

한국 핵물리 장래계획 10년 Town Hall 미팅  
CENS/IBS, 2026년 3월 13-14일

# Exploration of the nuclear phase diagram

**Byungsik Hong**

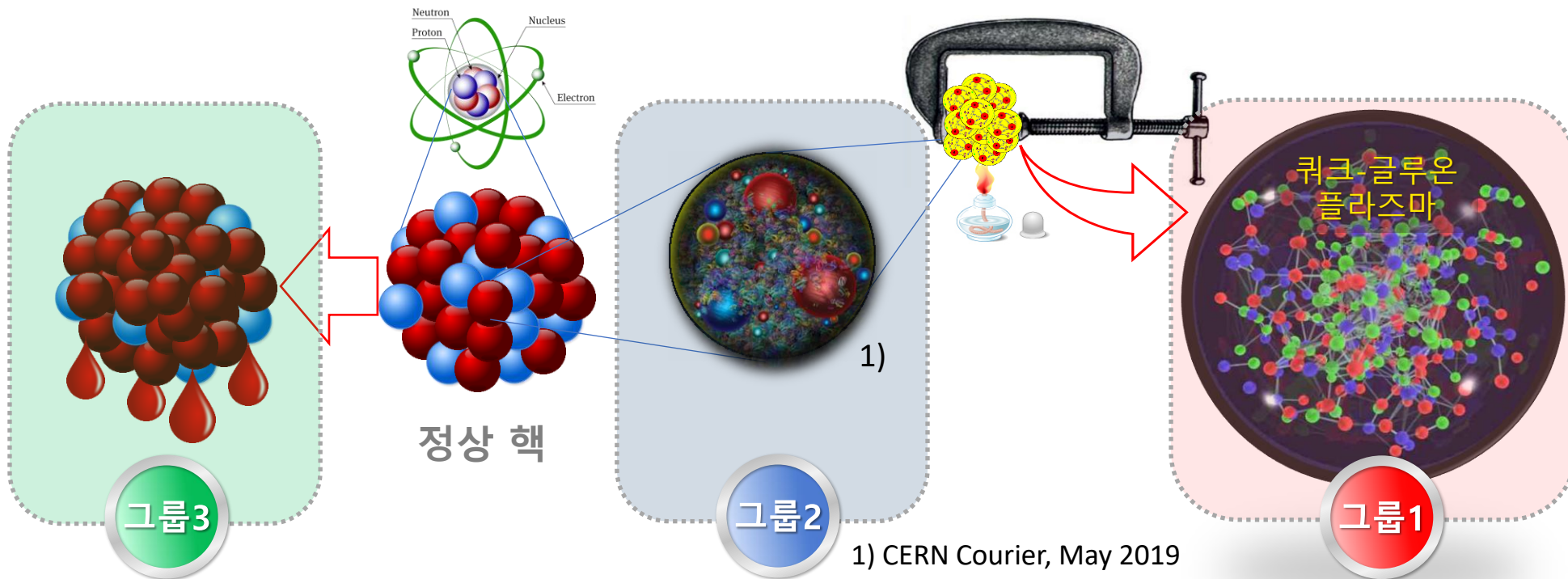
*Korea University*

# 극한 핵물리학의 연구내용

- 강한상호작용(핵력)에 의해 결합된 물질의 구조 및 특이한 동역학 연구
  - 저에너지 핵물리: 10,000개에 이르는 핵의 기원과 구조 (빅뱅 핵합성, 초신성 폭발, 중성자별의 병합: 중력파)
  - 고에너지 핵물리: 초기 우주물질(쿼크-글루온 플라즈마) 생성, 강입자화 및 진화과정  
초고온 ( $\sim 10^{13}$  K), 초고밀도 ( $> 10^{12}$  kg/cm<sup>3</sup>) 환경에서의 극한 핵물질 연구가 핵심
- 극한 핵물질의 특성을 지배하는 비섭동 양자색소역학(QCD) 이해

