

中山大学中法核学院简介

王为，中山大学，2021年8月13日





一校、三城、五校园

广州
Guangzhou

深圳
Shenzhen

珠海
Zhuhai



中山大学（珠海校区）
中法核工程与技术学院

中法核工程与技术学院简介

A Brief Introduction to IFCEN



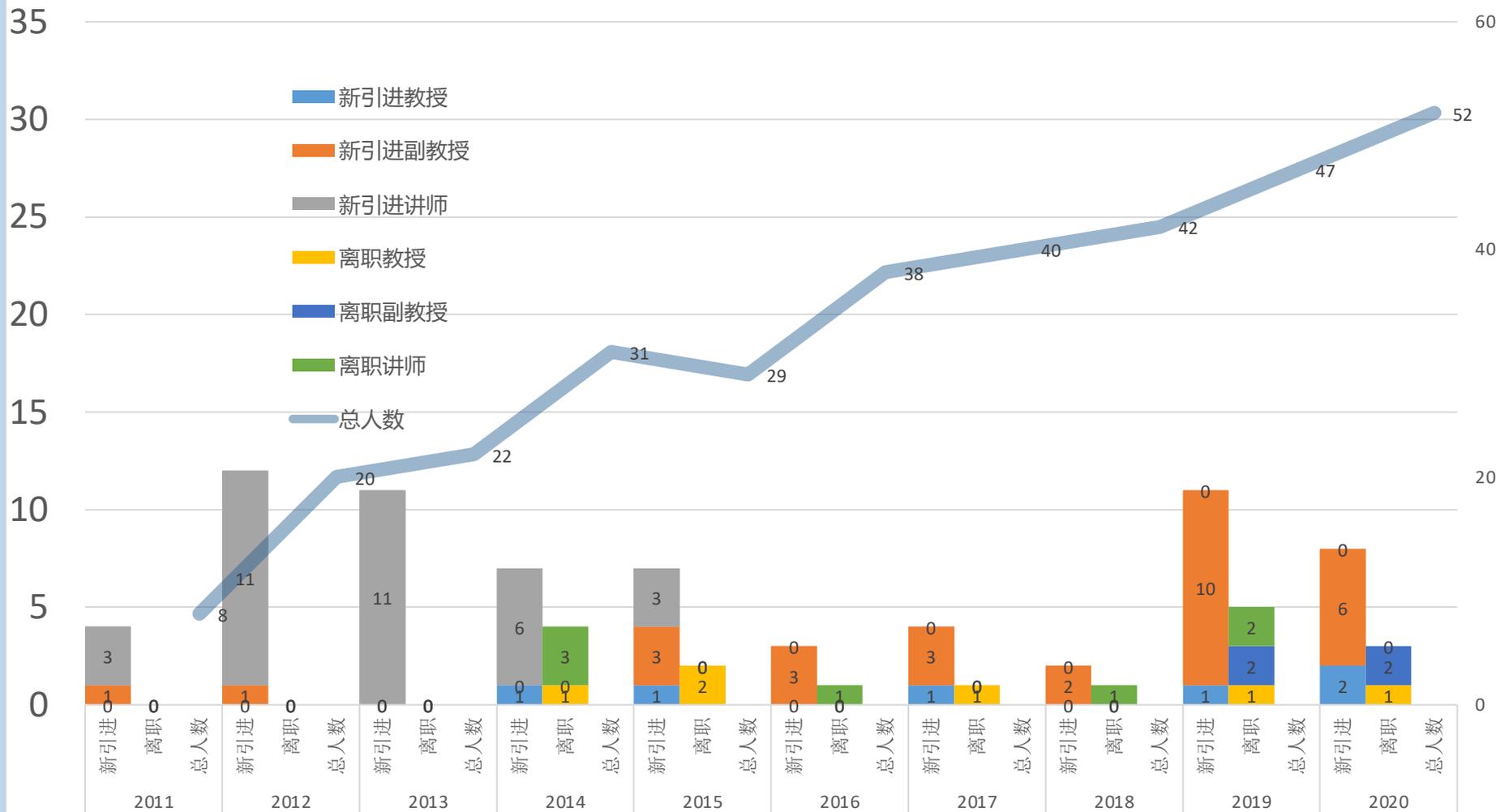
- 2009年：中山大学与法国格勒诺布尔理工大学为首的民用核能工程师教学联盟 (FINUCI)合作成立中山大学中法核工程与技术学院
- 2010年：第一届学生入学
- 2015年：中山大学与-FINUCI签订第二期合作
- 2019年：国家级一流本科专业建设点 (双万计划)
- 2021年：基于过去10年经验进行第三期合作讨论



学院概况：师资队伍建设



中法核学院师资队伍发展：十四五期间队伍倍增到~100人



中国“核能之父” 卢鹤绂与中山大学



卢鹤绂院士
中国“核能之父”

Hoff Lu
1914 - 1997

“第一个揭露原子弹秘密的人”



- 1941年明尼苏达大学博士毕业，随即归国来中山大学任教
- 1942年于中山大学撰写《重原子核内之潜能及其利用》，1944年发表在中国《科学》上，在国际上首次公开发表链式裂变反应堆的临界体积的简易方法及全部原理
- 1945年第一颗原子弹爆炸后，1946年完成《原子能与原子弹》，审查一年后发表在《美国物理月刊》，成为“第一个揭露原子弹秘密的人”
- 两弹元勋中7名是他的学生，为科学界，尤其是核学界培养了大量人才

中山大学乐昌坪石办学点



前者為主要分裂力。重核之不穩定由於此也。本文之舉足為其證
與液體中之分子相似，故有以液滴為核之模型，而此事之解釋得
之原理也。
此事尚須設法使中子自給作用實現於方便數量之範圍，俾易司理其
損失殊鉅，危險尤大。若能大量將 U^{235} 分出，獨利用熱能中子
價值遠遜於 U^{235} ，就現勢而論，此種濃厚之能源必將有其特殊之
價值然料，求於此事，尚非可認耳。
民國三十一年四月作者識於國立中山大學物理學系。
国际首篇反应堆原理论文完成于中大

卢鹤绂院士铜像

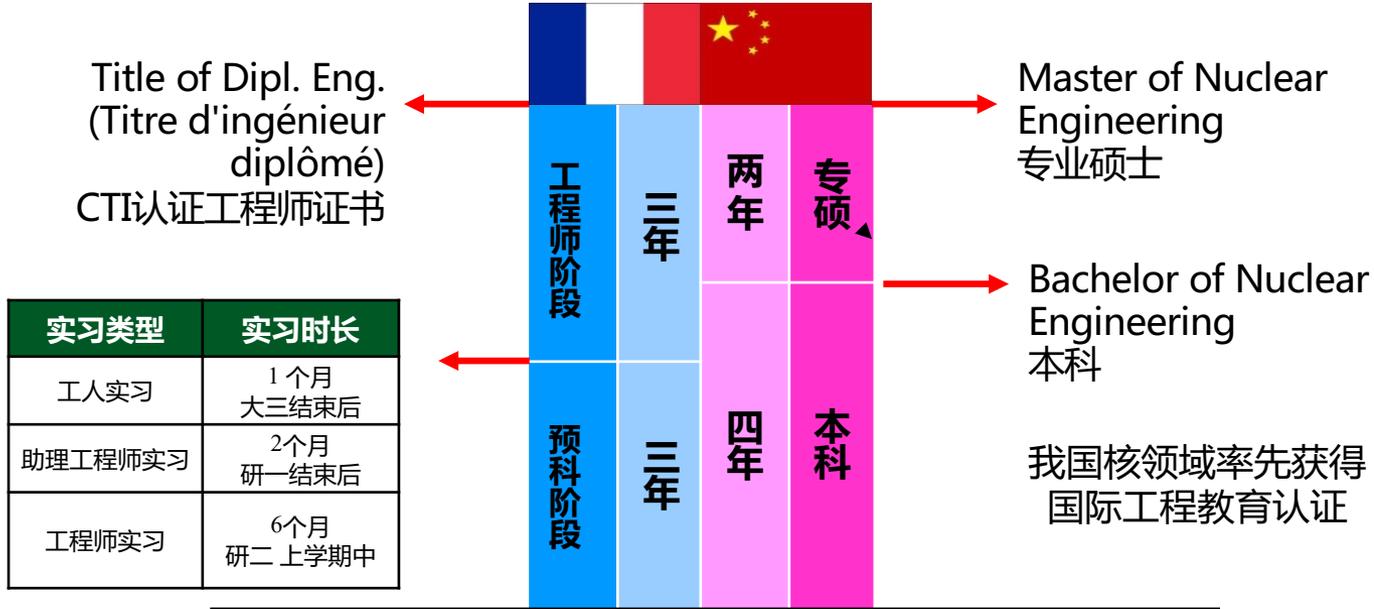
在美国休斯顿安放

杨丽娣



一九九八年八月三十日，卢鹤绂教授是我国著名
的物理学家、九三学社中央
在已安放了美国前总统布什
的参议院委员。他为科学研究事
业奉献了毕生精力，一直奋
斗到生命的最后一刻。他的
科学成就为中国和世界作出
了重大贡献。卢老还是一位
杰出的教育家，他为祖国培
养了一大批优秀的学生，桃
李满天下。
1947年卢老第一个在美国
物理杂志上发表了题为关
于“链式反应”的论文，并
载入美国传记研究院《世界
五千人》。并载入美国传记
研究院《伍百权威领导人》。

