



HIAF上的不稳定核物理研究

王世陶

中国科学院近代物理研究所

2023.10



一

HIAF简介

二

HIAF上主要实验装置及科学目标

三

HIAF建设进展

四

总结

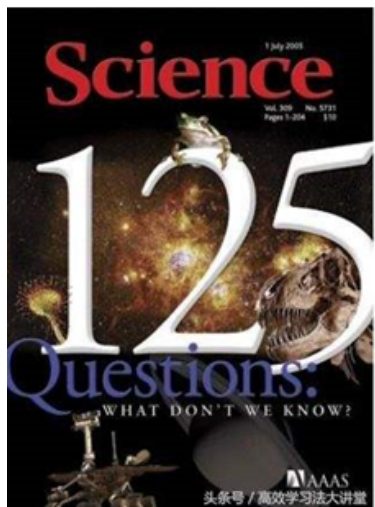
“十二五”期间国家布局建设16项重大科技基础设施

- (一) 海底科学观测网
- (二) 高能同步辐射光源验证装置
- (三) 加速器驱动嬗变研究装置
- (四) 综合极端条件实验装置
- (五) 强流重离子加速器装置**
- (六) 高效低碳燃气轮机试验装置
- (七) 高海拔宇宙线观测站
- (八) 未来网络试验设施
- (九) 空间环境地面模拟装置
- (十) 转化医学研究设施
- (十一) 中国南极天文台
- (十二) 精密重力测量研究设施
- (十三) 大型低速风洞
- (十四) 上海光源线站工程
- (十五) 模式动物表型与遗传研究设施
- (十六) 地球系统数值模拟器

强流重离子加速器装置

High Intensity Heavy-ion Accelerator Facility (HIAF)

HIAF主要任务：研究核物理前沿重大科学问题



重大核物理问题

- 原子核存在的极限和奇异结构、核力的本质？
- 在自然界中化学元素特别是重元素是如何产生的？
- 存在多少种化学元素、是否存在超重核稳定岛？
- 在极高密度温度下核物质新形态及核物质相结构？
-



中国核物理发展规划

中国科学院：国家科学思想库

中国学科发展战略系列丛书

核物理与等离子体物理

- 学科前沿及发展战略

核物理卷，2017

欧洲核物理发展规划

European Science Foundation

The Nuclear Physics European

Collaboration Committee

Long Range Plan 2017 Perspectives

in Nuclear Physics

美国核物理发展规划

Nuclear Science Advisory

Committee by DOE and NSF

Reaching for the Horizon:

The 2015 Long Range Plan for

Nuclear Science

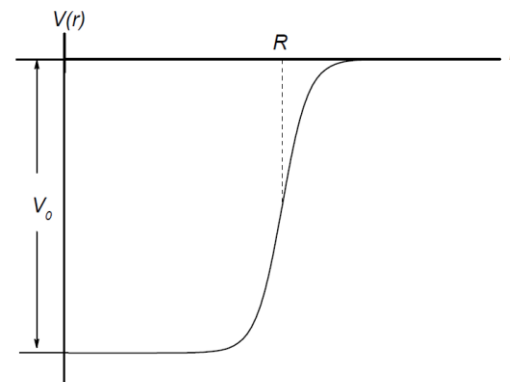
核物理根本目标：认识核内有效相互作用（核力）

目前：唯像模型 + 初步 *ab initio* 理论

Ultimate Nuclear Model: 描述所有核结构和反应

核力包括：

- 自旋轨道耦合项
- 张量力成分
- 三体力成分
- 同位旋相关项



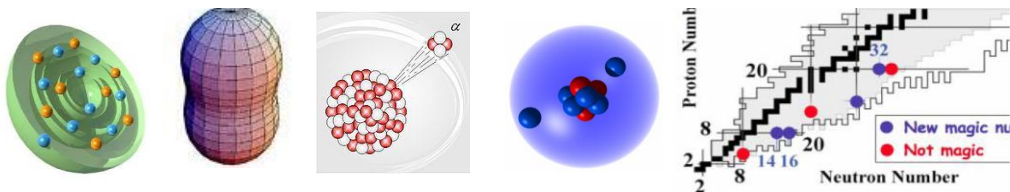
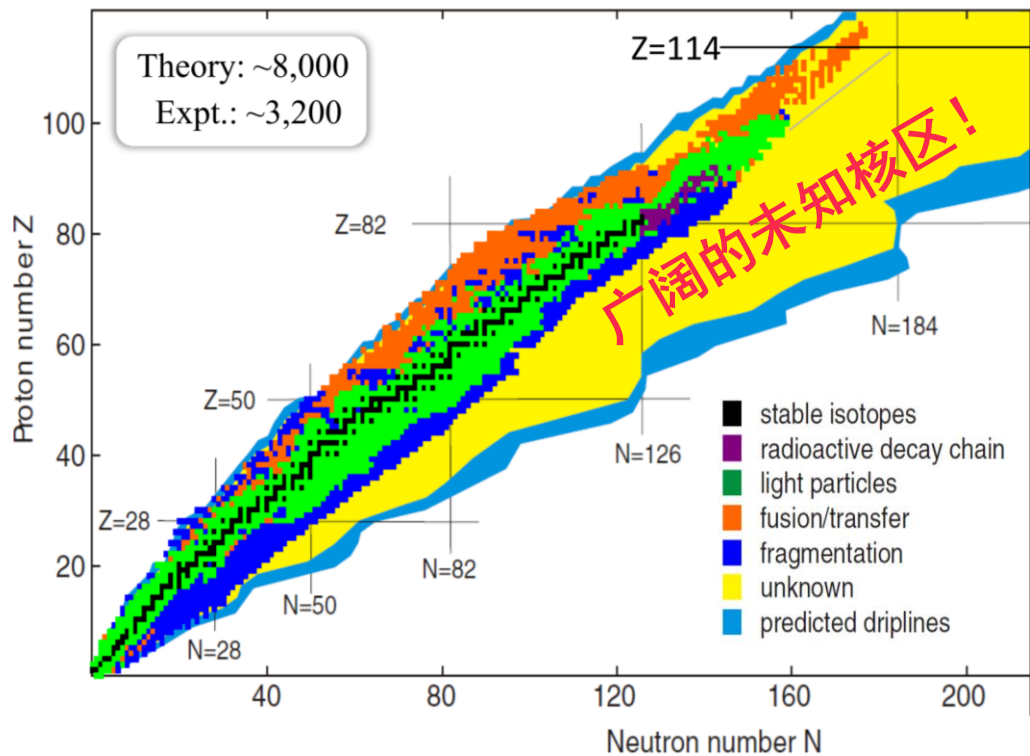
Woods-Saxon 势: $V(r) = -V_0 \left(1 + e^{\frac{r-R}{a}}\right)^{-1}$

普适的严格解析表示: $V(r)$?

$$\left[-\frac{\hbar^2}{2\mu} \nabla^2 + V(\mathbf{r}) \right] \psi(\mathbf{r}) = E\psi(\mathbf{r})$$

开拓核素版图

奇特核结构和性质

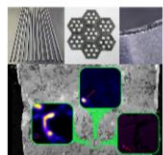


核科学技术是大国必争的战略高地

面向国家重大需求



**国家安全
核威慑力**
结合能、核反应



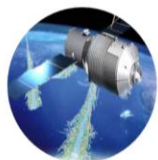
**先进核工程
材料**
离子与物质相互作用



**裂变能
聚变能**
结合能
核反应



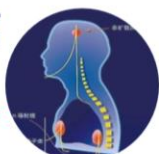
核动力
核衰变、
结合能、
核反应



**空间辐射
单粒子效应
宇航员防护**
离子与物质相互作用、电离



放射治疗：重离子治癌
离子与物质相互作用、生物学效应



医用同位素药物、核衰变、离子与物质相互作用

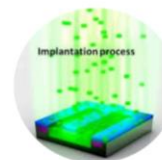


辐射诊断：X射线、CT、核磁共振、PET 离子与物质相互作用



辐射加工：材料改性（核孔膜、优质电缆、硫化橡胶等）、精密加工

离子注入：集成电路、高性能器件制造（特种光学晶体、聚合物、金属、陶瓷等）
离子与物质相互作用



**辐射育种
同位素示踪
辐射杀菌保鲜**
核衰变、生物学效应

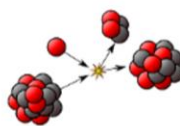


**工业探伤
无损检测**
离子与物质相互作用

面向国民经济主战场

面向人民生命健康

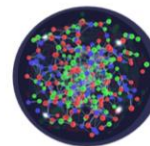
面向世界
科技前沿



原子核性质研究：核结构、核反应...



核天体物理：宇宙中重元素的起源...



高密核物质：相结构、核子结构...

原理、机理研究，满足人类好奇心，支撑相关应用研究

核物理基础研究为核技术广泛应用提供理论、技术和人才支撑



主要科学目标 (发改委建议书) :

- 扩展核素版图, 研究奇特核结构和性质
- 合成超重新元素, 探索超重核稳定岛
- 理解宇宙中重元素起源
- 重离子束重大应用



Funding agency: The National Development and Reform Commission (NDRC) **16.7+10 亿元**

增强器Booster Ring:

- 周长: 569 m
- 磁刚度: 34 Tm
- 束流累计和加速

高能放射性束流线HFRS:

- 最大磁刚度: 25 Tm
- 色散和消色差模式

Spectrometer Ring (SRing)

环形谱仪Spectrometer Ring:

- 周长: 277.2 m
- 磁刚度: 15 Tm
- 电子和随机冷却装置

离子源:

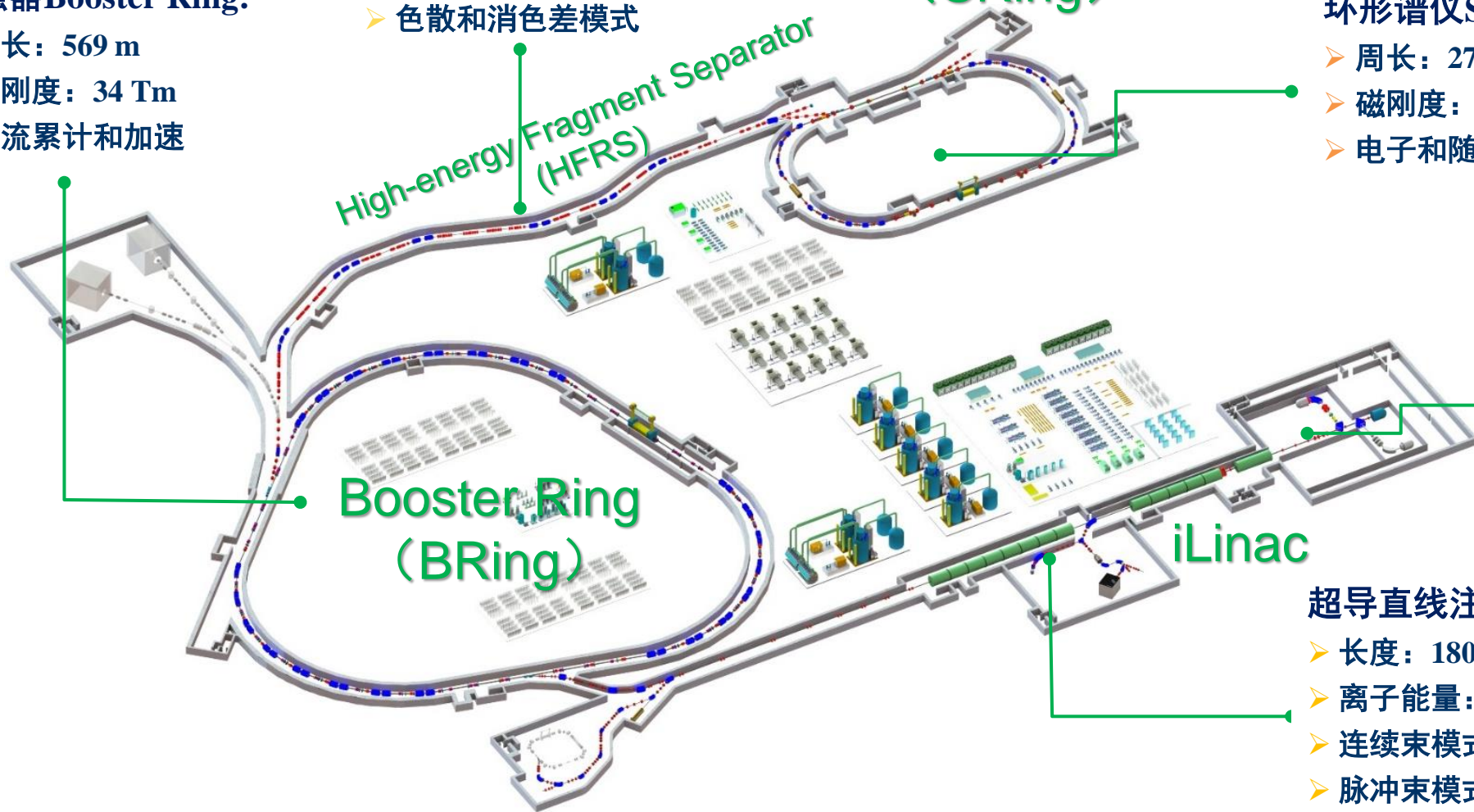
- 45 GHz FECR
- 28 GHz SECRAI
- 2.45 GHz ECR

Booster Ring (BRing)

iLinac

超导直线注入器 iLinac:

- 长度: 180 m
- 离子能量: 17 MeV/u ($^{238}\text{U}^{34+}$)
- 连续束模式: 10 μA with $A/Q=2\sim 5$
- 脉冲束模式: 1.0 emA with $A/Q=2\sim 7$



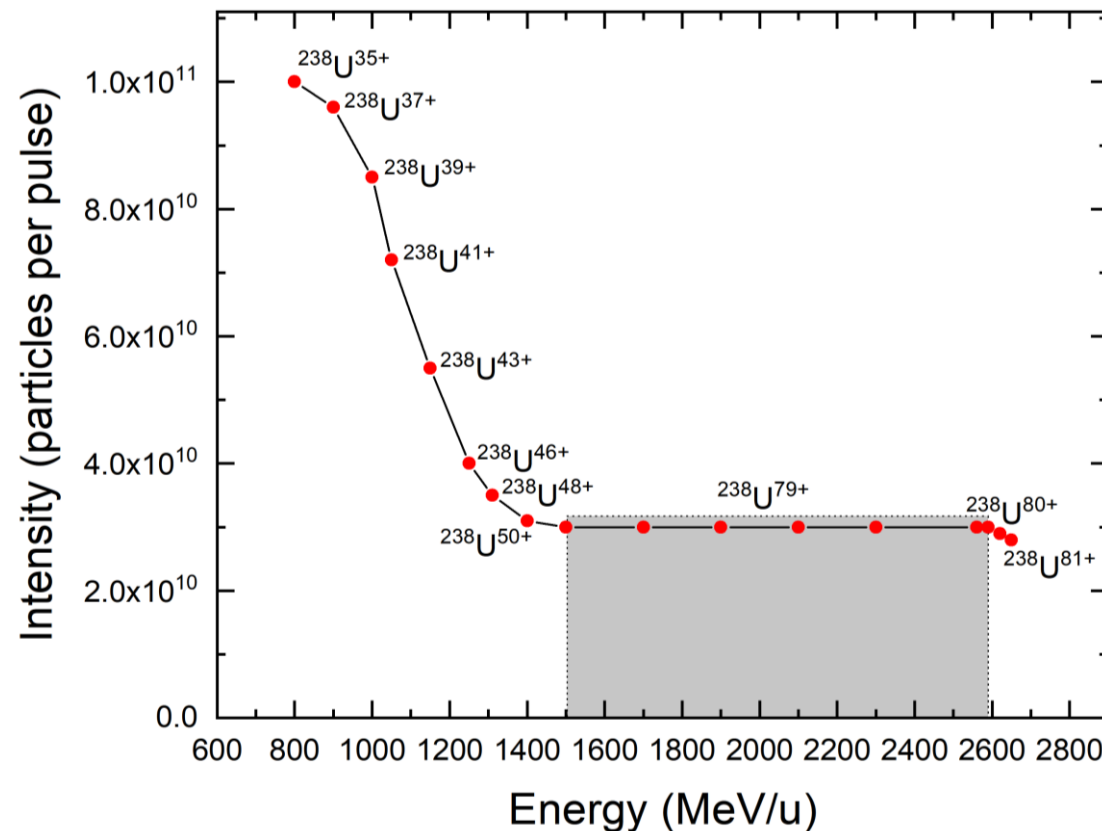
直线加速器 iLinac

离子种类	能量 (MeV/u)	流强 (pμA)
H ₂ ⁺	48	10
¹⁸ O ⁶⁺	36	10
⁷⁸ Kr ¹⁹⁺	30	10
²⁰⁹ Bi ³¹⁺	30	10
²³⁸ U ³⁴⁺	17	10

增强器 Booster Ring

离子种类	能量 (GeV/u)	流强 (ppp)
p	9.3	2.0×10 ¹²
¹⁸ O ⁶⁺	2.6	6.0×10 ¹¹
⁷⁸ Kr ¹⁹⁺	1.7	3.0×10 ¹¹
²⁰⁹ Bi ³¹⁺	0.85	1.2×10 ¹¹
²³⁸ U ³⁴⁺	0.8	1.0×10 ¹¹

²³⁸U 束流：强度与能量关系图



高能实验终端

- 核物质研究谱仪
- 超核研究装置
- 综合辐照效应终端

高能放射性束流线HFRS

Spectrometer Ring

高精度环形谱仪

- 等时性质量谱仪
- 肖特基谱仪
- 核反应谱仪
- 电子离子复合共振谱仪

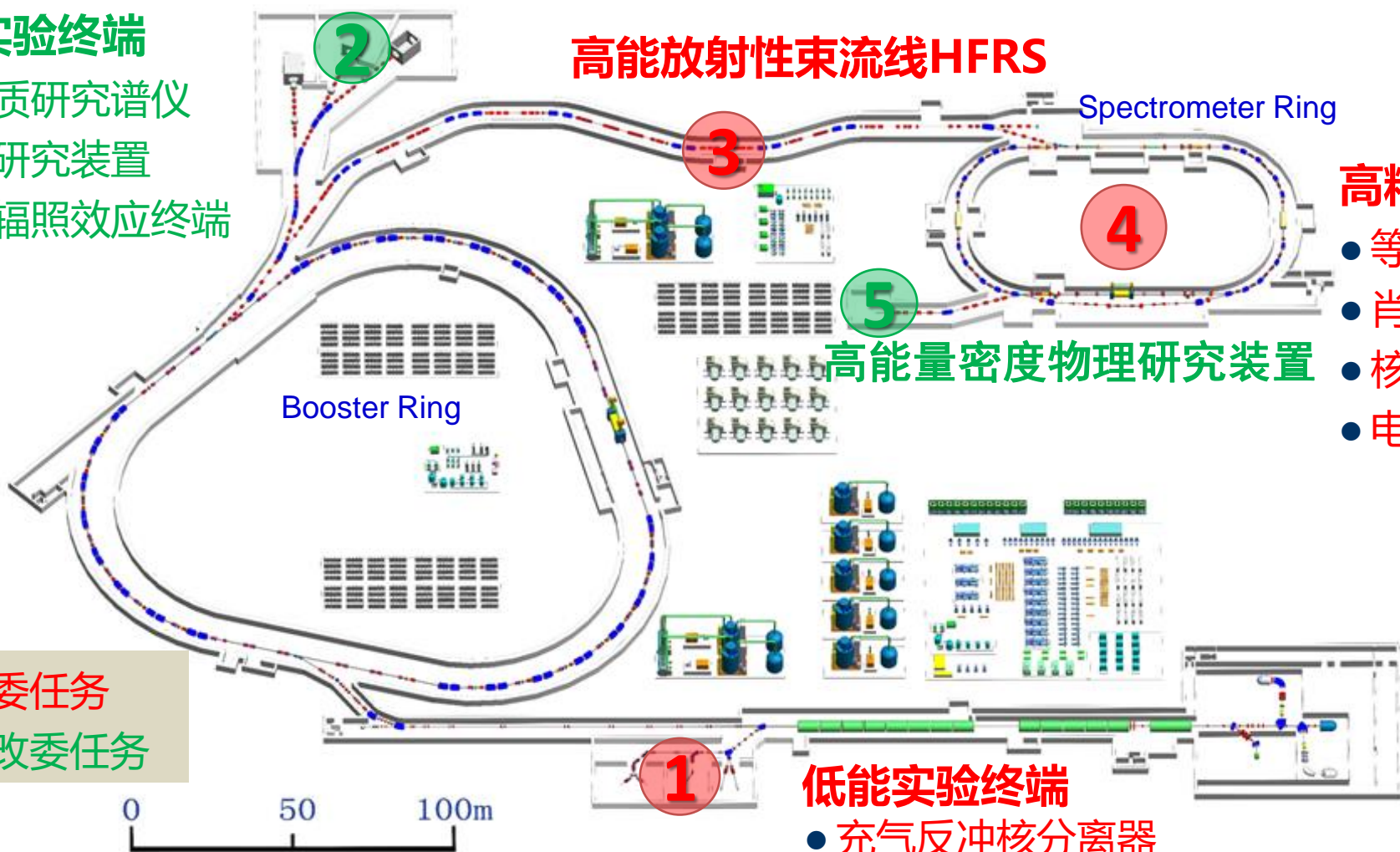
高能量密度物理研究装置

Booster Ring

红色：发改委任务
绿色：非发改委任务

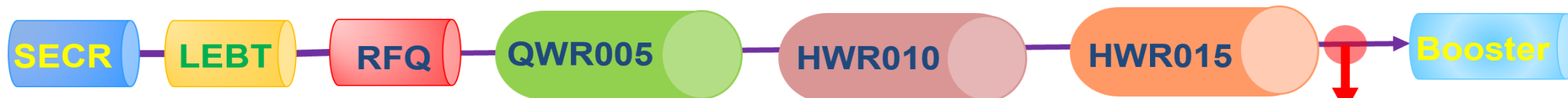
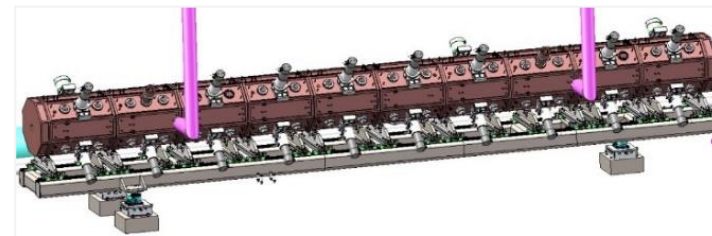
低能实验终端

