



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

## 华中师大粒子物理所论坛

2020年7月22日 上午10点

会议: <https://1bn1.zoom.us/j/97212711449>

会议id: 97212711449

# 基于形变相对论连续谱理论的原子核质量表

DRHBc Mass Table Collaboration 合作组

孟 杰

北京大学/物理学院



北京大学

PE

# 人民日报

1966年8月15日星期一 第1331号 1966年8月15日 周一 共同社记者六月十五

热烈庆祝中国人民解放军  
建军三十九周年！

## 毛主席接见参加北京物理讨论会的各国朋友

各国科学家长时间地热烈鼓掌，高呼“毛主席万岁！万万岁！”毛主席同各国科学家亲切握手



新华社三十日讯 毛泽东主席今晚接见了参加北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨  
论会的二十三个国家某一个地区的学者和科学家代表团团长、科学家，以及其他外宾代表。

毛主席同各国外科学代表团团长的时候，各国外科学代表团团长热烈鼓掌，高呼：“毛主席  
万岁！”“毛主席万岁！”

毛主席在热烈的掌声中，同各国科学家亲切握手，并且同他们合影。

毛主席同科学家们合影后离开大厅的时候，各国外科学家向毛主席，齐声高呼：“毛主席  
万岁！万万岁！”

参加接见的党和国家领导人有：周恩来、陈毅、李富春、贺龙、徐向前、董生、宋一民、  
薄一波、彭真、叶剑英、董必武、林枫、万里、郭沫若、陈明健教授等。

出席摄影下面，七月三十一天，毛泽东主席接见参加北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨  
论会的二十三个国家某一个地区的学者代表团团长、科学家代表团团长、以及其他外宾代表。

新华社记者摄





北京大学

不忘初心，牢记使命





北京大学

# 北京物理讨论会公报

讨论会增进了四大洲科学家的团结和友谊。讨论会的成就表明，四大洲觉醒了的人民和科学家，有志气、有才能、有信心掌握最先进的科学和技术。讨论会认为，只有首先反帝反殖，才能使四大洲各民族的、人民大众的科学文化事业得以发展。

新华社三十一日讯 北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会公报，全文如下：

北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会，于一九六六年七月二十三日至三十一日在北京举行，参加讨论会的有来自亚洲、非洲、拉丁美洲和大洋洲三十多个国家和一个地区性学术组织的科学家一百四十四人。这些国家和地区性学术组织是：阿富汗、东非科学院、阿尔及利亚、阿根廷、澳大利亚、缅甸、柬埔寨、锡兰、智利、中国、哥伦比亚、刚果（布）、厄瓜多尔、几内亚、印度尼西亚、伊拉克、日本、朝鲜、墨西哥、摩洛哥、尼泊尔、尼日利亚、巴基斯坦、塞拉利昂等。

苏丹、叙利亚、坦桑尼亚、突尼斯（观察员）、乌干达、阿联、乌拉圭和越南等。

讨论会收到九十九篇学术论文。这些论

文广泛涉及物理学的很多领域，各国科学家的论文，提出了许多各自独到的见解。特别在基本粒子、原子核物理和固体物理方面，都有开创性的工作，提出了新的理论。弄清了许多过去未能解释的实验现象。各国物理学家还交流了他们在物理教学方面的切身的宝贵经验。在理论与实践相结合、科学研究、教学和生产相结合等方面也交流了许多有益的经验。与会者经过热烈的讨论，互相学习，得到了共同提高。

讨论会发扬了民主协商、积极合作的精神，增进了四大洲科学家之间的团结和友谊。与会者相信，这次讨论会对于促进物理学的新发展具有重要的意义。

讨论会的成就表明，四大洲觉醒了的人民和科学家，有志气、有才能、有信心掌握最先进的科学和技术。讨论会认为，只有首先反帝反殖，才能使四大洲各民族的、人民大众的科学文化事业得以发展。

为了进一步加强亚洲、非洲、拉丁美洲和大洋洲各国科学家的团结友谊和学术交流，讨论会希望四大洲的科学家进一步努力，加强双边和多边的接触，为一九六八年北京科学讨论会的召开，作出贡献。

## 出席北京物理讨论会的一百一十位科学家联合发表声明

# 愤怒控诉美帝利用科学屠杀越南人民滔天罪行 完全赞成和支持胡志明主席的《告全国同胞书》

号召全世界的科学家和人民更加强有力和有效地支援越南人民的正义斗争

新华社三十一日讯 出席北京物理讨论会的一百一十位科学家在讨论会期间联合发表关于越南问题的声明。强烈谴责美帝国主义对越南的侵略战争，并热烈支持越南人民为保卫自己的民族权利而进行的抗击侵略者的正义斗争。

五一年多以来，美帝国主义一直在对越南南方人民进行规模愈来愈大的日益残酷的侵略战争，在“种族战争”战略上遭到惨败后，它把美国远征军大批派到越南南方，并且使用空军和海军对一个独立的主权国家——越南民主共和国发动公开的进攻。直接参加越南战争的美国海陆空三军，已经达到三十十五万多人。它执行极端残暴的“杀光、烧光、抢光”政策，在越南南方投下以

十万架计的炸弹。凝固汽油弹、炸弹和杀伤炸弹，甚至使用了B—52型的战略轰炸机残杀平民。它悍然使用了为人所不齿的和国际法所禁止的各种杀人手段，如：毒气和化学毒剂等等。科学技术成就掌握在美帝国主义手里，已经变成过去精英特勤西斯都不敢使用的最残酷、最野蛮的杀人手段。

美帝国主义为了对越南进行侵略战争，也动用了它驻在泰国、日本、菲律宾、关岛等地的力量，把这些地区变为它的侵略基地。它同它的南朝鲜、澳大利亚、新西兰、菲律宾、泰国等地的走狗和反动派别勾结，强迫这些国家的青年到越南充当它们的炮灰，在扩大对越南的侵略战争的同时，美帝国主义者及其走狗把它们的侵

略战争扩大到老挝，并且不断侵犯柬埔寨边境，严重地威胁这个国家的独立和中立。美帝国主义在越南的侵略战争严重地破坏了印度支那、东南亚和世界和平。挑拨了各项国际协议和国际法准则，践踏了最基本的民族权利，疯狂地进攻东南亚非盟的民族解放运动。

越南人民反对美帝国主义的侵略，保卫民族独立、国家主权、统一和领土完整的斗争，是完全正义的斗争。越南人民已经树立了光辉的榜样，这里非但各国民的英勇斗争精神和争取独立和自由的坚强意志的象征。越南人民已使侵略者遭到致命的打击。

声明全文如下：

参加一九六六年北京物理讨论会的科学家关于越南问题的声明

我们参加一九六六年北京物理讨论会的科学家联名发表声明如下：

在听取了越南科学家代表团所作的关于美帝

# 为反帝反殖和发展民族科学文化而斗争

——庆祝北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会胜利闭幕



北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会胜利闭幕了。这次讨论会将对增进四大洲科学家之间的友好团结，对发展四大洲各民族科学文化事业作出了重要的贡献。我国人民和科学工作者对会议的成就表示热烈的祝贺。

这次物理讨论会，同两年前举行的北京科学讨论会一样，充分地发扬了民主协商、团结合作的精神。四大洲各国科学家都以主人翁的态度，共同负责，相互信任，使讨论会开得很好，很成功。

在这种良好的气氛中，各国科学家的科学研究成果和经验，得到了充分的讨论。许多科学成果，得到了互相补充和发展。许多学术思想，得到了丰富和提高。许多宝贵的经验，成了四大洲科学家和四大洲人民的共同的财富。

这次物理讨论会，展示了四大洲各国民和科学家是有着志气、有才能、有恒心的。他们完全有能力掌握世界最先进的科学和技术。完全有能力把四大洲的民族科学文化事业推进到一个复兴、繁荣和发展的新时期。

这次物理讨论会，长了四大洲各国民和科学家的志气，灭了帝国主义及其科学“权威”的威风。那种认为物理学，特别是核物理学，只能由欧美某些大国所垄断的神话，早已破灭了。会议的光辉成果，对于那些妄想在世界科学领域内称王称霸的人，是当头一棒。

四大洲各国发展民族科学文化事业的根本问题，首先是政治问题。

毛泽东同志曾经拿半殖民地的、半封建的、分裂的旧中国作为例子说：“许多好心的教育家、科学家和学生们，他们埋头于自己的工作或学习，不问政治，自以为可以所学为国家服务，结果也化成了梦。一概幻灭了。这是好消息。这种幼稚的梦想的幻灭，正是中国富强的起点。”

在这次物理讨论会的过程中，许多科学家对于发展民族科学与政治的关系问题进行了热烈的讨论，并且得出共同的结论：在四大洲许多长期遭受帝国主义侵略和压迫的国家里，不打倒帝国主义和殖民主义，没有真正的民族独立和解放，民族科学文化事业是不可能得到发展的。他们说：民族科学文化的发展是同反帝、反殖的革命分不开的；我们只有同人民群众一起进行斗争，获得民族独立，才有可能使我们国家的科学和真正的民族文化得到发展。

在反对帝国主义的斗争中发展民族科学文化，在争取和维护民族独立的斗争中发展民族科学文化，这正是四大洲各国富强的起点。

目前，现代物理学正进入一个大革命的新时期。各国科学家在讨论会上宣读的许多精辟的论文，清楚地反映了这一点。

我国物理学家工作者，在科学实验中，努力掌握毛泽东思想，采用正确的认识论和方法论。他们以毛泽东思想来指导科学实践，改造旧的世界观。破除迷信，解放思想，敢想、敢说、敢做、敢问、敢革。他们高举毛泽东思想的伟大红旗，在现代物理学领域里，闯出自己的一条路来。

我国物理学家工作者在基本粒子理论和光电光源技术方面所取得的重大成就，就是把毛泽东思想运用于科学实践的光辉例证。伟大的毛泽东思想为我国人民发展社会主义科学事业指引了前进的方向和道路。这一点，给了各国科学家很大的启发。有的外国科学家热情地说，毛泽东思想是普遍真理，不论是在社会主义国家还是在资本主义国家，都同样有效。我国对大科学武器——原子弹、氢弹、导弹、人造卫星、宇宙飞船等的研究，都是在毛泽东思想鼓舞下进行的。刚刚对大科学武器武器，四大洲各国科学家们在去年夏天提出，要出席今年五月在北京召开的“世界科学大会”，并同中国人民一起，愤怒谴责美帝国主义侵略越南、利用科学成果屠杀越南人民的滔天罪行。科学家们在我国各地的参观访问，也将进一步增进四大洲各国人民之间的亲善友好的关系。

这次物理讨论会获得了预期的初步成功，我国科学家今后在科学研究工作中取得更大的成就！祝愿四大洲各国民和科学家在发展民族的、人民大众的科学文化的事业中，在反对以美国为首的帝国主义和新老殖民主义，争取和维护民族独立的斗争中，在保卫世界和平和人类进步的事业中，取得更大的胜利！

（下转第五版）



## 1966-08-01 《人民日报》社论

为反帝反殖和发展民族科学文化而斗争——庆祝北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会胜利闭幕

北京科学讨论会一九六六年暑期物理讨论会胜利闭幕了..... 这次物理讨论会，长了四大洲各国人民和科学家的志气，灭了帝国主义及其科学“权威”的威风。那种认为物理学，特别是核物理学，只能由欧美某些大国所垄断的神话，早已破灭了。会议的光辉成果，对于那些妄想在世界科学领域内称王称霸的人，是当头一棒。四大洲各国发展民族科学文化事业的根本问题，首先是政治问题。

.....

我国物理学工作者，在科学实践中，努力掌握毛泽东思想，掌握正确的认识论和方法论。他们以毛泽东思想来指导科学实践，来改造人的世界观，破除迷信，解放思想，敢想、敢说、敢做、敢闯、敢革命。他们高举毛泽东思想的伟大红旗，在现代物理学领域里，闯出自己的一条路子来。

.....

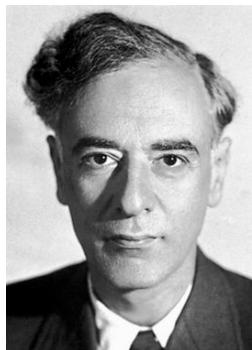


如果说我比别人看得更远些， 那是因为我站  
在了巨人的肩上。

——牛顿



尼尔斯·玻尔 (Niels Bohr, 1885–1962)，1922年获得诺贝尔物理学奖。



列夫·朗道 (Lev Landau, 1908–1968)，苏联犹太人，1962年诺贝尔物理学奖。

## 影响深远的学派

□ 哥本哈根学派：玻尔、玻恩、海森堡、泡利、狄拉克等都是主要成员。在 Los Alamos，玻尔对小儿子说：记住费曼，他是我说出愚蠢想法时，唯一说 no 的人。

□ 朗道学派：朗道对自己和学生的要求很高，每篇论文必修有重要性，重视思想交流。经常在学术讨论中一针见血地指出别人的错误和缺点。朗道吸引了许多优秀学生，弟子中包括 10 多位院士，其中 Aleksey Abrikosov 和 Vitaly Ginzburg 获 2003 年诺贝尔奖。