## CENuM 조직

● 양성자 } 핵자  
● 중성자 }

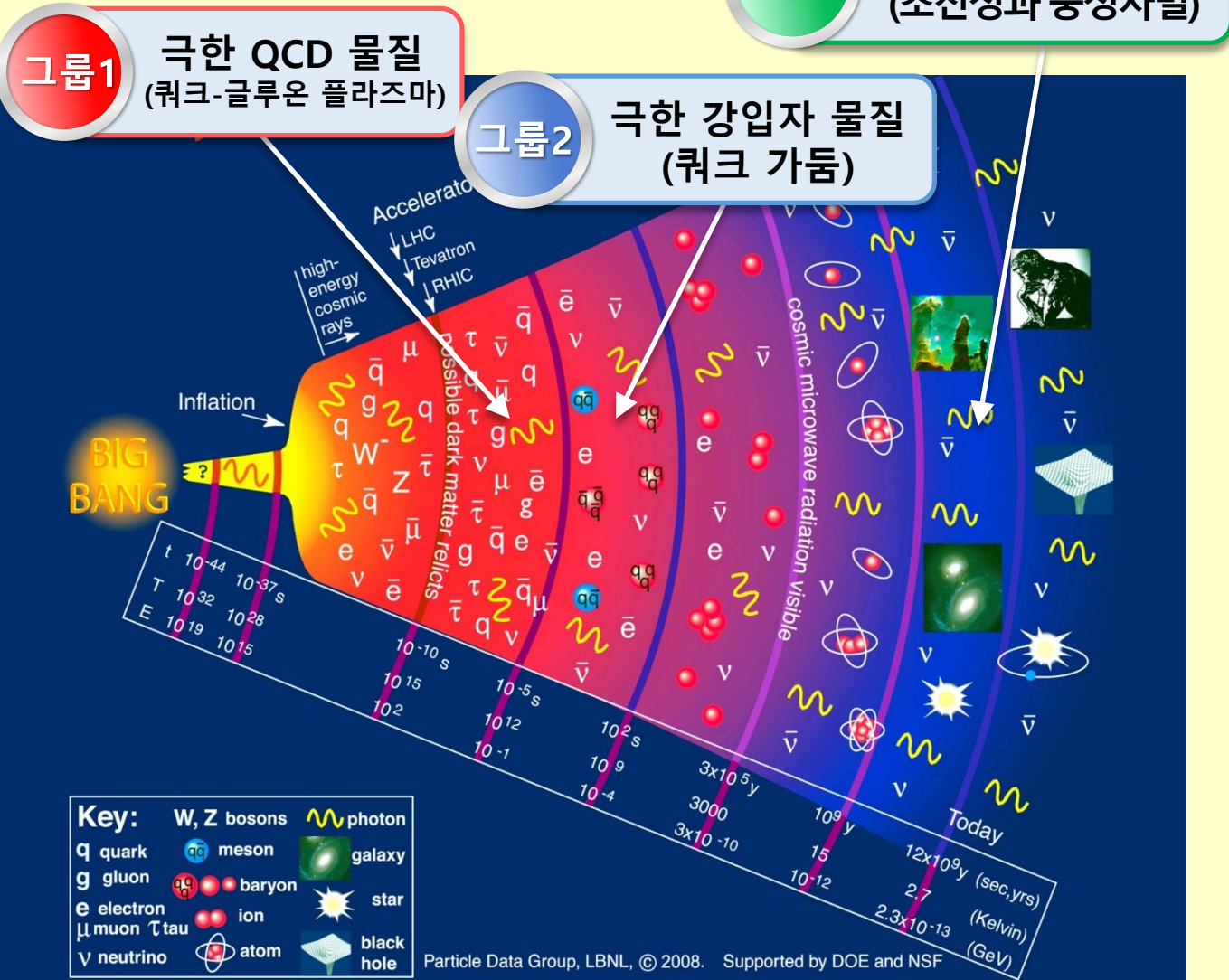


1) CERN Courier, May 2019

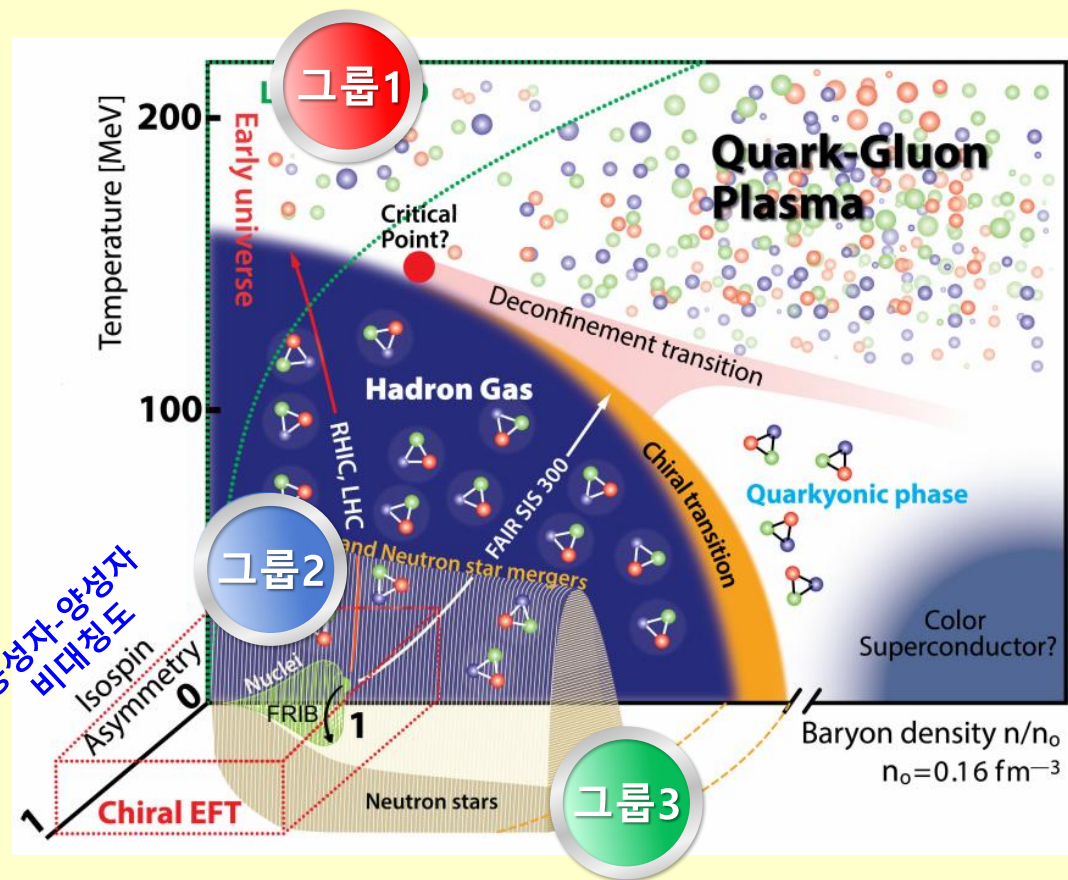
Image credit: D. Dominguez, CERN

# 극한 핵물리학의 연구목표

## 우주물질의 생성과 진화



## 핵물질 상전이도의 구조



Arxiv: 2101.01709  
 Annu. Rev. Nucl. Part. Sci. 71, 1 (2021)

# 관련 실험들

## 제 1그룹 (극한 QCD 물질)

- PHENIX HI program @ RHIC, BNL (1992-present): Quarkonium, Muon system (CSC, RPC)
- CMS HI program @ LHC, CERN (1997-present): Quarkonium, Jet, Photon, Muon system (RPC)

## 제 2그룹 (극한 강입자 물질)

- PHENIX/sPHENIX spin program @ RHIC, BNL (1992-present): Mesons, Quarkonium, gluon and quark/antiquark distributions in the proton
