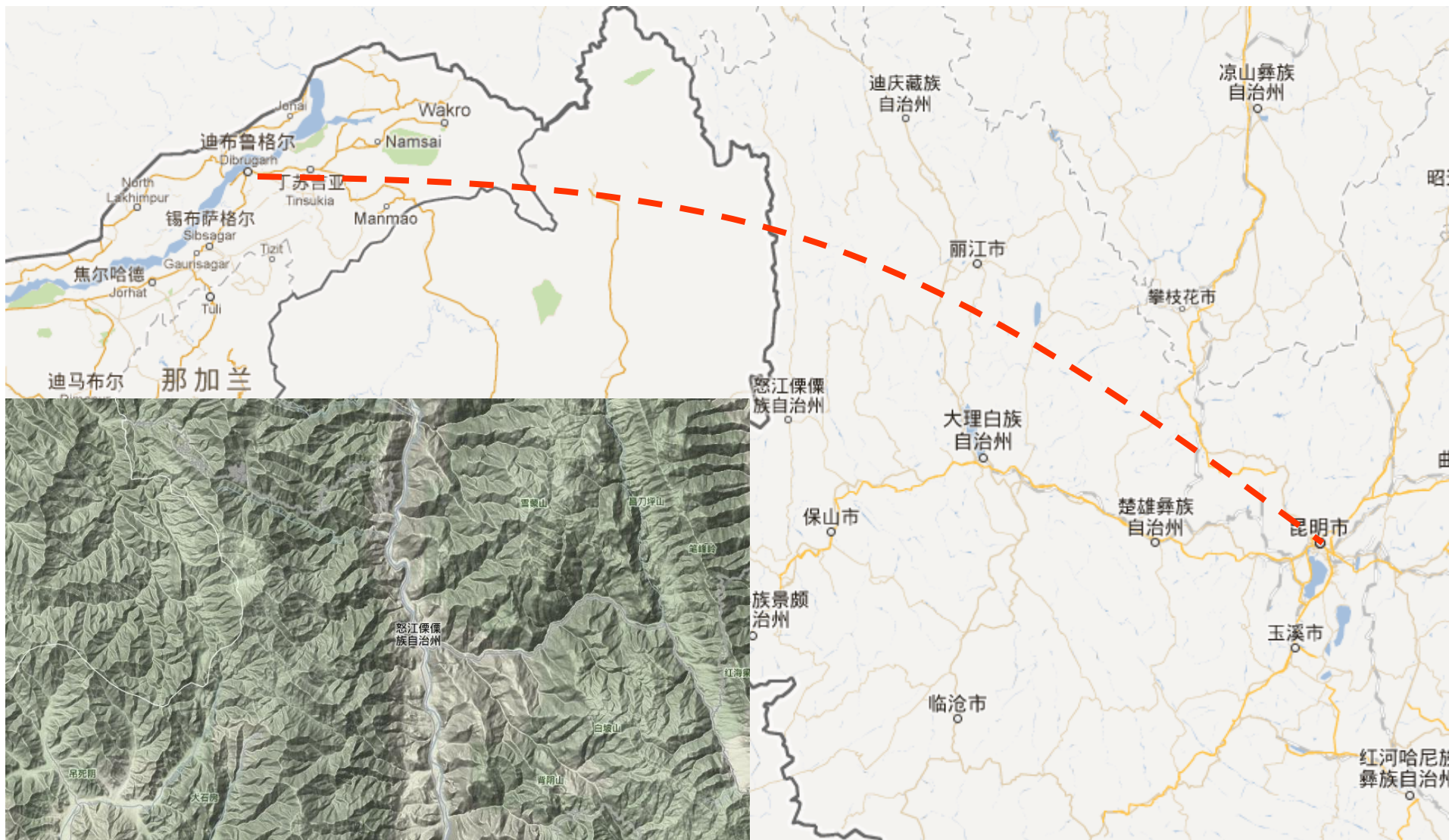
利用重离子融合反应合成超重核：三步过程



驼峰航线



驼峰航线——地形图

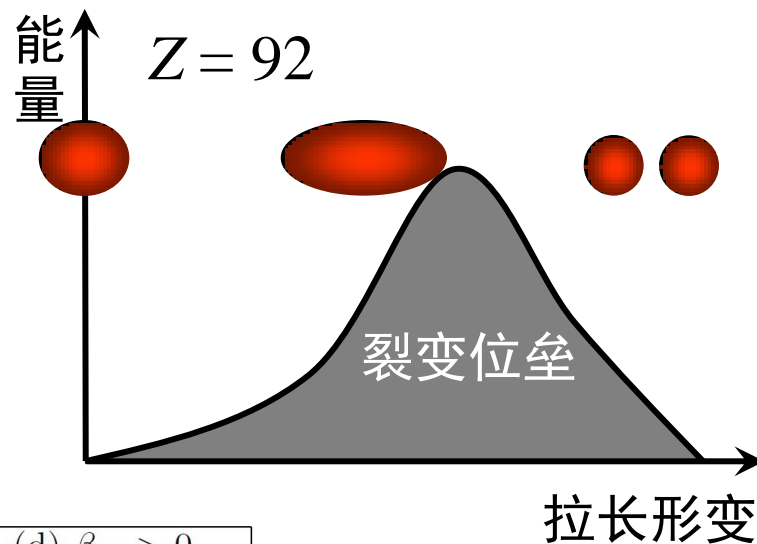


驼峰航线——地形图



核裂变“地形图”——形状势能曲面

- 在裂变过程中，原子核可能出现很多不同的形状
- 确定势能面和裂变位垒时，需要考虑这些形状的影响

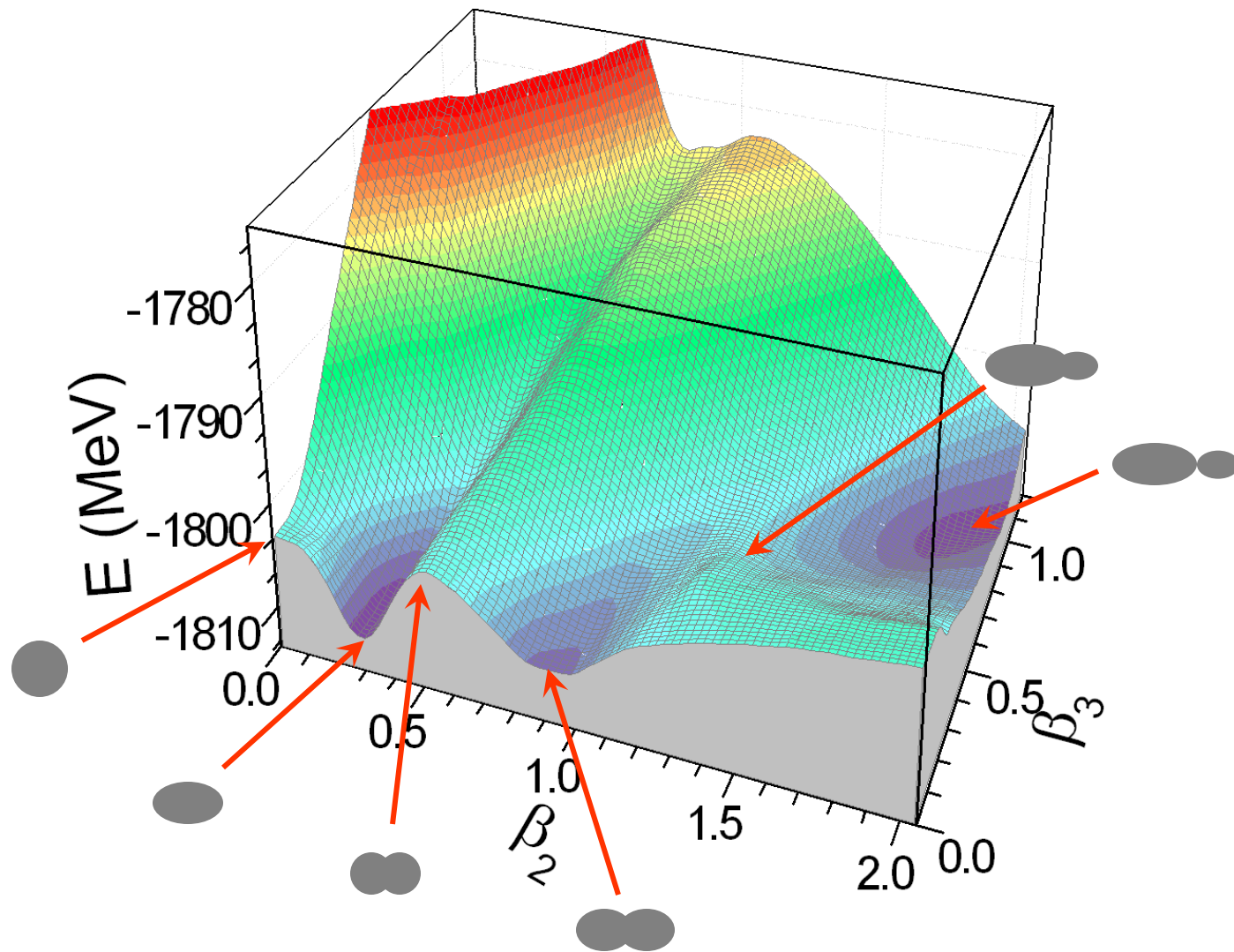


$$R(\theta, \varphi) = R_0 \left[1 + \beta_{00} + \sum_{\lambda=1}^{\infty} \sum_{\mu=-\lambda}^{\lambda} \beta_{\lambda\mu}^* Y_{\lambda\mu}(\theta, \varphi) \right]$$

(a) $\beta_{\lambda\mu} = 0$	(b) $\beta_{20} > 0$	(c) $\beta_{20} < 0$	(d) $\beta_{40} > 0$
(e) $\beta_{22} \neq 0$	(f) $\beta_{30} \neq 0$	(g) $\beta_{32} \neq 0$	(h) $\beta_{20} \gg 0$