- 充气反冲核分离器
- 丰中子核分离器
- 强流离子束辐照终端

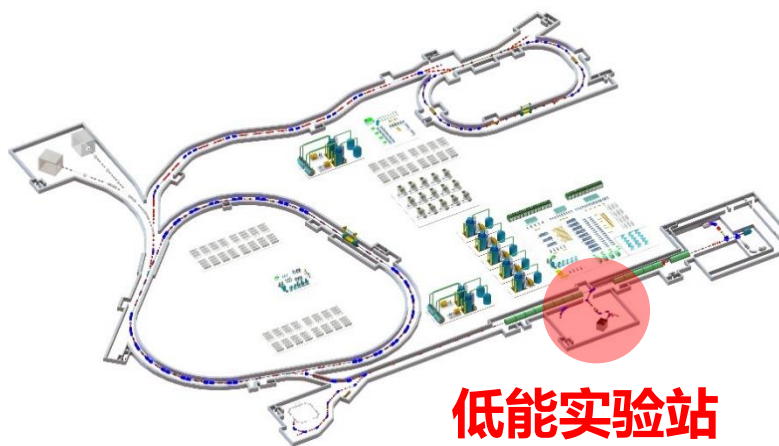


iLinac 工作模式:

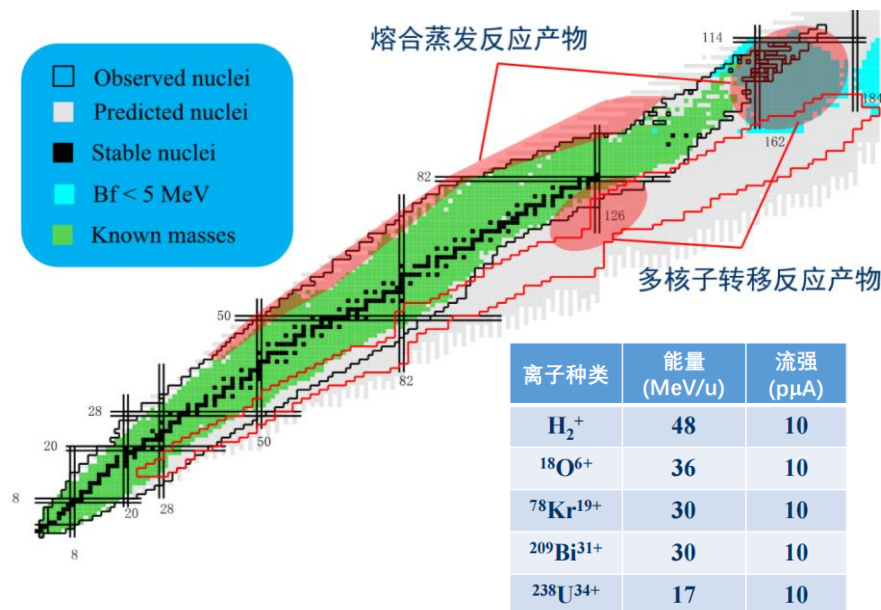
连续束模式: 为低能实验站提供束流



Energy Adjustable

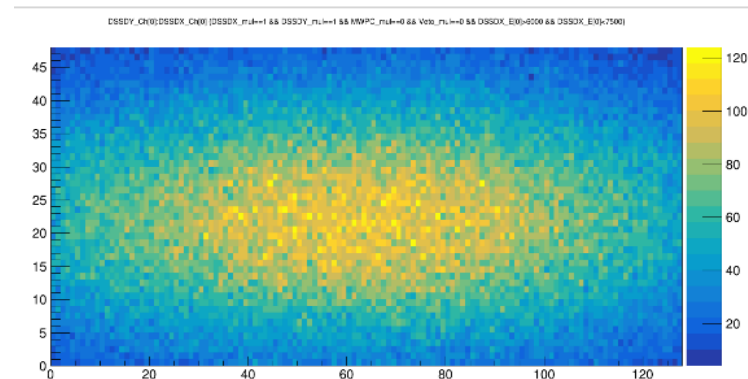
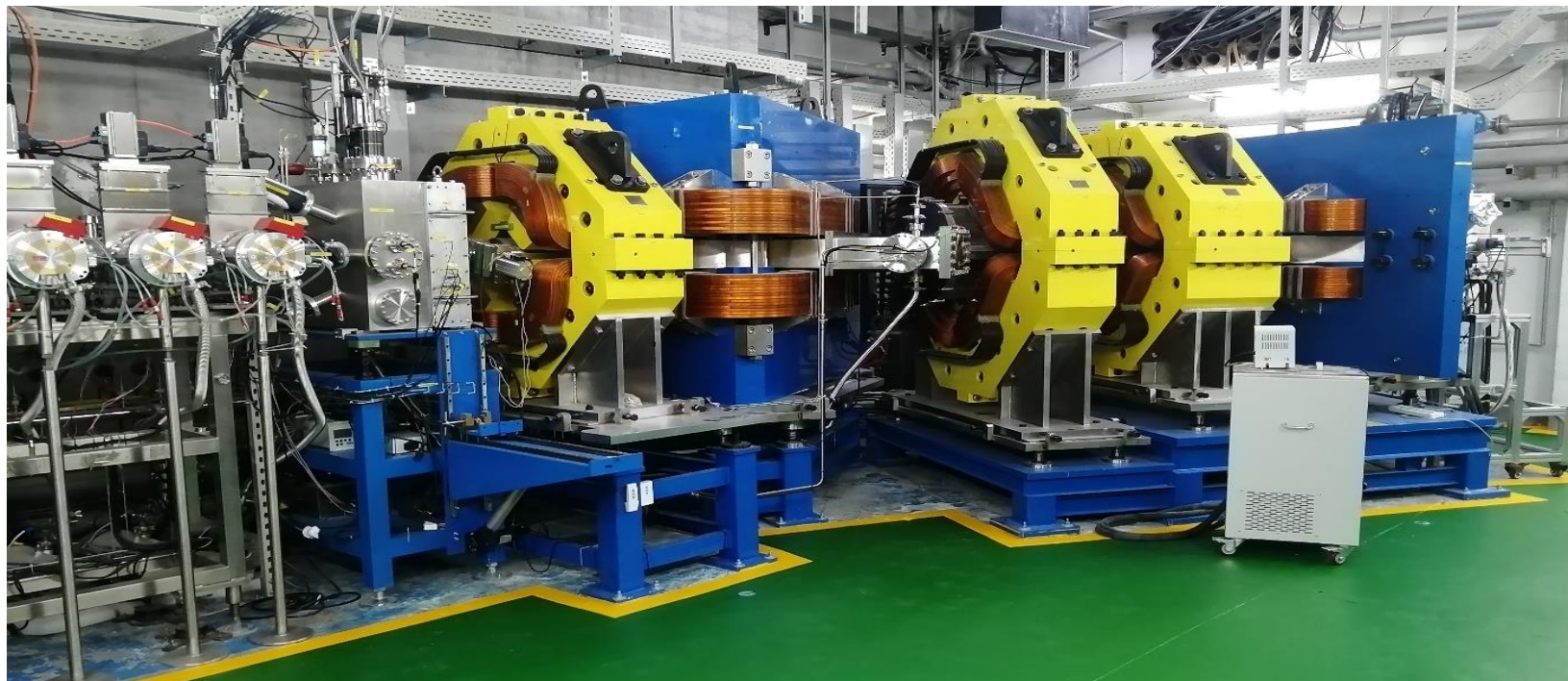


低能实验站



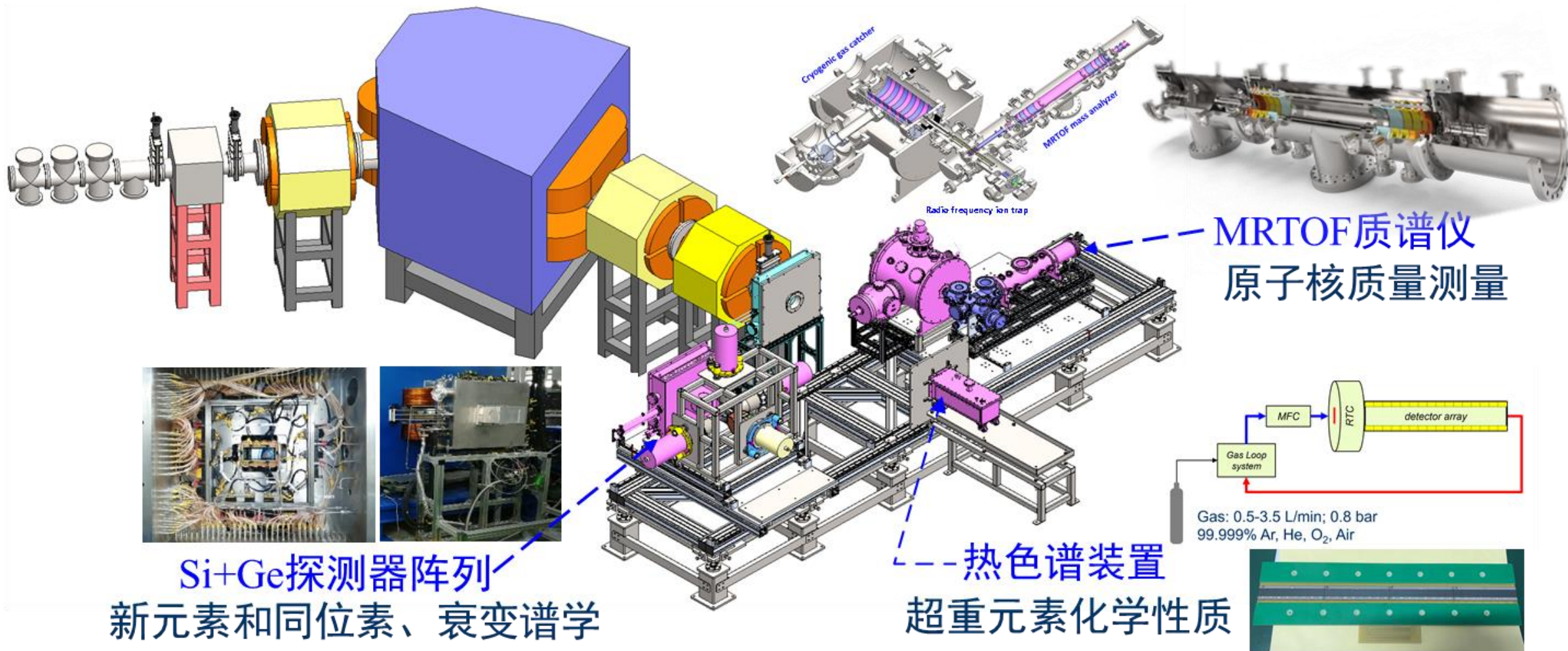
- 融合蒸发反应:
新元素、缺中子(超)重核素
- 多核子转移反应:
丰中子(超)重核素

融合反应：新元素和缺中子新核素合成、衰变谱学

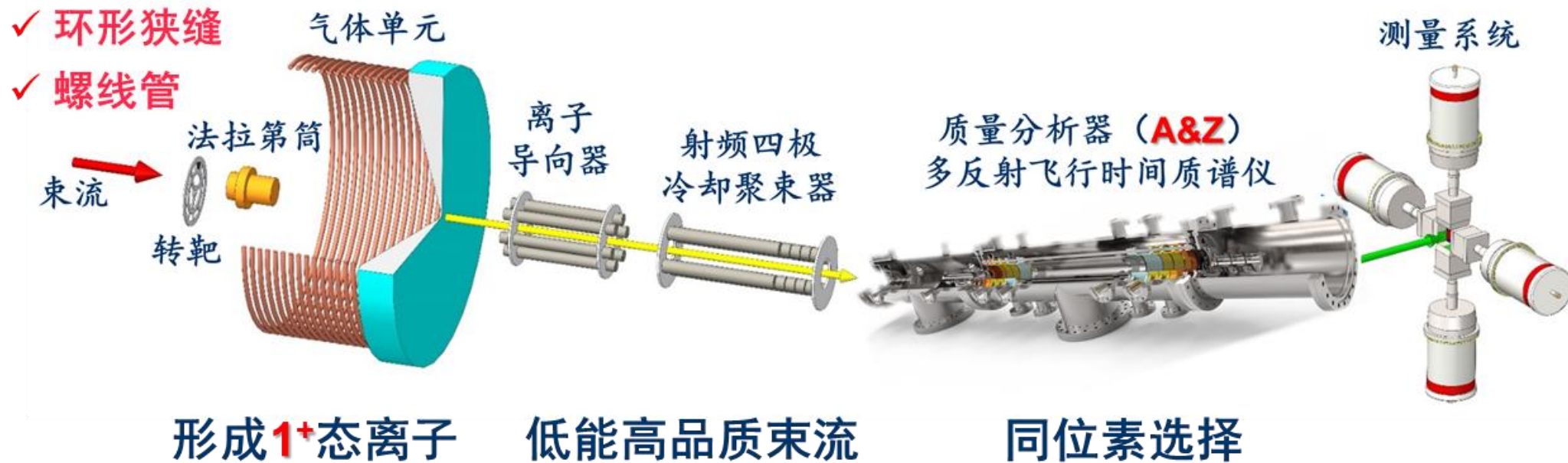


- 新谱仪传输效率： $^{40}\text{Ar}+^{169}\text{Tm} \sim 58\%$ ； $^{40}\text{Ar}+^{175}\text{Lu} \sim 47\%$ ；
- 利用新谱仪合成了一批新核素

充气反冲核分离器 + 各种实验测量装置



多核子转移反应：探索超重核稳定岛

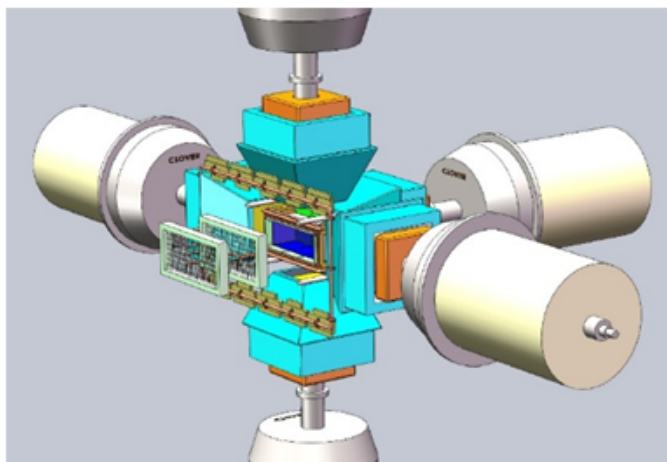


丰中子超重核素分离谱仪结构示意图

分离并鉴别MNT反应产物；制备低能、高品质、脉冲离子束流

丰中子核分离器 + 实验测量系统

在丰中子核分离器后，得到质量数（电荷数）鉴别的超重核素



- 衰变测量装置，研究丰中子超重核衰变性质
- 多反射飞行时间质谱仪，测量丰中子超重核质量
- 共线激光谱仪，研究超重原子结构&测量核电荷半径
- 气相热色谱仪，研究超重元素化学性质

已知特征X射线能量最重元素：E102；已知第一电离势最重元素：E103

形成在国际上独具特色、极具竞争力的丰中子超重核素合成、超重核衰变性质研究、超重元素化学性质研究、超重原子结构研究综合实验平台

新元素合成研究

➤ **目标：冲击合成119, 120号元素**

- 验证115号元素： $^{48}\text{Ca} + ^{243}\text{Am}$
- 产生119号元素： $^{54}\text{Cr} + ^{243}\text{Am}$ ($^{50}\text{Ti} + ^{249}\text{Bk}$)
- 产生120号元素： $^{55}\text{Mn} + ^{243}\text{Am}$ ($^{50}\text{Ti} + ^{249}\text{Cf}$)

➤ 可行性评估：

113
Nh 铈

当时实验能力极限（日本）：
束流强度： $\sim 1\mu\text{A}$ ； $\sigma \sim 19\text{fb}$
结果：575天，3个事件

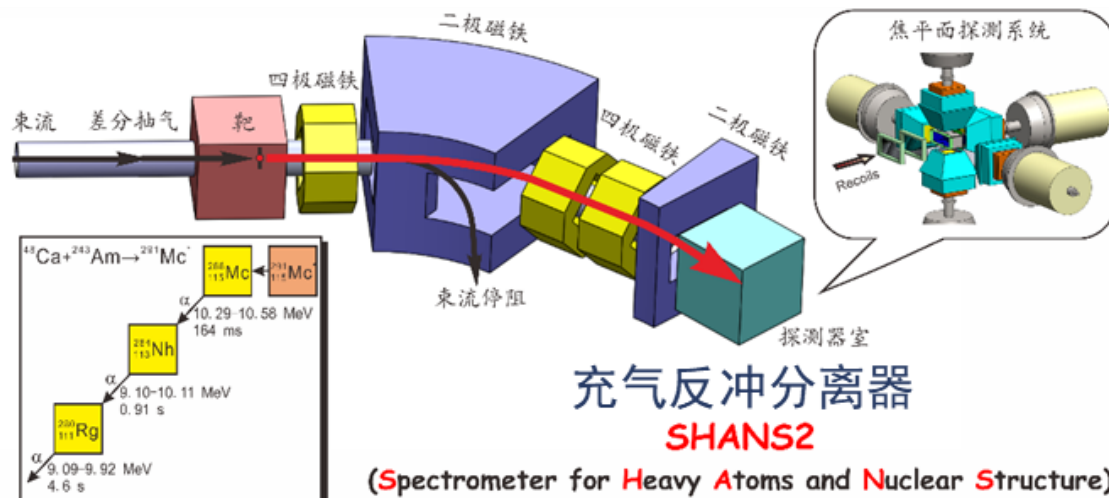
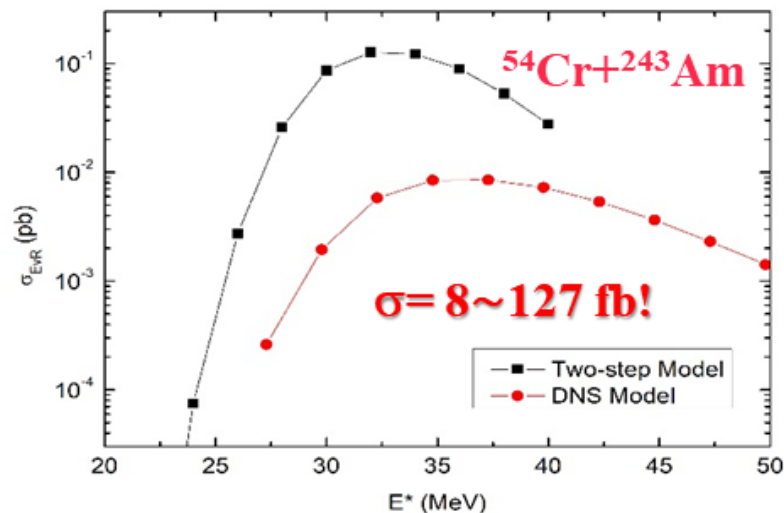
$\sigma \sim 8\text{fb}$ ，束流强度 $5 \sim 10\mu\text{A}$
标准实验设置：事件/100~200天，可行！