- RHICf @ RHIC, BNL (2018-present): Spin asymmetry at the very forward region

## 제 3그룹 (극한 희귀 핵물질)

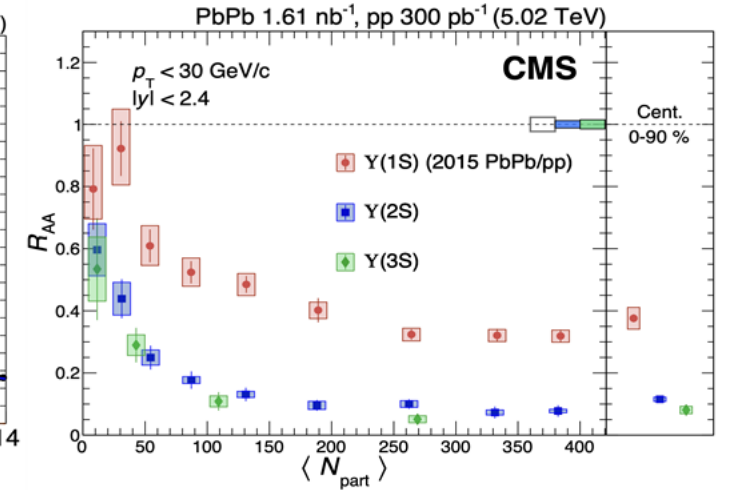
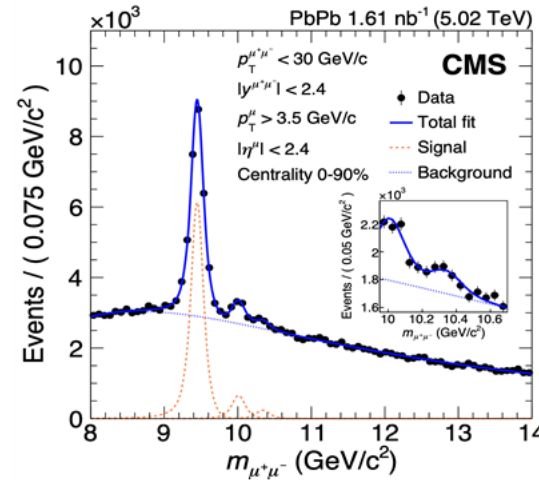
- FOPI @ GSI (1995-2015): Mesons (pion, kaon), flow, in-medium effects
- FAZIA/INDRA @ GANIL (2019-present): EOS/Symmetry energy, Isospin dynamics, Si detector
- SAMURAI/S $\pi$ RIT @ RIBF, RIKEN (2015-present): EOS/Symmetry energy, Nuclear structure (ONOKORO)
- HiRA @ NSCL, MSU (2015-present): EOS/Symmetry energy, in-medium effects