学院概况：中法合作办学体系



法国CTI认证证书



EUR-ACE 工程教育认证

Master of Nuclear Engineering
专业硕士

Bachelor of Nuclear Engineering
本科

我国核领域率先获得
国际工程教育认证

学院充分发挥中法双方的核能产业资源优势 and 科研合作优势，
在国内外共建**20多个实习基地**

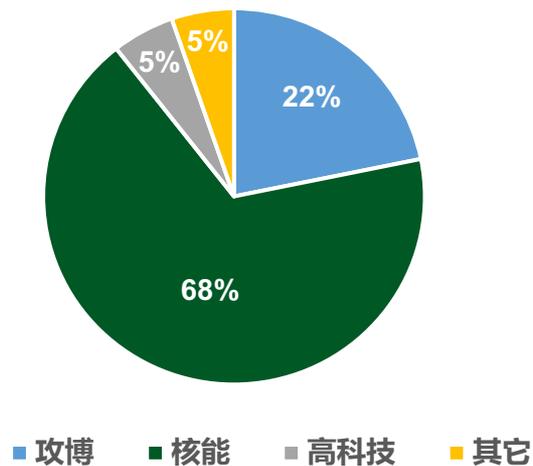


人才培养成效

Alumni Career Developments



2016-2020专硕毕业生就业统计



2019年六个年级学生彩虹照合影：463名学生

中法核的校友做到了核工业界、核学界首先想到

● 国家核安全局4次专程招聘（到岗2人）

前生态环保部副部长、国家核安全局局长刘华：

唯一原汁原味引入法国精英工程师培养模式的核能工程师学院；课程体系注重夯实数理化基础，而非单纯培养技能，职业发展有后发优势，有助于未来更广阔发展；**尤其欢迎到国家核安全局工作。**

● 巴黎高等化学学院校长C. Lerminiaux

“成功已经超出我们期望。我们曾想过这些学生可以来法国（工作），他们远远超越了我们的期待，**现在每个人都希望得到他们**”