➤ 核心技术挑战（加速器流强）：

国际现状：最高流强 $\sim 3\mu\text{A}$

目标：束流强度 $5 \sim 10\mu\text{A}$ ！

反应截面预言



113号元素的化学性质研究

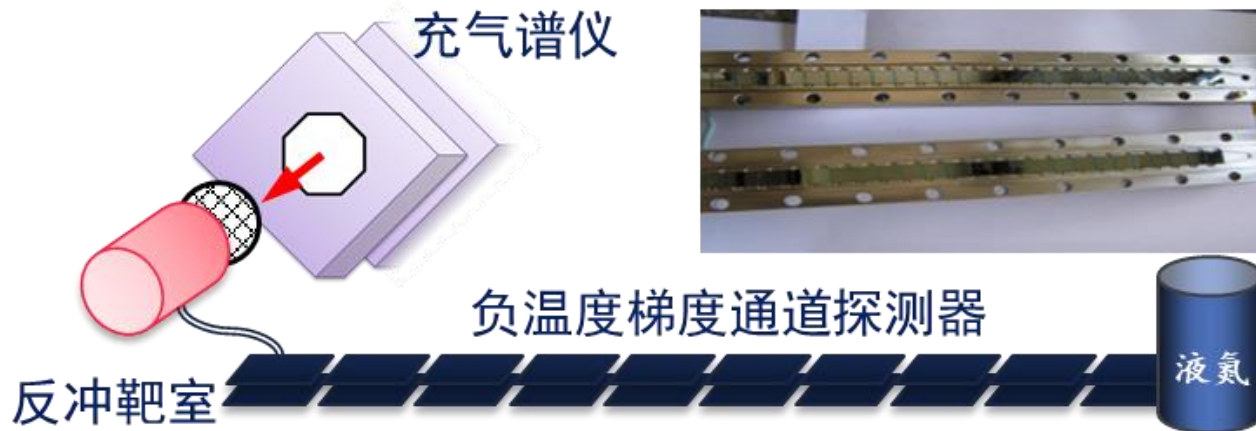
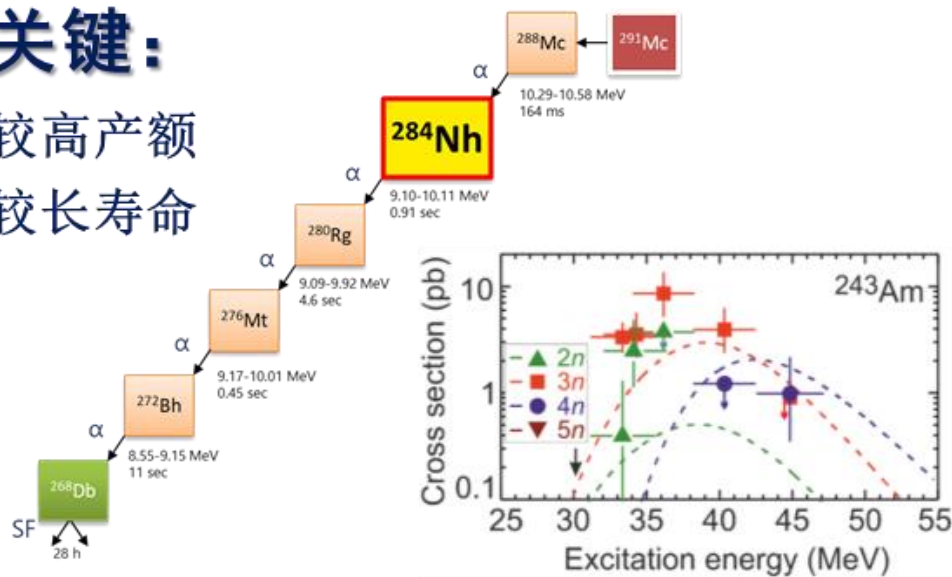
确定了108号以下元素在周期表中的位置

112号元素化学性质可能类汞

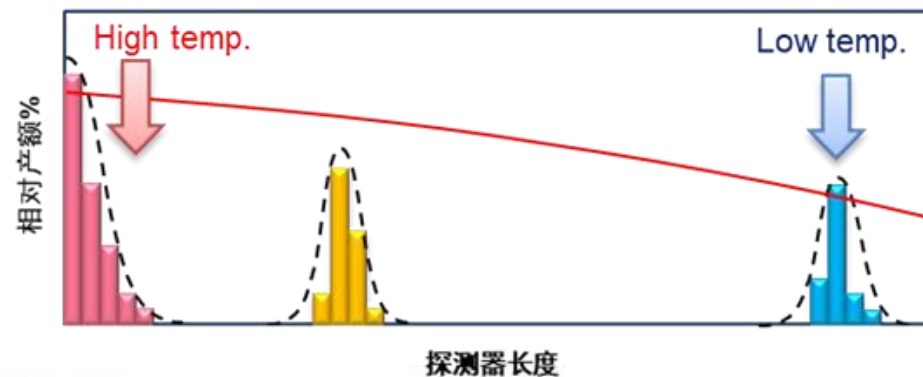
- $^{243}\text{Am}(^{48}\text{Ca}, 3n)^{288}\text{Mc}$ (115号元素)
- $^{288}\text{Mc} \rightarrow ^{284}\text{Nh} + \alpha$
- ^{284}Nh 有较长半衰期 $T_{1/2} = 0.91\text{s}$

关键：

较高产额
较长寿命



Group 13	
49	In
114.82	Indium
81	Tl
204.38	Thallium
113	Nh
286.18	Nihonium



实验技术： 充气反冲谱仪物理预分离 + 快速气相化学

实验测量： 比较113号元素与同族元素挥发性顺序

科学目标： 确定Nh化学性质，检验周期律外推性

合成超铀新核素，探索超重稳定岛

理论预言存在“超重核稳定岛”

➤ 目标：

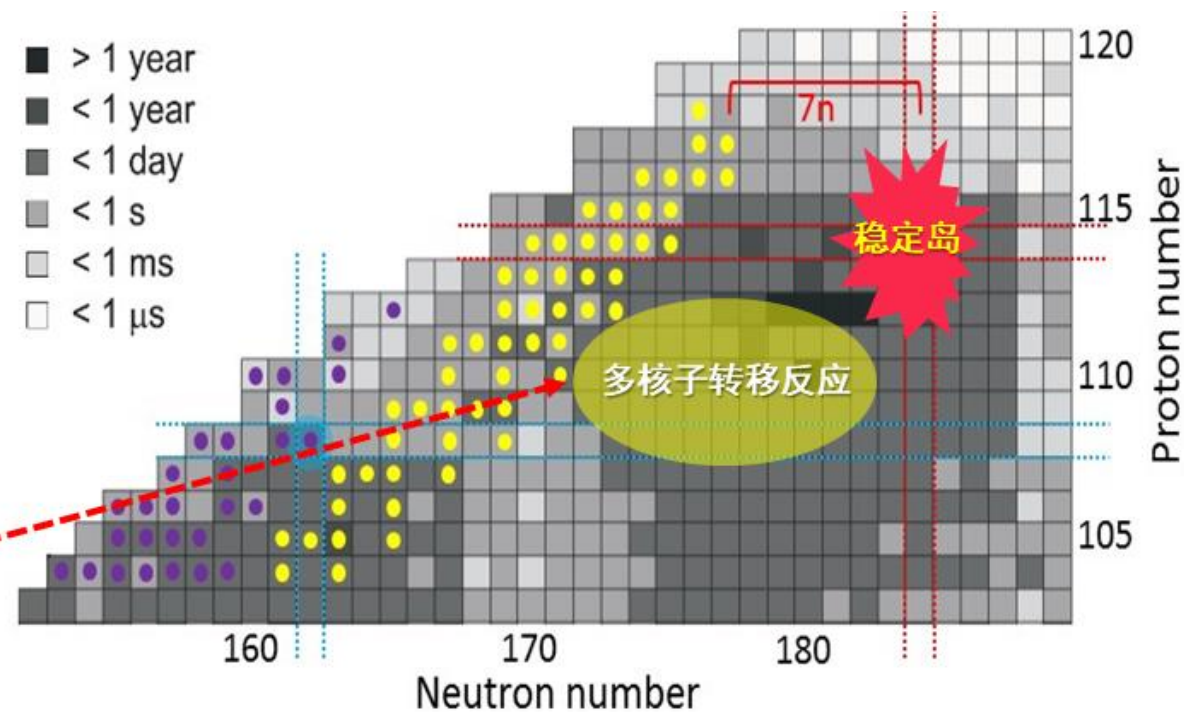
产生、分离、鉴别丰中子超重核素关键技术
成为探索超重核稳定岛的先行者！

➤ 可行性评估：

- 产生： $^{238}\text{U}+^{243}\text{Am}$ 、 ^{248}Cm 多核子转移等反应
- 分离：Gas Cell +RFQ技术
- 鉴别：质谱术、激光电离等技术

➤ 核心技术挑战：

- 高效分离丰中子超重核
- 超重核电荷数和质量数直接测量技术

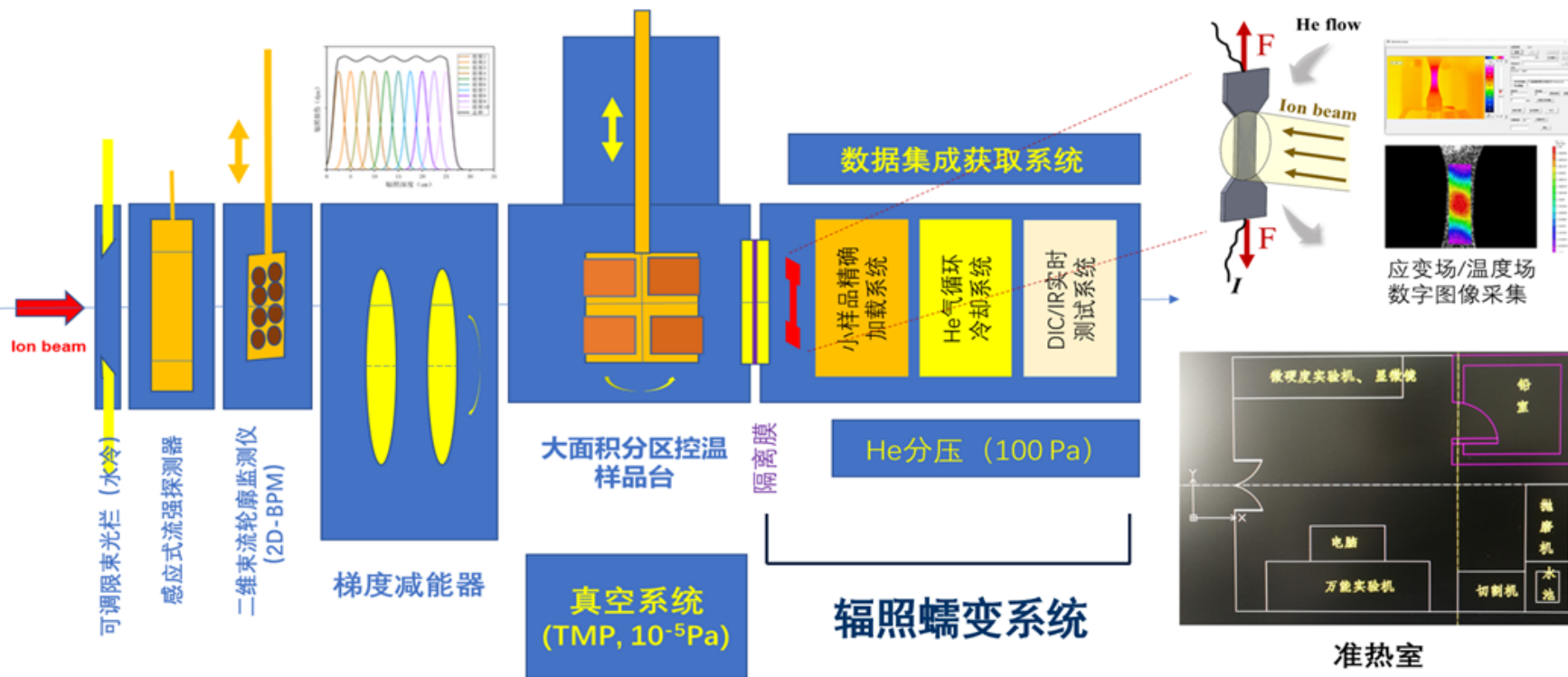


科学目标：先进核能材料抗辐照性能评价



现SFC-T1终端：

- 梯度减能
- 大范围控温
- 在线应力/应变测试



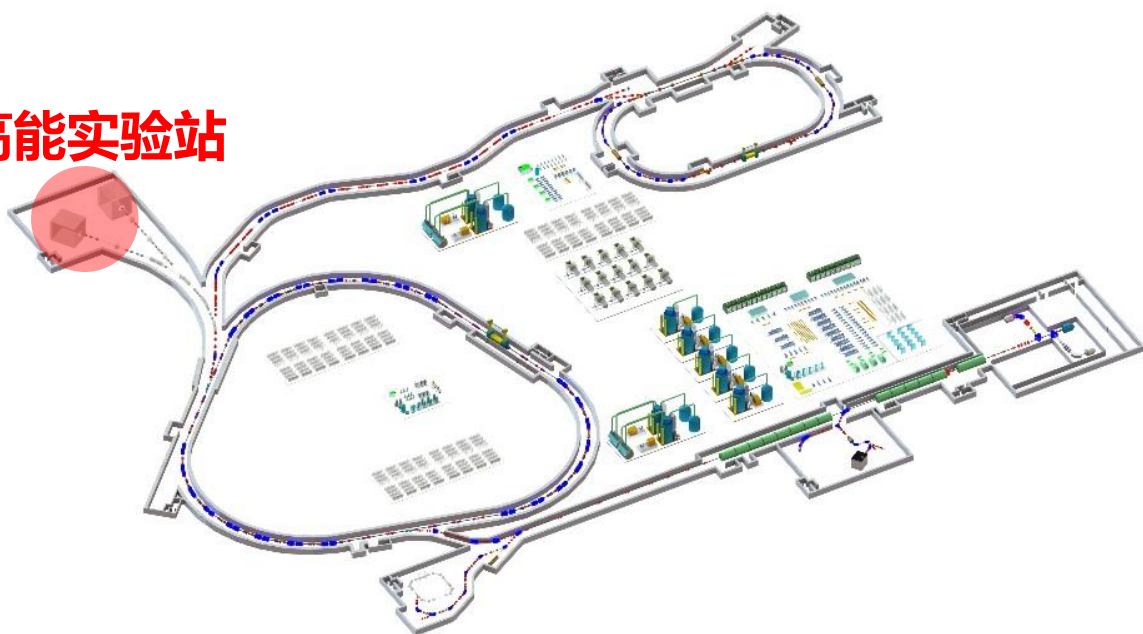
强流离子束辐照终端：束流监测，梯度减能，大面积/多样品控温，在线蠕变测试

2023.06
完成设计

2023.07-2023.12
完成部件加工

2024.01-2024.12
安装、调试、验收

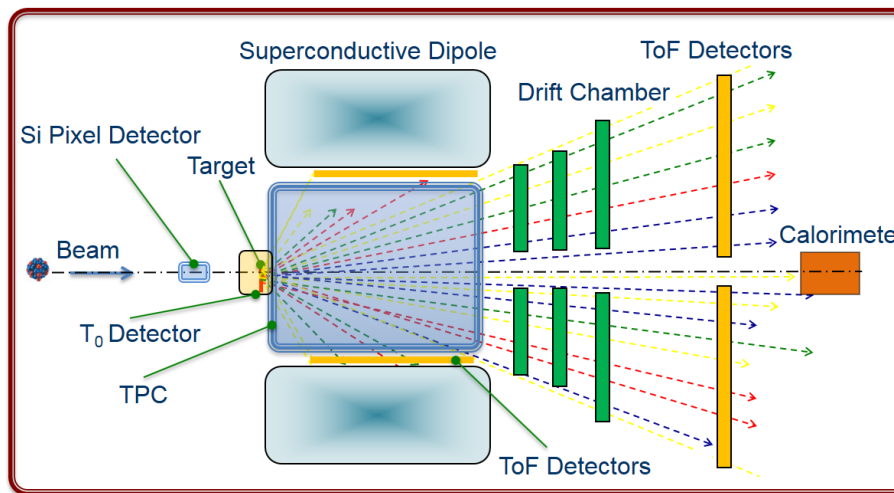
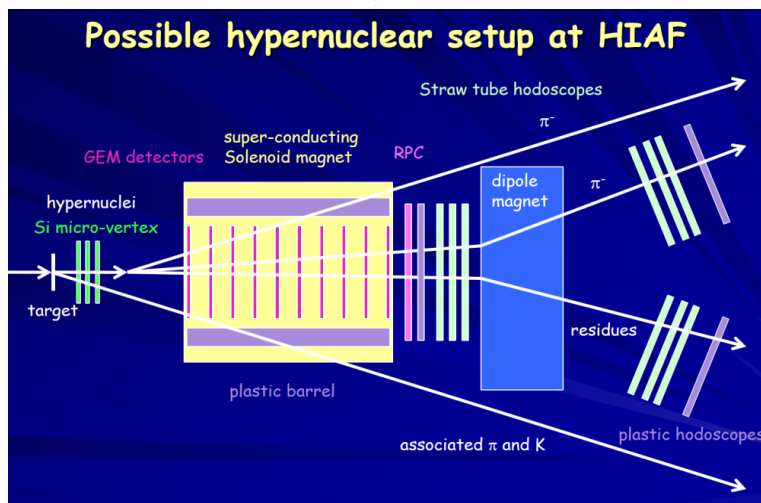
高能实验站



慢引出准连续高能离子束流，束流持续时间 3s

Typical Beam Parameters From BRing@HIAF

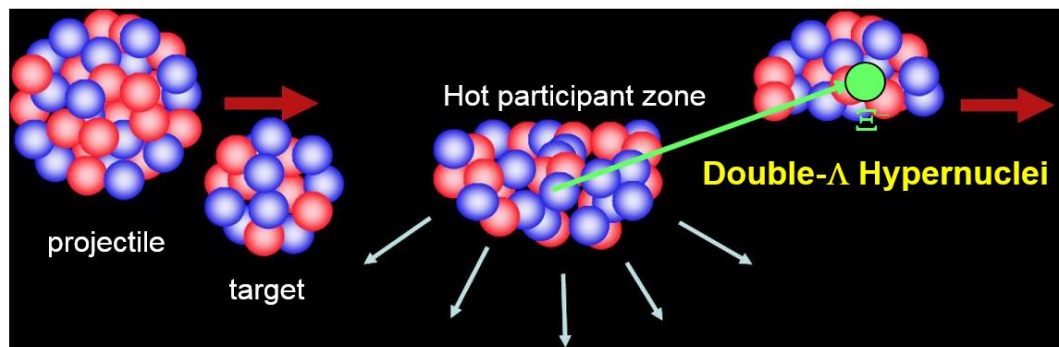
Ions	Energy(GeV/u)	Intensity (ppp)
P	9.3	2.0×10^{12}
$^{18}\text{O}^{6+}$	2.6	6.0×10^{11}
$^{78}\text{Kr}^{19+}$	1.7	3.0×10^{11}
$^{209}\text{Bi}^{31+}$	0.85	1.2×10^{11}
$^{238}\text{U}^{34+}$	0.8	1.0×10^{11}



物理工作:

- 超核研究
- 核物质相结构

产生 Λ -超核和 $\Lambda\Lambda$ -超核



Ξ^- 超子产生阈: 3.747 A GeV; $\Xi^-p \rightarrow \Lambda\Lambda$

Expected reconstructed rate

- $^{20}\text{Ne} + ^{12}\text{C}$ at 4.25 A GeV
- Beam intensity: 10^7 /s

	Single- Λ hypernuclei	Double- Λ hypernuclei
per day	8×10^5	9×10^1
per week	6×10^6	6×10^2
per month	2×10^7	3×10^3

国际合作，申请经费

Open New Domain: Hypernuclei with Double Strangeness

Production of $\Lambda\Lambda$ hypernuclei

- $d + \Xi^- \rightarrow n\Lambda\Lambda$
- $t + \Xi^- \rightarrow nn\Lambda\Lambda$
- $^3\text{He} + \Xi^- \rightarrow ^4_{\Lambda\Lambda}\text{H}$
- $^4\text{He} + \Xi^- \rightarrow ^5_{\Lambda\Lambda}\text{H}$
- $^6\text{Li} + \Xi^- \rightarrow ^7_{\Lambda\Lambda}\text{He}$
- $^7\text{Li} + \Xi^- \rightarrow ^8_{\Lambda\Lambda}\text{He}$
- $^9\text{Be} + \Xi^- \rightarrow ^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Li}$
- $^{10}\text{B} + \Xi^- \rightarrow ^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Li}$
- $^{10}\text{B} + \Xi^- \rightarrow ^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$
- $^{11}\text{B} + \Xi^- \rightarrow ^{12}_{\Lambda\Lambda}\text{Be}$
- ...