# 최근 연구결과 예

## 제 1그룹

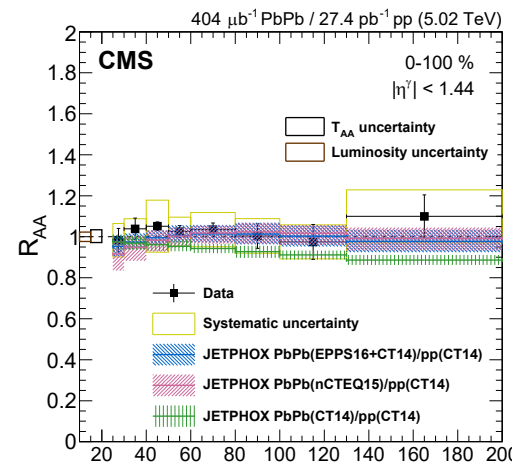
### 무거운 쿼크( $c, b$ )를 이용한 고온, 고밀도 핵물질의 특성

- $\gamma$  입자생성의 핵변환인자
  - 기계학습법을 이용해 세계 최초로 Pb+Pb 충돌에서  $\gamma(3S)$  분리
  - 쿼코니움 입자의 순차적 용융 (sequential melting) 현상 발견
  - 이수환 박사 학위논문



PRL133, 022302 (2024)

- 직접광자 생성량 및 핵변환인자
  - Glauber 모델의 핵두께 축척 가정의 정당성 증명
  - 고연주 박사 학위논문



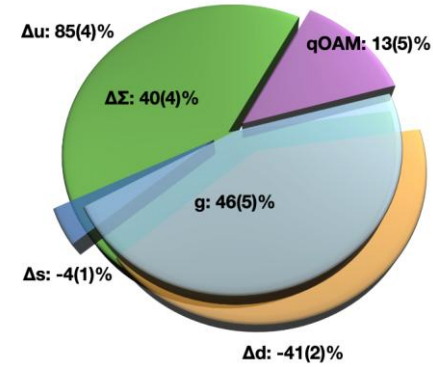
JHEP07, 116 (2020)

# 최근 연구결과 예

## 제 2그룹

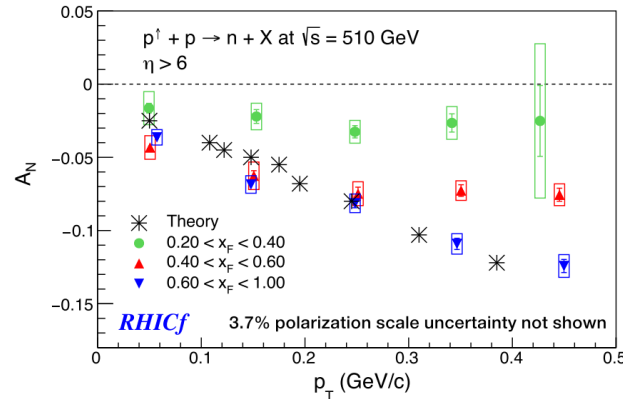
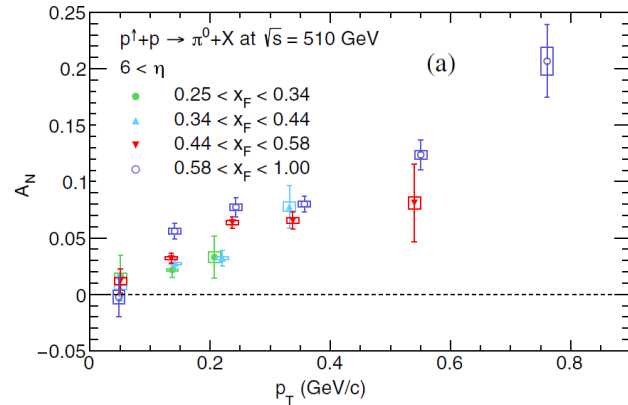
## 핵의 구조 및 비섭동 QCD 관련 실험

- $p^\uparrow + p \rightarrow \pi^0/n + X$  @ 510 GeV (RHICf)
  - 전방  $\pi^0$  및 중성자의 단일스핀비대칭도 측정
  - 김민호 박사 학위논문