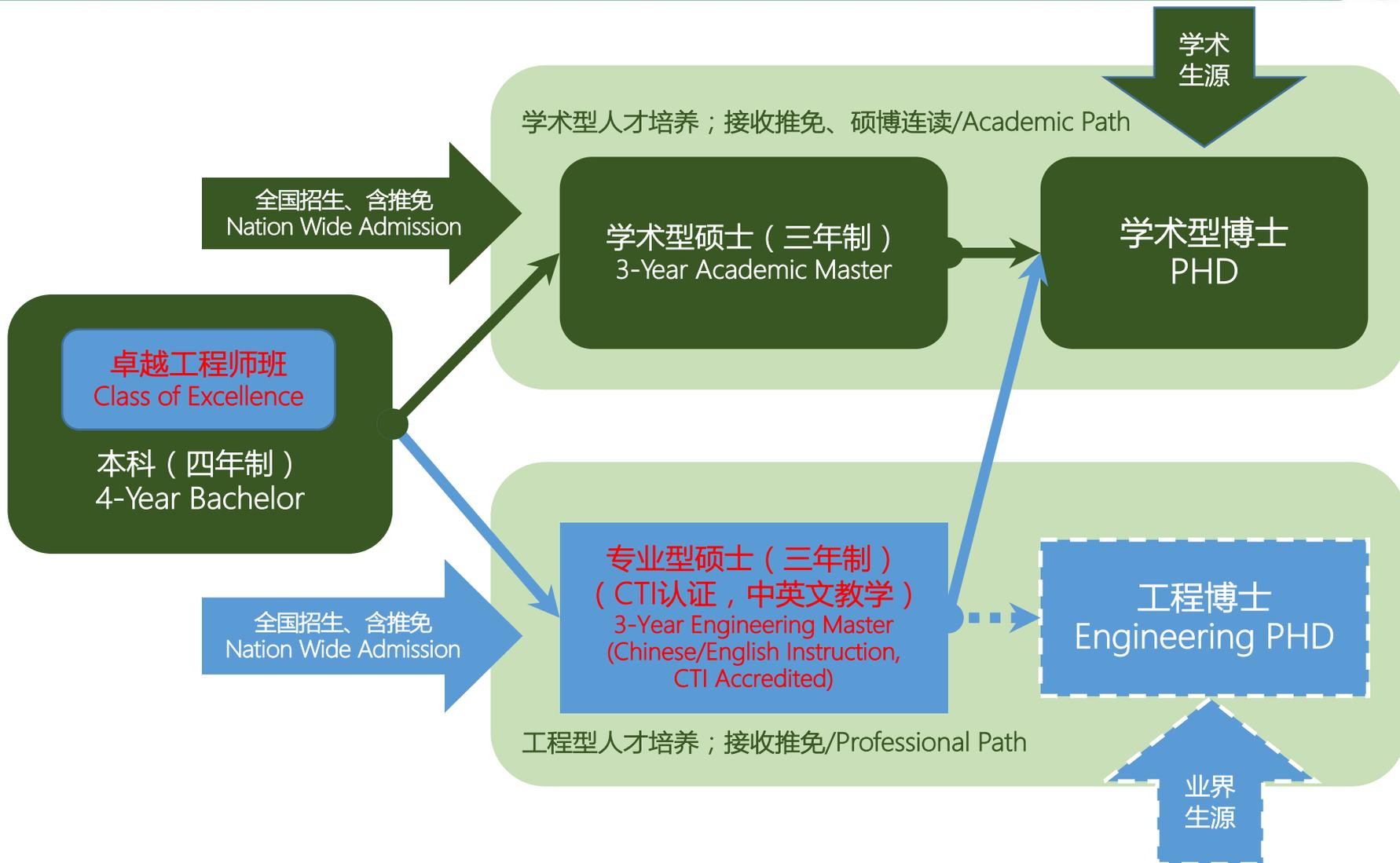
● 中国广核集团有限公司：

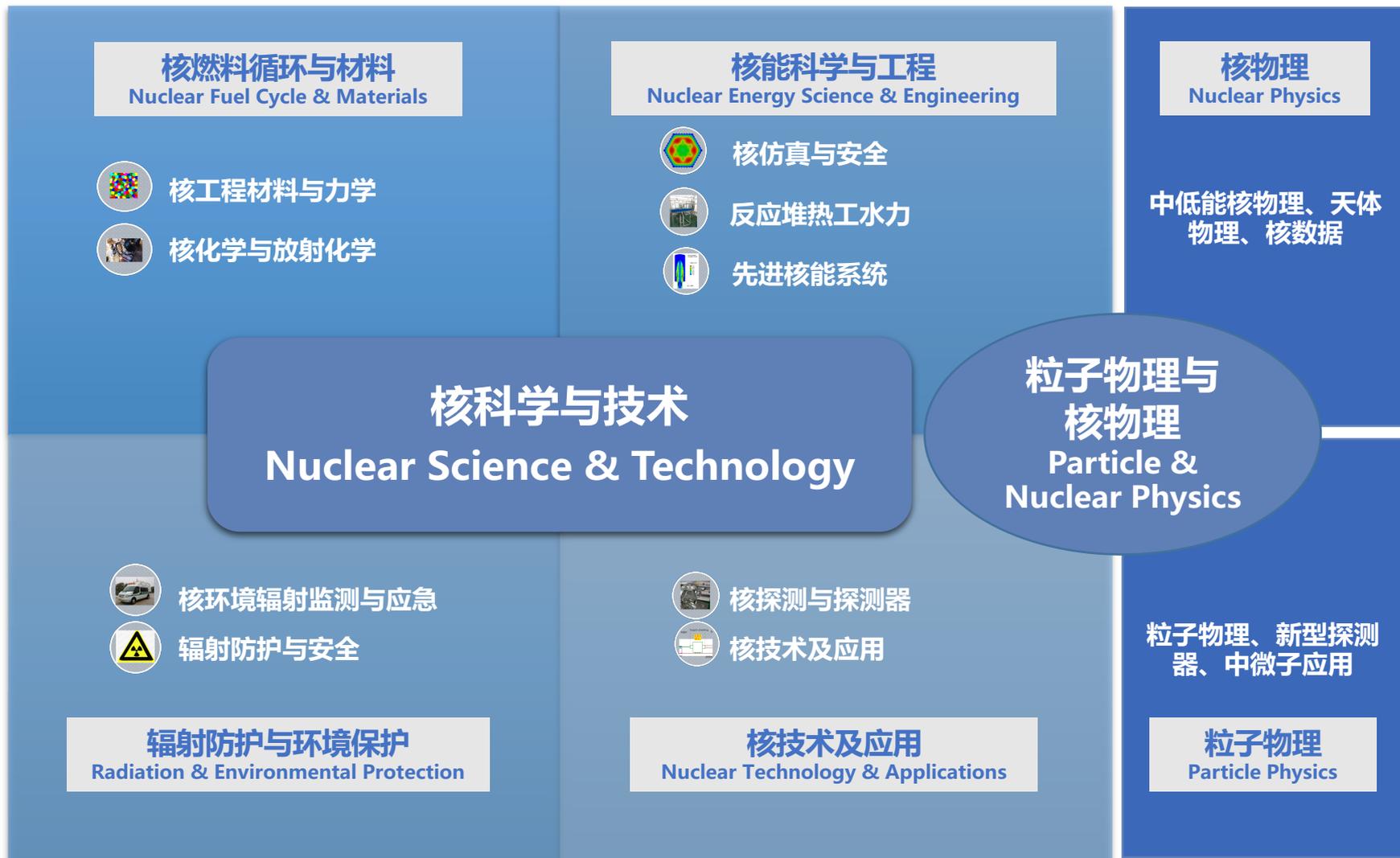
- ① **副总经理庞松涛**：中法核毕业生专业功底扎实、语言能力强、有国际化视野，在中国核电“走出去”战略背景下是不可多得的人才；
- ② **铀业总经理安军靖**：中法核毕业生有“三强”：自控能力强、抗压能力强、自我调节能力强；
- ③ 在中广核对2016届毕业生工作评价：**70%毕业生考核排在集团前10%，90%排在集团前30%。**



学院教学及人才培养体系

The Teaching and Talent Cultivation System





学院学科布局、科研领域及团队

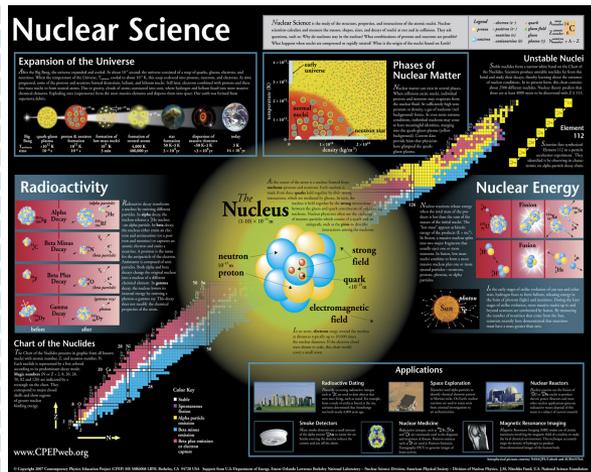
Disciplines, Research Fields and Research Teams



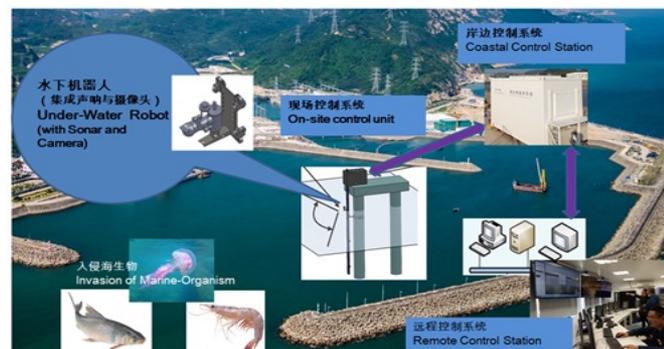
核能工程与材料类



核物理与应用类

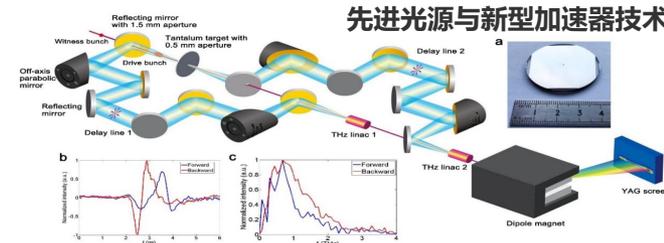
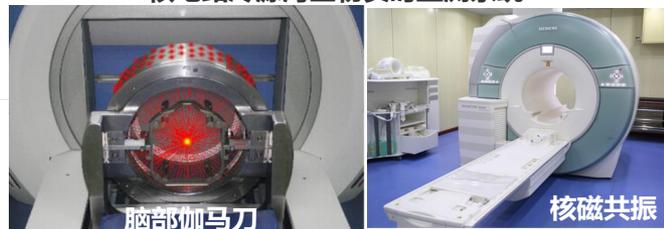
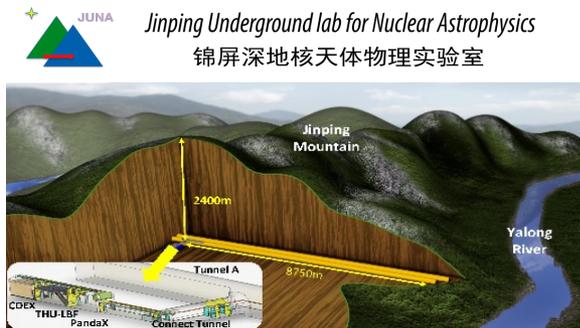
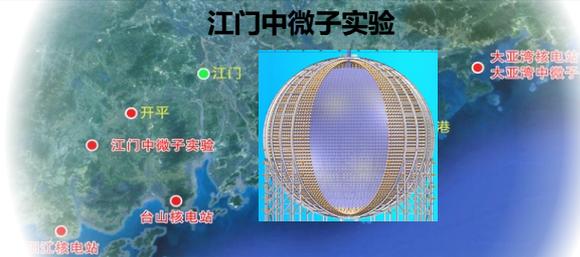
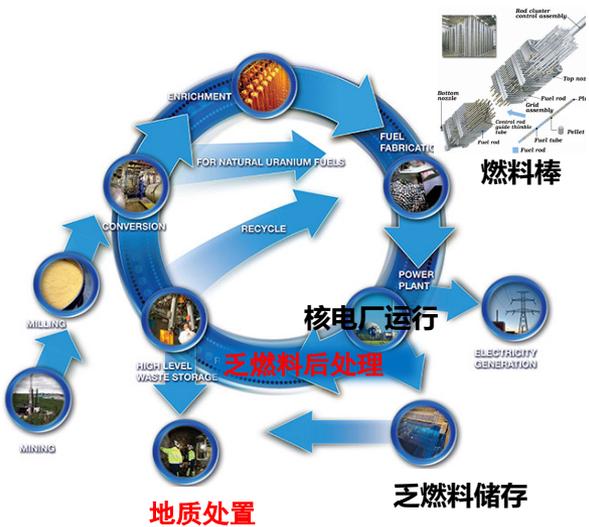


核技术及交叉类



中国核能发展“三步走”