Decay of $\Lambda\Lambda$ hypernuclei

- $n\Lambda\Lambda \rightarrow ^3\text{He} + \pi^- + \pi^-$
- $nn\Lambda\Lambda \rightarrow ^4\text{He} + \pi^- + \pi^-$
- $^4_{\Lambda\Lambda}\text{H} \rightarrow p + ^3\text{He} + \pi^- + \pi^-$
- $^5_{\Lambda\Lambda}\text{H} \rightarrow p + ^4\text{He} + \pi^- + \pi^-$
- $^7_{\Lambda\Lambda}\text{He} \rightarrow ^7\text{Be} + \pi^- + \pi^-$
- $^8_{\Lambda\Lambda}\text{He} \rightarrow ^4\text{He} + ^4\text{He} + \pi^- + \pi^-$
- $^{10}_{\Lambda\Lambda}\text{Li} \rightarrow ^{10}\text{B} + \pi^- + \pi^-$
- $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Li} \rightarrow ^{11}\text{B} + \pi^- + \pi^-$
- $^{11}_{\Lambda\Lambda}\text{Be} \rightarrow ^{11}\text{C} + \pi^- + \pi^-$
- $^{12}_{\Lambda\Lambda}\text{Be} \rightarrow ^{12}\text{C} + \pi^- + \pi^-$
- ...

鉴别：不变质量谱 (invariant mass method)

寿命测量：衰变定点 (decay vertex) 分布

高重子密度区核物质相结构

➤ 目标：

- 高重子密度区核物质相结构
- 寻找QCD相变临界点

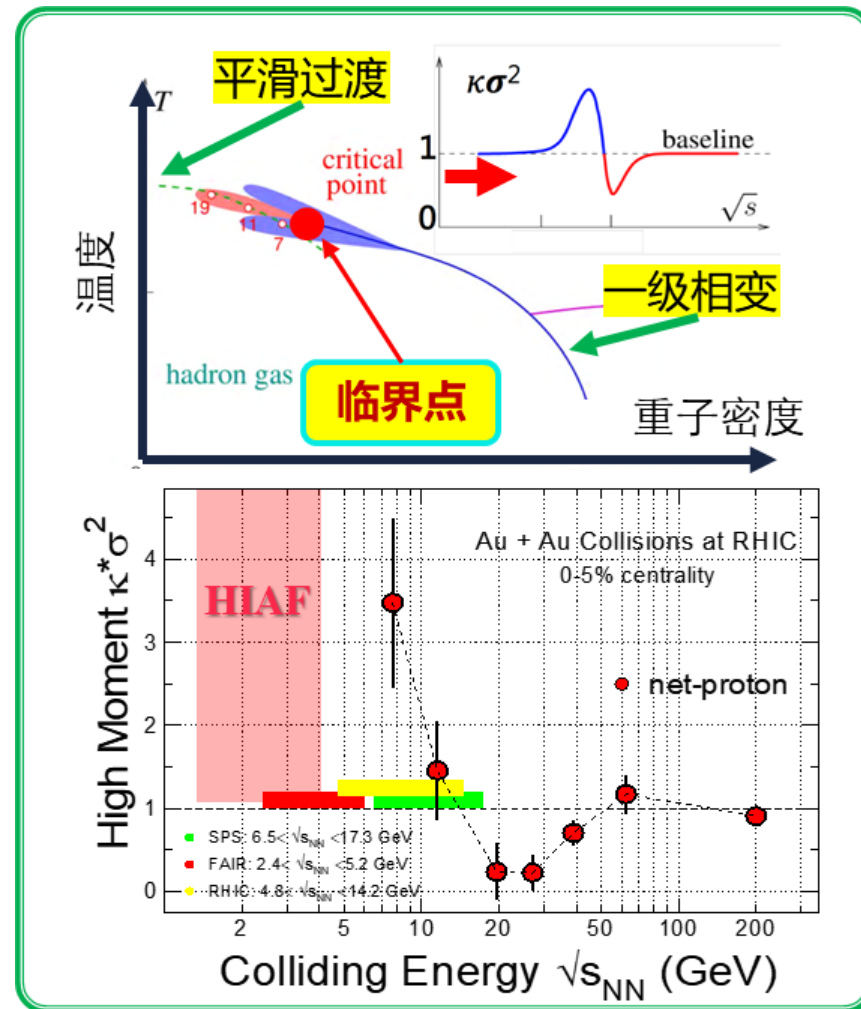
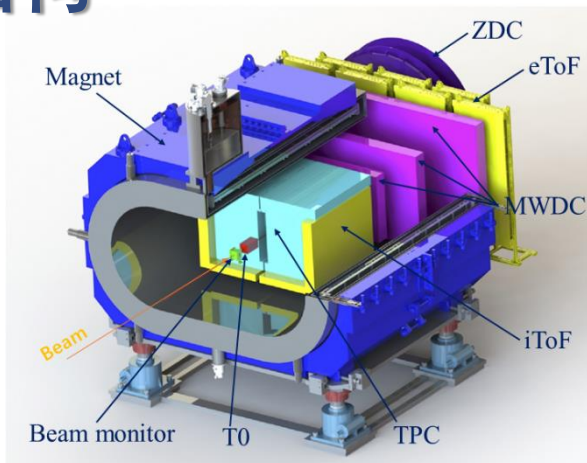
➤ 研究内容：

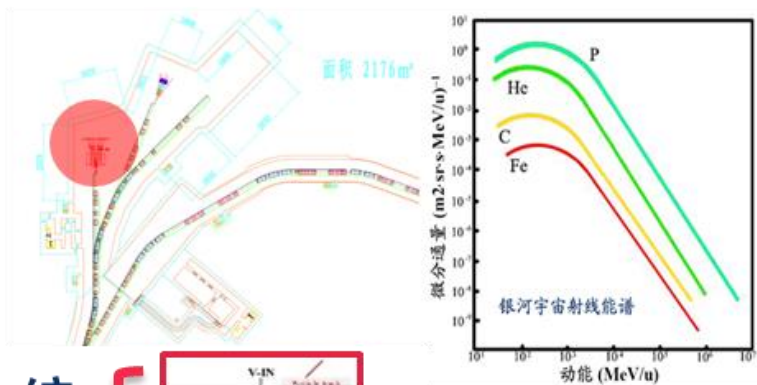
- 建造低温高密核物质测量谱仪
- 开展能量扫描测量

研究在高重子密度区核物质相结构与状态方程

➤ 核心挑战：

在HIAF能区实现相关物理量的精确测量

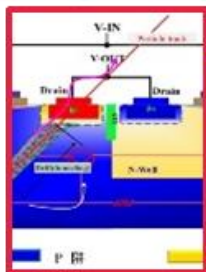




离子	p	$^{18}\text{O}^{6+}$	$^{40}\text{Ar}^{12+}$	$^{78}\text{Kr}^{19+}$	$^{129}\text{Xe}^{27+}$	$^{238}\text{U}^{35+}$
能量 (MeV/u)	9300	2600	300	1750	1400	835
离子数 (ppp)	6.0×10^{12}	6.0×10^{11}	5.0×10^{11}	3.0×10^{11}	1.8×10^{11}	1.0×10^{11}

经费：~2000万元
自筹+用户投入

综合辐照效应终端



高能重离子单粒子效应试验平台

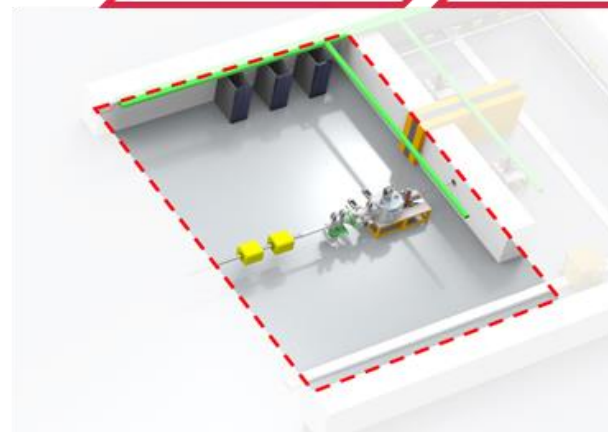


综合辐射场试验平台
(质子打靶产生复杂场)

2023年
终端设计

2024年
加工建造

2025年
安装调试



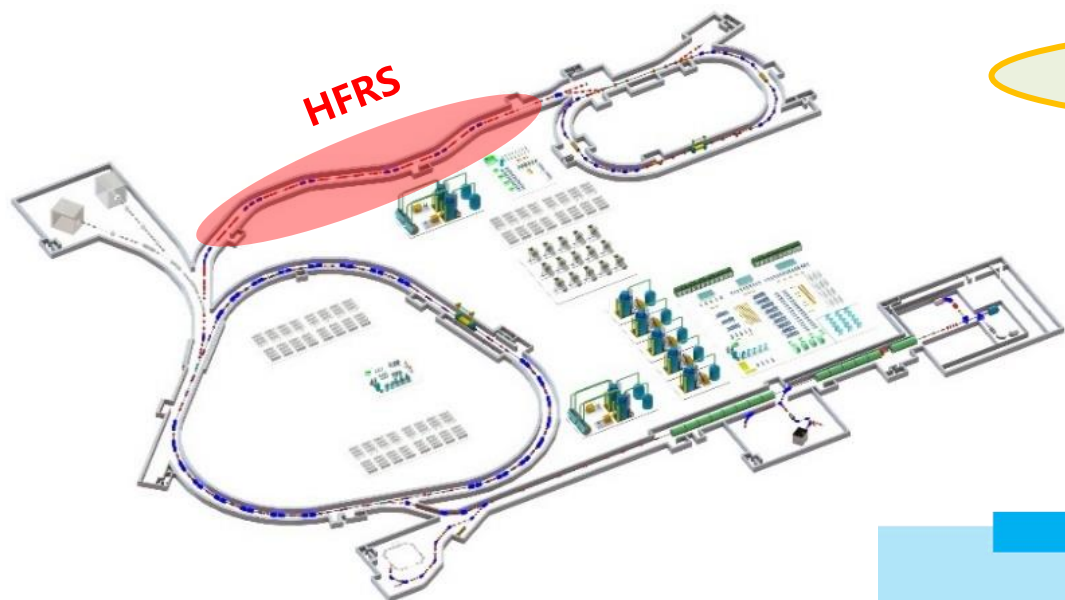
单粒子效应平台设计图



综合辐射场平台设计图

评估3D堆叠SiP器件、倒封装器件、系统级组件、整机等单粒子效应
整机和小卫星空间运行环境的综合、复杂辐射场模拟

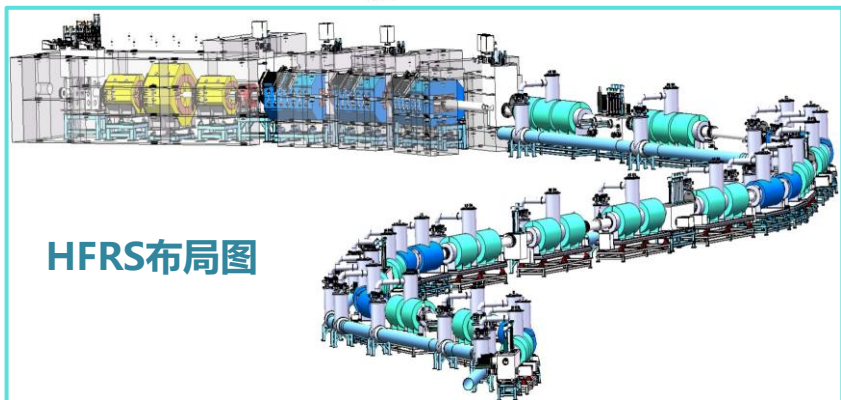
HFRS: High-energy FRagment Separator



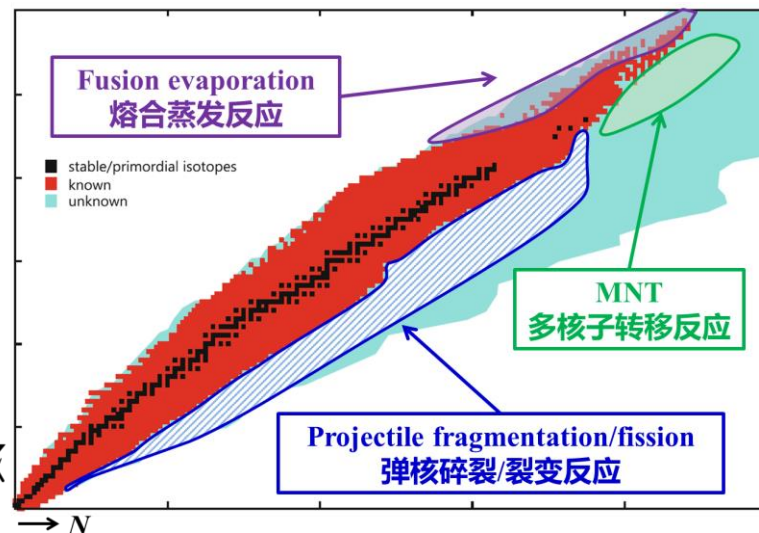
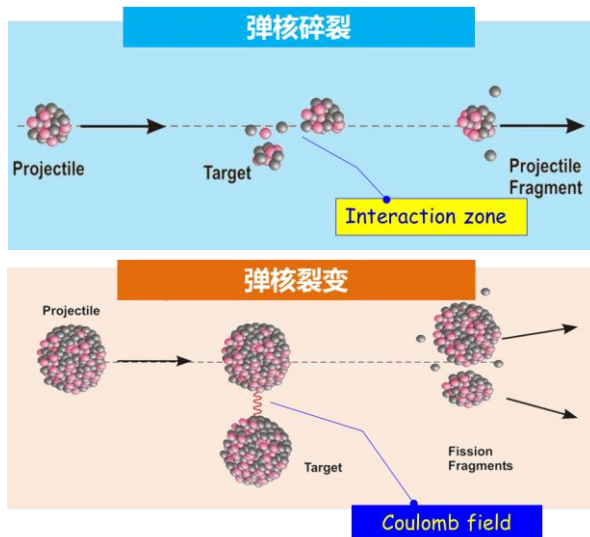
新一代In-Flight型放射性束装置

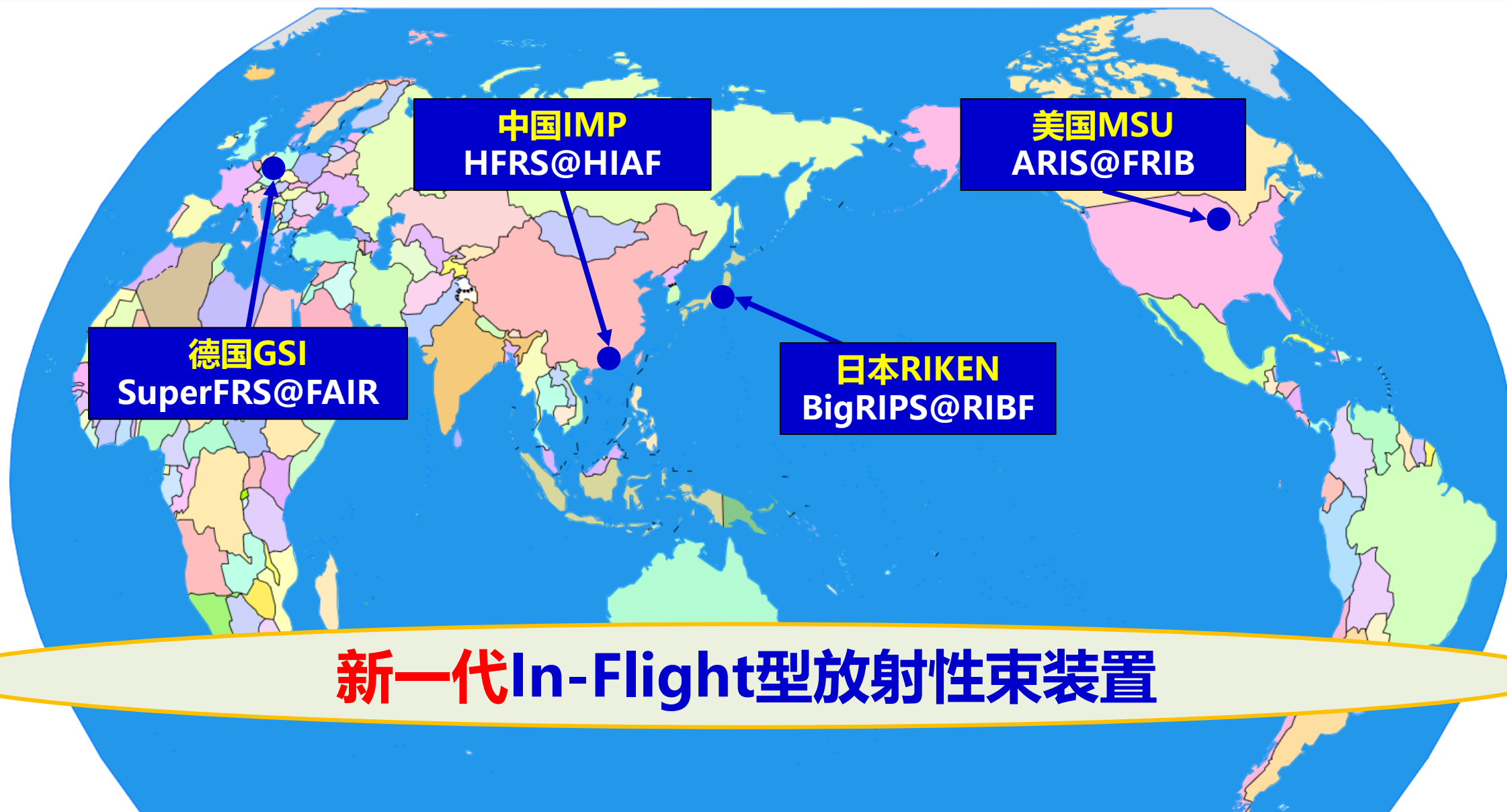
主要目标:

- 产生极远离稳定线的中重质量核素
- 提供国际上能量最高的放射性束流

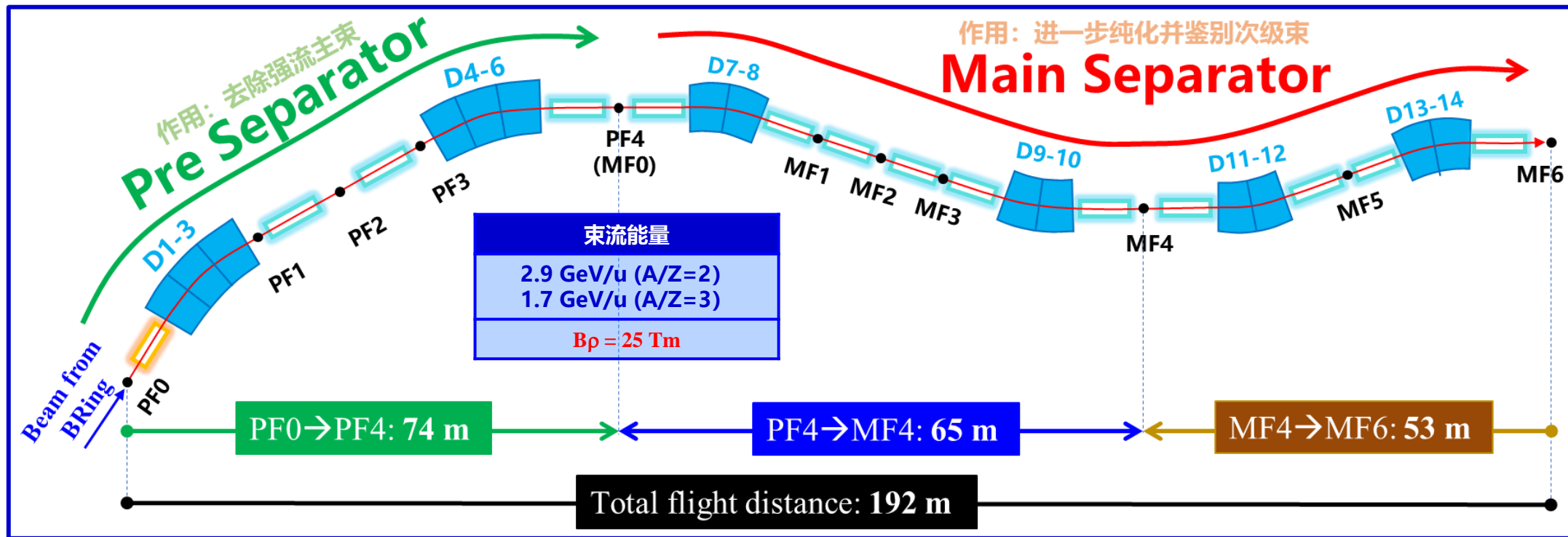


HFRS布局图



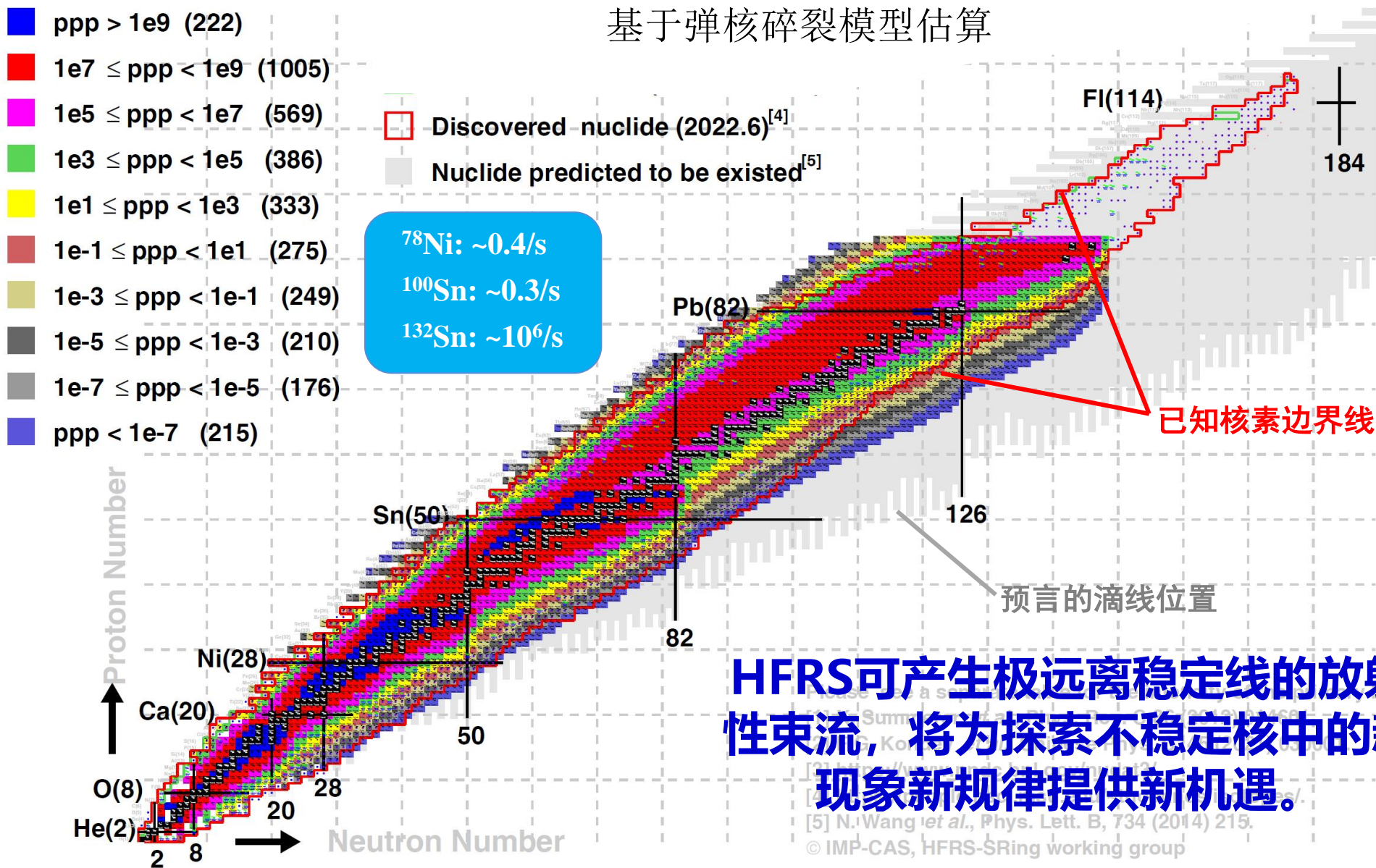


新一代In-Flight型放射性束装置



装置	长度 (m)	角接收度 (mrad)	动量接收度 (%)	分辨本领	最大磁刚度 (Tm)
HFRS	191.8	± 30 (X); ± 15 (Y)	± 2.0	850/1100	25
SuperFRS	182.2	± 40 (X); ± 20 (Y)	± 2.5	750/1500	20
BigRIPS	78.2	± 40 (X); ± 50 (Y)	± 3	1260/3420	9.5
ARIS	86.8	± 40 (X); ± 40 (Y)	± 5	1720/3000	8

基于弹核碎裂模型估算

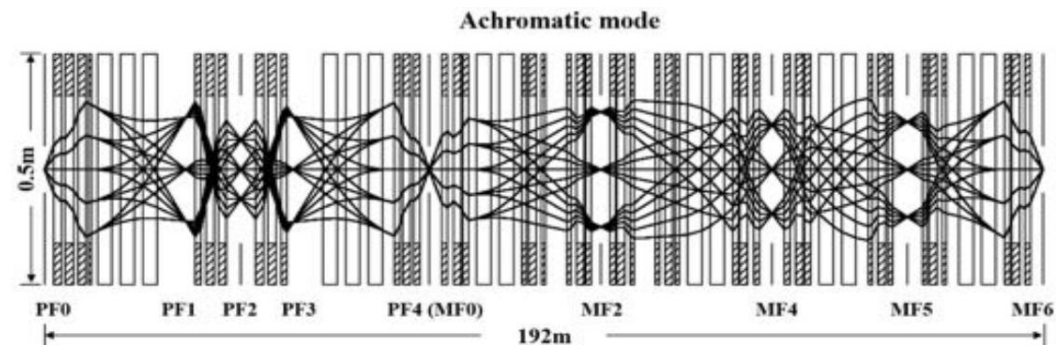
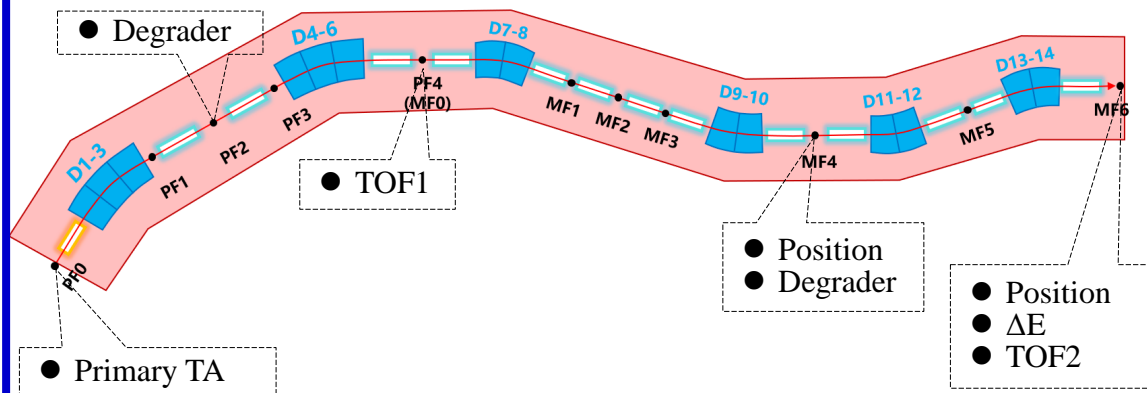


HFIRS可产生极远离稳定线的放射性束流, 将为探索不稳定核中的新现象新规律提供新机遇。

[5] N. Wang et al., Phys. Lett. B, 734 (2014) 215.

标准模式: 消色差模式

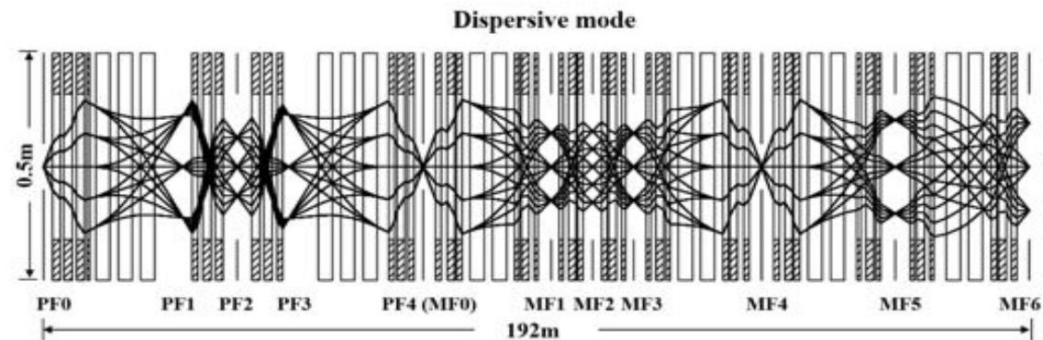
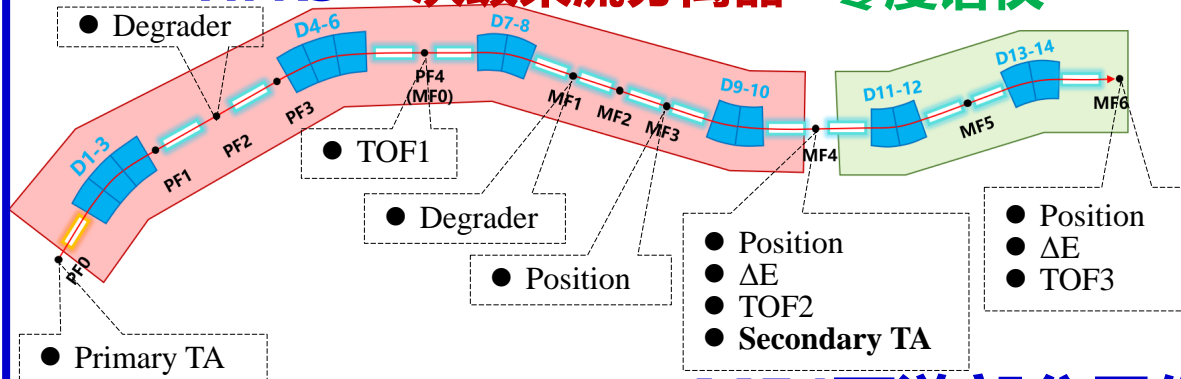
HFRS = 次级束流分离器



HFRS整体作为次级束流分离器

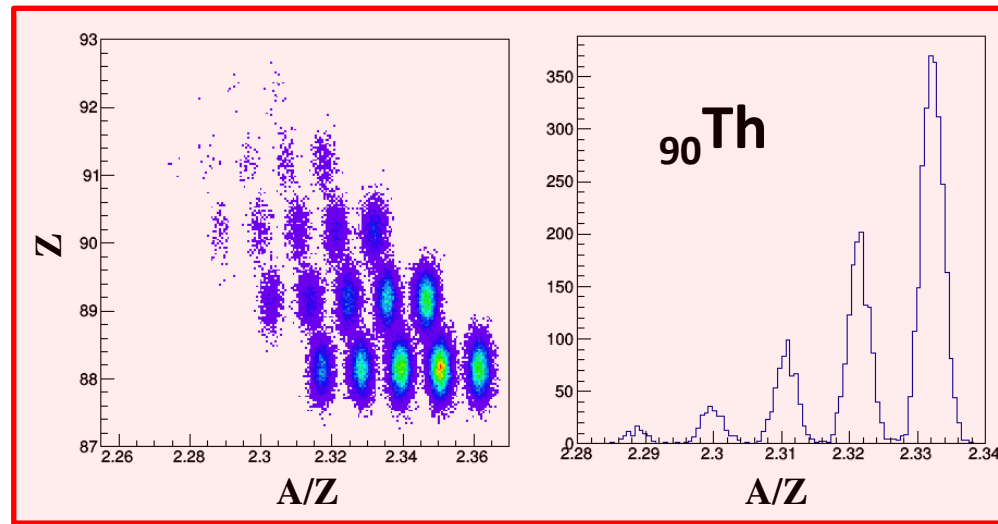
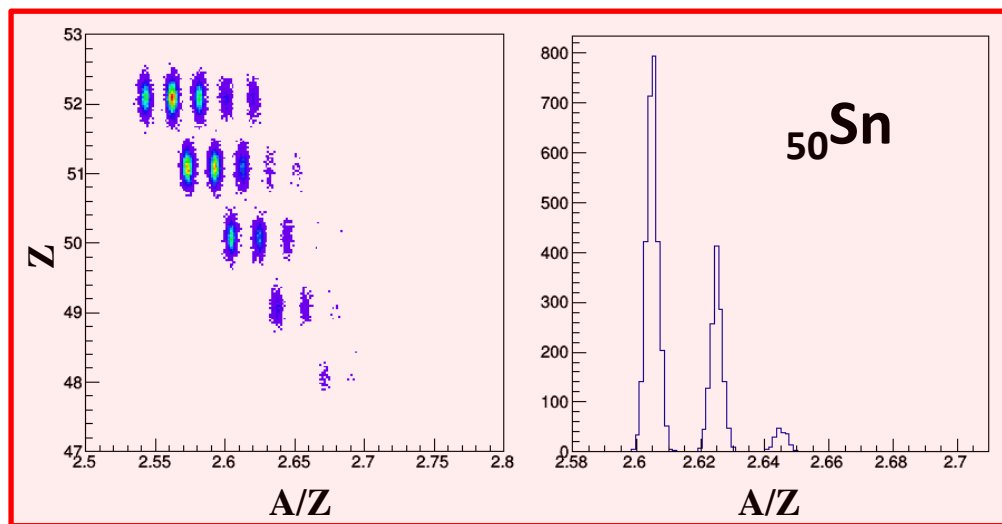
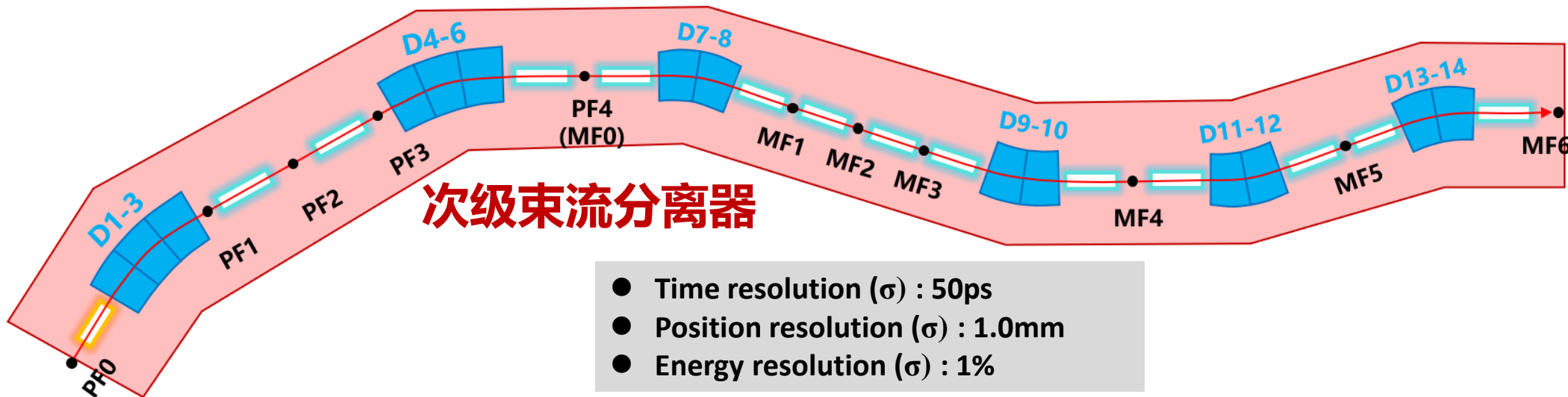
谱仪模式: 色散模式

HFRS = 次级束流分离器 + 零度谱仪



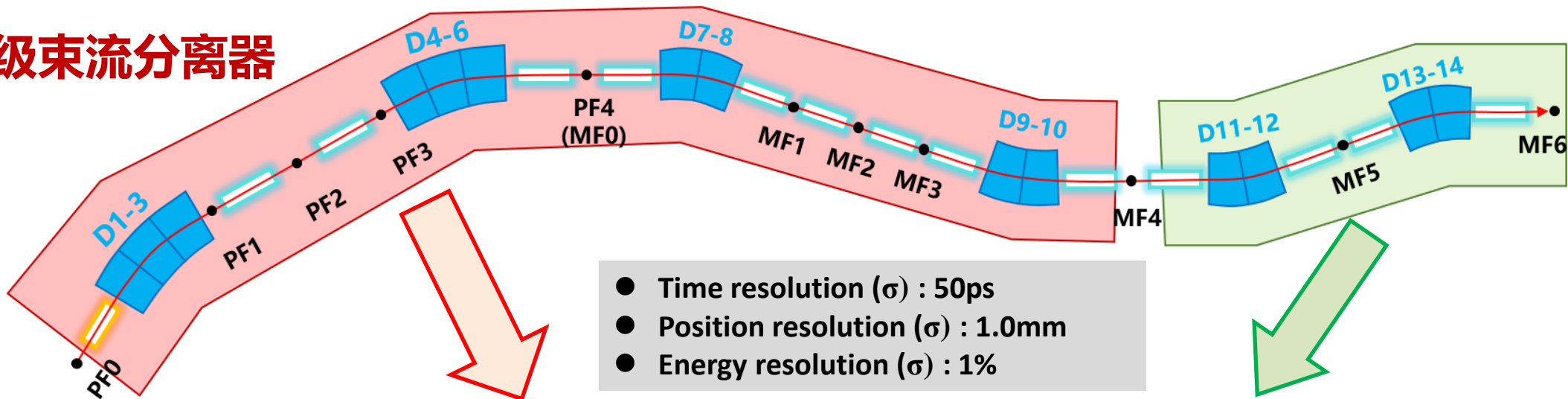
MF4下游部分用作次级反应磁谱仪

标准模式下HFERS粒子鉴别能力



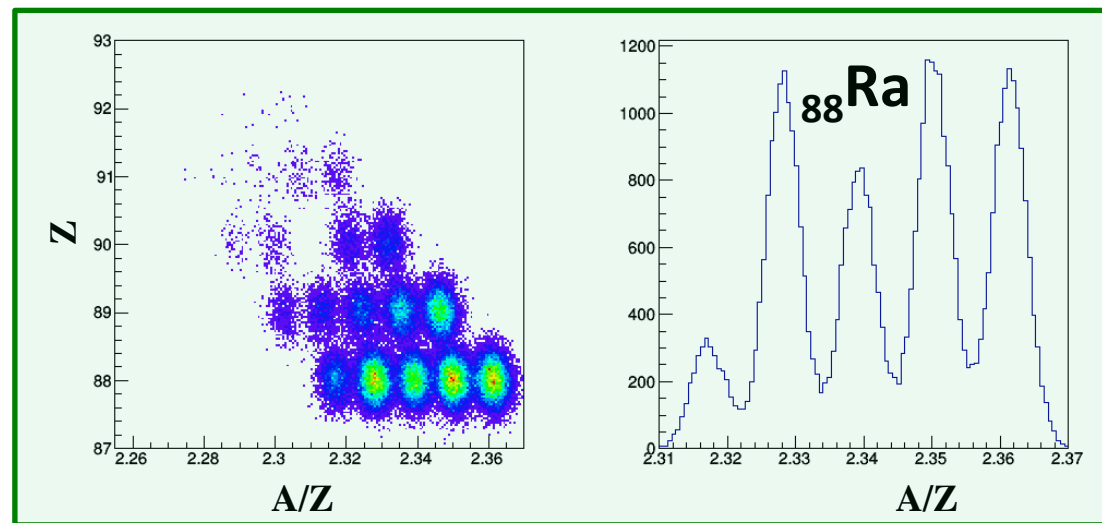
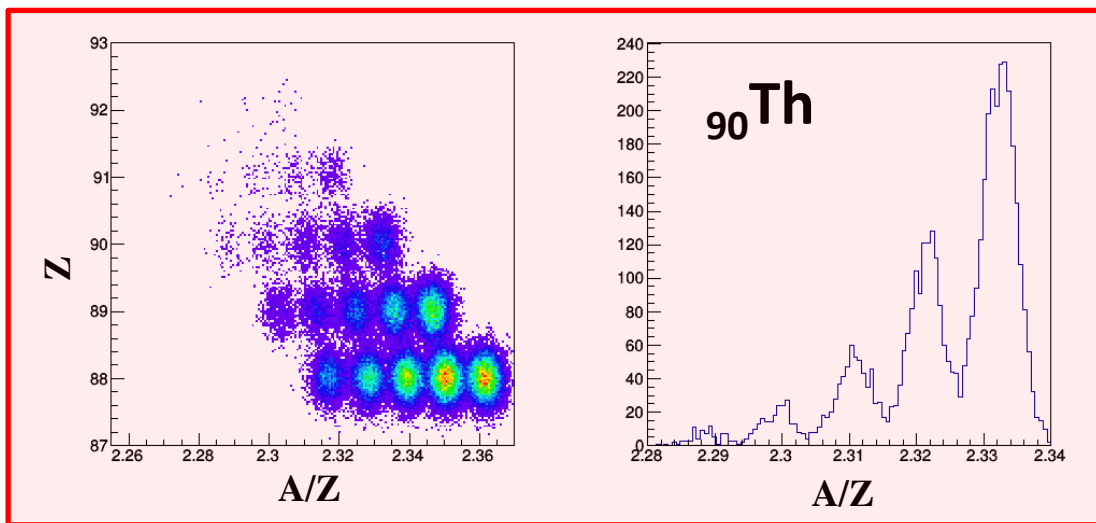
谱仪模式下HFERS粒子鉴别能力