坂田昌一提出的基本粒子由更深层次基本粒子构成的理论与毛泽东物质无限可分思想产生共鸣



仁科芳雄



汤川秀树



朝永振一郎



南部阳一郎



小林诚



益川敏英

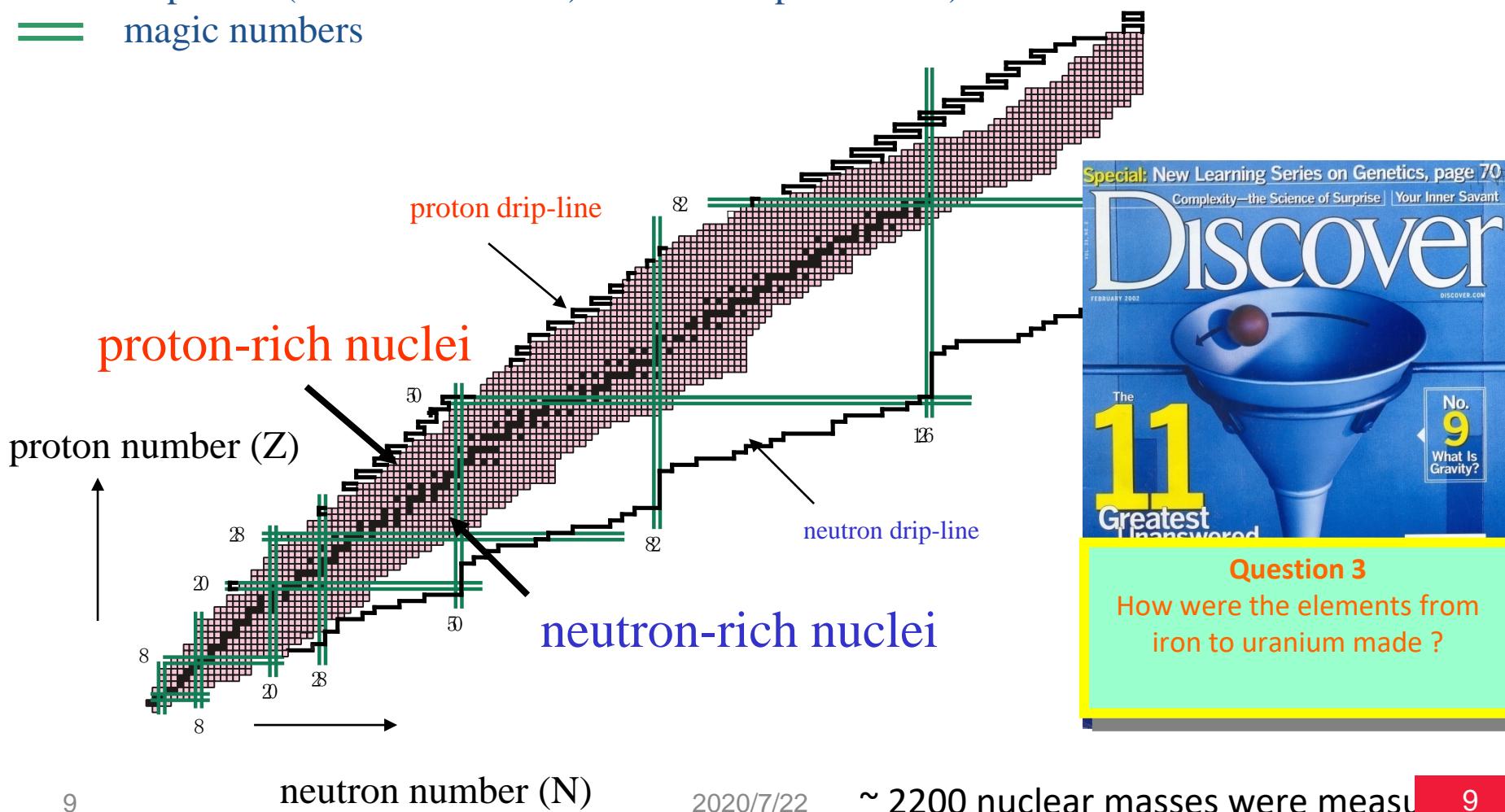
## 2008年物理诺贝尔奖

- 仁科芳雄（1890-1951），长冈半太郎的学生），其学派包括汤川秀树、朝永振一郎、坂田昌一、南部阳一郎、小林诚、益川敏英等。



- stable nuclei
- unstable nuclei observed so far
- drip-lines (limit of existence) (theoretical predictions)
- magic numbers

~300 nuclei  
~2700 nuclei  
~8000 nuclei

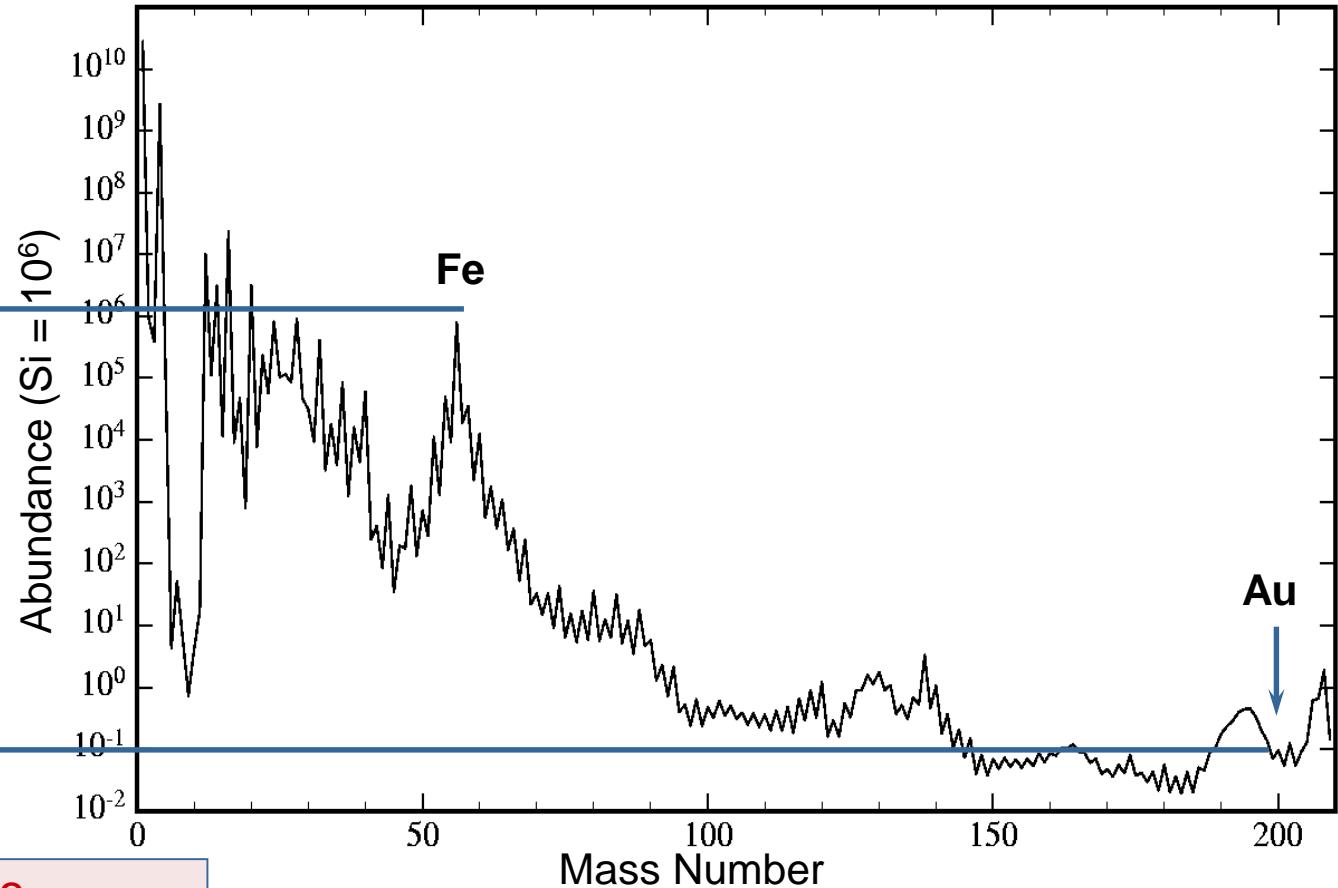




# 黄金为什么比铁贵？

Abundance curve of the elements

7 orders of magnitude difference!



### Question 3

How were the elements from iron to uranium made?

“The 11 Greatest Unanswered Questions of Physics”  
based on National Academy of Science Report, 2002



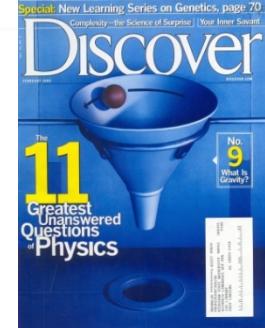
北京大学  
PEKING UNIVERSITY

# 天体快中子俘获过程

# 从铁到铀的重元素是如何合成的？

## 《发现》杂志：“物理学十一大待解之谜”

# 关键机制：快中子俘获过程 ( $r$ -过程)



## r-过程发生场所

# GW170817 双中子星合并事件证实双中子星合并为r-过程发生场所之一

ApJL 848, L12 (2017)



## 重元素合成研究的重大进展

## 系统的核物理知识： 质量、 $\beta$ 衰变寿命、反应率等

## 精确描述：核物理界的难题

$\beta$  衰变

The diagram illustrates beta decay. On the left, a yellow sphere representing a neutron ( ${}_1^1n$ ) is shown emitting an electron ( $e^-$ , represented by a purple sphere) and an antineutrino ( $\bar{\nu}_e$ , represented by a green sphere). An arrow points from the neutron to the products.

The diagram illustrates the Gamow-Teller beta decay process. It features four horizontal blue lines representing energy levels. Three red arrows point from the second level down to the first, indicating beta-minus decay. A fourth red arrow points from the third level down to the second, representing electron capture. Above the highest level, there is a horizontal black line labeled with Japanese characters 跃迁 (transition).

**关键：实验存在困难**

需要大规模高精度的理论计算

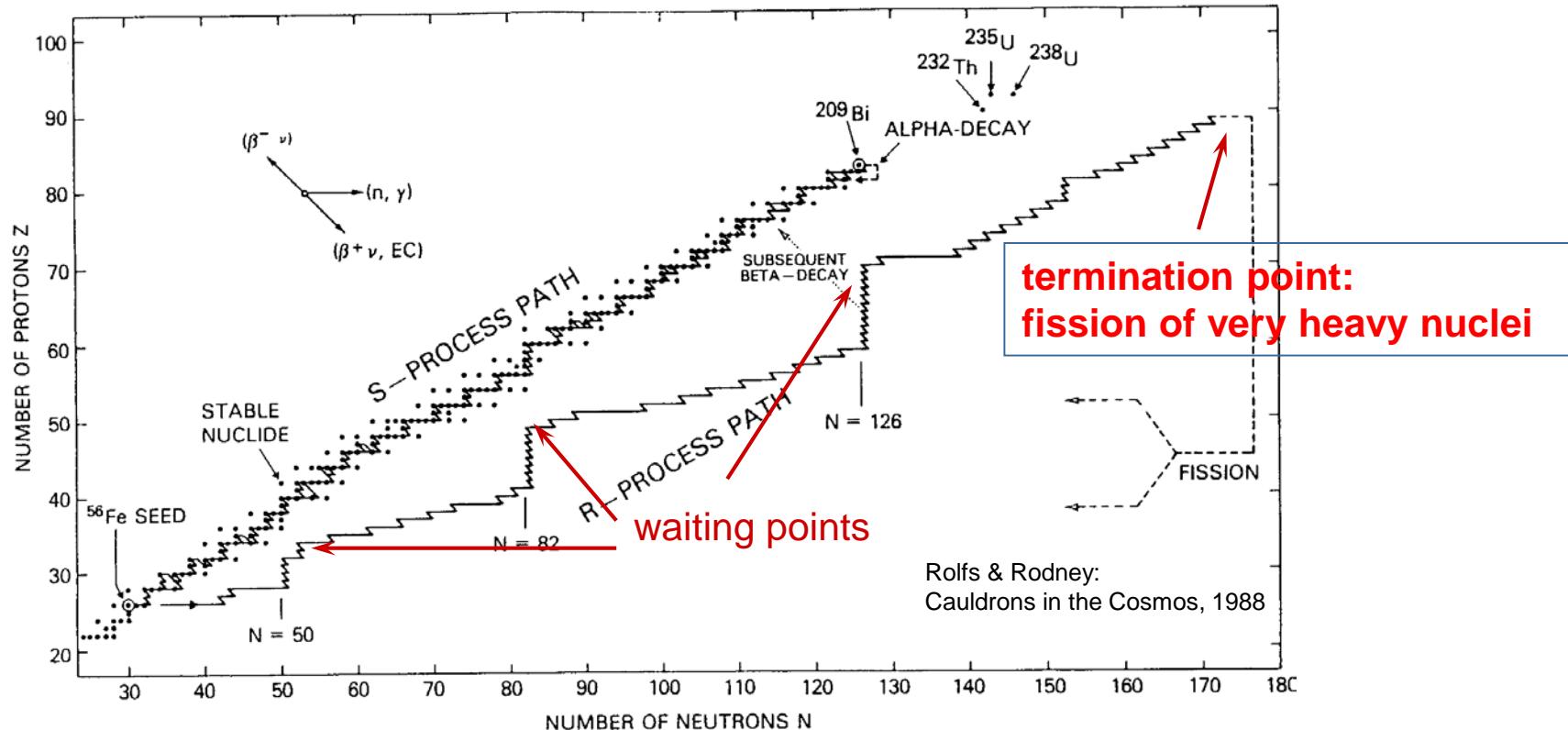


r-process ( $r =$  rapid neutron capture process)

$\Leftrightarrow$

n capture time:  $\tau_n \ll \tau_\beta$

unstable nucleus reacts before capturing decay



typical lifetimes for unstable nuclei far from the valley of  $\beta$  stability:  $10^{-4} - 10^{-2}$  s

requiring n  
capture time:

$$\tau_n \sim 10^{-4} \text{ s}$$

$\Leftrightarrow$

$$n_n \sim 10^{20} \text{ n/cm}^3$$

explosive scenarios needed to account for such high neutron fluxes



# 快过程原子核的质量测量

Short-Lived Neutron-Rich Nuclei with the Novel Large-Scale Isochronous Mass Spectrometry at the FRS-ESR Facility Sun et al. NPA 812 (2008) 1-12