热堆 → 快堆 → 聚变堆

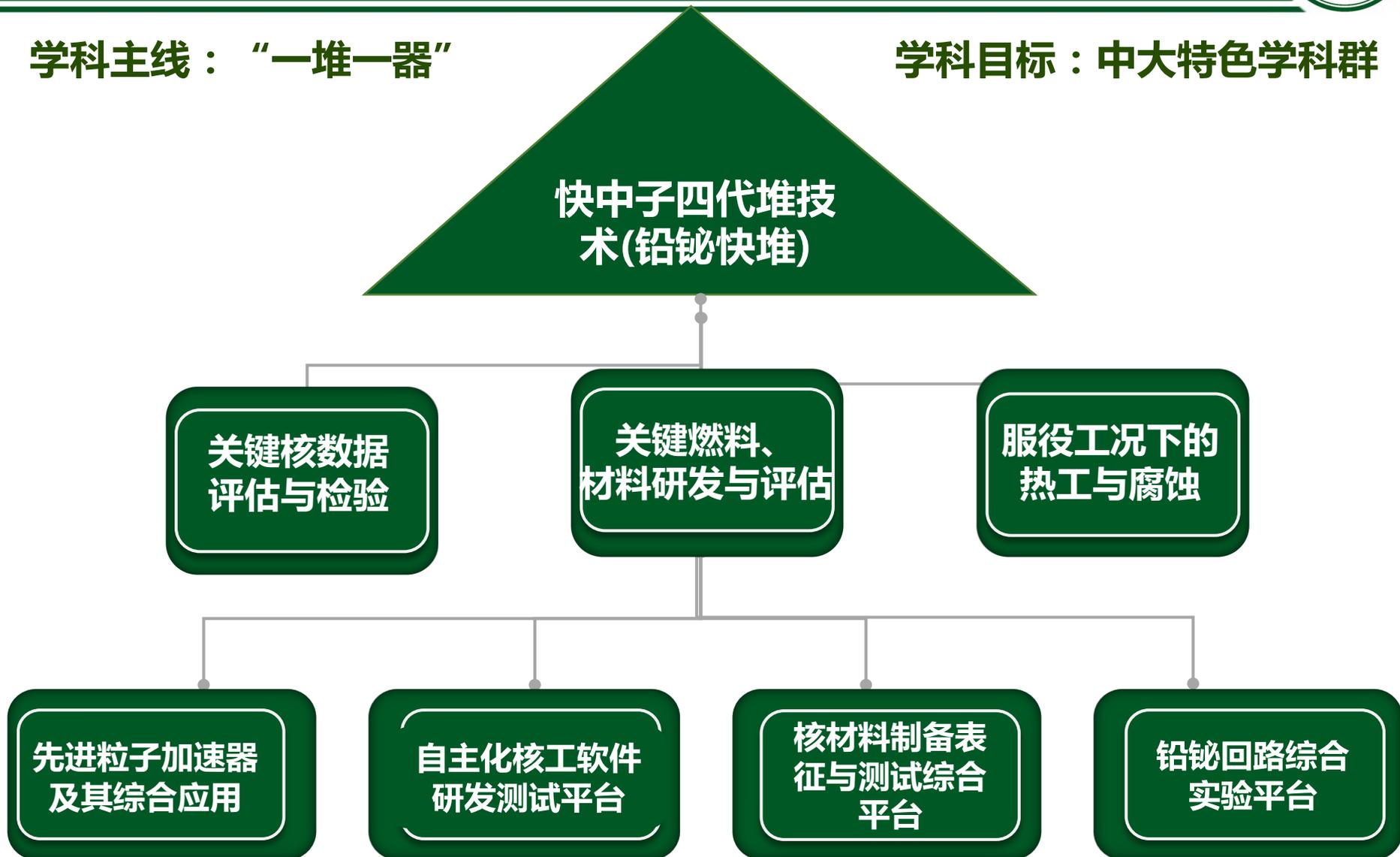


平台规划：1件事牵引、N个领域协同



学科主线：“一堆一器”

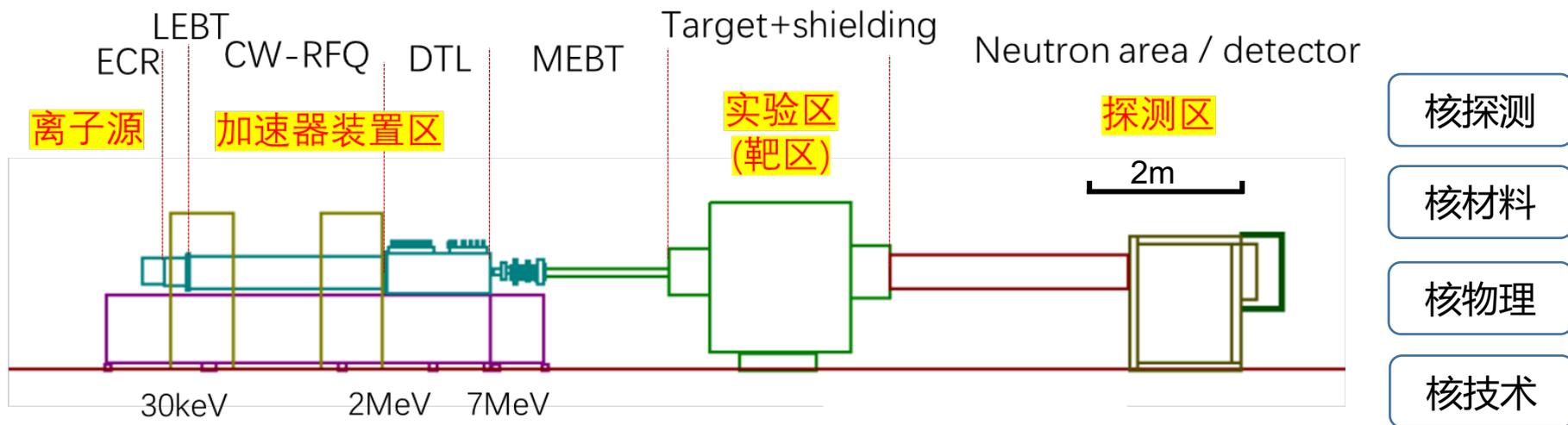
学科目标：中大特色学科群



平台规划重点事项：小型加速器平台



- 面向大湾区的核科学设施对于技术和人才的长期大量需求，联合物理学院、材料学院、医学院等院系共同打造“先进小型加速器及其综合应用平台”，申报广东省“小型强流加速器综合应用实验室”，为中山大学再添一个高水平、国内知名的学科
- 中山大学第一个小型粒子加速器平台，为核科学与技术、核医学、物理学、材料学、核探测及核电子学等学科提供重要科研利器、教学平台，促进多学科领域的尖端科学研究与人才培养。

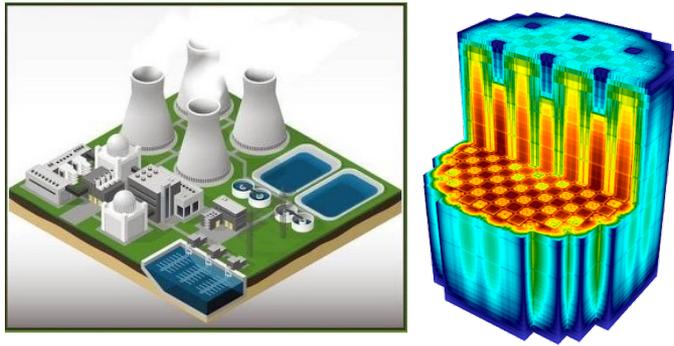


研究背景与动机

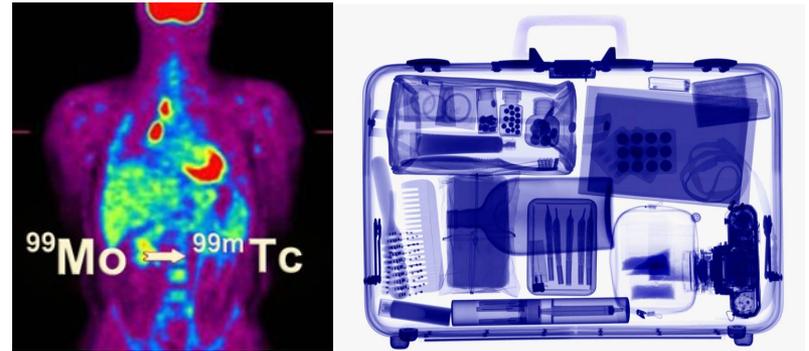


背景与动机: 1、核能、核医学、国防; 2、基础核物理与天体物理等都需要许多重要核数据。这些领域有较多关键核数据未测量或误差很大。针对这些需求, 计划准确测量这些关键核数据。