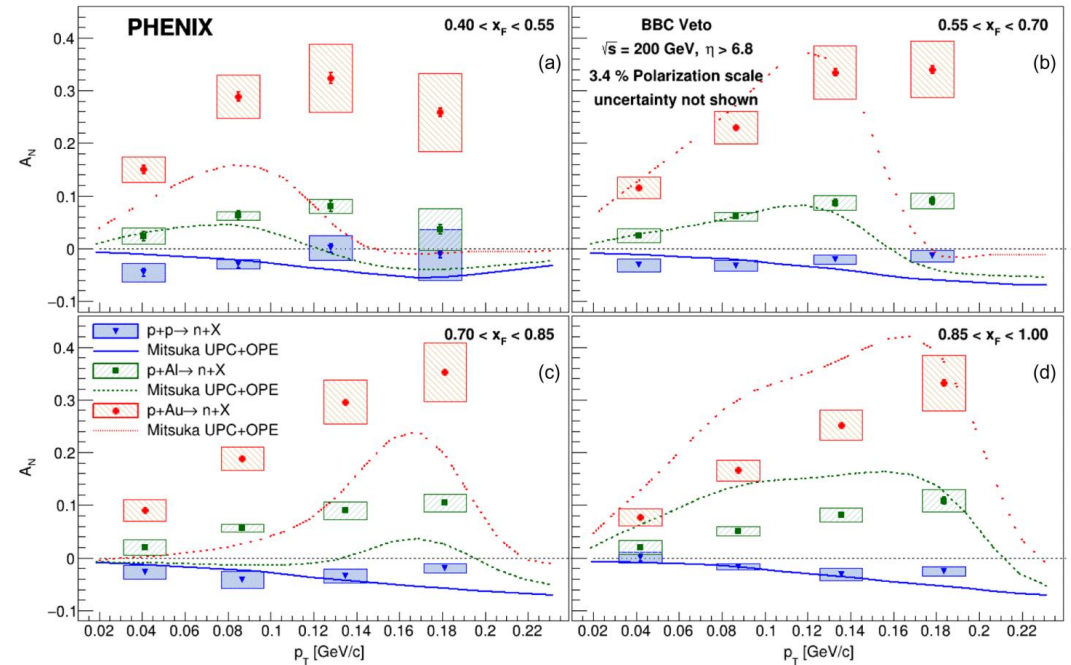
PRL124, 252501 (2020)

PRD109, 012003 (2024)



PRD105, 032004 (2022)

- $p^\uparrow + p/Al/Au \rightarrow n + X$  @ 200 GeV (PHENIX)
  - 전방  $\pi^0$  및 중성자의 단일스핀비대칭도 측정
  - Benard Mulilo 박사 학위논문



# 최근 연구결과 예

## 제 3그룹

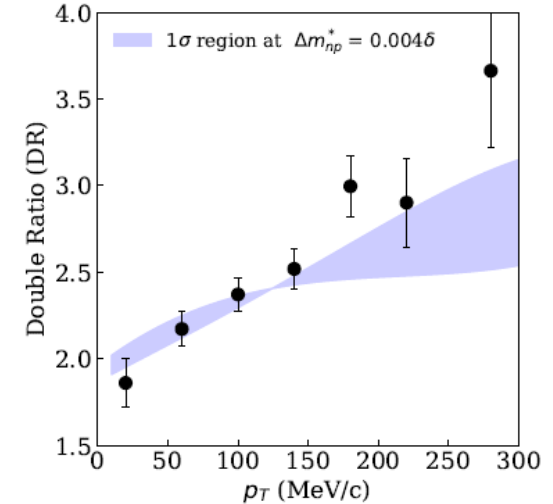
## 핵의 클러스터 구조

- ONOKORO @ RIBF & RCNP
- RAON
  - FAZIA 텔레스코프를 이용한 실험 계획 중

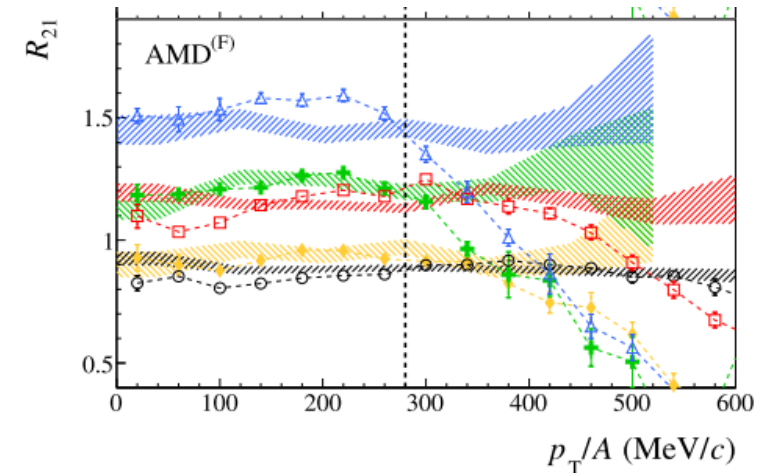
## 방사성 동위원소빔 실험데이터 분석

- 낮은 운동량 파이온 스펙트럼<sup>1)</sup>
  - 세계 최초로 운동량이 0인 영역까지  $\pi^\pm$  측정
  - 비공명자 파이온 생성과정의 유효성 최초 발견
  - 장진희, 이정우 박사
- 파편핵의 열적 평형 영역 발견<sup>2)</sup>
  - 핵과 핵자들의 열적평형 상태가  $p_T/A \lesssim 280$  MeV인 낮은 운동량 영역에서만 존재함을 발견
  - 기존의 핵 이론으로 설명할 수 없는 실험결과
  - 이정우 박사 학위논문