71 nuclides covered

27 nuclides were measured

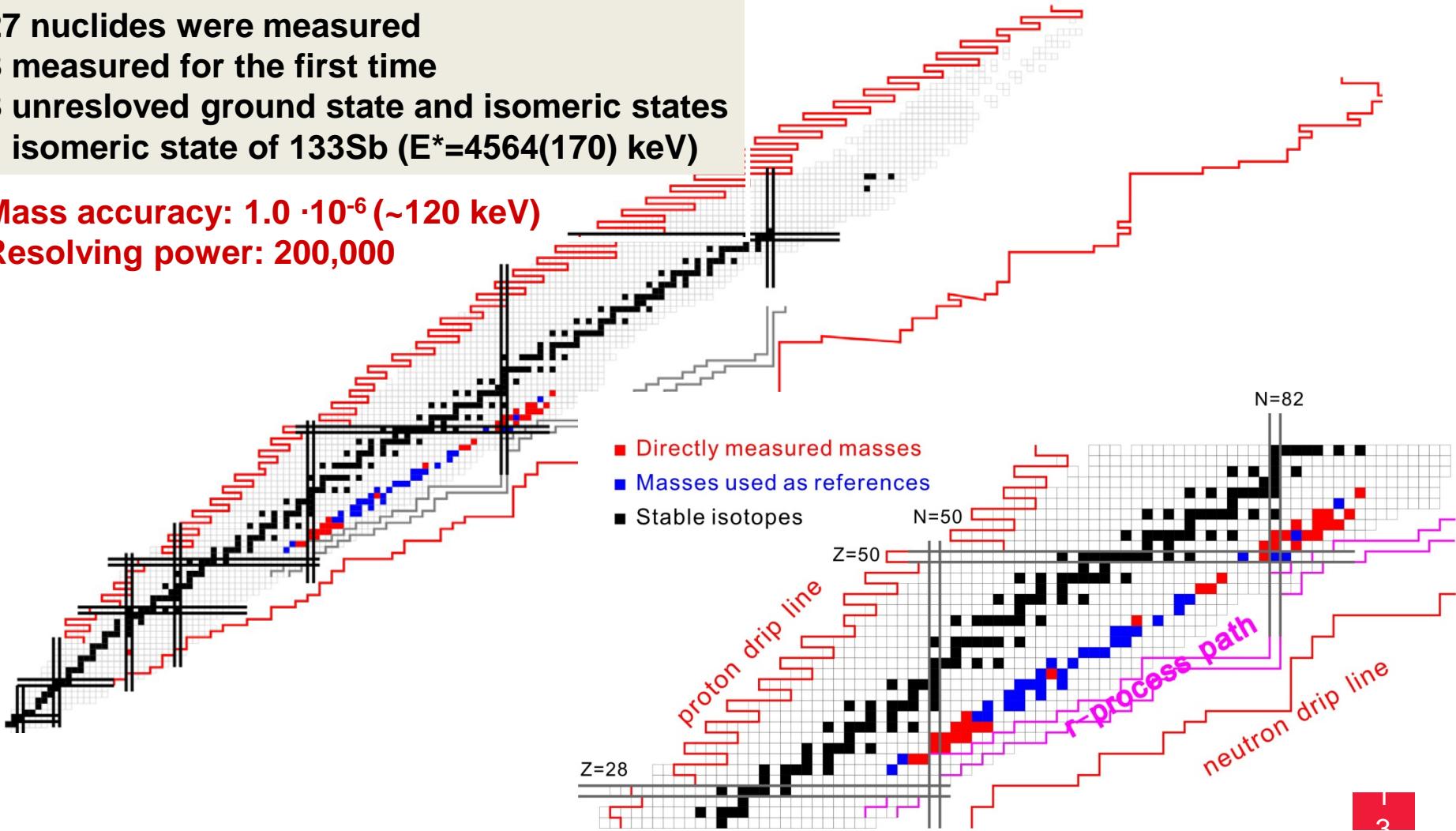
8 measured for the first time

8 unresolved ground state and isomeric states

1 isomeric state of  $^{133}\text{Sb}$  ( $E^*=4564(170)$  keV)

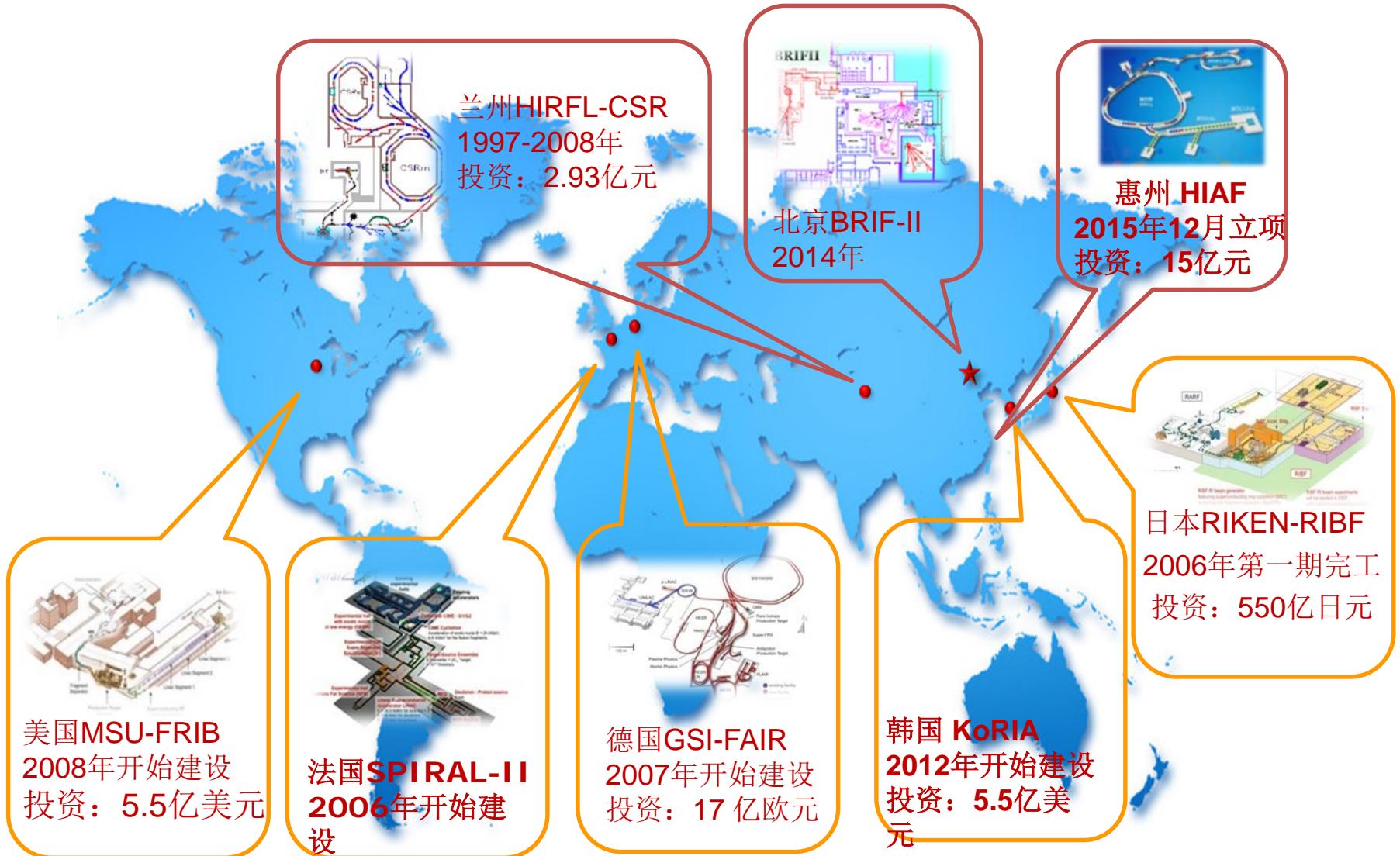
Mass accuracy:  $1.0 \cdot 10^{-6}$  (~120 keV)

Resolving power: 200,000





# 正在运行和建造主要的稀有同位素束设施





Antoine Henri  
Becquerel



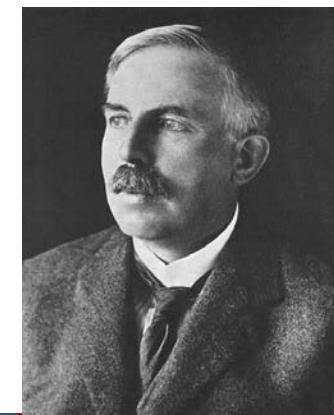
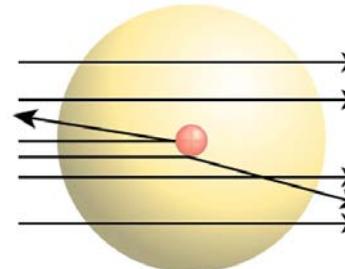
Pierre Curie



Marie Curie, née  
Skłodowska

## Birth of nuclear physics

Around the turn of Nineteenth and Twentieth centuries, the discoveries of radioactivity by Becquerel and the Curies and the existence of a compact nucleus at the center of an atom by Rutherford *et al.* opened the door of nuclear science. These achievements conceived the birth of quantum mechanics, promoted the exploitation and utilization of nuclear energy and nuclear technology, and brought about a huge impact on human life.





ELSEVIER

Contents lists available at [ScienceDirect](#)

# Progress in Particle and Nuclear Physics

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/ppnp](http://www.elsevier.com/locate/ppnp)



## Review

# Towards an *ab initio* covariant density functional theory for nuclear structure

Shihang Shen <sup>a,b,c</sup>, Haozhao Liang <sup>d,e</sup>, Wen Hui Long <sup>f,g</sup>, Jie Meng <sup>a,h,i,\*</sup>,  
Peter Ring <sup>a,j</sup>



<sup>a</sup> State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

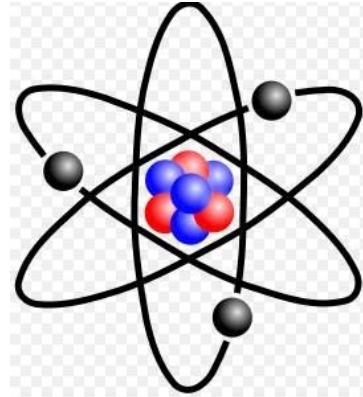
<sup>b</sup> Dipartimento di Fisica, Università degli Studi di Milano, Italy

<sup>c</sup> INFN, Sezione di Milano, via Celoria 16, I-20133 Milano, Italy

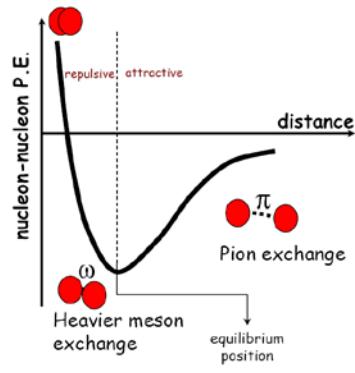
<sup>d</sup> RIKEN Nishina Center, Wako 351-0198, Japan



During the hundred years' struggling, in the development of nuclear physics itself, there emerged a lot of significant milestones, including



The discovery of neutron by Chadwick which verified the composition of nucleus as protons and neutrons



The meson-exchange theory for the interaction between nucleons by Yukawa

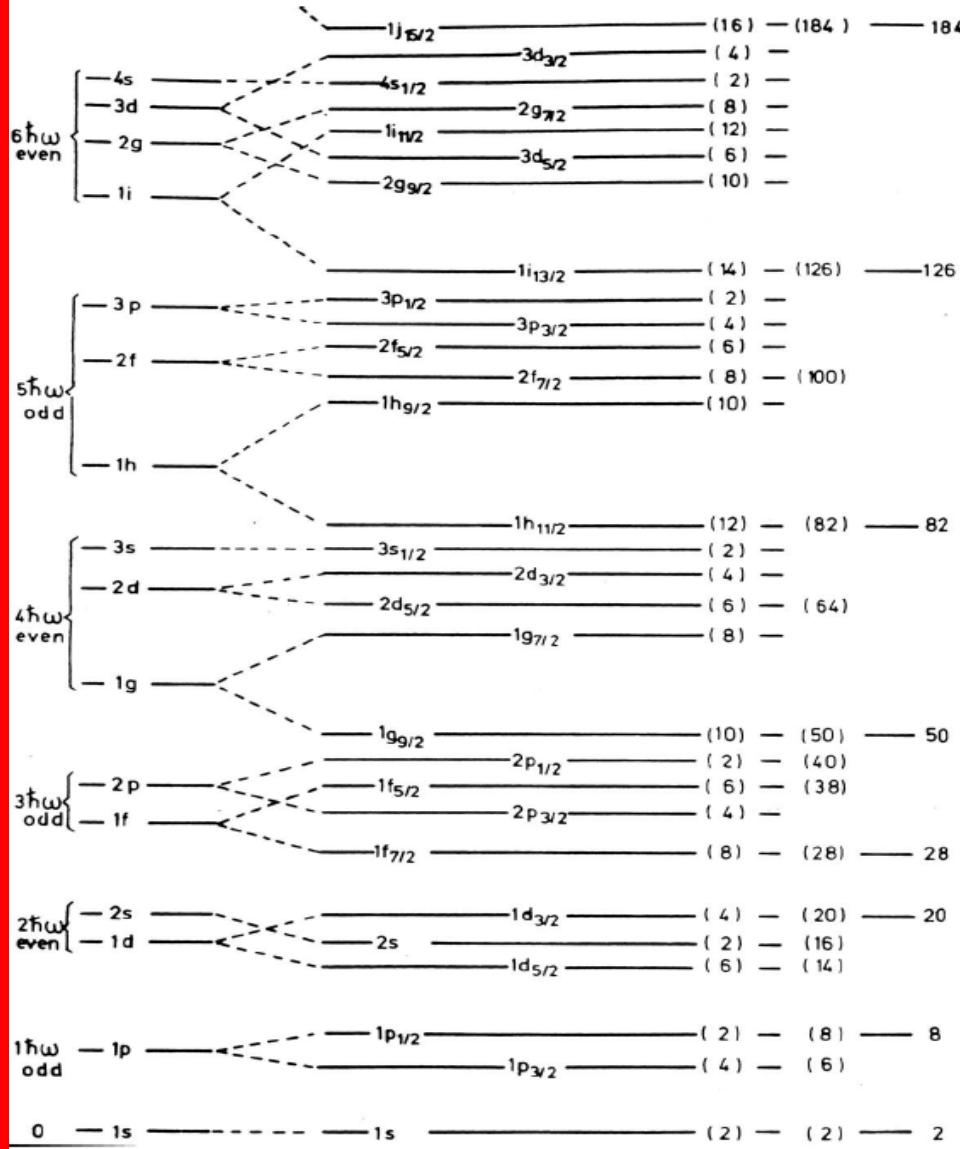
H. Euler, Z. Physik 105, 553 (1937)

Heisenberg's student who calculated the nuclear matter in 2nd order perturbation theory



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

# 第一代核模型：平均场近似



# 平均场壳模型



J. H. D.  
Jensen



M. G. Mayer



E. P. Wigner

Nobel Prize in Physics 1963

Strong spin-orbit interaction

Great for:

magic numbers

ground state properties

some low lying excited states

Lead to deformed Nilsson model

S. G. Nilsson, Mat. Fys. Medd. Dan.

Vid. Selsk. 29, No.16(1955).

S. G. Nilsson, et al., Nucl. Phys.

A131(1969) 1.

Totally fails for nuclear bulk properties



The independent particle shell model of nucleus by Mayer and Jensen et al., and the collective Hamiltonian for nuclear rotation and vibration by Bohr and Mottelson, etc. However, since 1950s, nuclear physics stepped into a more challenging stage.

- Although the independent particle shell model could describe the single-particle motion in a nucleus with a phenomenological mean potential, it cannot provide even a qualitative description for the nuclear bulk properties.