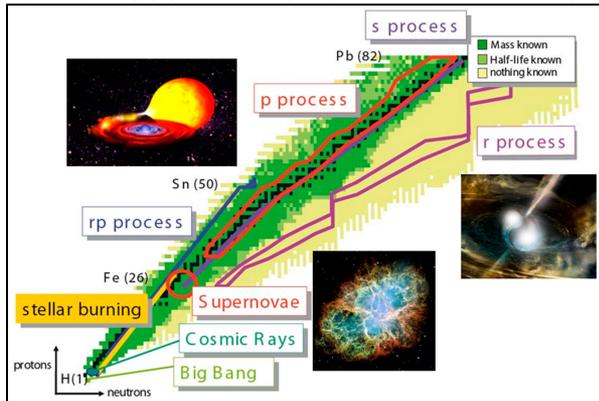
反应堆设计和安全



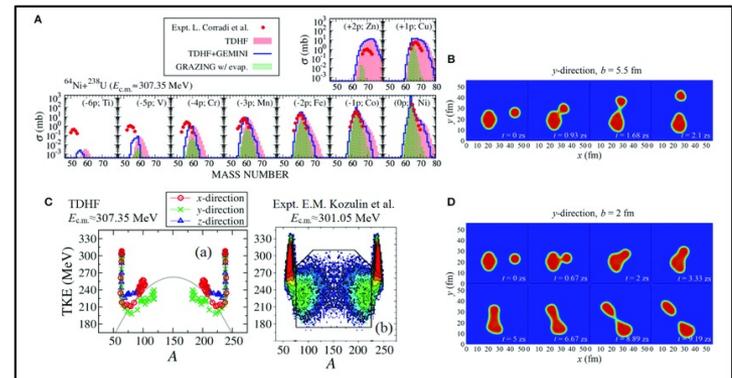
核医学、公共安全、国防



核反应数据、放射性核素、天体物理



原子核结构数据测量与评价



研究背景：关键核数据评估和检验

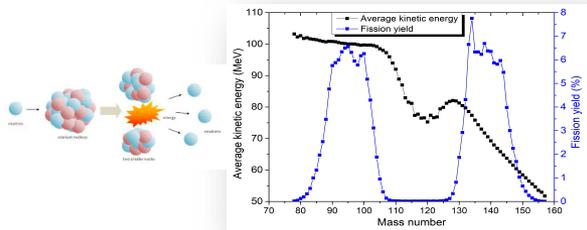
重要锕系核素、裂变产物核数据
(放射性、难测量、高敏感)

应用需求牵引核物理核数据基础研究

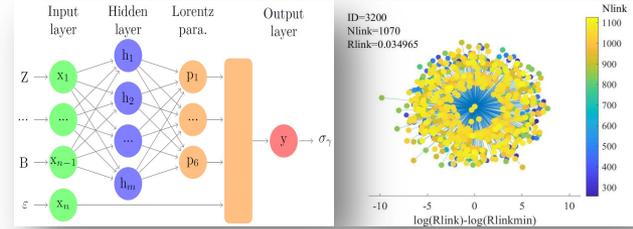
从评价核数据库到铅铋快堆、中微子和核天体物理等应用衔接

特色统计方法、新型人工智能评价

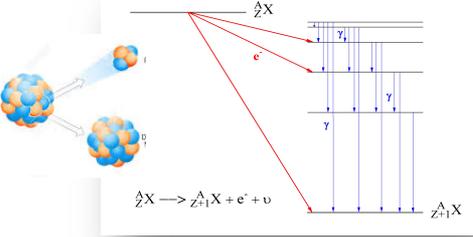
快中子诱发的**裂变**



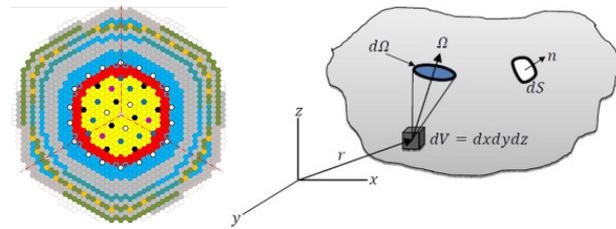
核数据



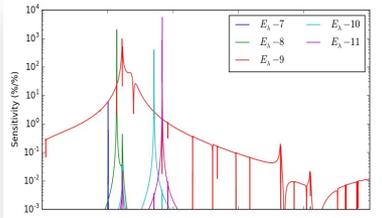
衰变、中子反应性质**预测和测量**



快堆的**中子运输**问题**检验**
快堆物理模拟

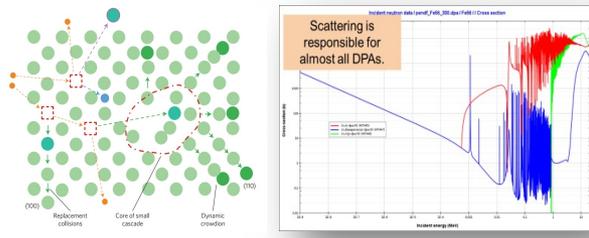


核数据对系统的**敏感性**分析



核物理核数据基础
研究支撑和服务应
用需求

材料重要**辐照**损伤**截面**检验

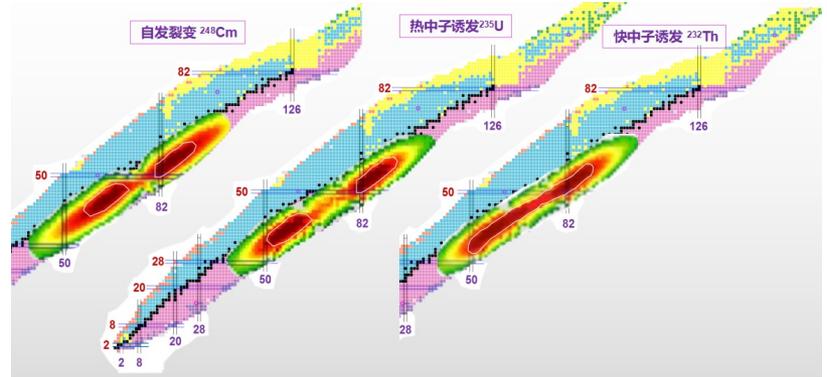


拟开展的核物理与核数据实验研究



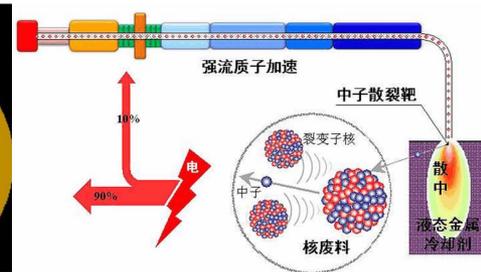
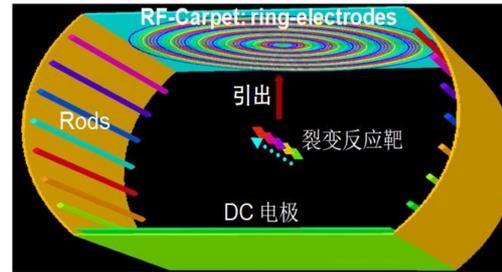
1. (快) 中子诱发裂变、裂变产物测量

- ❑ **裂变、俘获、散射截面和产物产额: ^{238}U**
- ❑ 裂变产物核衰变和中子反应: $A=140$ 区域
- ❑ 裂变碎片- γ - γ 关联测量
- ❑ 快中子裂变气体的室研发: 关键技术



2. 铅铋堆材料重要核数据测量

- ❑ 散射和俘获截面: Pb、Bi、Fe、Al、Be
- ❑ 辐射损伤截面: Fe、Ni、反射层不锈钢、燃料包壳



3. ADS重要核数据测量

- ❑ 核废料嬗变截面: ^{90}Sr , ^{93}Zr , ^{107}Pd , ^{137}Cs
- ❑ 截面间接测量: p+d三体动力学的研究
放射性束+d靶反应

JUNA
Jinping Underground lab for Nuclear Astrophysics
锦屏深地核天体物理实验室

4. 宇宙中元素合成的关键核反应测量

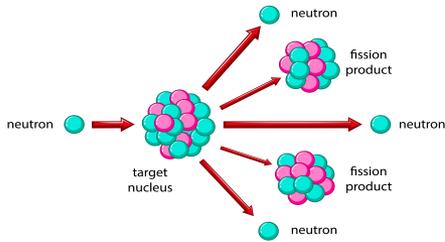
- ❑ 重要核天体(n, γ), (p, γ)俘获反应截面测量:
 ^{60}Fe 、 ^{85}Kr 、 ^{95}Zr 、 ^{92}Mo 等;
- ❑ 其它平台: 如世界最深核物理实验室JUNA, 国际领先的无窗气体靶技术, 低本底。