次级束流分离器

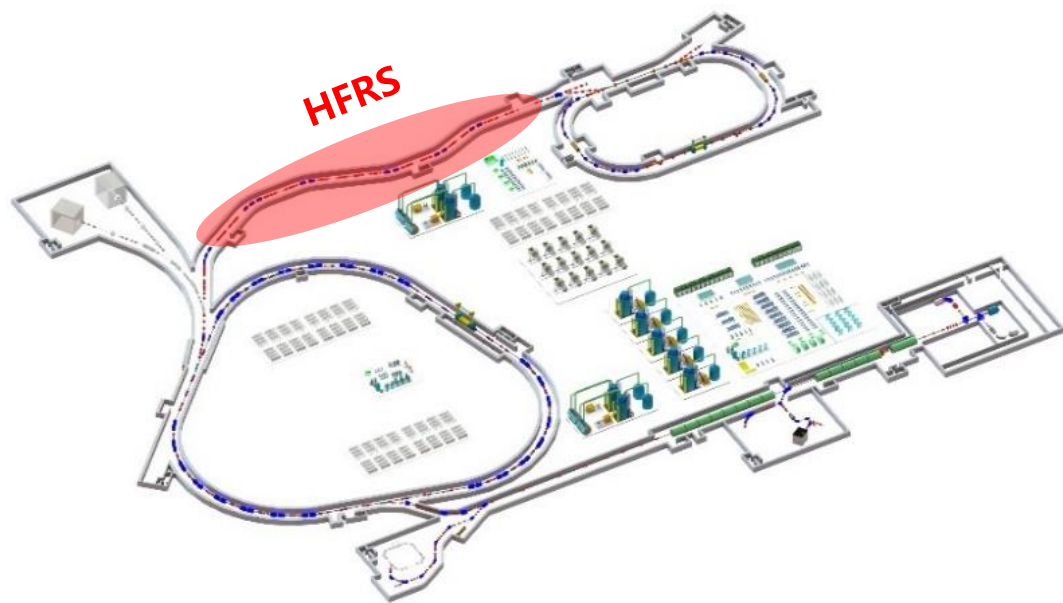


零度谱仪

- Time resolution (σ) : 50ps
- Position resolution (σ) : 1.0mm
- Energy resolution (σ) : 1%



HFRS: High-energy FRagment Separator



物理研究课题 @HFRS

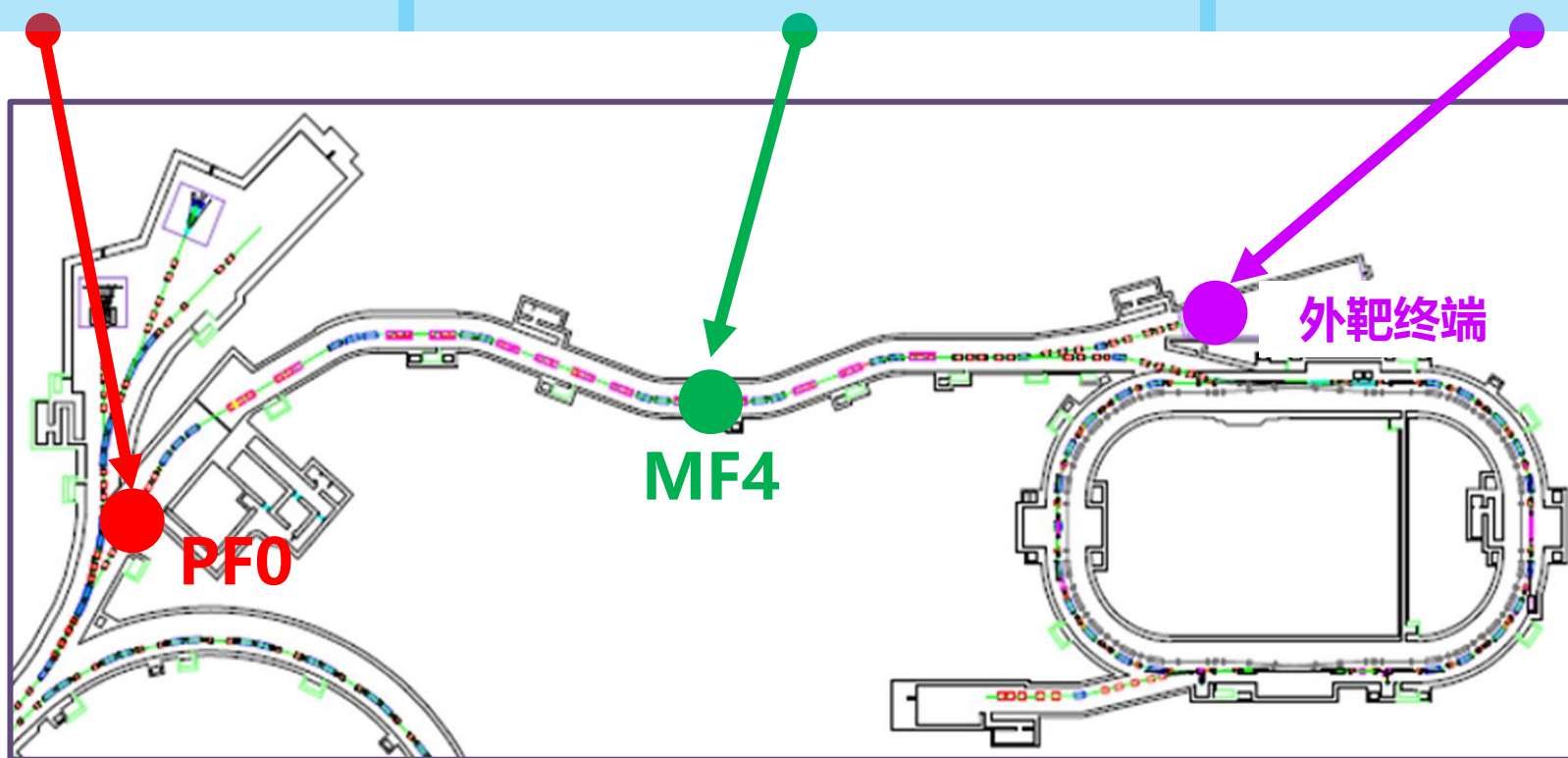
1. 产生并鉴别 ^{208}Pb 东南区新核素 (^{208}Pb 和 ^{238}U 弹核碎裂反应)
2. 探索至Ni同位素中子滴线位置 (Kr和Xe弹核碎裂反应)
3. 利用飞行中 ^{238}U 核裂变产生并鉴别新核素
4. 利用两步反应产生并鉴别新核素
5. 产生并鉴别丰中子新超核
6. 研究核子之间的张量力效应
7. 非束缚原子核飞行中粒子发射
8. 核物质分布半径测量 (Interaction cross sections)
9. 原子核电荷分布半径测量 (Charge changing cross sections)
10. 利用电荷交换反应测量快中子俘获路径上核 β 衰变强度
11. 原子核中、特别是不稳定原子核中核子激发态性质
12. 寻找丰中子原子核巨共振新模式
13. 奇特核弹性散射和转移反应研究
14.

- HFRS上可开展的课题种类多
- 建立多个国内、国际合作组

PF0初级靶实验

MF4次级靶实验

外靶终端实验

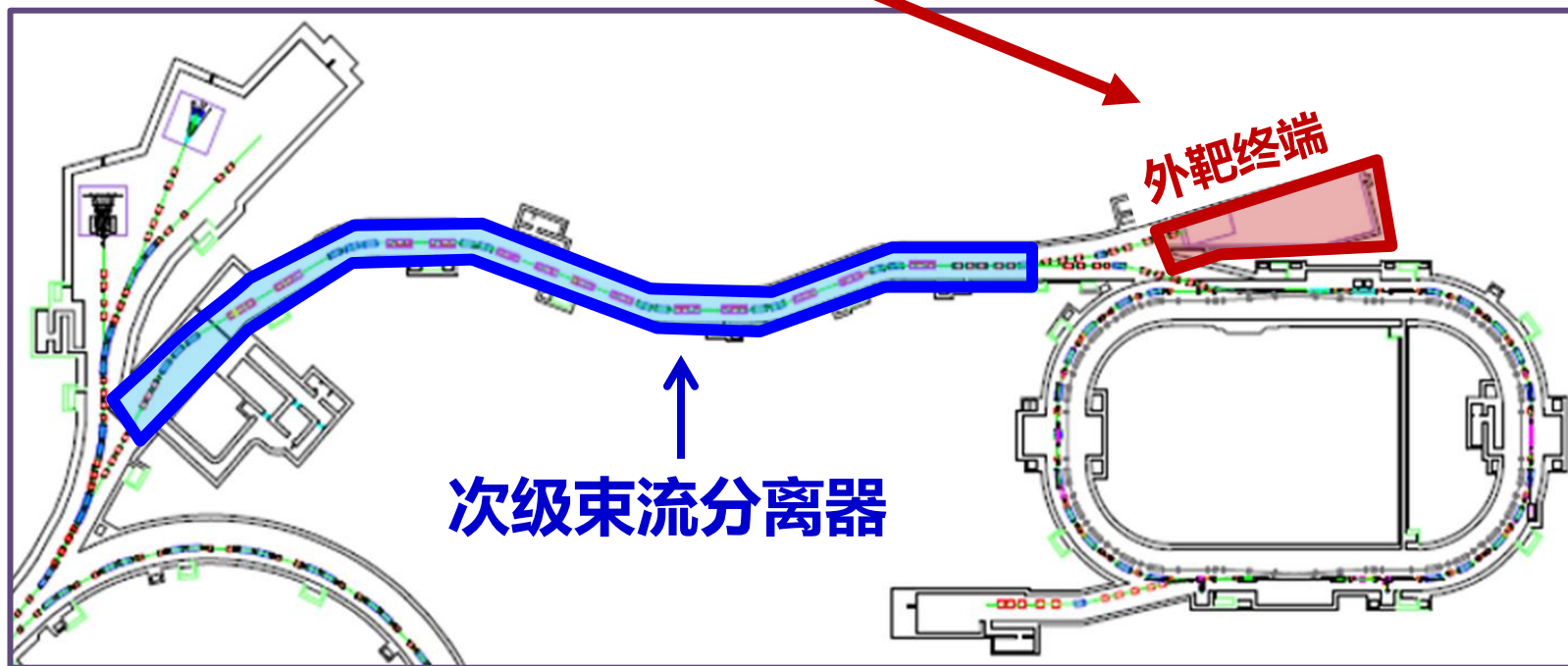


外靶终端区域拥有充足空间 (面积~400 m²) ,
将来可建造多种实验装置、开展多种类型的物理实验

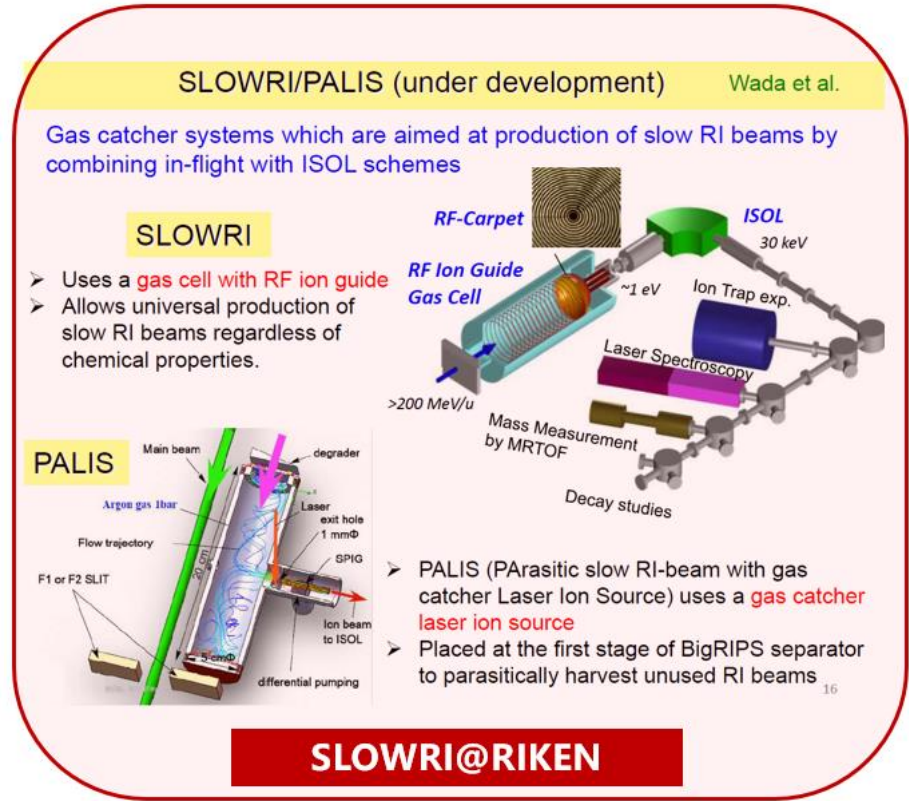
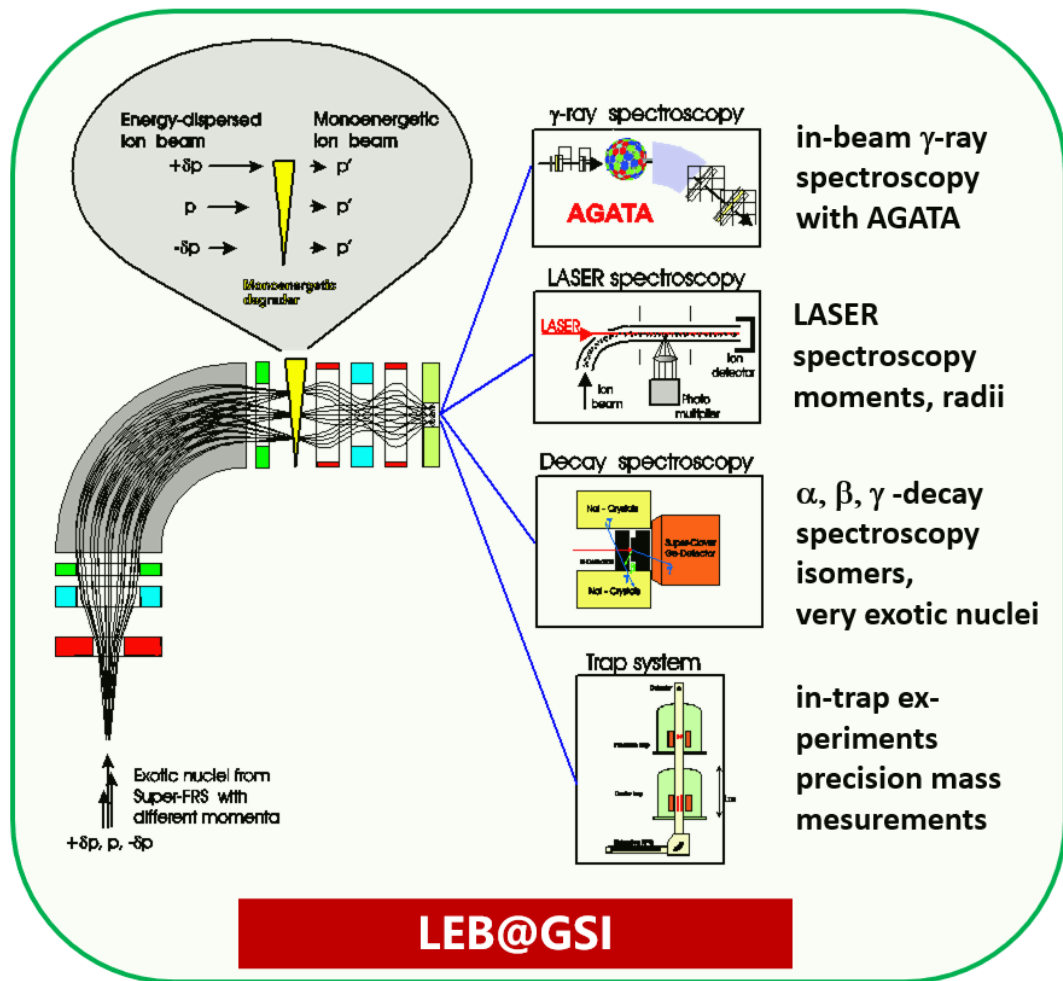
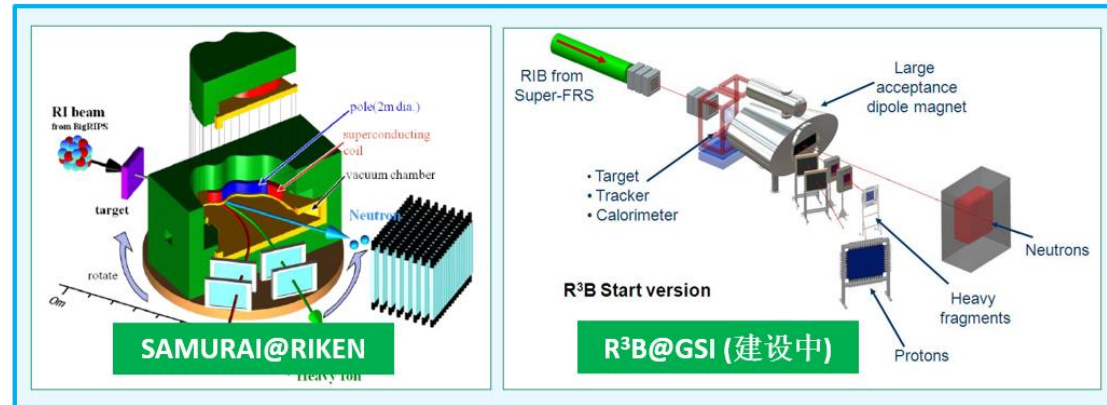
大接收度谱仪装置
(高能放射性束反应实验)

束流慢化+低能实验装置
(低能放射性束反应实验)

束流阻停+衰变及离子操纵装置
(衰变、离子操纵实验)