J. H. D.  
Jensen



M. G. Mayer



E. P.  
Wigner

Nobel Prize in Physics 1963



A. N. Bohr



B. R. Mottelson



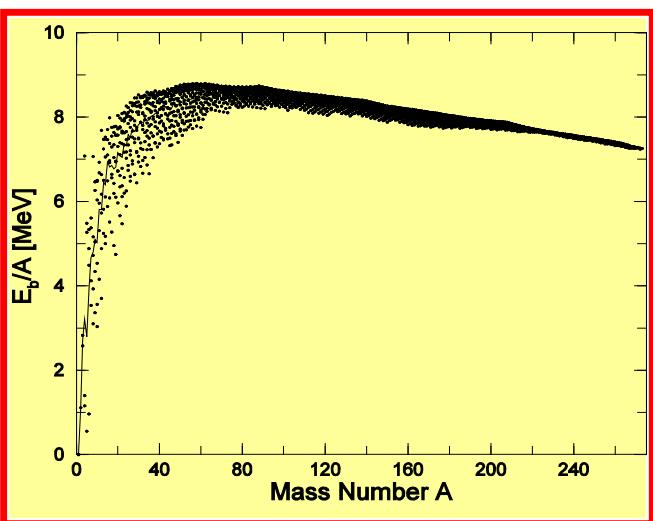
J. Rainwater

Nobel Prize in Physics 1975

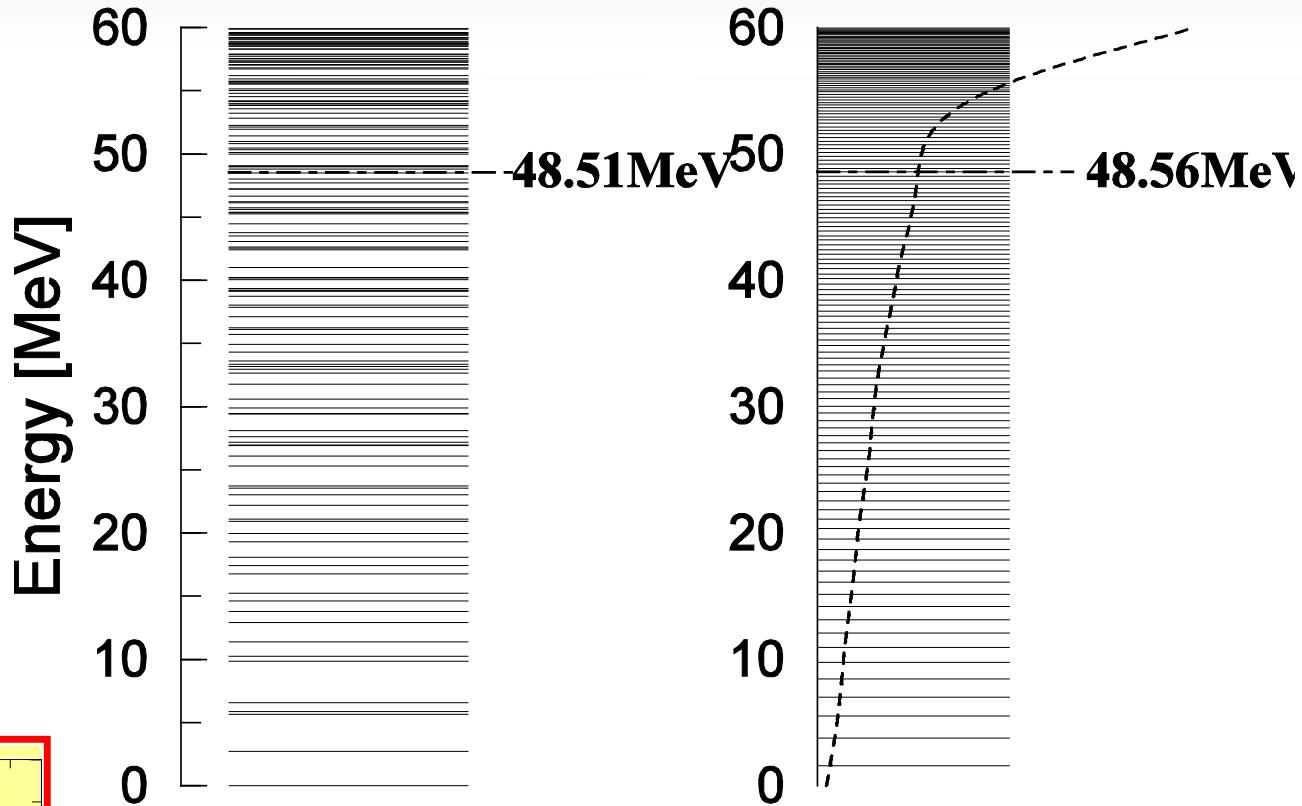


Compromise  
between Shell model  
and collective model

Great success for  
FRDM  
WS4 ...



# Strutinsky 壳修正



V.M. Strutinsky,  
Shell effects in nuclear masses and deformation  
energies, Nuclear Physics A 95 (1967) 420  
Times Cited: 1,664  
“Shells” in deformed nuclei, Nuclear Physics A 122  
(1968) 1  
Times Cited: 1,040



## Finite-Range Droplet Model (FRDM)

P. Möller, J.R. Nix, W.D. Myers, W.J. Swiatecki, At. Data Nucl. Data Tables 59, 185 (1995).

Times Cited: 2,385 Error of the mass model is 0.669 MeV

## Weizsäcker-Skyrme (WS) formula

“Isospin for S-O & E\_sym + mirror nuclei”

inspired by the Skyrme energy-density functional and a macroscopic-microscopic mass formula, with an rms deviation of 336 keV with respect to the 2149 measured masses in 2003 Atomic Mass Evaluation.

N. Wang, M. Liu and X. Z. Wu, Phys. Rev. C 81, 044322 (2010).

N. Wang, Z. Y. Liang, M. Liu and X. Z. Wu, Phys. Rev. C 82, 044304 (2010).

M. Liu, N. Wang, Y. G. Deng, and X. Z. Wu, Phys. Rev. C 84, 014333 (2011).

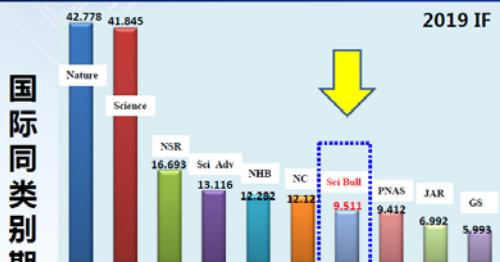
Taking into account the surface diffuseness effect, the rms deviation with 2353 known masses falls to 298 keV.

N. Wang, M. Liu, X. Z. Wu and J. Meng, Phys. Lett. B 734, 215 (2014).



IF 影响因子9.511

## Science Bulletin现状



国际同类别期

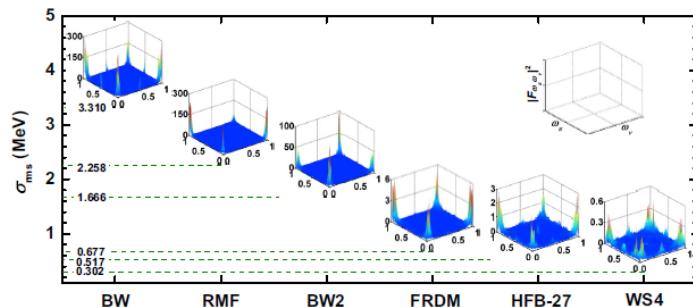


Fig. 1. (Color online) Squared amplitudes  $|F_{\omega_{\text{proton}}\omega_{\text{neutron}}}|^2$  of the discrete Fourier transforms of the mass differences between the experimental data and the predictions of various models, plotted against proton frequency  $\omega_p$  and neutron frequency  $\omega_n$ . The rms deviations of these mass models are marked on the vertical axis. Here we only take into account the nuclei with proton number  $Z \geq 8$  and neutron number  $N \geq 8$  listed in the Atomic Mass Evaluation (AME2016).

Article

## High precision nuclear mass predictions towards a hundred kilo-electron-volt accuracy

Zhongming Niu <sup>a</sup>, Haozhao Liang <sup>b</sup>, Baohua Sun <sup>c</sup>, Yifei Niu <sup>d</sup>, Jianyou Guo <sup>a</sup>, Jie Meng <sup>c,e,f,\*</sup>

<sup>a</sup>School of Physics and Materials Science, Anhui University, Hefei 230601, China

<sup>b</sup>RIKEN Nishina Center, Wako 351-0198, Japan

<sup>c</sup>School of Physics and Nuclear Energy Engineering, Beihang Univ

<sup>d</sup>ELI-NP, "Horia Hulubei" National Institute for Physics and Nucle

<sup>e</sup>State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School

<sup>f</sup>—

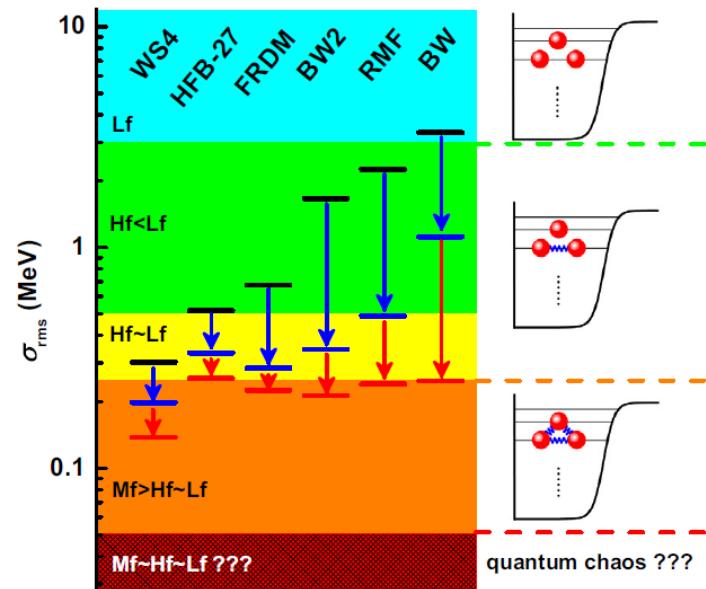


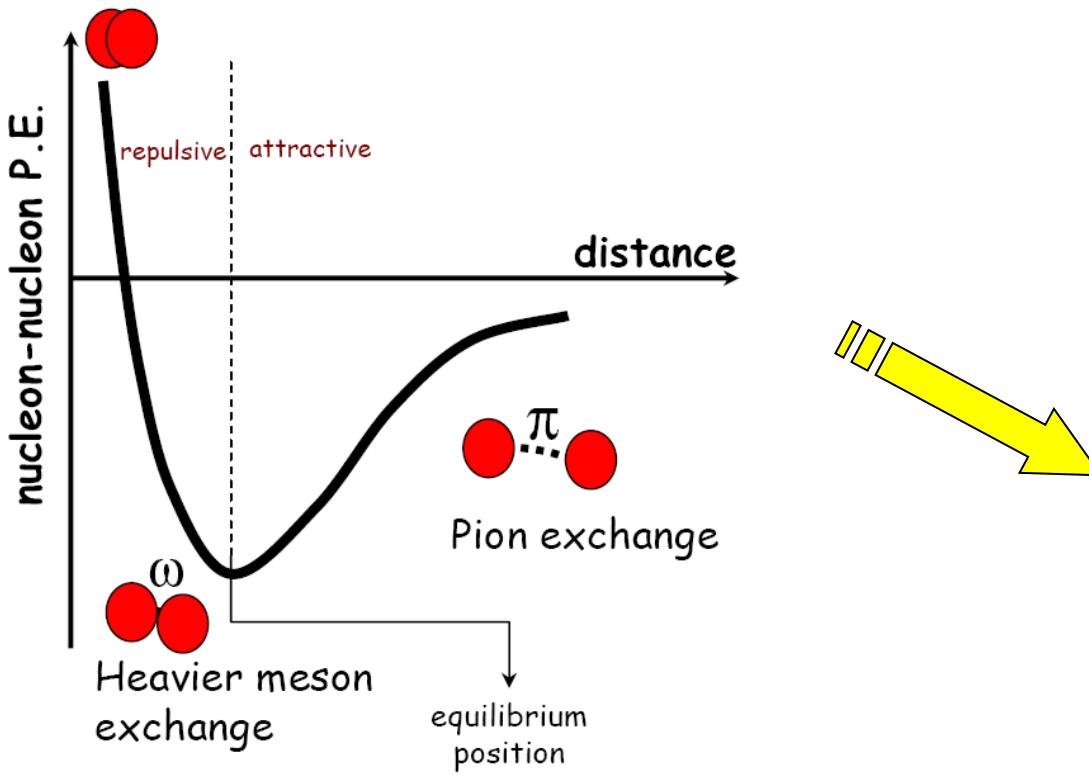
Fig. 5. (Color online) Schematic illustration of the relations between the accuracy desired for nuclear mass model and the required nuclear effective interactions to be properly considered. In each column the lines from top to bottom denote the mass rms deviations for the model, model + RBF, and model + RBFoE approaches. Models from left to right denote the WS4 [33], HFB-27 [34], FRDM [32], BW2 [31], RMF [35], and BW [28] models, respectively.



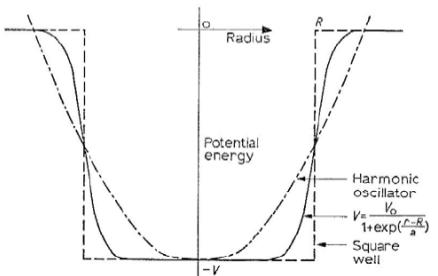
# 第二代核模型：有效相互作用



How to achieve microscopically and self-consistently a unified description of the single-nucleon and collective motions of nucleus based on the strong interaction theory is a crucial question to be answered by nuclear scientists.



What form for the potential?





## Many-body problems

$$\hat{H} \Psi = \left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \sum_i \nabla_i^2 + \sum_{i>j} V_{ij} \right] \Psi = E \Psi$$

$$\hat{H} = \sum_i \left[ -\frac{\hbar^2}{2m} \nabla_i^2 + U(r_i) \right] + \sum_{i>j} V_{ij} - \sum_i U(r_i)$$

**Mean field potential**

**Residual interaction**

The **self-consistent mean-field approach to nuclear structure is** analogous to **Kohn-Sham Density Functional Theory**.

**Density functional theory (DFT)**, with the name comes from the use of functionals of the particle density, is a quantum mechanical theory used in physics and chemistry to investigate the structure (mainly the ground state) of many-particle systems.



- *Ab initio*

Navratil, Vary, Barrett Phys. Rev. Lett. 84 (2000) 5728  
Bogner, Furnstahl, Schwenk  
Prog. Part. Nucl. Phys. 65 (2010) 94  
...