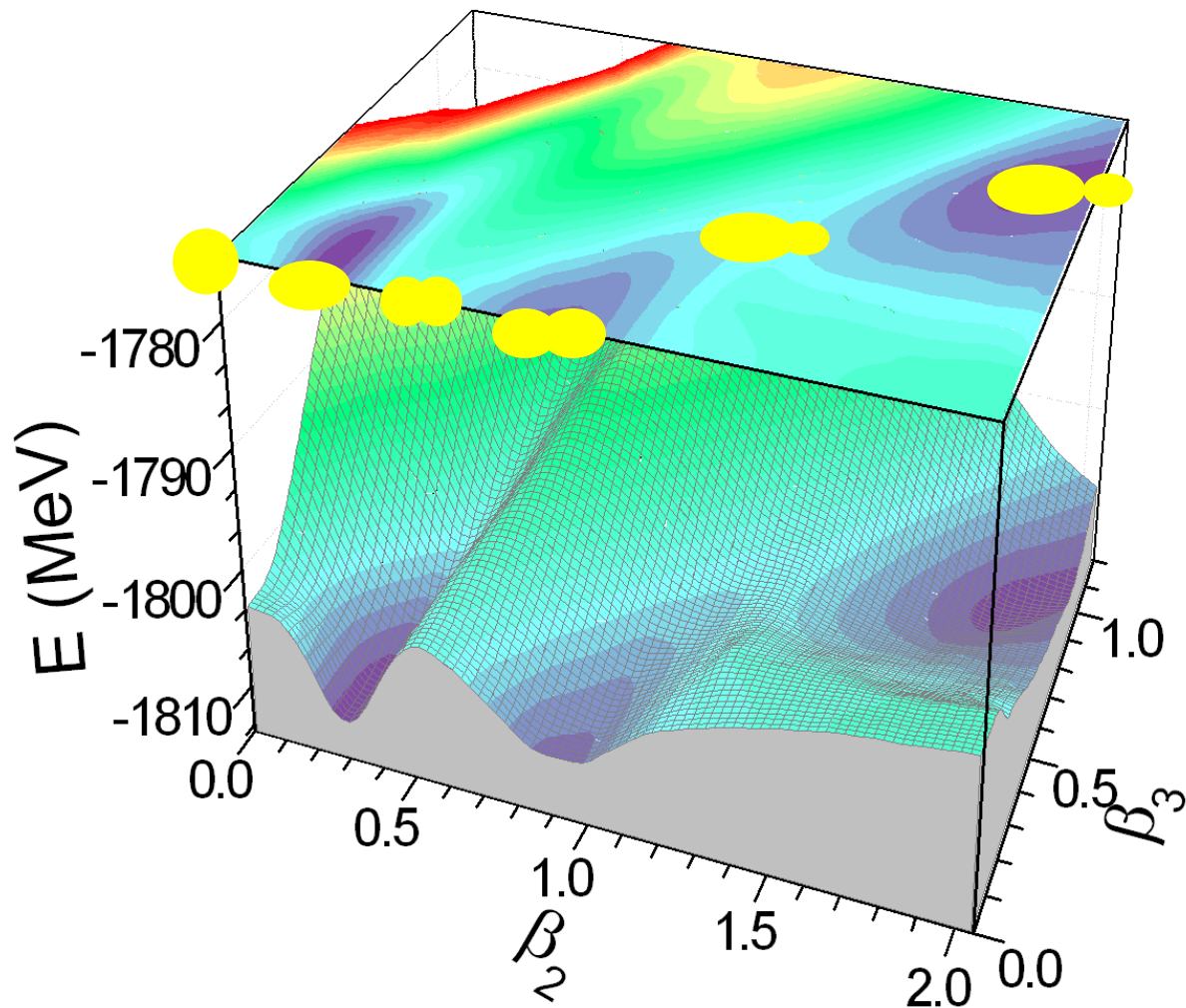
要尽可能多地
考虑形变自由度

核裂变“地形图”——形状势能曲面

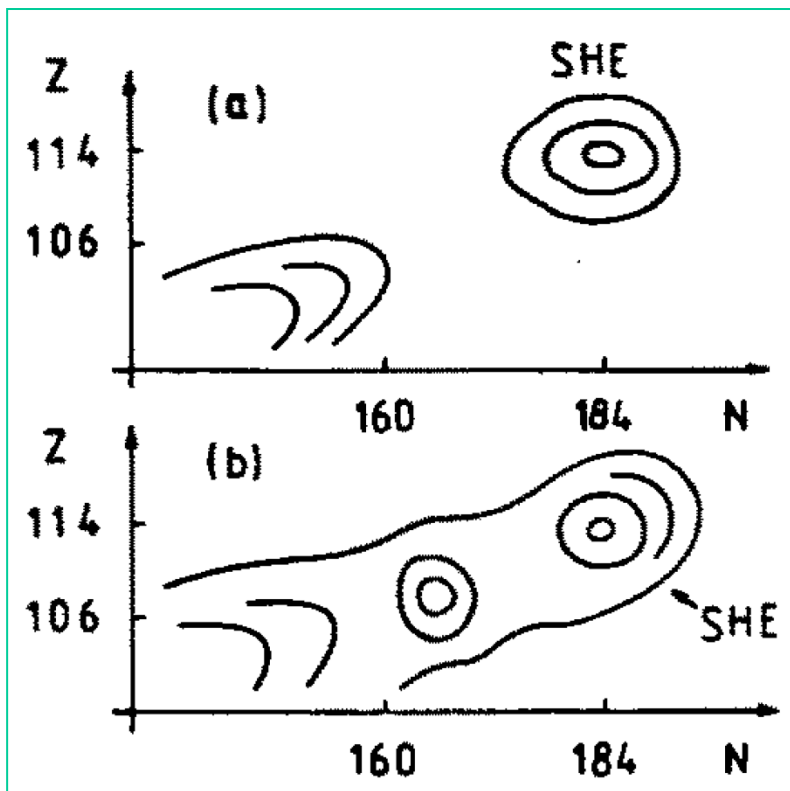


Courtesy of Bing-Nan Lu (吕炳楠)