Reactor Antineutrino Anomaly (RAA)

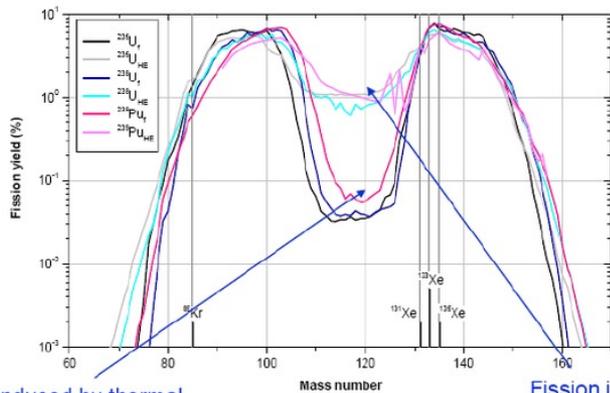


Nuclear Fission



- T. A. Mueller et al., *PRC83*, 054615 (2011)
- P. Huber, *Phys. Rev.C84*, 024617 (2011)
- Daya Bay, *PRL116*(2016), *PRL123*(2019)
- RENO, *PRL121*(2018)
- NEOS, *PRL118*(2017)
- Double Chooz, *Nature Physics* 16(2020)

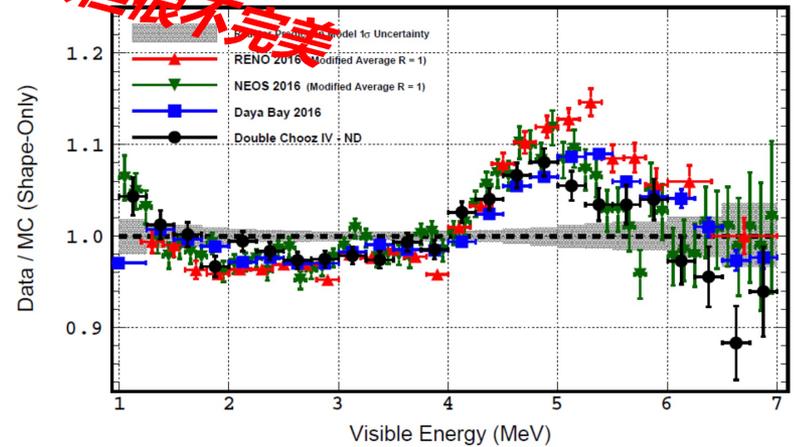
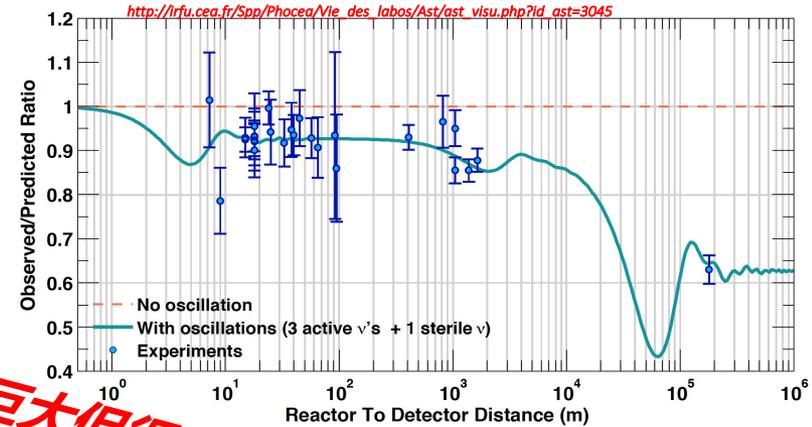
(Fission yield is a function of the fissioning nuclide and the incident neutron energy)



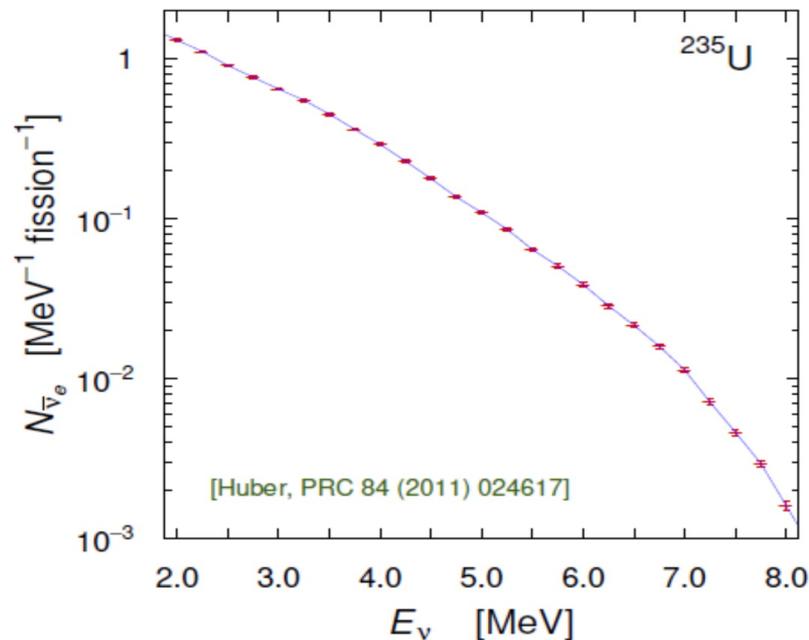
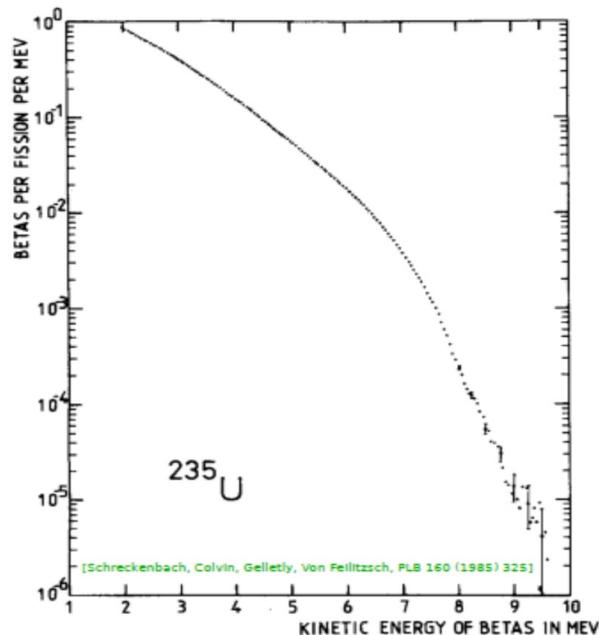
Fission induced by thermal (fission spectrum) neutrons

Fission induced by high energy neutrons (14.7 MeV)

反应堆中微子贡献巨大但很不完美



The Conversion Method

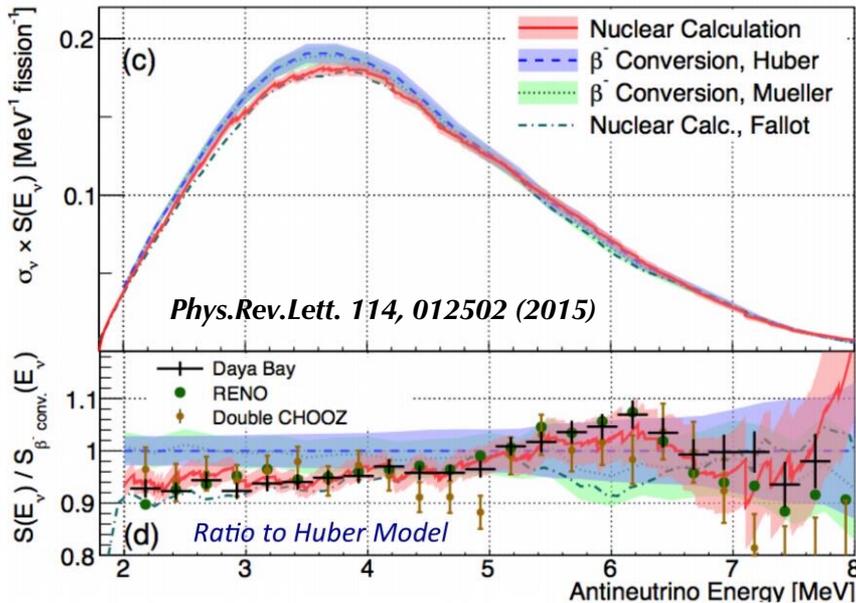


- Convert the aggregate β spectra measured at ILL in the late 80s using 30 virtual branches
- Applied to U-235, Pu-239, Pu-241 [Vogel et al PRC1981; Huber PRC2011]
- U-238 using “ab initio” method [Mueller et. al. PRC 2011] and data by Haag et al [PRL2014]