1) PRL126, 162701 (2021)



2) EPJA58, 201 (2022)



# 최근 연구결과 예 (검출기 구축)

## 제 3그룹

## 입자검출기 개발 및 제작

### ■ LAMPS 중성자검출기

- **최고의 시간, 위치분해능**
- 일본 RIBF 핵구조 실험 사용 예정 (2026-203X)
- RAON의 LAMPS 실험에 사용 예정

### ■ 초전도전자석⊕AT-TPC

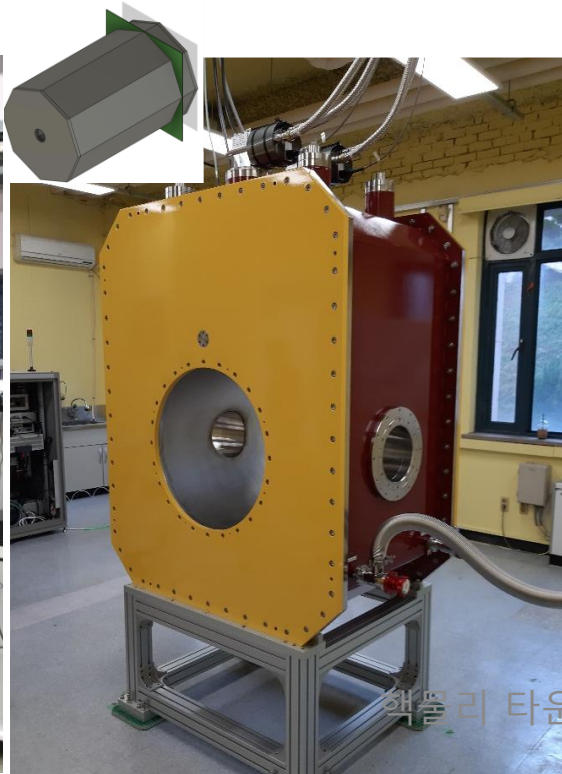
- **AT-TPC 검출기에 자기장을 인가해 운동량 분해능 향상**
- RAON 중이온가속기 실험에 사용 예정 (2026년 이후 사용 예정)

### ■ KHALA 감마선 검출기

- 고시간분해능  $\text{LaBr}_3$  감마선 측정 시스템
- **최대 수용율 감마선 검출기**
- 2024년 6월 시운전 성공
- 일본 RIBF 핵구조 실험 사용 예정 (2026-2027)
- RAON 중이온가속기 실험에 사용 예정 (2027년 이후)

### ■ FAZIA 동위원소 검출기

- Si-Si-CsI 파편핵 측정 시스템
- **세계 최고 성능의 동위원소 핵 구분 ( $Z \sim 23$ 까지 가능)**
- 우리나라에서 성능이 개선된 다양한 두께의 실리콘검출기 개발 중
- 2026년까지 국내에 네 개의 블록 검출기 구축 예정

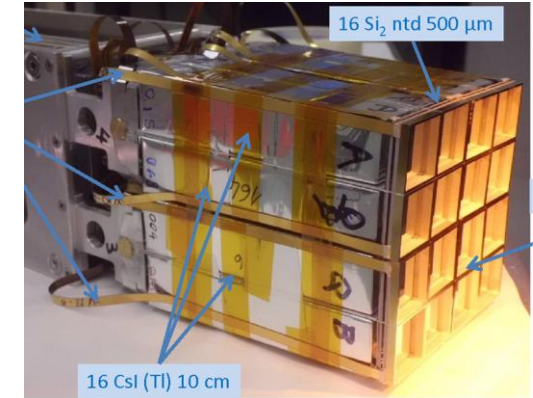
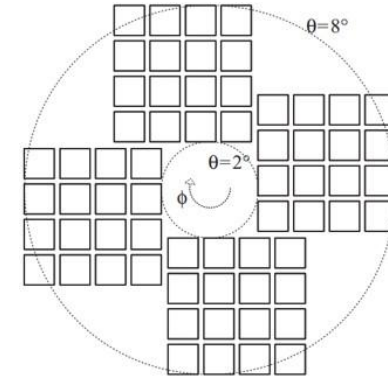