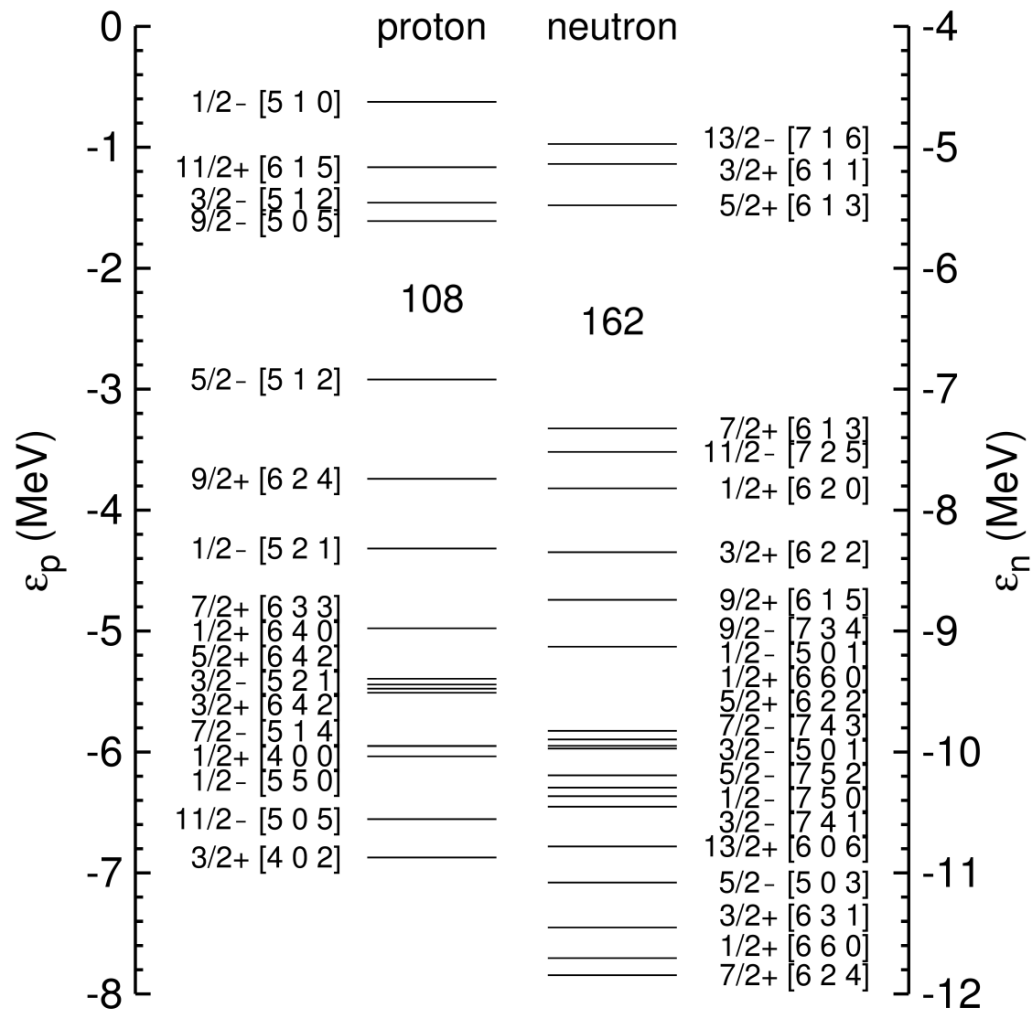
核裂变“地形图”——形状势能曲面



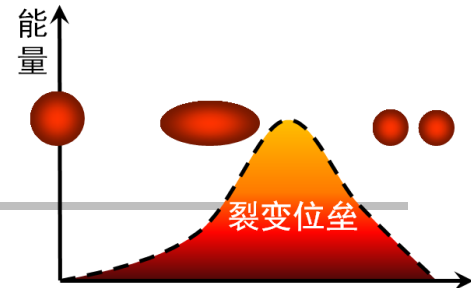
变形双幻超重核 ^{270}Hs 及其附近的浅滩