The “*ab initio*” (summation) Method



$$S(E_{\bar{\nu}}) = \sum_{i=0}^n R_i \sum_{j=0}^m f_{ij} S_{ij}(E_{\bar{\nu}}) \quad f_{ij} \text{ — the branching fraction from isotope } i \text{ decaying to the energy level } j \text{ of daughter isotope}$$



R_i — the equilibrium decay rate of isotope i

$$R_i \cong \sum_{p=0}^P R_p^f Y_{pi}^c$$

✓ R_p^f — the fission rate of the parent isotope p

✓ Y_{pi}^c — the cumulative yield of isotope i

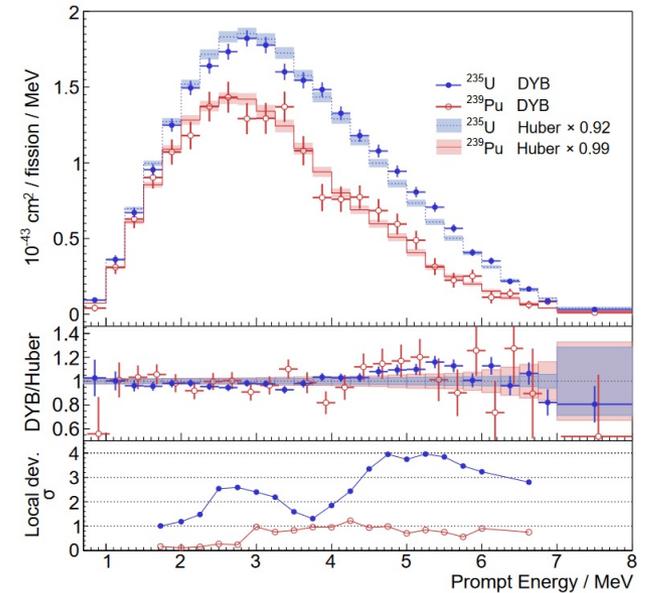
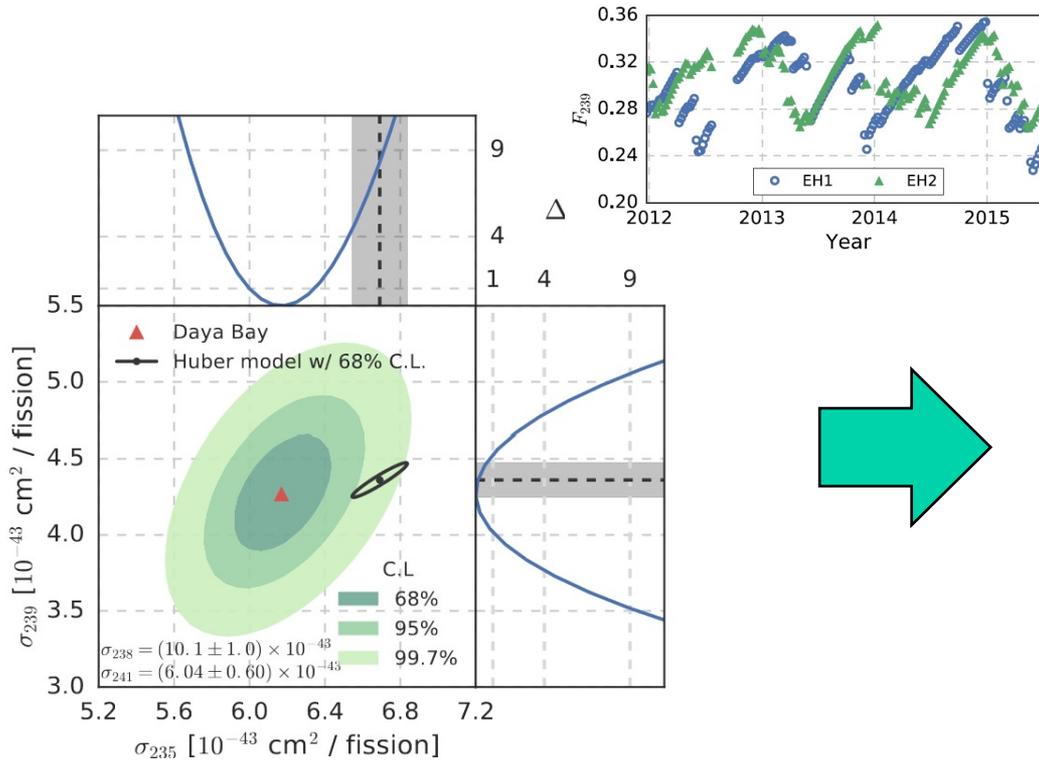
The 5 MeV bump was predicted with a large uncertainty from summation calculation.

Additionally, the **saw-tooth structures** were also predicted in the summation spectrum.

Understanding Reactor Antineutrinos



- Fuel evolution: *Phys.Rev.Lett.* 118 (2017) no.25, 251801
- Isotope decomposition, *PRL* 123 (2019) no.11, 111801

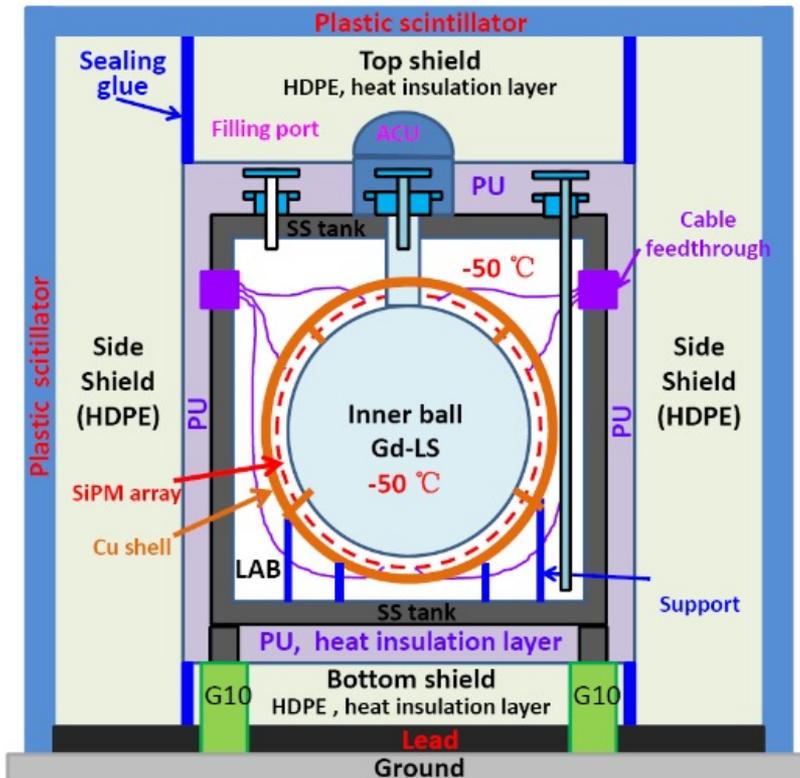


^{235}U : 4-sigma effect

^{239}Pu : 1.2-sigma effect

Taishan Antineutrino Observatory (TAO), a ton-level, high energy resolution LS detector, at 30-35 m from a 4.6 GW_{th} core, a satellite exp. of JUNO.

2.6 ton Gd_LS | acrylic vessel | SiPM and Cu shell | Cryogenic vessel | water or HDPE



- ◆ TAO will be used to measure reactor neutrino spectrum
- ◆ Full coverage of SiPM with PDE > 50%
Operate at -50 °C (lower SiPM dark noise)
 - 4500 p.e./MeV → $1.5\% \sqrt{E(\text{MeV})}$
- ◆ Taishan Nuclear Power Plant
2000 IBD/day (4000)
- ◆ Online in 2021

Another Example: Neutrino Reaction FSI



- In nuclear physics, using the (p,p) and (e,p) experiments to explore the structure of the nucleus, like C12.
- GENIE is a generator widely used by neutrinos and nucleon decay simulation. There are several nuclear models to deal with the nucleus. Such as RFG, Spectral Function, etc. The difference between RFG and SF is listed in Table 1.
- Choose SF model to deal with the nucleus. The predicted excitation energy spectra of B11(s-hole state) is consistent with the (p,p) experiment when the energy is large than 16 MeV in Figure 5.