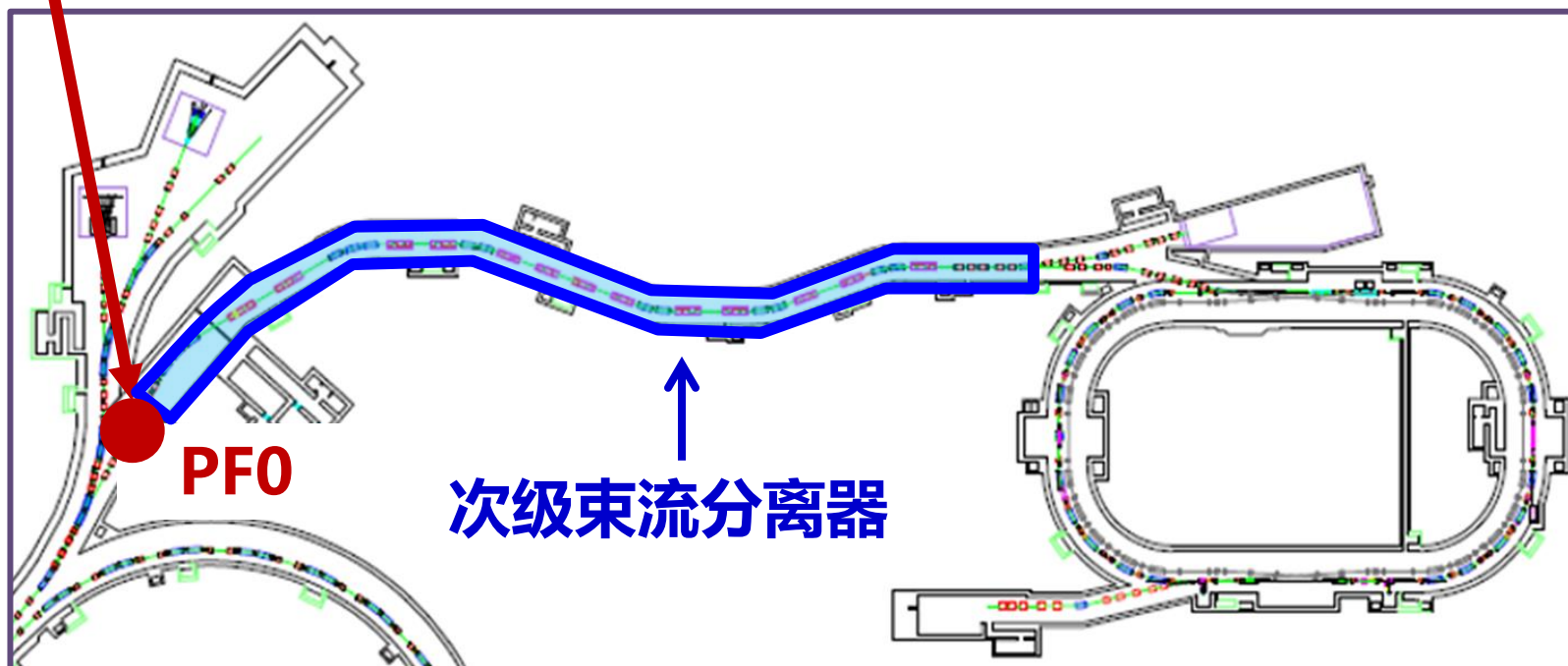


国际上的高能、慢化、阻停实验装置



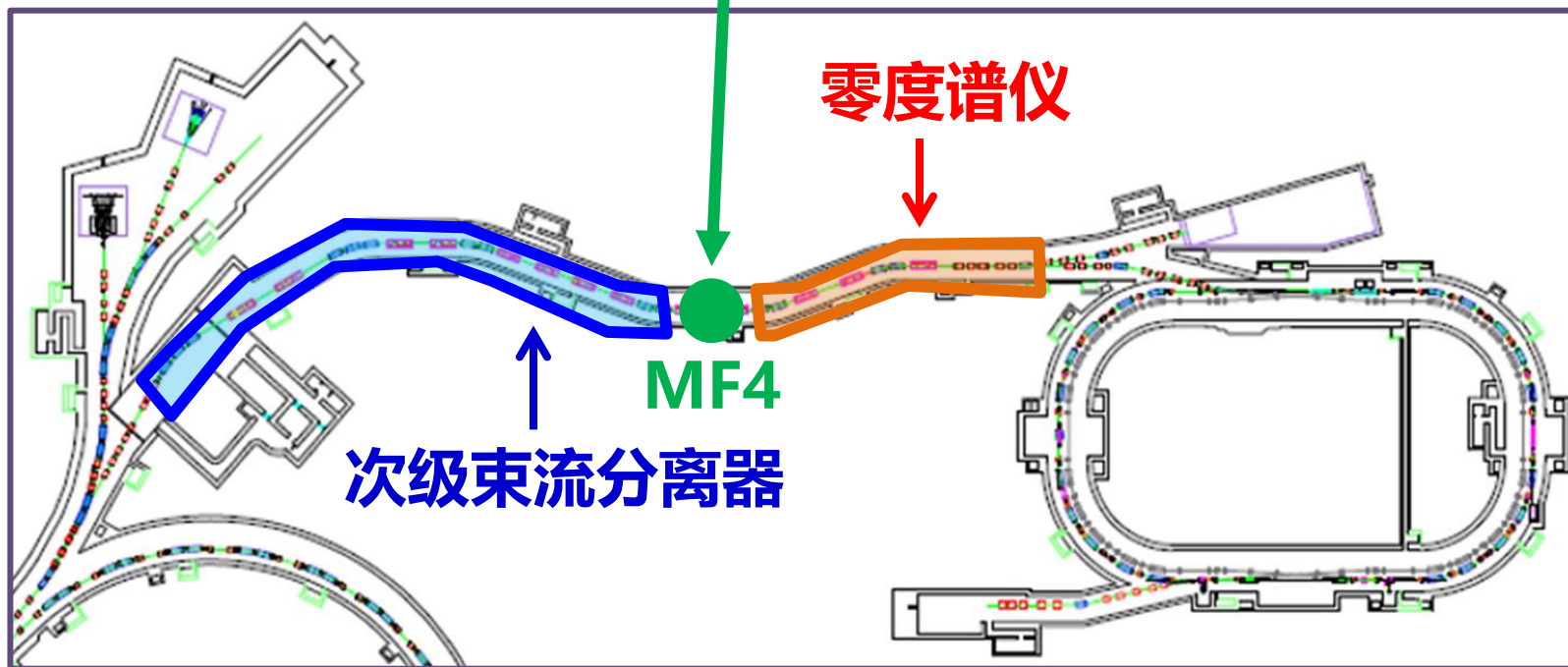
基于HFIRS的碎片分离束线功能, 结合束线探测器可开展的实验研究:

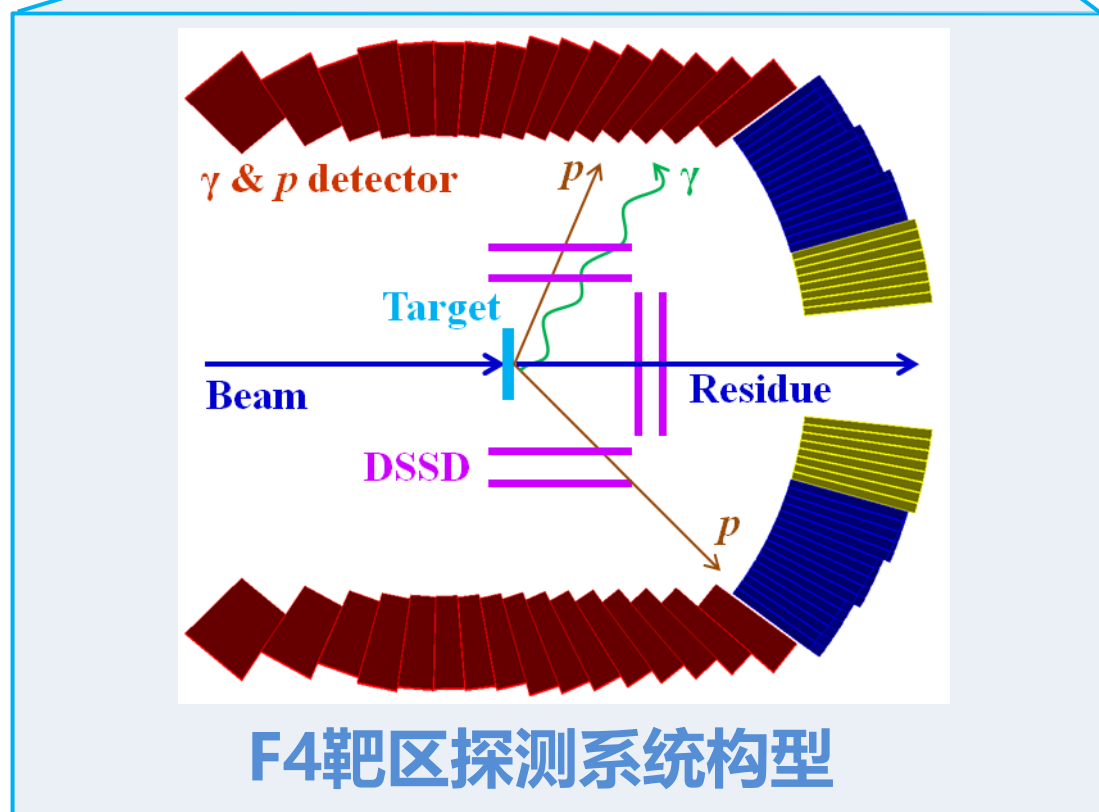
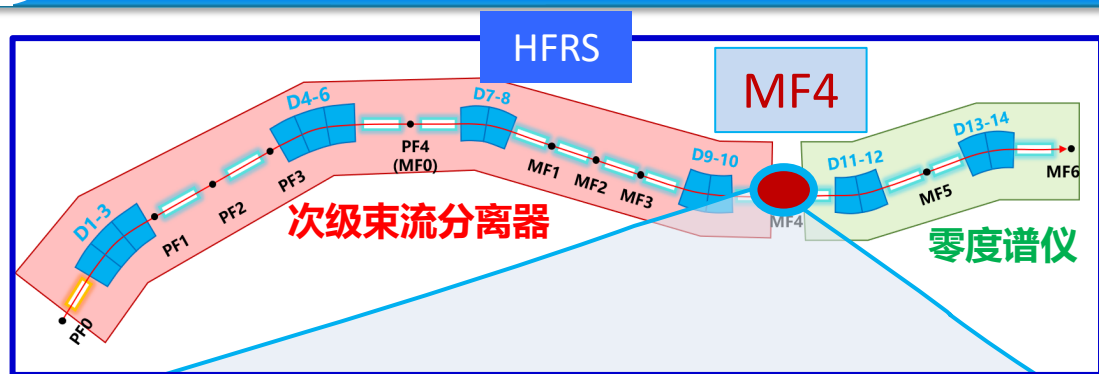
- RIB production mechanism (fragmentation cross section / two-step reaction / ...)
- Discovery of new isotope
- Mass measurement of extremely short-lived nuclei
-



利用HFRS的PF0-MF4部分作为碎片分离束线及MF4-MF6作为零度谱仪，结合新建造的探测装置，可开展多种类型的物理实验：

- Interaction cross section → nuclear radii and matter distribution, halo and skin structures
- Knockout/Quasifree knockout → single-particle structures, unbound states/nuclei, clusters
- Charge change/exchange → Gamow-Teller strength, spin-dipole resonance, neutron skins
-





- New magic numbers
- Shell evolution
- Shape coexistence
- halos
-

① MF4-MF6谱仪: 类弹产物测量

- Interaction/Fragmentation cross section
- Knockout (inclusive cross section + momentum distr.)
- Charge exchange
-

② CsI阵列: 在束γ谱测量

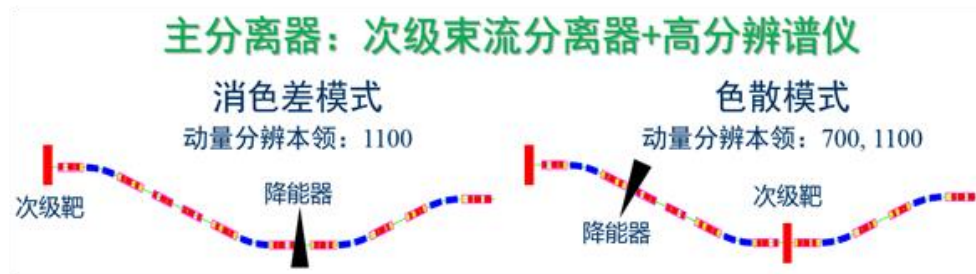
- Spectroscopy of nuclei at limits → E(2⁺), E(4⁺), ...
- Knockout (exclusive cross section + momentum distr.)
- Inelastic/Coulomb excitation → B(E2)
-

③ CsI阵列+DSSD阵列: 轻带电粒子ΔE, E, 径迹

- Quasi-free scattering
- Missing mass → unbound states
- Reaction mechanism of knockout/quasi-free/...
-

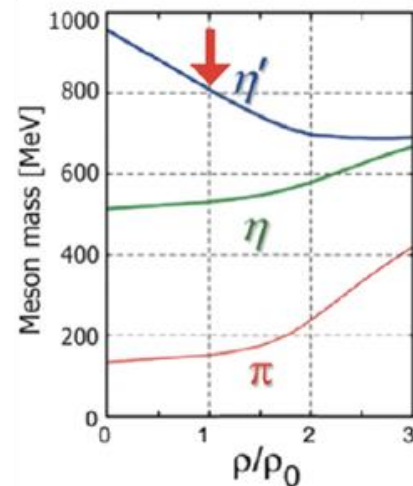
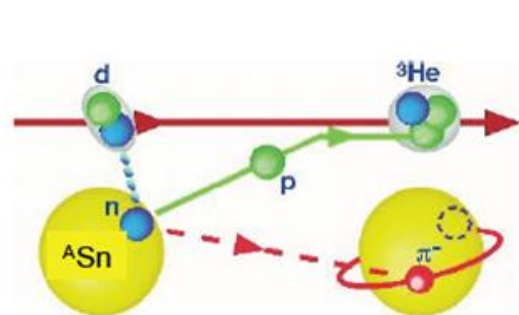
HIAF的特点和优势:

- 最高磁刚度 $B\rho=25\text{ Tm}$, 产生高能放射性束流
- 高分离本领, 能够产生从氢到铀的全裸离子
- 不同束流光学设置, 提供多种工作模式



$B\rho=25\text{ Tm}$: 独特实验

- 原子核中核子激发态性质
- 合成丰中子新超核
- 丰中子核的新巨共振模式
- 介子-原子核束缚系统谱学





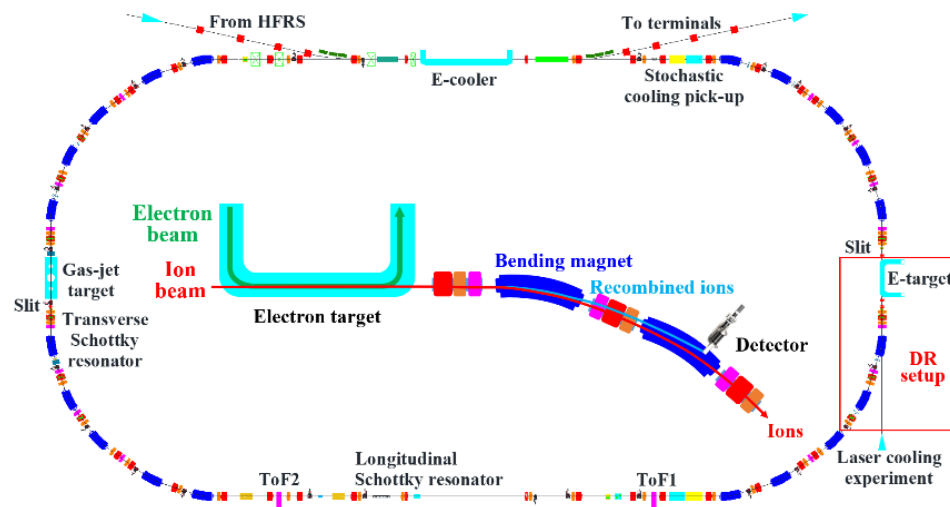
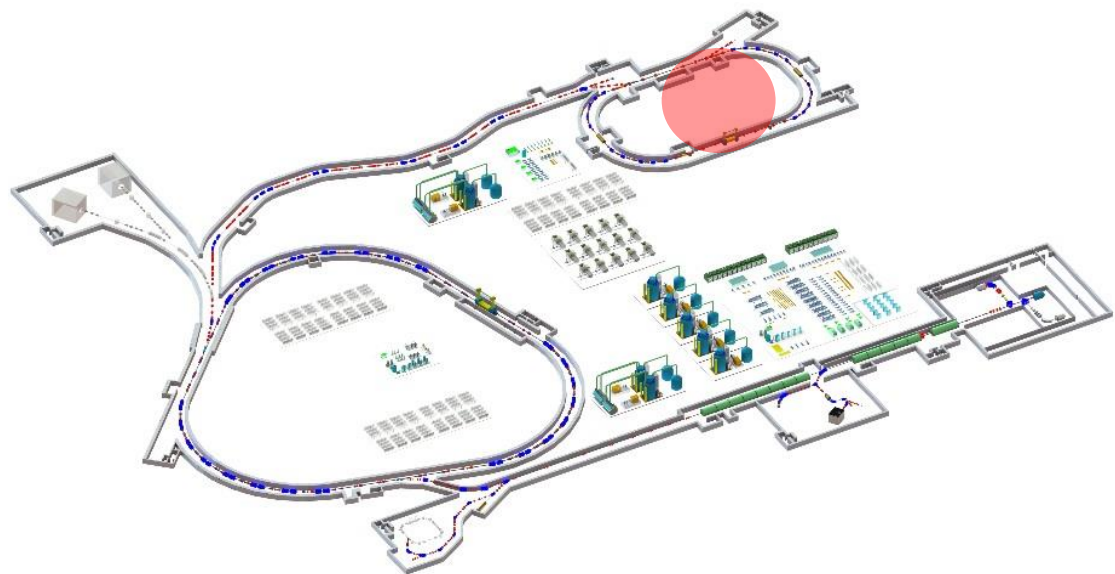
初级靶、降能器、束诊探测器、电子学等研制

	实验设备名称	技术和样机研制进展
(1)	石墨靶样机研制	完成设计、制造、以及传和热性能测试
(2)	降能器、狭缝样机研制	初步完成设计，制造了样机，正在进行测试
(3)	飞行时间探测器样机研制	<ul style="list-style-type: none"> • (基本版) 完成塑闪样机设计、加工、测试 • (升级版) 完成小面积金刚石探测器研制，正在研制大面积探测器
(4)	束线位置探测器样机研制	<ul style="list-style-type: none"> • (基本版) PPAC、MWDC样机，完成了研制 • (升级版) GEM-TPC样机，确定了研制方案，正在进行模拟和设计
(5)	束线能损探测器样机研制	<ul style="list-style-type: none"> • (基本版) MUSIC探测器，利用已有样机，验证了读出方案 • (升级版) 完成氙闪烁光探测器设计和部件加工，正在进行测试、组装
(6)	电子学及数据获取系统	<ul style="list-style-type: none"> • 研制了基于NINO、PADI芯片的金刚石读出电子学 • 完成GEM-TPC电子学及获取512路硬件研制，正在与获取系统联测 • 完成了利用外部时钟（40MHz）同步两个VME机箱测试

ΔE 测量：MUSIC或氙闪烁光探测器； **ToF测量**：金刚石探测器； **$B\rho$ 测量**：GEM-TPC

快引出: Repetition rate 3 Hz; 50~200ns/pulse length

HFRS: 产生、分离目标核素并将其注入储存环谱仪



实验测量装置:

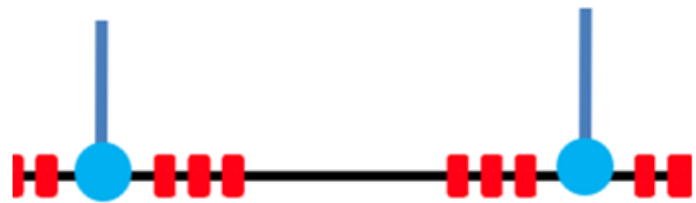
- 等时性质谱仪 (IMS)
- 电子离子复合共振谱仪
- Schottky谱仪 (SMS)
- 核反应装置

新技术:

✓ $B\rho$ - defined IMS

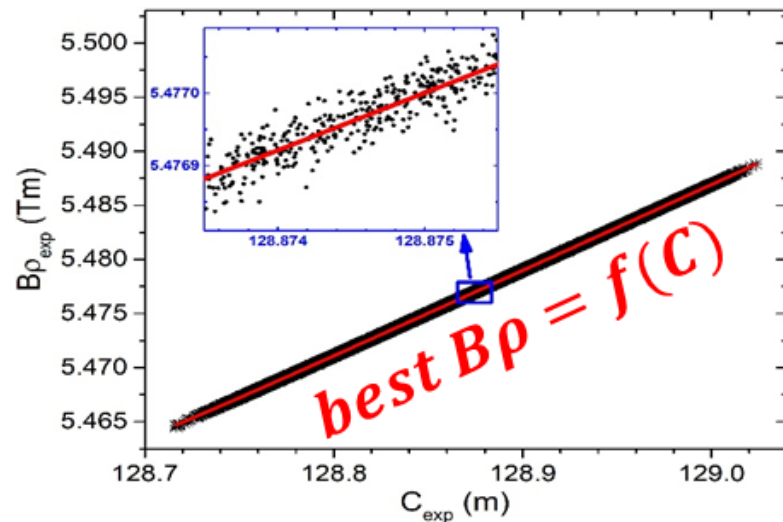
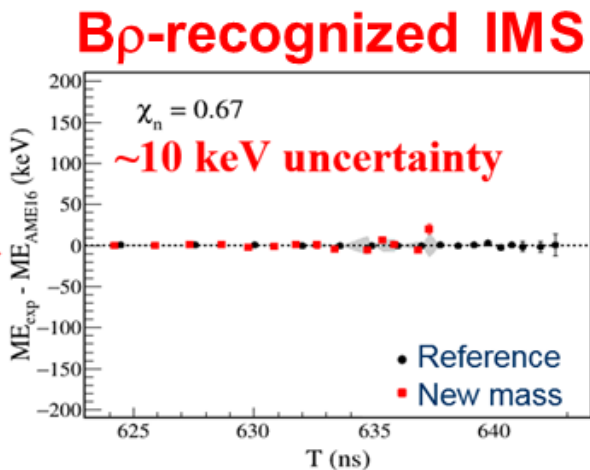
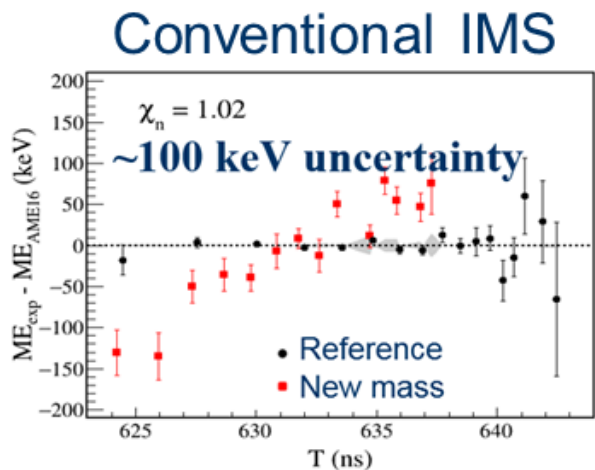
首创：Bρ - defined Isochronous Mass Spectrometry