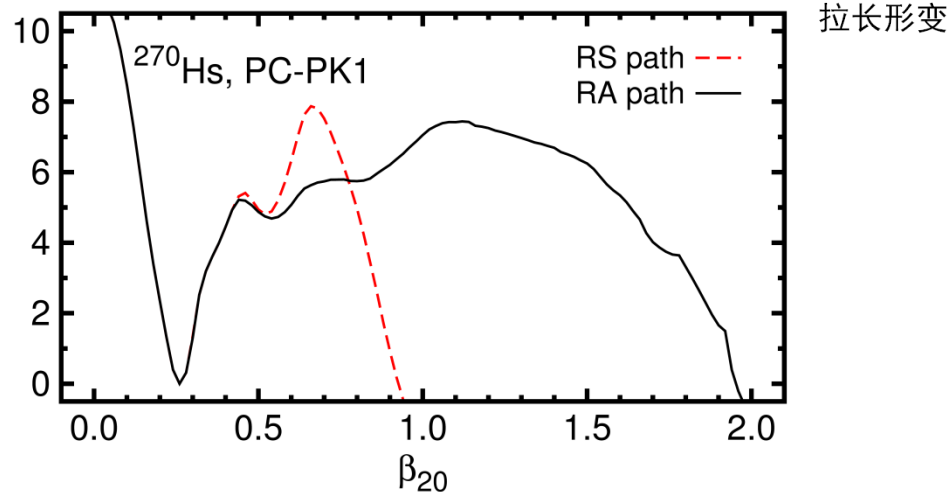
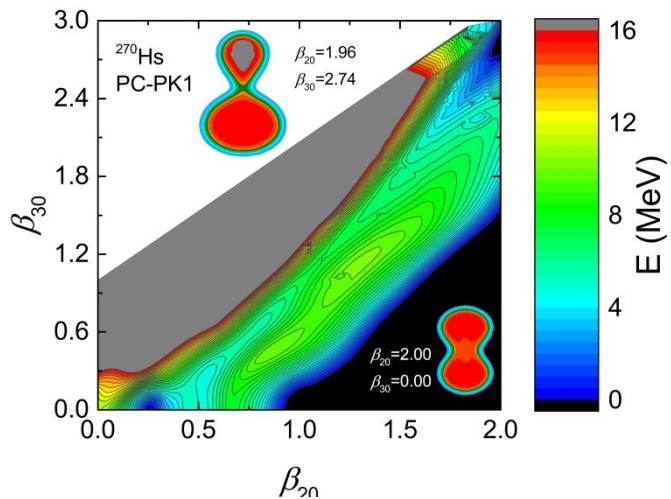
Patyk_Skalski_Sobiczewski_Cwiok1989
NPA502-591