- Shell model

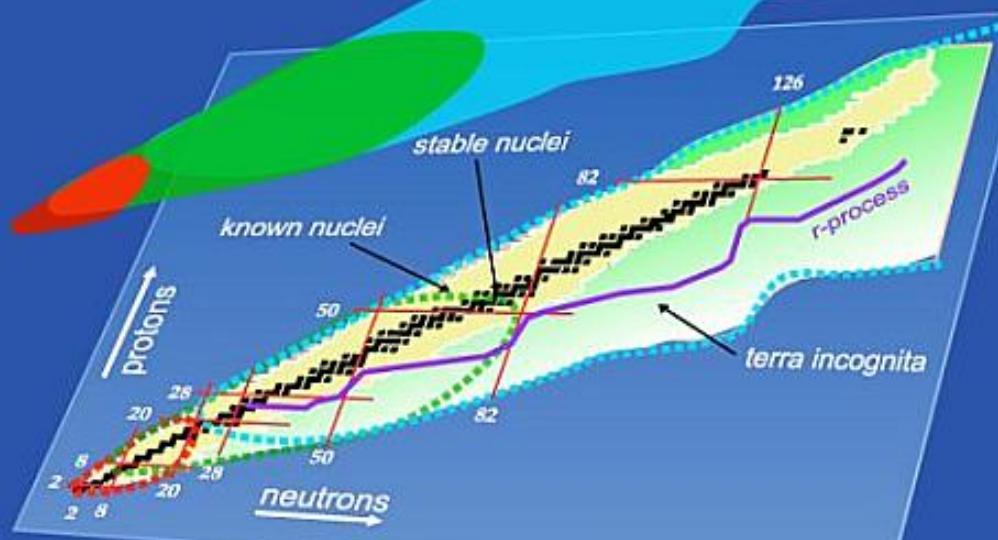
Caurier, Martínez-Pinedo, Nowacki, Poves, Zuker,  
Rev. Mod. Phys. 77 (2005) 427  
Otsuka, Honma, Mizusaki, Shimizu, Utsuno,  
Prog. Part. Nucl. Phys. 47(2001)319  
Brown, Prog. Part. Nucl. Phys. 47 (2001) 517  
...

- Density functional theory

Jones and Gunnarsson,  
Rev. Mod. Phys., 61 (1989) 689  
Bender, Heenen, Reinhard,  
Rev. Mod. Phys., 75 (2003) 121  
Ring, Prog. Part. Nucl. Phys. 37(1996)193  
Meng, Toki, Zhou, Zhang, Long, Geng,  
Prog. Part. Nucl. Phys. 57 (2006) 470  
...

## Nuclear Landscape

Ab initio  
Configuration Interaction  
Density Functional Theory



<http://www.unedf.org/>

密度泛函理论有希望给出核素图上所有原子核性质的统一描述

Relativistic Density Functional for Nuclear Structure, International Review of Nuclear Physics Vol 10 (World Scientific, 2016)



The exact energy of a quantum mechanical many body system is a functional of the local density  $\rho(\mathbf{r})$

$$E[\rho] = \langle \Psi | H | \Psi \rangle$$

This functional is universal. It does not depend on the system, only on the interaction.

One obtains the exact density  $\rho(\mathbf{r})$  by a variation of the functional with respect to the density

note:

$\rho(\mathbf{r})$  is a function of 3 variables.

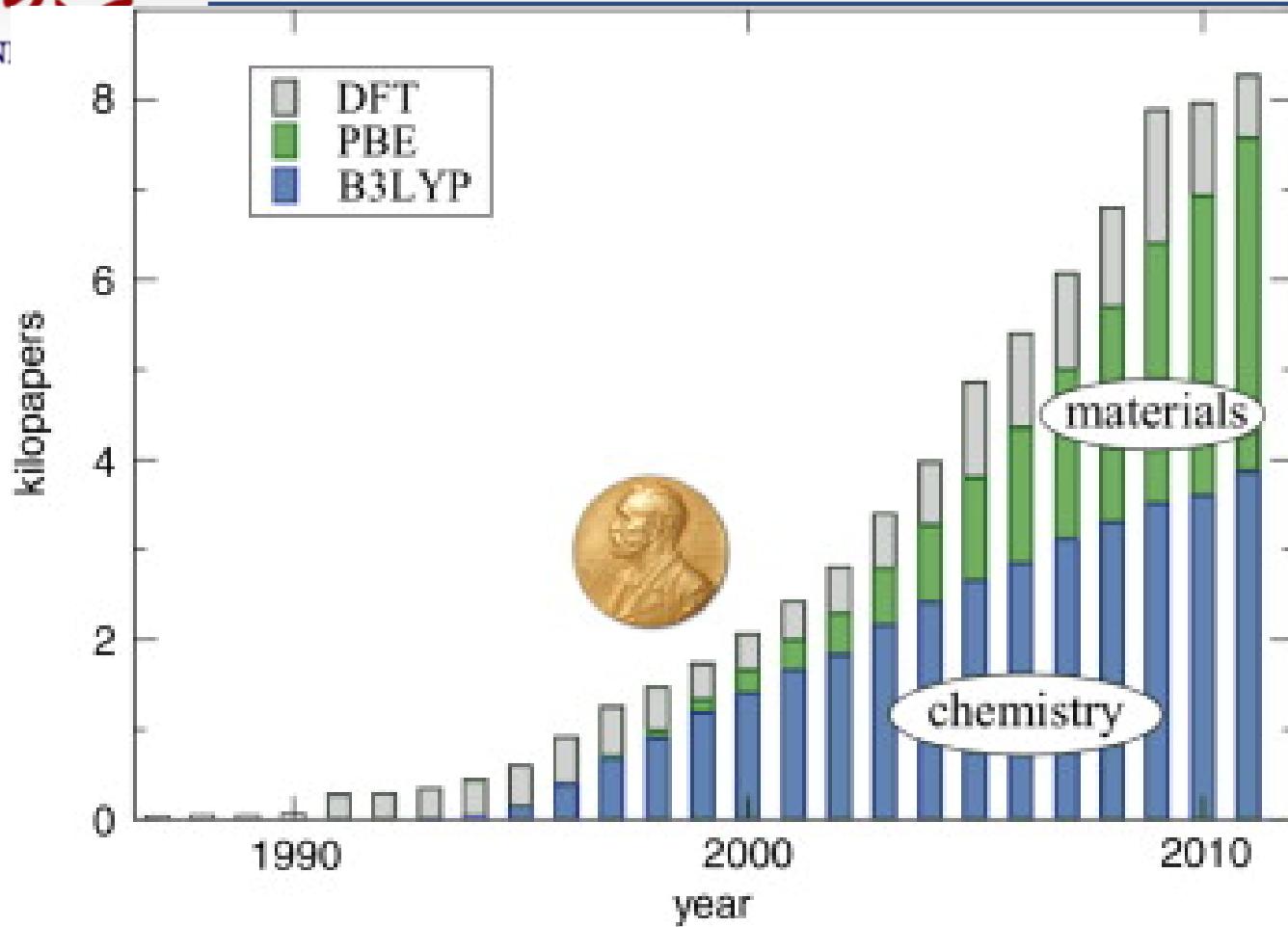
$\Psi(\mathbf{r}_1 \dots \mathbf{r}_N)$  is a function of  $3N$  variables.



Hohenberg



Kohn

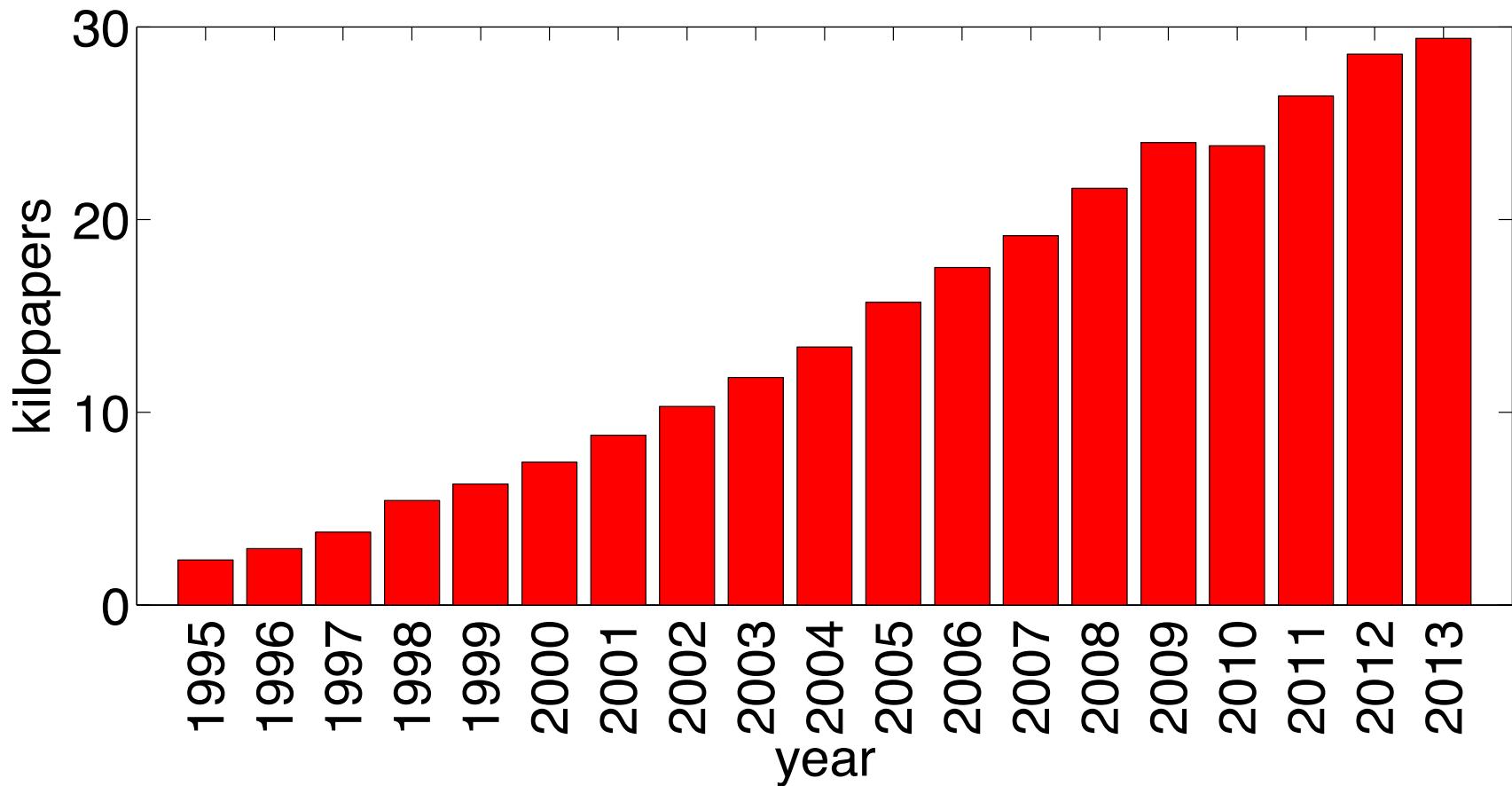


The numbers of papers (in kilopapers) corresponding to the search of a topic “DFT” in Web of Knowledge (grey) for different and the most popular density functional potentials: B3LYP citations (blue), and PBE citations (green, on top of blue).

K. Burke, [Perspective on density functional theory](#), J. Chem. Phys., 136 (2012) 150901 [1-9]



# DFT papers



*DFT: A Theory Full of Holes*, Aurora Pribram-Jones, David A. Gross, Kieron Burke, Annual Review of Physical Chemistry (2014).



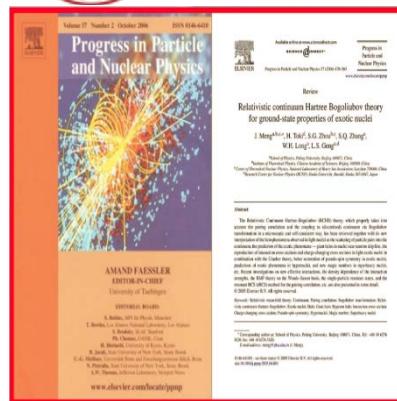
Nuclear DFT has been introduced by **effective Hamiltonians**: by Vautherin and Brink (1972) using the Skyrme model as a vehicle

$$E = \langle \Psi | H | \Psi \rangle \approx \langle \Phi | \hat{H}_{eff}(\hat{\rho}) | \Phi \rangle = E[\hat{\rho}]$$

Based on the philosophy of Bethe, Goldstone, and Brueckner one has a density dependent interaction in the nuclear interior  $G(\rho)$

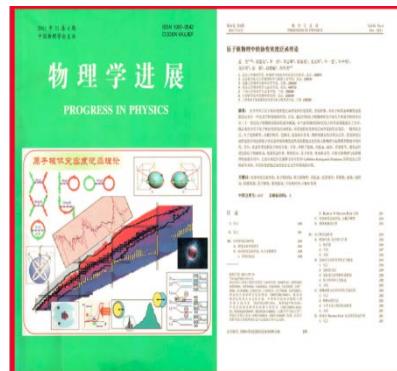
At present, the ansatz for  $E(\rho)$  is phenomenological:

- Skyrme: non-relativistic, zero range
- Gogny: non-relativistic, finite range (Gaussian)
- CDFT: Covariant density functional theory



J. Meng, H. Toki, S.-G. Zhou, S.Q. Zhang, W.H. Long, and L.S. Geng,  
*Prog. Part. Nucl. Phys.* 57 (2006) 470-563

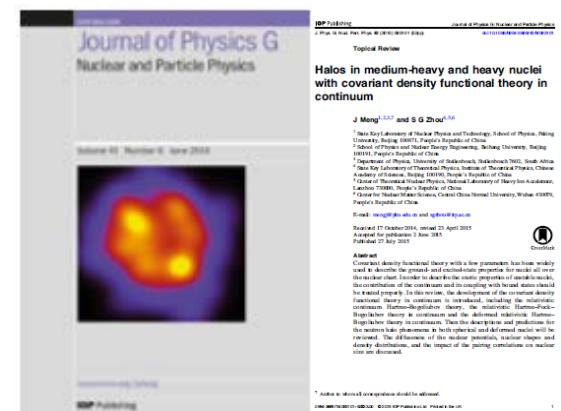
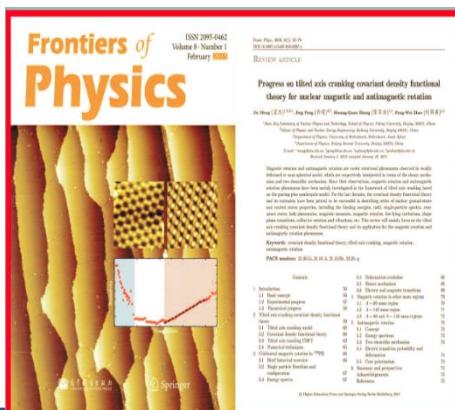
孟杰, 郭建友, 李剑, 李志攀, 梁豪兆, 龙文辉, 牛一斐, 牛中明, 尧江明, 张颖, 赵鹏巍, 周善贵, 原子核物理中的协变密度泛函理论, *物理学进展*, 第31卷04期 (2011) 199-336