# 미래 10년의 연구계획

## 기 구축한 검출기 시스템을 이용한 본격적인 핵물리 실험

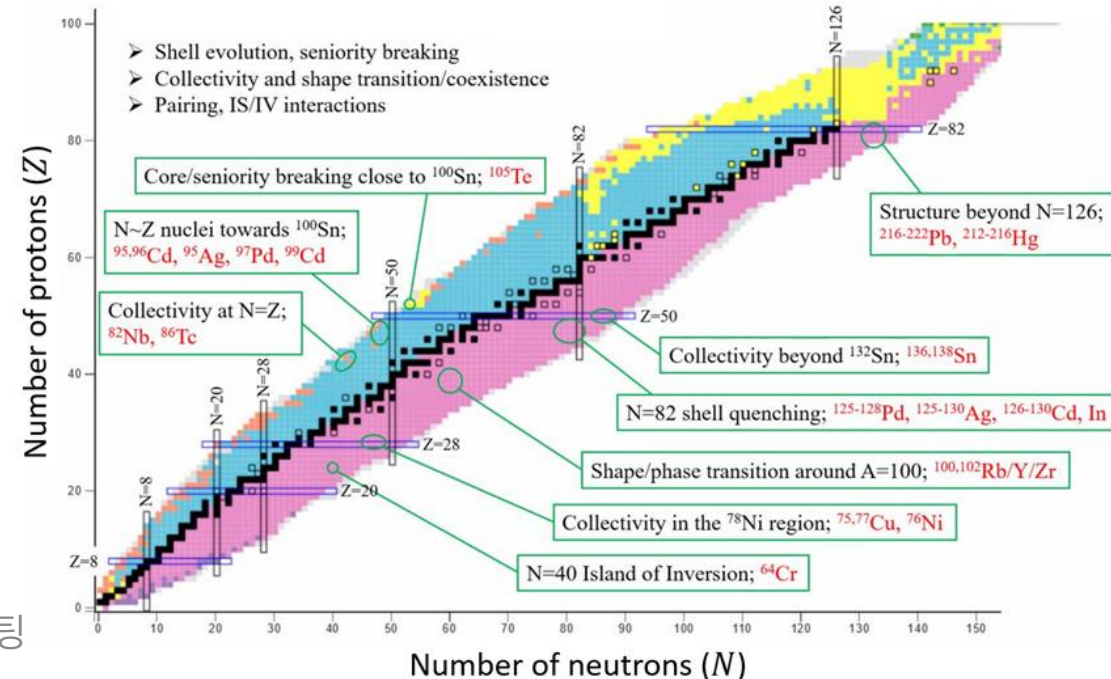
### ■ FAZIA 하전입자 검출기

- 실리콘 기반 세계 최고 성능의 동위원소 핵 구분 검출기
- 2026년까지 네 개 블록(64개 단위 검출기) 제작 계획
- 2027년에 RAON에서 4블록 검출기로 핵구조 실험
- 미국 FRIB, 프랑스 GANIL 등에서 핵구조 및 핵물질 상태방정식 공동연구 계획
- 공동연구: 인하대 권민정 교수



### ■ KHALA/IDATEN 감마선 검출기

- 2026-2027년에 실험 수행 계획
- 중성자 및 양성자 한계선 근처 핵들의 새로운 핵구조 발견
- 2027년 이후엔 KHALA만을 이용한 연구 가능
- 공동연구: CENS 문벌, H. Watanabe 박사