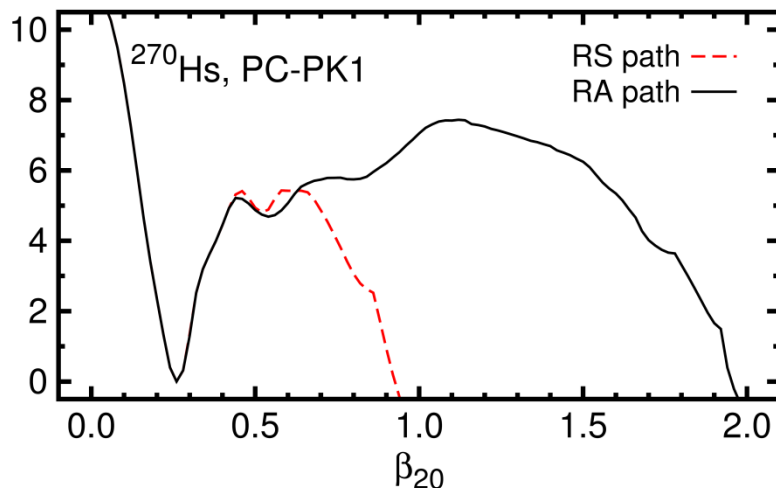
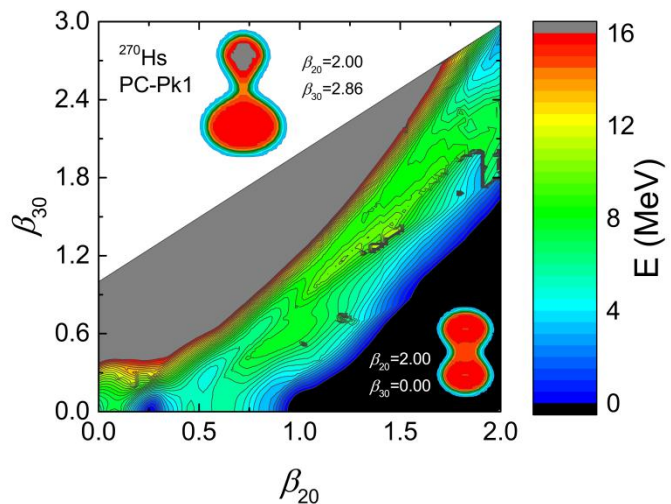
变形双幻超重核 ^{270}Hs 反射不对称和非轴对称的影响



轴对称



非轴对称



内容提要

□ 引言

□ 超重稳定岛的理论预言

□ 超重原子核与新元素合成的实验进展

□ 超重新元素合成面临的问题与挑战

□ 超重原子核性质及合成机制研究

□ 小结

周善贵, 超重原子核与超重元素, 物理 43 (2014) 817–825

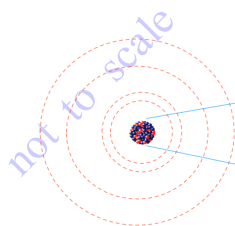
李璐璐、吕炳楠、王楠、温凯、夏铨君、张振华、赵杰、赵恩广、周善贵, 超重核性质与合成机制的理论研究, 原子核物理评论 31 (2014) 253–272

吕炳楠、赵杰、赵恩广、周善贵, Superheavy nuclei and fission barriers, Chapter 5 in *Relativistic Density Functional for Nuclear Structure* (World Scientific, 2016, Editor: Jie Meng)

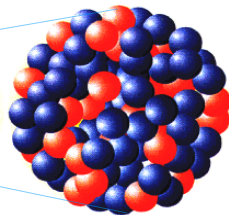
周善贵, 超重原子核与新元素研究, 原子核物理评论 34 (2017) 318–331