J. Meng, J. Peng, S.Q. Zhang, and P.W. Zhao, *Front. Phys.* 8 (2013) 55-79

H. Z. Liang, J. Meng, and S.-G. Zhou, *Physics Reports* 570 (2015) 1-84

J. Meng and S.-G. Zhou, *J. Phys. G* 42 (2015) 093101





International Review of Nuclear Physics (Vol 10)

## Relativistic Density Functional for Nuclear Structure

World Scientific, Singapore (2016)

700 Pages

Editor: Jie Meng

Authors include:

China: J. Y. Guo, Z. P. Li , W. H. Long, Z.M. Niu, B.H.Sun, S.Q. Zhang, E.G. Zhao, S.-G. Zhou

Croatia: N. Paar, T. Niksic, D. Vretenar, J. Zhao

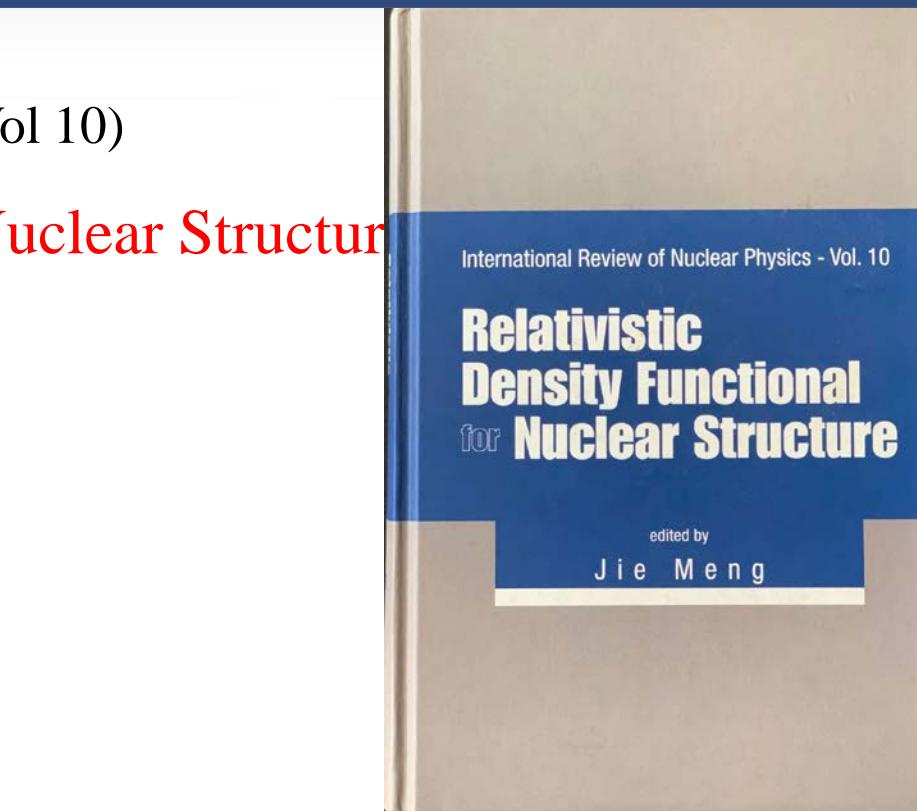
France: N. Van Giai

Germany: B.N. Lv, P. Ring, P.-G. Reinhard

Italy: Y. Niu,

Japan: K. Hagino, H. Z. Liang, J. M. Yao

USA: A. V. Afanasjev, E. Litvinova, J. Piekarewicz, P. W. Zhao

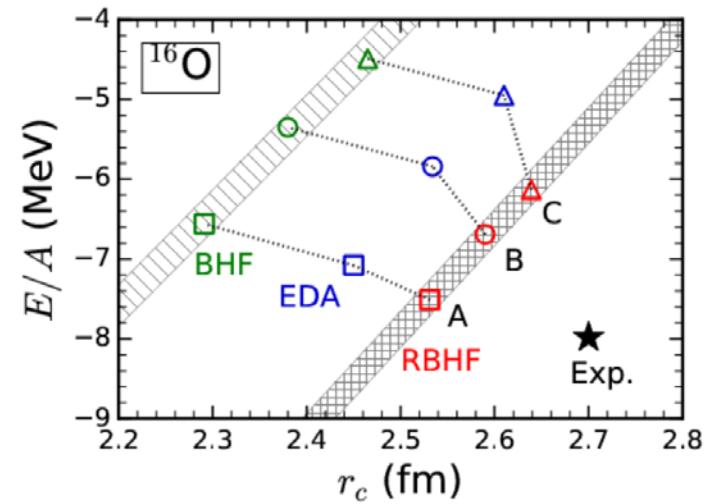
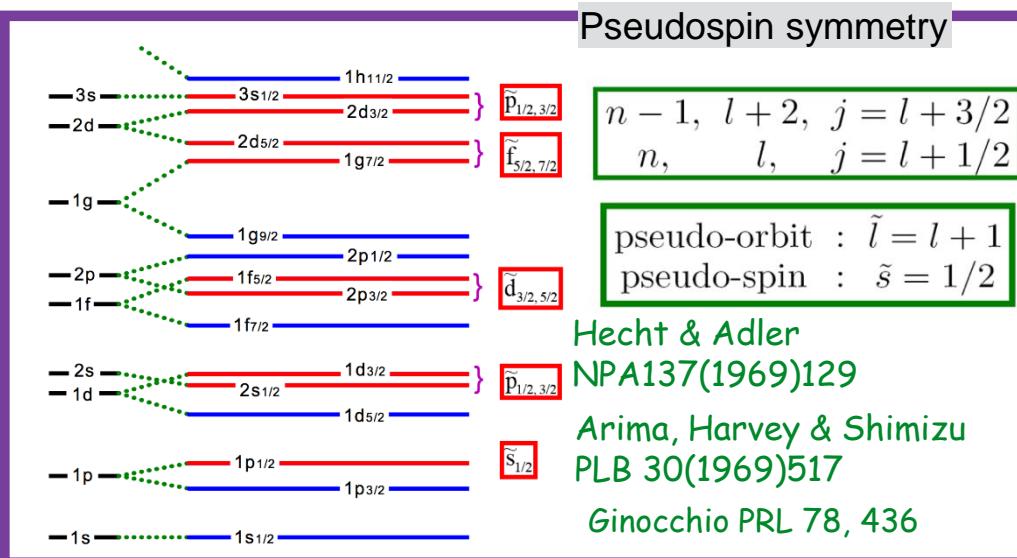
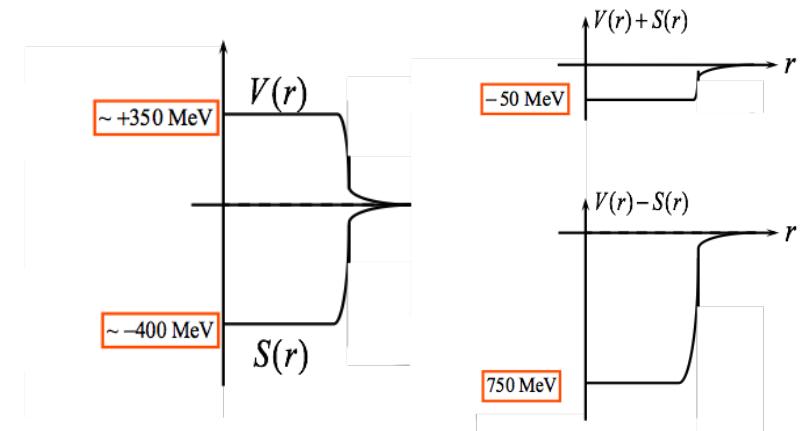


《核物理国际评述》系列丛书第10卷  
《原子核结构的相对论密度泛函》

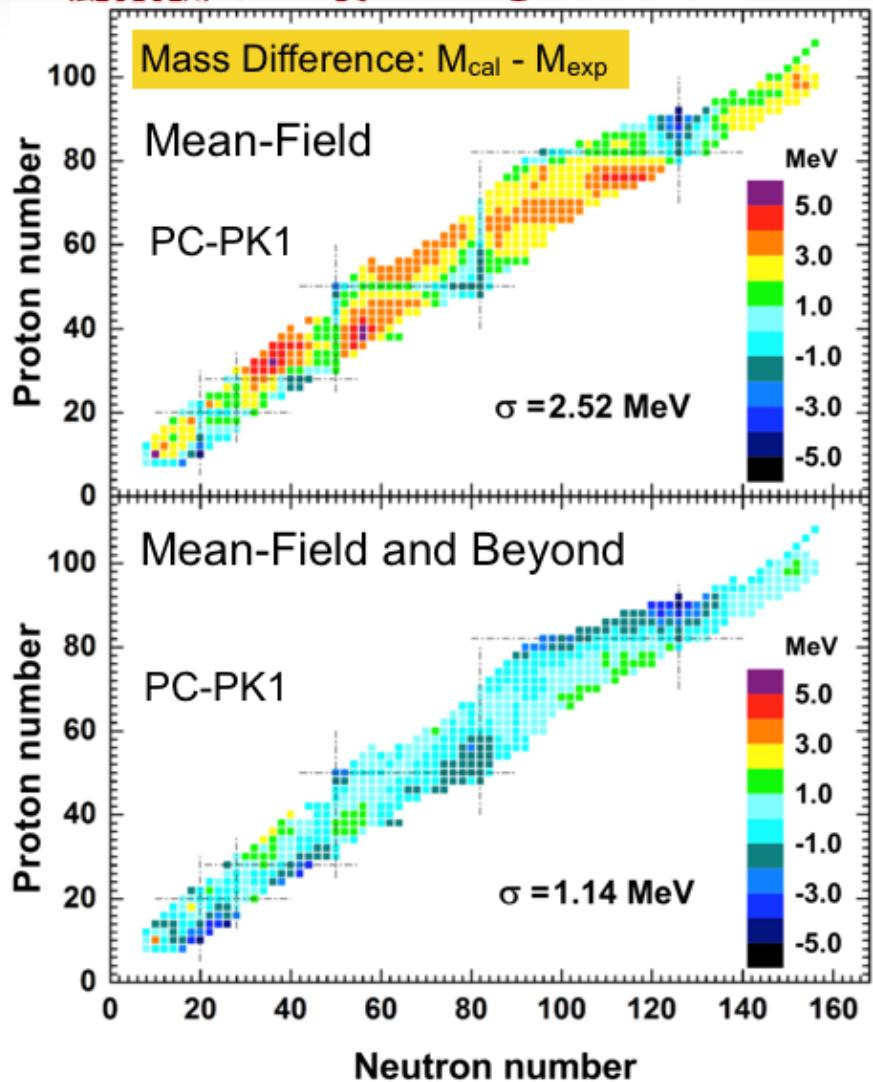
# Why Covariant?

P. Ring Physica Scripta, T150, 014035 (2012)

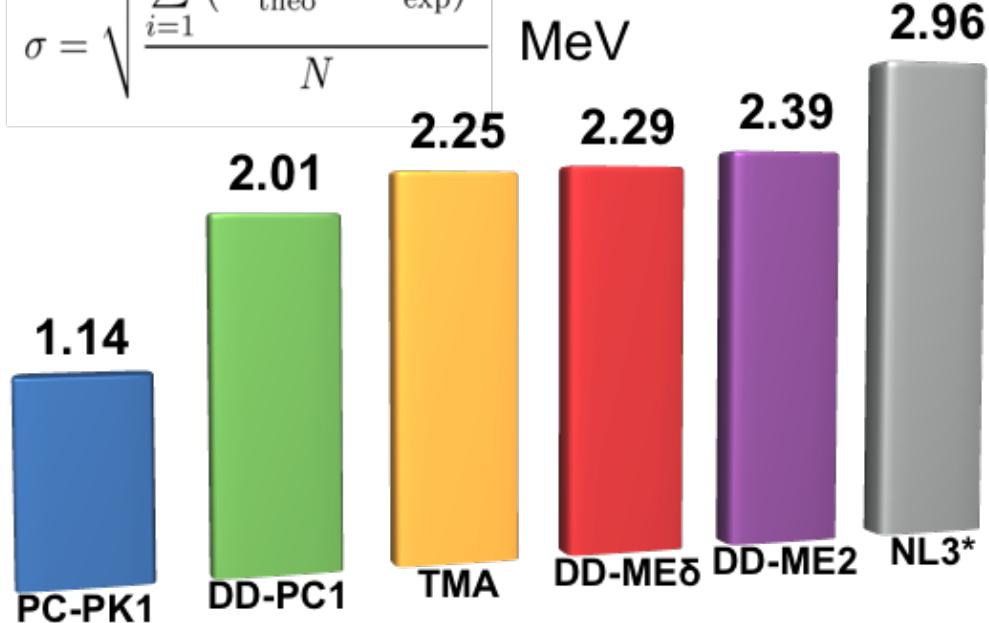
- ✓ Spin-orbit automatically included
- ✓ Lorentz covariance restricts parameters
- ✓ Pseudo-spin Symmetry
- ✓ Connection to QCD: big V/S  $\sim \pm 400$  MeV
- ✓ Consistent treatment of time-odd fields
- ✓ Relativistic saturation mechanism
- ✓ ... Liang, Meng, Zhou, Physics Reports 570 : 1-84 (2015).



Shen et al Chin. Phys. Lett. 33 (2016) 102103



$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (M_{\text{theo}}^i - M_{\text{exp}}^i)^2}{N}}$$



Agbemava PRC 2014  
Geng PTP 2005

Best density functional for  
nuclear masses so far!

Zhao, Li, Yao, Meng, PRC 82, 054319 (2010)

Zhang, Niu, Li, Yao, Meng, Front. Phys. 9 (2014) 529

Lu, Li, Li, Yao, Meng PRC 91 (2015) 027304

Spherical nucleus: continuum & pairing

Meng & Ring, PRL77,3963 (96)

Meng & Ring, PRL80,460 (1998)

Meng, NPA 635, 3-42 (1998) Meng, Tanihata, & Yamaji, PLB 419, 1(1998)

Meng, Toki, Zeng, Zhang & Zhou, PRC65, 041302R

Spherical nucleus but in DDRHFB: Fock term

Long, Ring, Meng & Van Giai, PRC81 , 031302

Wang, Dong, Long, PRC 87, 047301(2013).