ToF detector #1 ToF detector #2



同时循环周期 T 和速度 v , 轨道长度 $C = T \cdot v$
 利用已知质量, 拟合最佳函数 $B\rho = f(C)$

$$\text{新质量: } (m/q)_i^{exp} = \frac{f(C_{exp}^i)}{(\gamma v)_i^{exp}}$$

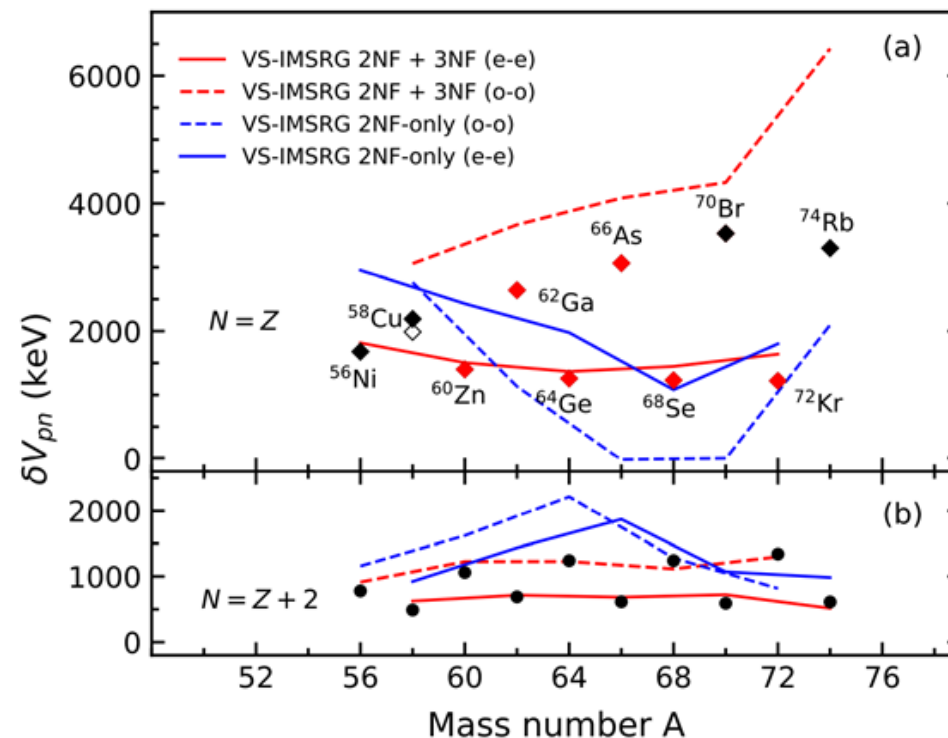
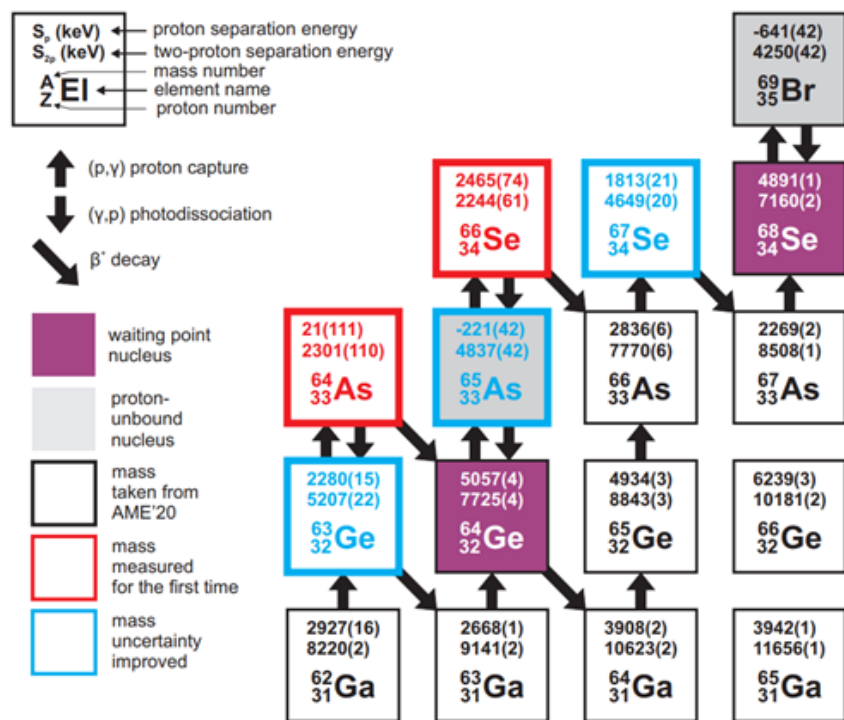


最先进的储存环质谱术：高精度；消除系统误差；
 宽频谱测量；单离子灵敏；零本底；可用于短寿命

等时性质谱术进入~keV时代！

➤ 首次测量质量： ^{62}Ge , ^{64}As , ^{66}Se , 和 ^{70}Kr

➤ 提高质量精度： ^{58}Zn , ^{61}Ga , ^{63}Ge , ^{65}As , ^{67}Se , ^{71}Kr 和 ^{75}Sr



X射线暴中核过程；约束中子星性质

Nature Physics

Phys. Rev. Lett.

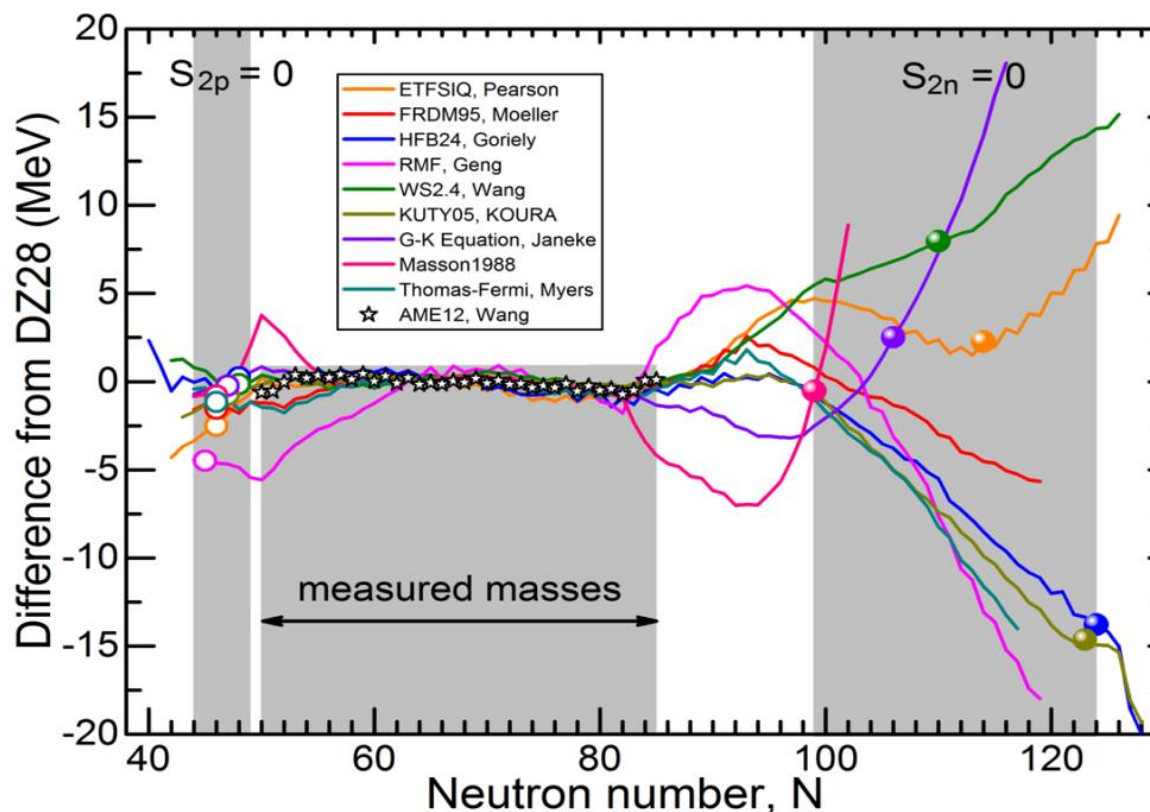
储存环物理

实验测量：

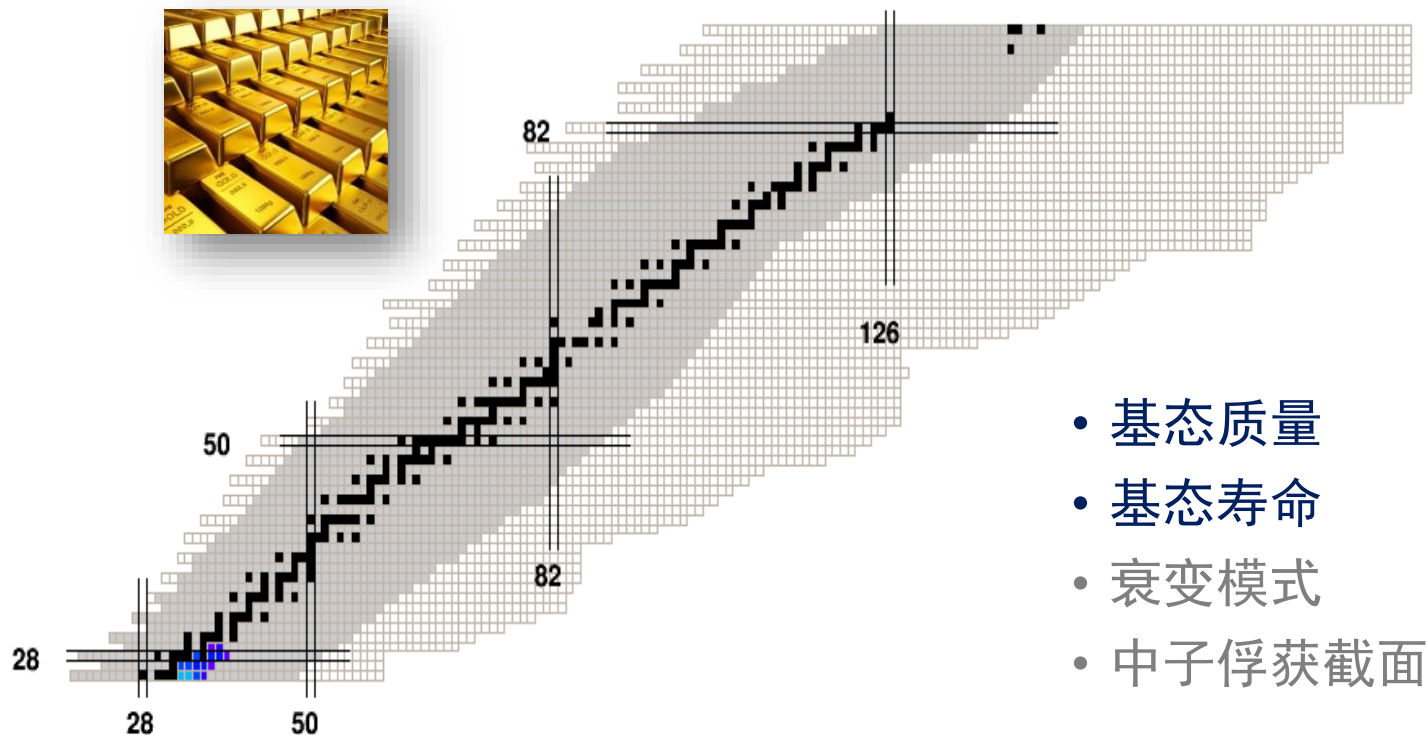
- 高精度原子核质量测量
- 原子核寿命测量
- 奇特衰变模式

物理目标：

- 确定质子、中子滴线位置
- 研究幻数演化、发现新幻数
- 寻找高电荷态离子奇异衰变
- 模拟天体环境中核过程



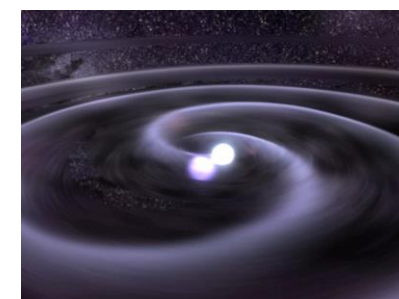
本世纪13个物理难题之一：宇宙中从铁到铀重元素来源？



- 基态质量
- 基态寿命
- 衰变模式
- 中子俘获截面



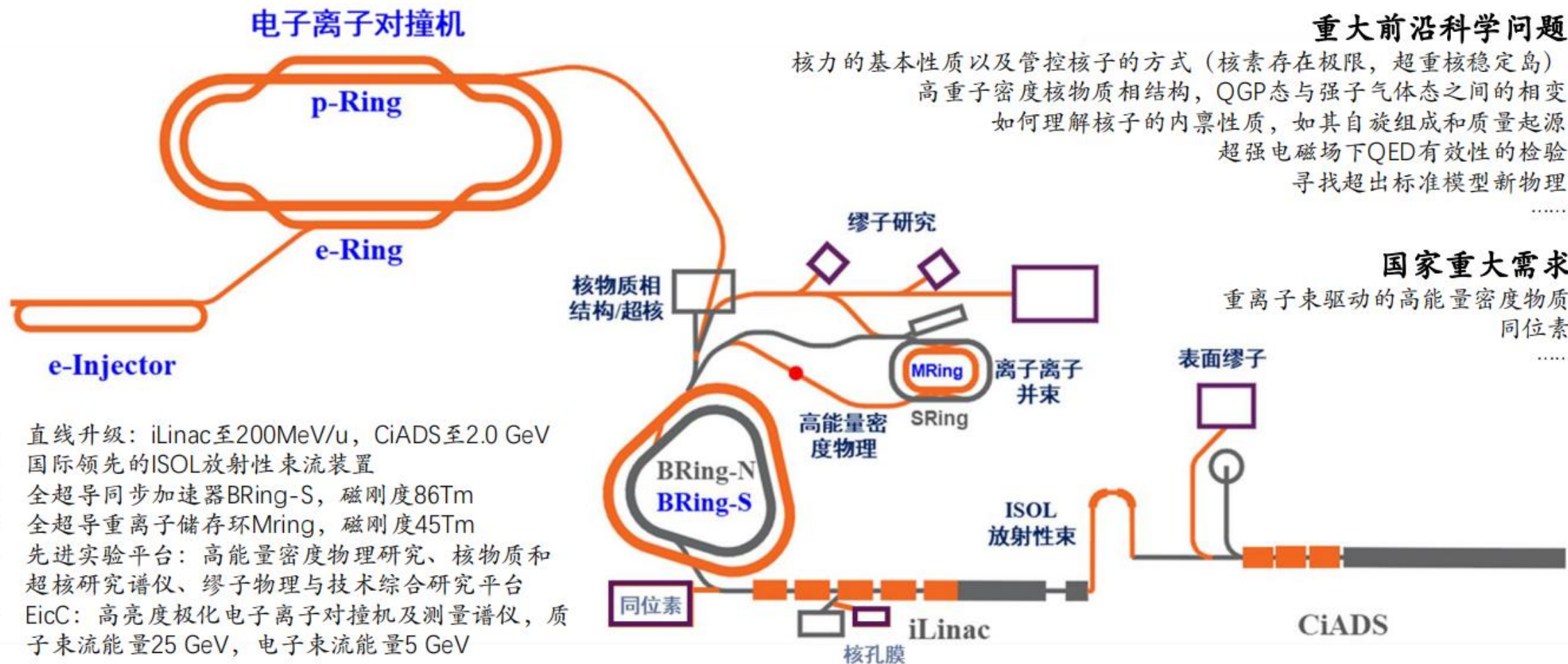
Core collapse supernovae



Merging of two neutron stars

比较天体模型计算的元素丰度与测量丰度，研究r过程发生的天体环境和场所

惠州核科学研究中心



重大前沿科学问题

核力的基本性质以及管控核子的方式 (核素存在极限, 超重核稳定岛)
 高重子密度核物质相结构, QGP态与强子气体态之间的相变
 如何理解核子的内禀性质, 如其自旋组成和质量起源
 超强电磁场下QED有效性的检验
 寻找超出标准模型新物理

国家重大需求

重离子束驱动的高能量密度物质
 同位素

- 直线升级: iLinac至200MeV/u, CiADS至2.0 GeV
- 国际领先的ISOL放射性束流装置
- 全超导同步加速器BRing-S, 磁刚度86Tm
- 全超导重离子储存环MRing, 磁刚度45Tm
- 先进实验平台: 高能密度物理研究、核物质和超核研究谱仪、缪子物理与技术综合研究平台
- EicC: 高亮度极化电子离子对撞机及测量谱仪, 质子束流能量25 GeV, 电子束流能量5 GeV

中国先进核物理研究装置
 (China advanced NUclear physics research Facility, CNUF)



HIAF建设进展



2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025				
Civil construction			Day One exp.							
		Electric power, cooling water, compressed air, network, cryogenic, supporting system, etc.								
ECR design & fabrication		SECR installation and commissioning								
Linac design & fabrication		iLinac installation and commissioning								
Prototypes of PS, RF cavity, chamber, magnets, etc.							fabrication	BRing installation & commissioning		
							HFRS & SRing installation & commissioning			
							Terminals installation			

- 2022年底SECR实现供束;
- 2024年底iLinac开始供束;
- 2025年4月Bring实现束流引出。

2025年底具备开展物理实验的条件





HIAF建设进展



2019.09.16





HIAF建设进展



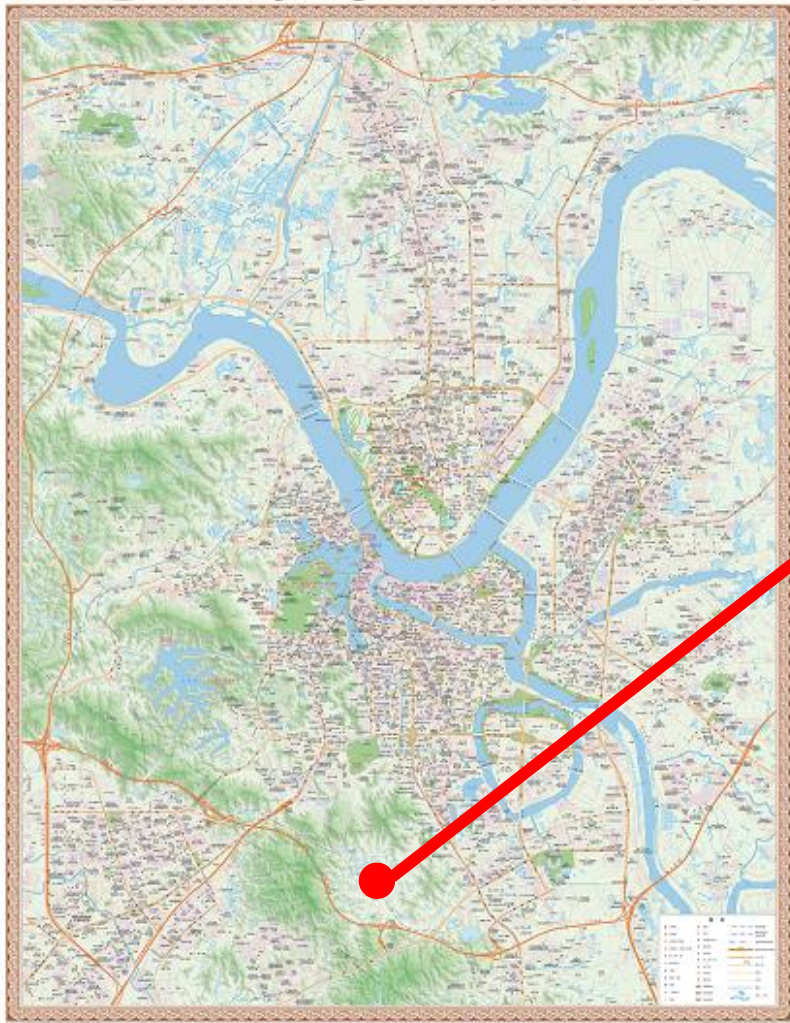
2023.10.10



中国科学院近代物理研究所惠州研究部

地址：惠州市惠城区新桥北路1号

惠州市中心城区图



效果图



总部办公区

实物照

2022.01投入使用



占地128亩，建筑面积5.2万平米



- **国家重大科技基础设施--强流重离子加速器 (HIAF) 将为我国核物理基础和应用研究提供先进的束流条件。**
- **HIAF的建设工作已在惠州全面展开，目前项目进展顺利，预期将于2025年出束。**
- **HIAF上的物理研究工作需要更多国内和国际合作者的加入，希望能在研究目标确立和相关探测设备研制等方面发挥更关键的作用。**

中科院
近代
物理
所

谢谢!