小结

10^{-9} m



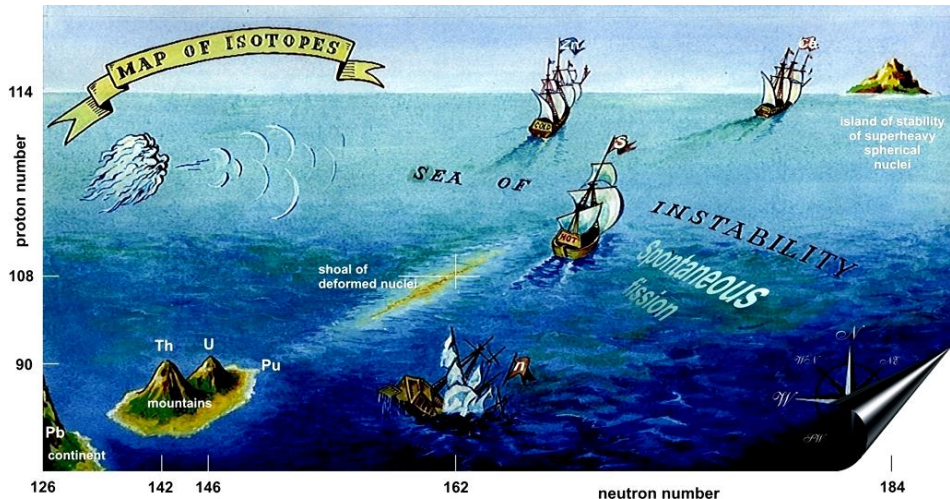
10^{-14} m



带*为放射性元素
其中黑色为天然放射性元素
红色为人造元素

IA	主族 副族 过渡金属 稀有气体																0	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
H	He	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar	
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc*	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
Cs	Ba	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At*	Rn	
Fr*	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh*	Hs	Mt*	Ds*	Rg	Cn	Nh*	F1*	Fl*	Mc*	Lv*	Ts*	Og*

镧系	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm*	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
锕系	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np*	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk*	98 Cf*	99 Es*	100 Fm*	101 Md*	102 No*	103 Lr*



- 元素周期表有尽头吗？若有，在哪里？
- 是否存在稳定（长寿命）的超重元素？
- 超重元素的化学性质是否仍然符合现有的元素周期律？
- ...

- 超重（稳定）岛中心在哪里？
- 如何登上超重（稳定）岛？
- 是否存在奇特形状的超重原子核？
- 超重原子核中存在比基态寿命还长的同核异能态吗？
- 超重原子核中是否存在新的衰变方式？
- ...

Physics & Chemistry: Collaborating?

EPJ Web of Conferences **131**, 06004 (2016)

DOI: 10.1051/epjconf/201613106004

Nobel Symposium NS160 – Chemistry and Physics of Heavy and Superheavy Elements

Validation of new superheavy elements and IUPAC-IUPAP joint working group

Cecilia Jarlskog^a

Div. Math. Phys., Physics Department, LTH, Lund University, Sweden

Abstract. The great chemist Glenn Seaborg has written a delightful little book “Man-made Transuranium Elements”, published in 1963, in which he points out that: “The former basic criterion for the discovery of a new element – namely, chemical identification and separation from all previously-known elements – had to be changed in the case of lawrencium (element 103). This also may be true for elements beyond lawrencium.”

Indeed this is what has happened. The elements with $Z \geq 103$ are produced in nuclear reactions and are detected by counters. The detectors have undergone substantial refinement. For example one uses multiwire proportional chambers [for which George Charpak received the 1992 Nobel Prize in Physics] as well as solid state micro-strip detectors. In spite of this remarkable shift from chemistry to physics, the managerial staff of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) does not seem to be aware of what has been going on. The validation of superheavy elements should be done by physicists as the chemists lack the relevant competence as I will discuss here below.

This article is about a collaboration between International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and its sister organization International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), to deal with discovery of superheavy elements beyond $Z = 112$. I spent a great deal of time on this issue. In my opinion, the collaboration turned out to be a failure. For the sake of science, which should be our most important concern (and not politics), the rules for the future collaborations, if any, should be accurately defined and respected. The validation of new elements should be done by people who have the relevant competence – the physicists.

1. Introduction in a nutshell: Physicists discover – IUPAC gets the credit



Physics & Chemistry: Collaborating?