Lu, Sun, Long, PRC 87, 034311 (2013).

Deformed nucleus: deformation & blocking

Zhou, Meng, Ring & Zhao, Phys. Rev. C 82, 011301 (R)(2010)

Li, Meng, Ring, Zhao & Zhou, Phys. Rev. C 85, 024312 (2012)

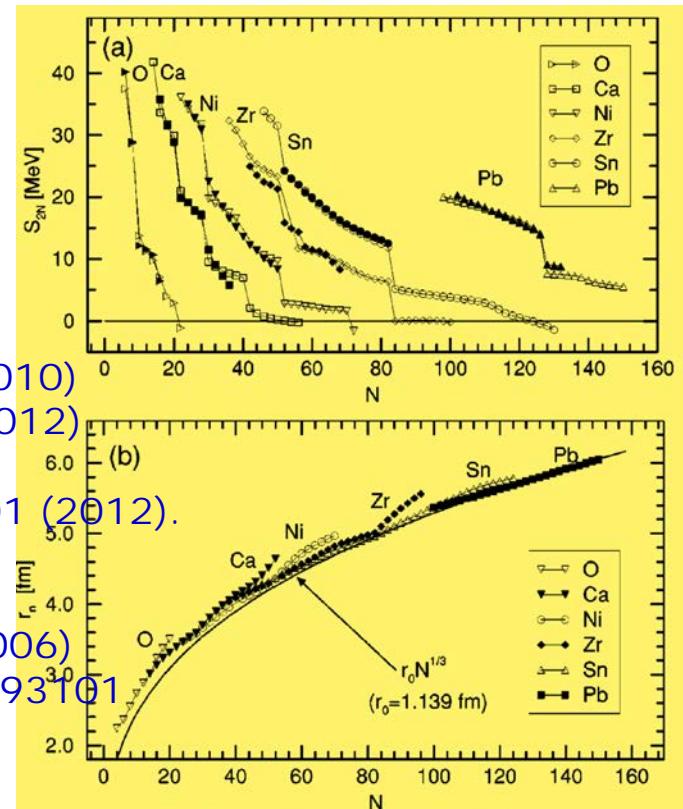
Chen, Li, Liang & Meng, Phys. Rev. C 85, 067301 (2012)

Li, Meng, Ring, Zhao & Zhou, Chin. Phys. Lett. 29, 042101 (2012).

Reviews:

Meng,Toki, Zhou, Zhang, Long & Geng, PPNP 57. 460 (2006)

Meng and Zhou, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 42 (2015) 093101





基于协变密度泛函，建立了迄今唯一考虑了连续谱效应的原子核质量表

Atomic Data and Nuclear Data Tables 121–122 (2018) 1–215



Contents lists available at ScienceDirect

## Atomic Data and Nuclear Data Tables

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/adt](http://www.elsevier.com/locate/adt)

# The limits of the nuclear landscape explored by the relativistic continuum Hartree–Bogoliubov theory

X.W. Xia<sup>a</sup>, Y. Lim<sup>b,c</sup>, P.W. Zhao<sup>d,e</sup>, H.Z. Liang<sup>f</sup>, X.Y. Qu<sup>a,g</sup>, Y. Chen<sup>d,h</sup>, H. Liu<sup>d</sup>, L.F. Zhang<sup>d</sup>, S.Q. Zhang<sup>d</sup>, Y. Kim<sup>c</sup>, J. Meng<sup>d,a,i,\*</sup>

<sup>a</sup> School of Physics and Nuclear Energy Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China

<sup>b</sup> Cyclotron Institute, Texas A&M University, College Station, TX 77843, USA

<sup>c</sup> Rare Isotope Science Project, Institute for Basic Science, Daejeon 305-811, Republic of Korea

<sup>d</sup> State Key Laboratory of Nuclear Physics and Technology, School of Physics, Peking University, Beijing 100871, China

<sup>e</sup> Physics Division, Argonne National Laboratory, Argonne, IL 60439, USA

<sup>f</sup> RIKEN Nishina Center, Wako 351-0198, Japan

<sup>g</sup> School of Mechatronics Engineering, Guizhou Minzu University, China

<sup>h</sup> Institute of materials, China Academy of Engineering Physics, Sichuan, 621907, China

<sup>i</sup> Department of Physics, University of Stellenbosch, Stellenbosch, South Africa

## ARTICLE INFO

### Article history:

Received 2 May 2017

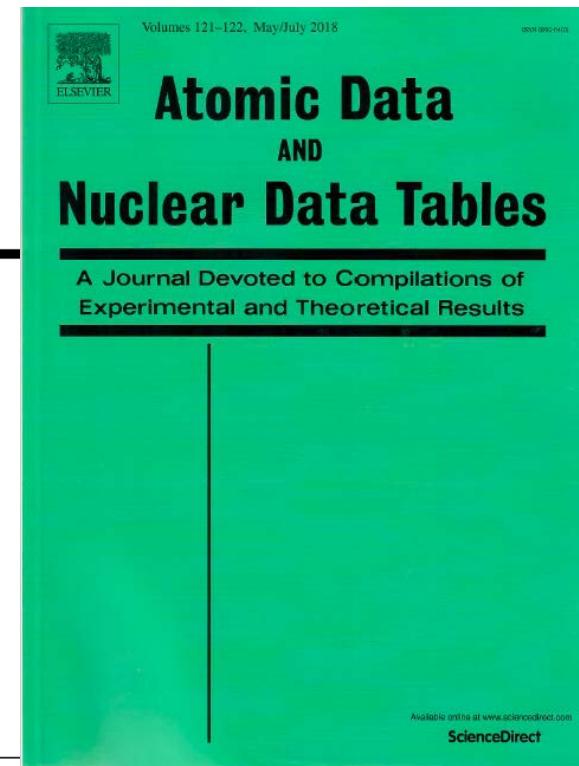
Received in revised form 12 August 2017

Accepted 5 September 2017

Available online 1 November 2017

## ABSTRACT

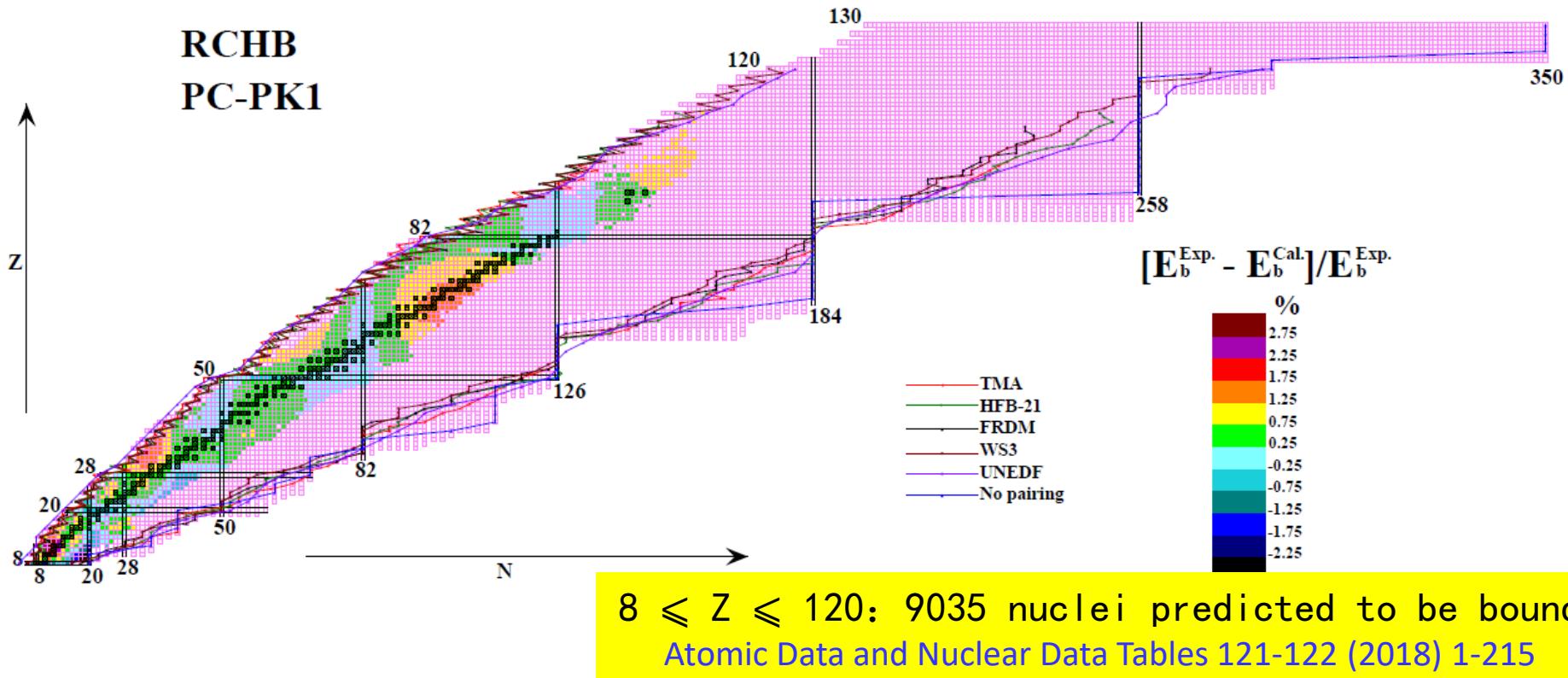
The ground-state properties of nuclei with  $8 \leq Z \leq 120$  from the proton drip line to the neutron drip line have been investigated using the spherical relativistic continuum Hartree–Bogoliubov (RCHB) theory with the relativistic density functional PC-PK1. With the effects of the continuum included, there are totally 9035 nuclei predicted to be bound, which largely extends the existing nuclear landscapes predicted with other methods. The calculated binding energies, separation energies, neutron and proton Fermi surfaces,





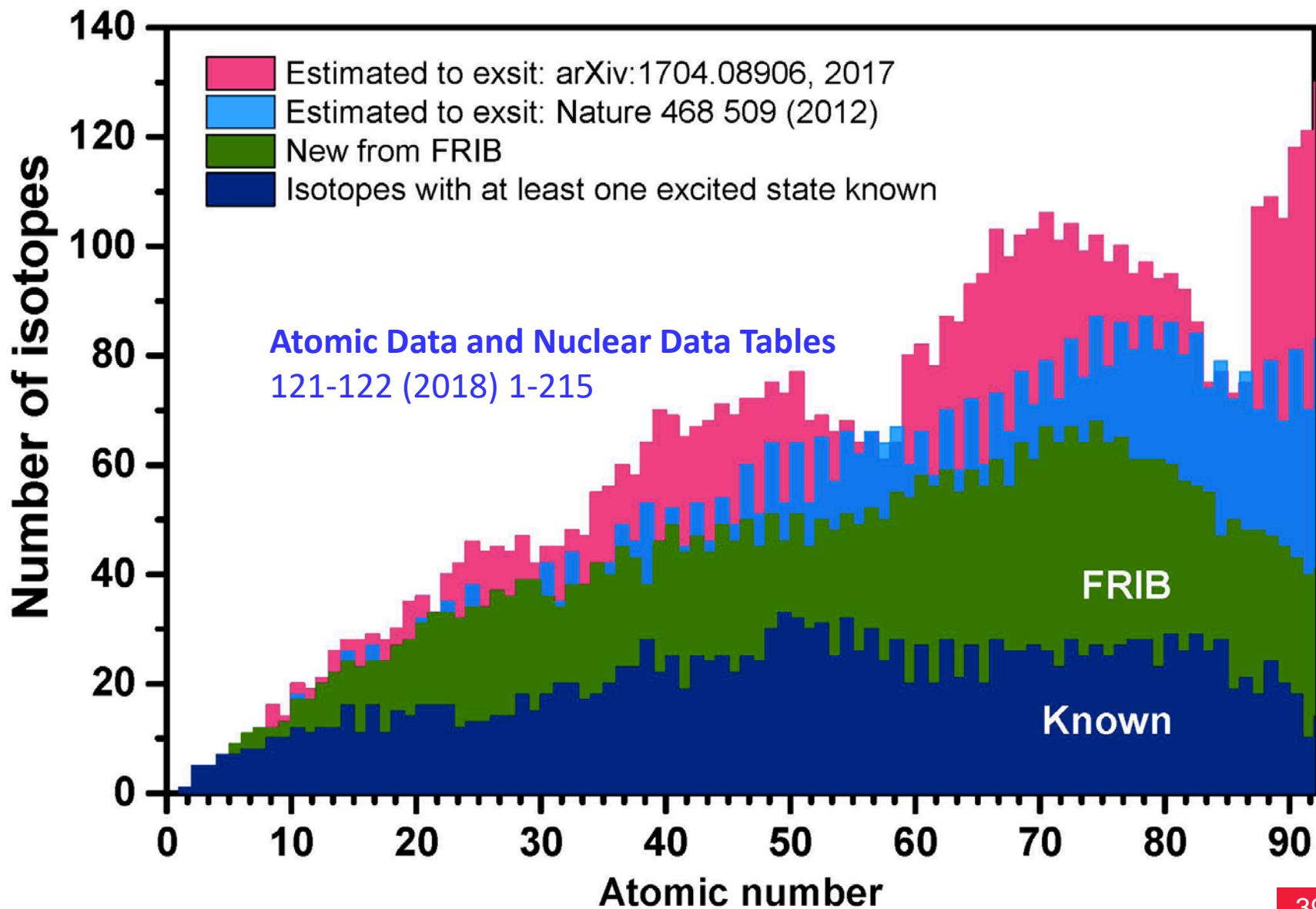
The number of bound nuclides with between 2 and 120 protons is around 7,000 28 JUNE 2012 | VOL 486 | NATURE | 509

RCHB  
PC-PK1



10532 bound nuclei from  $Z=8$  to  $Z=130$  predicted by RCHB theory with PC-PK1. For 2227 nuclei with data, binding energy differences between data and calculated results are shown in different color. The nucleon drip-lines predicted TMA, HFB-21, WS3, FRDM , UNEDF and without pairing correlation are plotted for comparison.