Nuclear Effects	GENIE default	Modify GENIE
1. Fermi momentum	<input checked="" type="checkbox"/> (RFG model)	<input checked="" type="checkbox"/> (SF model)
2. Binding energy	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> (SF model)
3. NN correlations	<input checked="" type="checkbox"/> (RFG model)	<input checked="" type="checkbox"/> (SF model)
4. Final state interaction (FSI)	<input checked="" type="checkbox"/> pion, N (hA) <input checked="" type="checkbox"/> K+ (CEX)	<input checked="" type="checkbox"/> pion, N, K+ (hN)
5. Residual nucleus de-excitation	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/> Ex,TALYS ? 0.8%

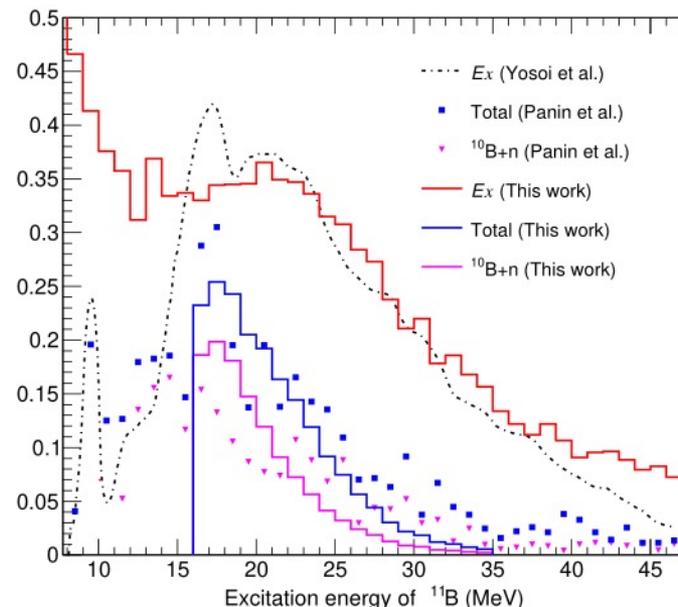


FIG. 5. Comparison of the measured (dash-dotted line) and predicted (red line) excitation energy spectra from the residual nucleus ^{11}B . The pink triangle (pink line) and blue square (blue line) denote the measured (predicted) contributions from $^{11}\text{B} \rightarrow n + ^{10}\text{B}$ and all three two-body de-excitation modes, respectively.

Collaboration Work between neutrino and nuclear physicists. Will appear on arXiv soon after internal approval by JUNO

Another Example: Neutrino Reaction FSI



➤ As to C12, when a proton be knocked out, the residual nucleus B11 may be in excited state. the (p,p) or (e,p) experiments can give the informations of the intrinsic property of the nucleus by detect the secondary particles like neutrons, protons, tritons, He4 etc which are produced by the de-excitation process.

➤ Use TALYS generator to simulate the de-excitation process of B11 in the excitation energy range [16,35]MeV. The calculated branch ratio of n-,p-,d-,t-,a- decay modes are shown in Figure 6.

- ✓ The two-body decay modes n-,p-,d-,a- can well explain the measurements.
- ✓ TALYS and CASCADE give similar results for all particle emissions.

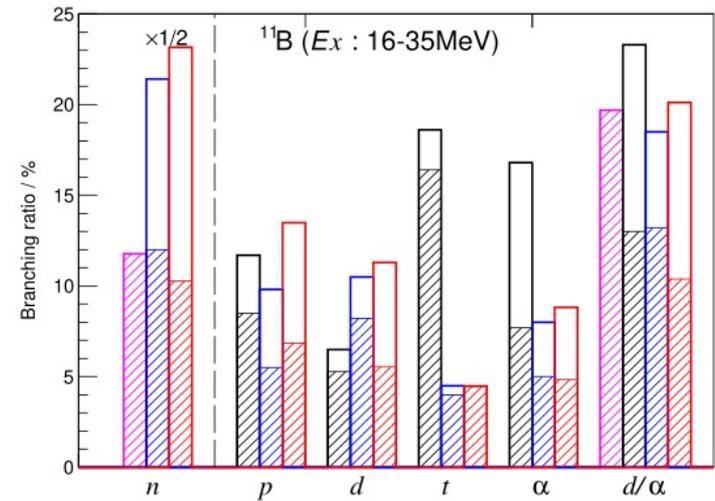


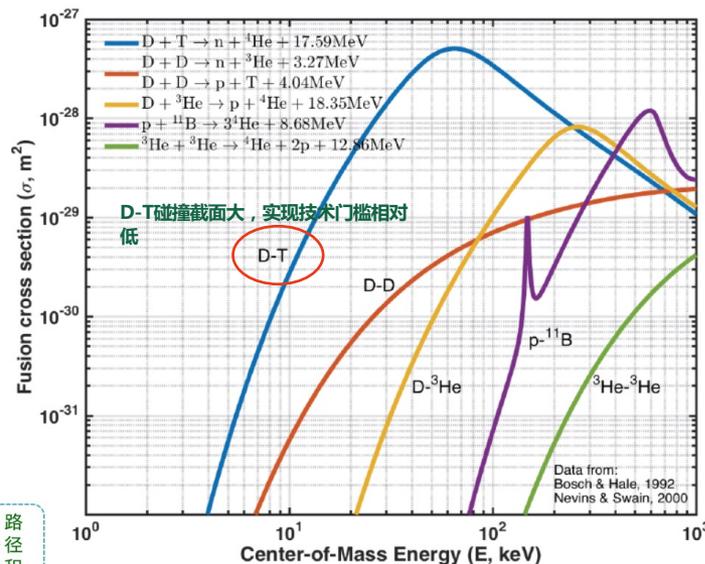
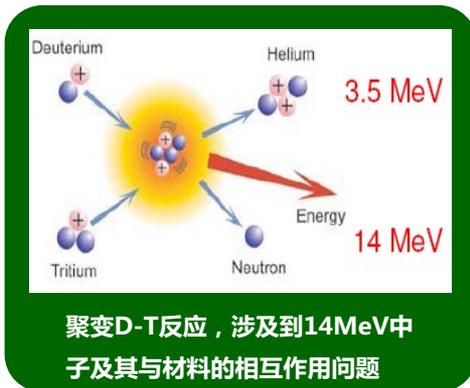
FIG. 6. Comparison of experimental and predicted branching ratios of n , p , d , t and α emissions from the residual nucleus ^{11}B with $16 \text{ MeV} \leq E_x \leq 35 \text{ MeV}$. The experimental data come from Refs. [26] (black) and [27] (pink). The red and blue branching ratios denote the predicted results from the TALYS and CASCADE calculations, respectively.

Collaboration Work between neutrino and nuclear physicists. Will appear on arXiv soon after internal approval by JUNO

核聚变等离子体与核物理



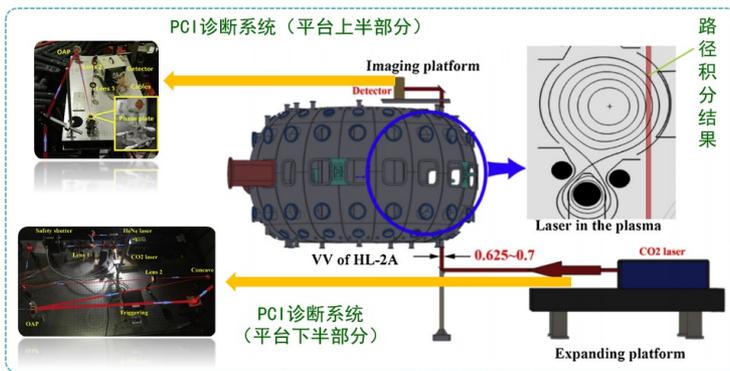
以合肥EAST装置为代表，我国已实现百秒数量级等离子体H模稳定运行，达到世界先进水平！



不同类型核聚变反应涉及到的碰撞截面数据



托卡马克实验装置放电影像



等等离子体基本物理过程先进诊断技术（激光诊断、各类探测器等）

- 未来聚变堆燃烧等离子体关键核数据库的建立
- 长时间抗高能量通量中子辐照材料
- 氦自持问题
- D-T反应燃烧率优化
-



篤行 明辨 慎思 審問 博學 校訓
孫文

**希望也需要同大家合作！
感谢支持！共同进步！**