EPJ Web of Conferences **131**, 06004 (2016)

DOI: 10.1051/epjconf/201613106004

Nobel Symposium NS160 – Chemistry and Physics of Heavy and Superheavy Elements

Validation of new superheavy elements and IUPAC-IUPAP joint working group

Cecilia Jarlskog^a

Div. Math. Phys., Physics Department, LTH, Lund University, Sweden

Abstract. The great chemist Glenn Seaborg has written a delightful little book “Man-made Transuranium Elements”, published in 1963, in which he points out that: “The former basic criterion for the discovery of a new element – namely, chemical identification and separation from all previously-known elements – had to be changed in the case of lawrencium (element 103). This also may be true for elements beyond lawrencium.”

Indeed this is what has happened. The elements with $Z \geq 103$ are produced in nuclear reactions and are detected by counters. The detectors have undergone substantial refinement. For example one uses multiwire proportional chambers [for which George Charpak received the 1992 Nobel Prize in Physics] as well as solid state micro-strip detectors. In spite of this remarkable shift from chemistry to physics, the managerial staff of the International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) does not seem to be aware of what has been going on. The validation of superheavy elements should be done by physicists as the chemists lack the relevant competence as I will discuss here below.

This article is about a collaboration between International Union of Pure and Applied Chemistry (IUPAC) and its sister organization International Union of Pure and Applied Physics (IUPAP), to deal with discovery of superheavy elements beyond $Z = 112$. I spent a great deal of time on this issue. In my opinion, the collaboration turned out to be a failure. For the sake of science, which should be our most important concern (and not politics), the rules for the future collaborations, if any, should be accurately defined and respected. The validation of new elements should be done by people who have the relevant competence – the physicists.

1. Introduction in a nutshell: Physicists discover – IUPAC gets the credit



The validation of superheavy elements should be done by physicists as the chemists lack the relevant competence as I will discuss here below.

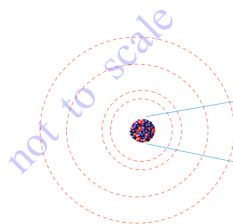
The validation of new elements should be done by people who have the relevant competence – the physicists.

Physicists discover – IUPAC gets the credit

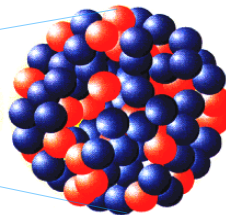
小结

谢谢!

10^{-9} m

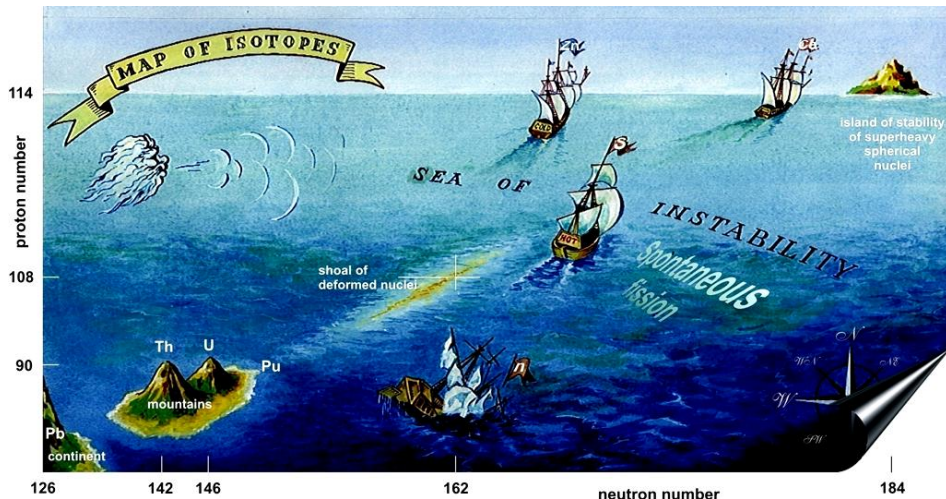


10^{-14} m



IA	带*为放射性元素																0																																																																																																				
	主族金属										副族金属				非金属元素		稀有气体																																																																																																				
1	2	IIIB										IVB		VB		VIB		VIIIB		VIII		IB		IIB		3																																																																																											
1	2	其中黑色为天然放射性元素																10																																																																																																			
																		红色为人造元素																																																																																																			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118

镧系	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
锕系	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr



- 元素周期表有尽头吗？若有，在哪里？
- 是否存在稳定（长寿命）的超重元素？
- 超重元素的化学性质是否仍然符合现有的元素周期律？
- ...

- 超重（稳定）岛中心在哪里？
- 如何登上超重（稳定）岛？
- 是否存在奇特形状的超重原子核？
- 超重原子核中存在比基态寿命还长的同核异能态吗？
- 超重原子核中是否存在新的衰变方式？
- ...