See also: Afanasjev, Agbemava, Ray, Ring, PLB726(2013)68 38

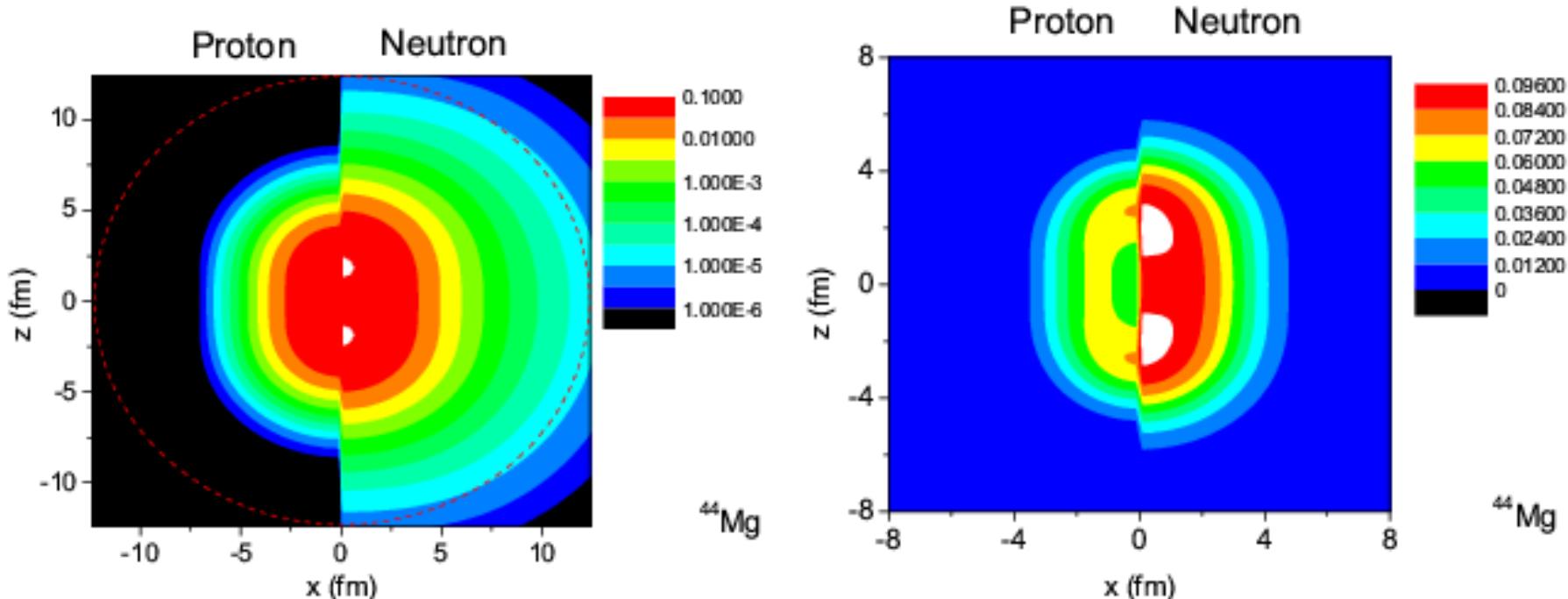




# $^{44}\text{Mg}$ : Density distributions

Zhou\_Meng\_Ring\_Zhao2010\_PRC82-011301R  
Zhou\_Meng\_Ring\_Zhao2011\_JPConfProc312-092067  
Li\_Meng\_Ring\_Zhao\_Zhou2012\_PRC85-024312

- Prolate deformation
- Large spatial extension in neutron density distribution



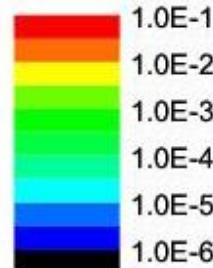
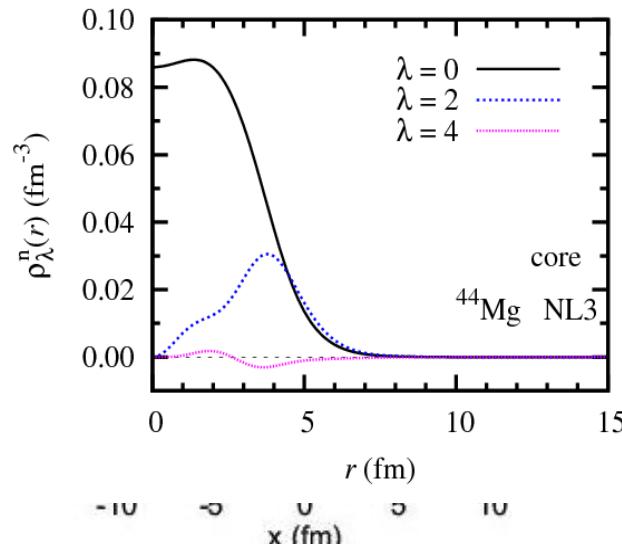
Viewpoint: A Walk Along the Dripline by Paul Cottle and Kirby Kemper  
<http://link.aps.org/doi/10.1103/Physics.5.49>



北京大学

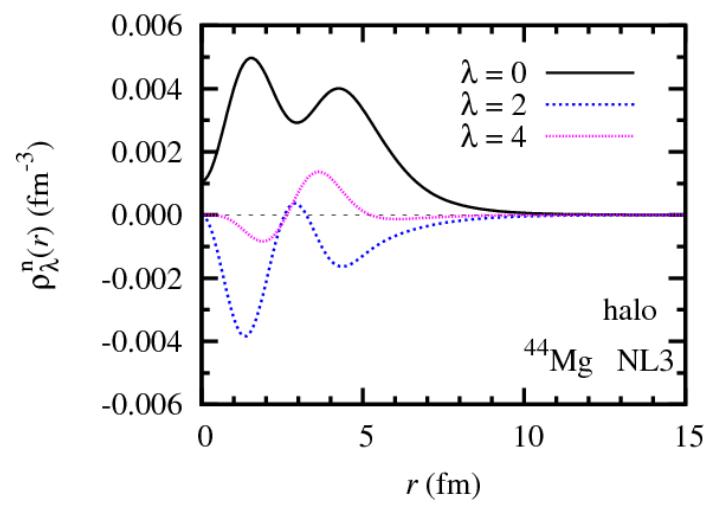
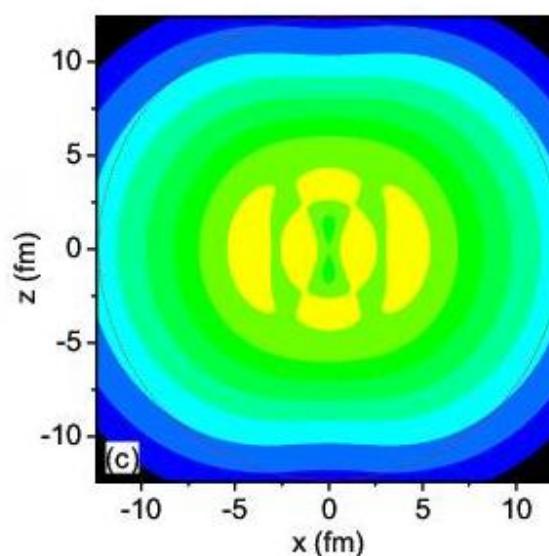
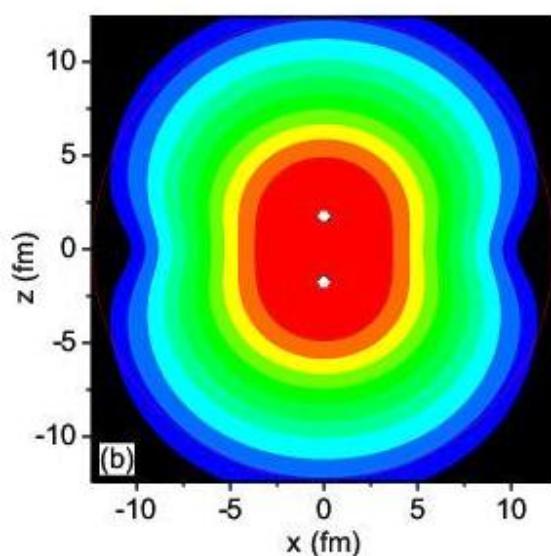
# Prolate core & oblate halo

Zhou, Meng, Ring & Zhao, Phys. Rev. C 82, 011301 (2010)



$^{44}\text{Mg}$

- ❖ Prolate core, but slightly oblate halo with sizable hexadecapole component !
- ❖ Decoupling of deformation between core & halo



Viewpoint: A Walk Along the Dripline by Paul Cottle and Kirby Kemper  
<http://link.aps.org/doi/10.1103/Physics.5.49>



基于自主发展的包括形变效应和连续谱效应的相对论密度泛函(DRHBC)理论，结合天文观测结果和实验数据，开展以下研究：

- 确定适用于计算所有原子核质量的数值条件
- 构建偶偶原子核质量表
- 构建奇偶原子核和奇奇原子核质量表
- 探索三轴形变效应对晕现象和滴线的影响
- 快中子俘获过程模拟计算



## 1<sup>st</sup> workshop on Deformed RHB in continuum mass table



- ✓ The 2<sup>nd</sup> workshop on nuclear mass table with DRHBc theory was held on Aug 21 – Aug 24, 2019 in Beijing, China, hosted by Peking University.



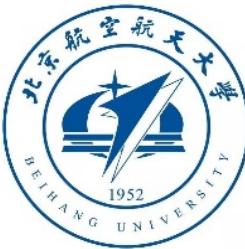


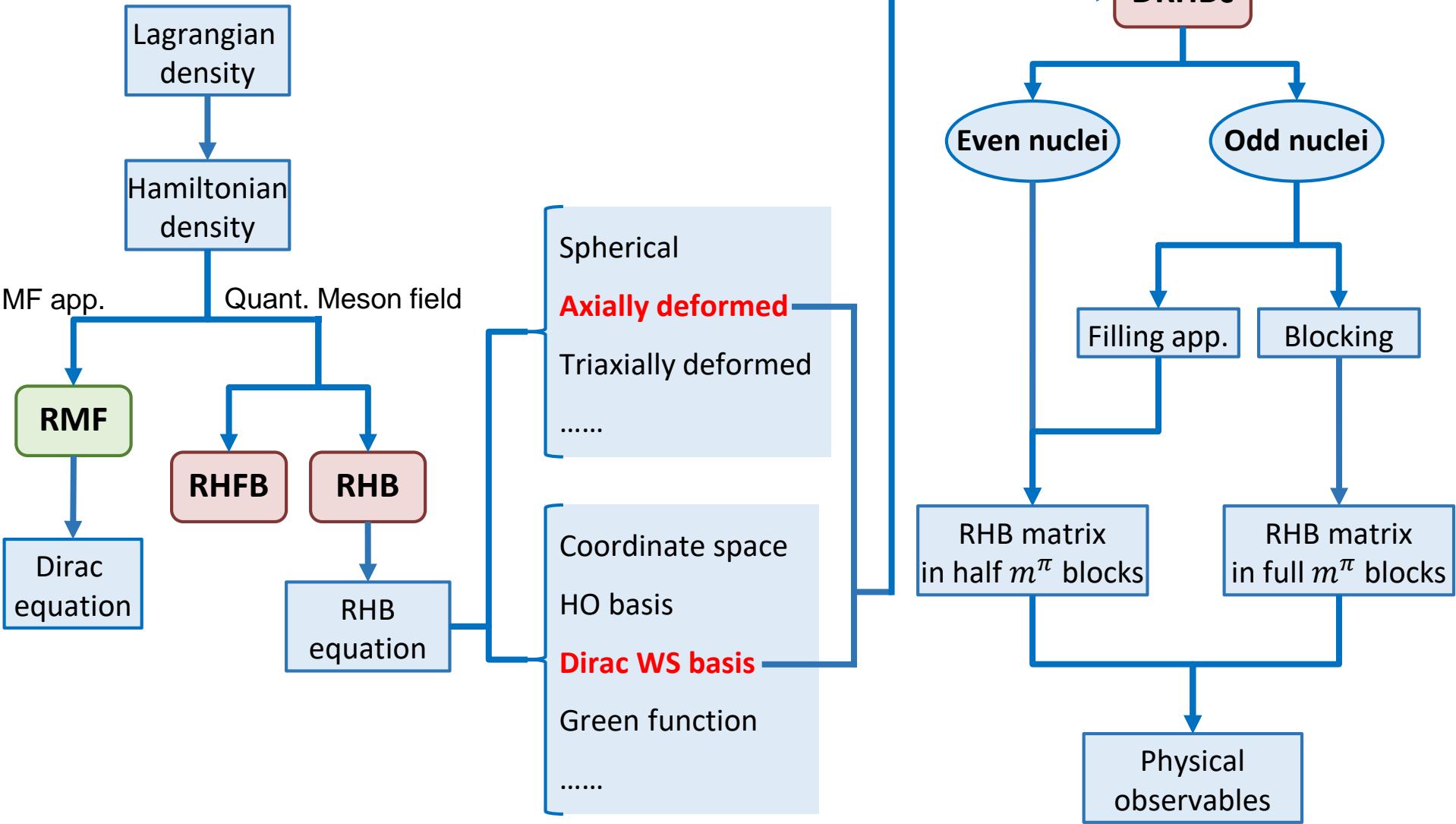
- Anhui University (安徽大学)
- Beihang University (北京航空航天大学)
- Huzhou University (湖州师范学院)
- Institute for Basic Science (韩国基础科学研究所)
- Institute of Modern Physics, CAS (中国科学院近代物理研究所)
- Institute of Theoretical Physics, CAS (中国科学院理论物理研究所)
- Korea Institute of Science and Technology Information  
(韩国科学技术信息研究所)
- Nanjing University of Aeronautics and Astronautics (南京航空航天大学)
- Peking University (北京大学)
- Pusan National University (釜山大学)
- Sichuan Normal University (四川师范大学)
- Soongsil University (崇实大学)
- Southwest University (西南大学)
- Sungkyunkwan University (成均馆大学)
- The University of Hong Kong (香港大学)
- Zhengzhou University (郑州大学)



北京大学  
PEKING UNIVERSITY

# DRHBc Mass Table Collaboration





1. Deformation effects on the limits of the nuclear landscape
2. Improvement of the description for nuclei by deformation effects
3. Isotope shifts reproduced by the DRHBc theory
4. Pairing cutoff and pairing window in the density functional theory
5. Neutron skin or possible neutron halo phenomena
6. A smooth transition of rotational correction energy for spherical nuclei

...



- 利用包括形变和连续谱效应的相对论密度泛函理论，构建高精度的原子核质量表；
- 在双中子星并合等天体环境下，利用动态网络方程研究快中子俘获过程中的重元素合成；
- 探讨核物理和天文观测不确定性对快中子俘获过程的影响，探索宇宙中的重元素起源；
- 在国际学术会议上做重要演讲，发表高水平的论文，培养高水平的相关领域博士。

谢谢各位！



Thank you for your  
attention!