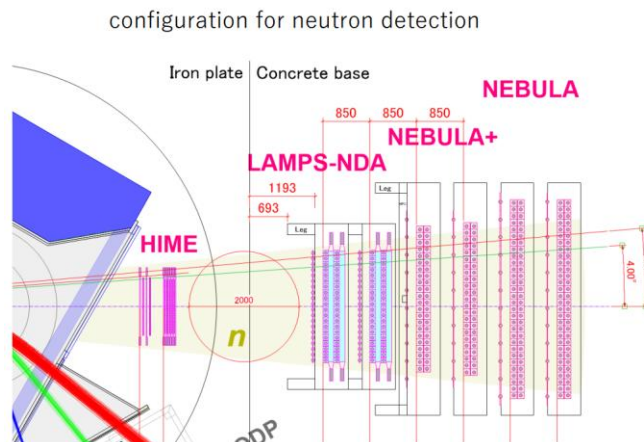


# 후속연구의 필요성 및 내용

## 기 구축한 검출기 시스템을 이용한 본격적인 핵물리 실험

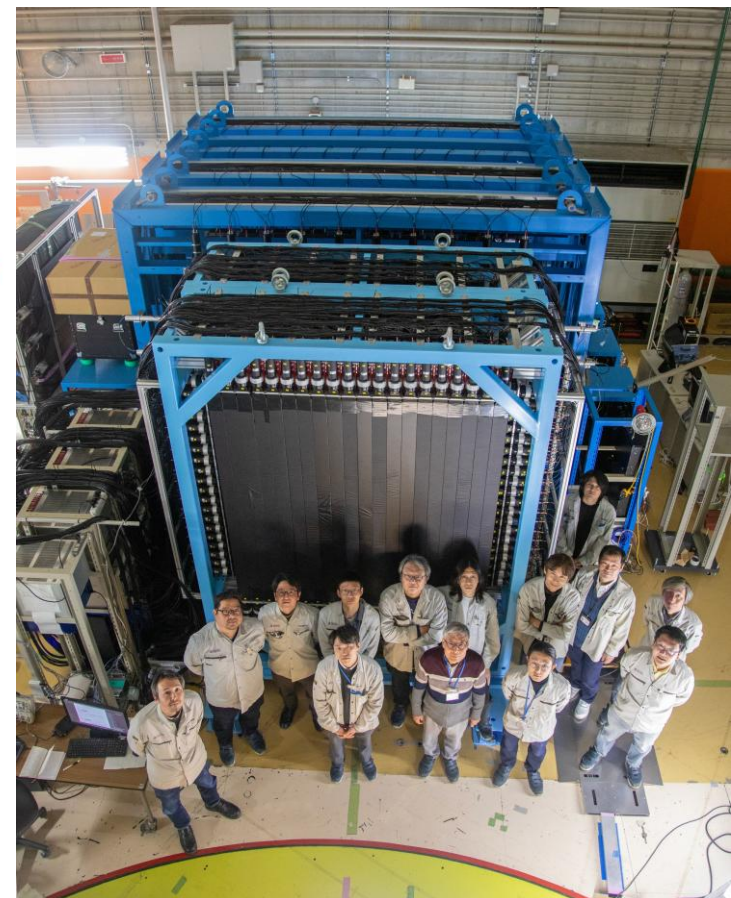
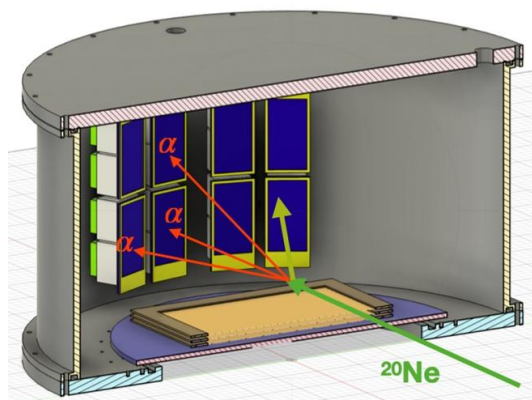
### ■ LAMPS 중성자 검출기

- 2025년 말 RIKEN으로 이전해 RIBF 가속기 시설의 SAMURAI 검출기에 설치 완료
- 2026년부터 핵의 다양한 클러스터 구조 및 다중 중성자 상태 탐색
- 공동연구: IBS TOPTIER 연구단, CENS 김선지 박사



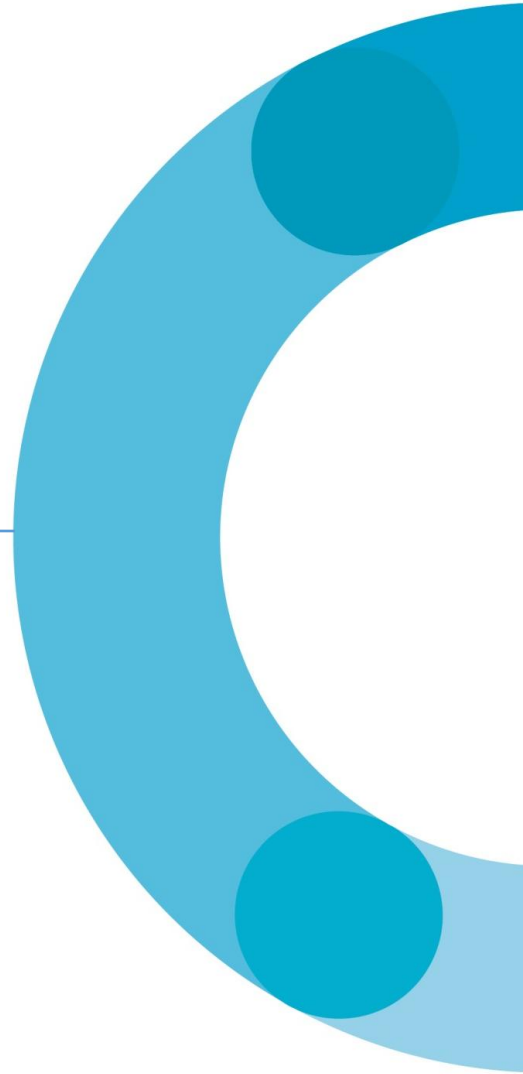
### ■ AT-TPC와 초전도전자석

- 2026년에 TPC-Drum을 RAON에 설치하여  $^{12}\text{C}$ 의 Hoyle 상태 측정 실험
- 2027-2028년에 원통형 AT-TPC 본제품을 제작하고 초전도전자석 내에 설치하여  $^{16}\text{O}$ 의  $\alpha$  클러스터 구조 규명
- 공동연구: 세종대 김용선 교수



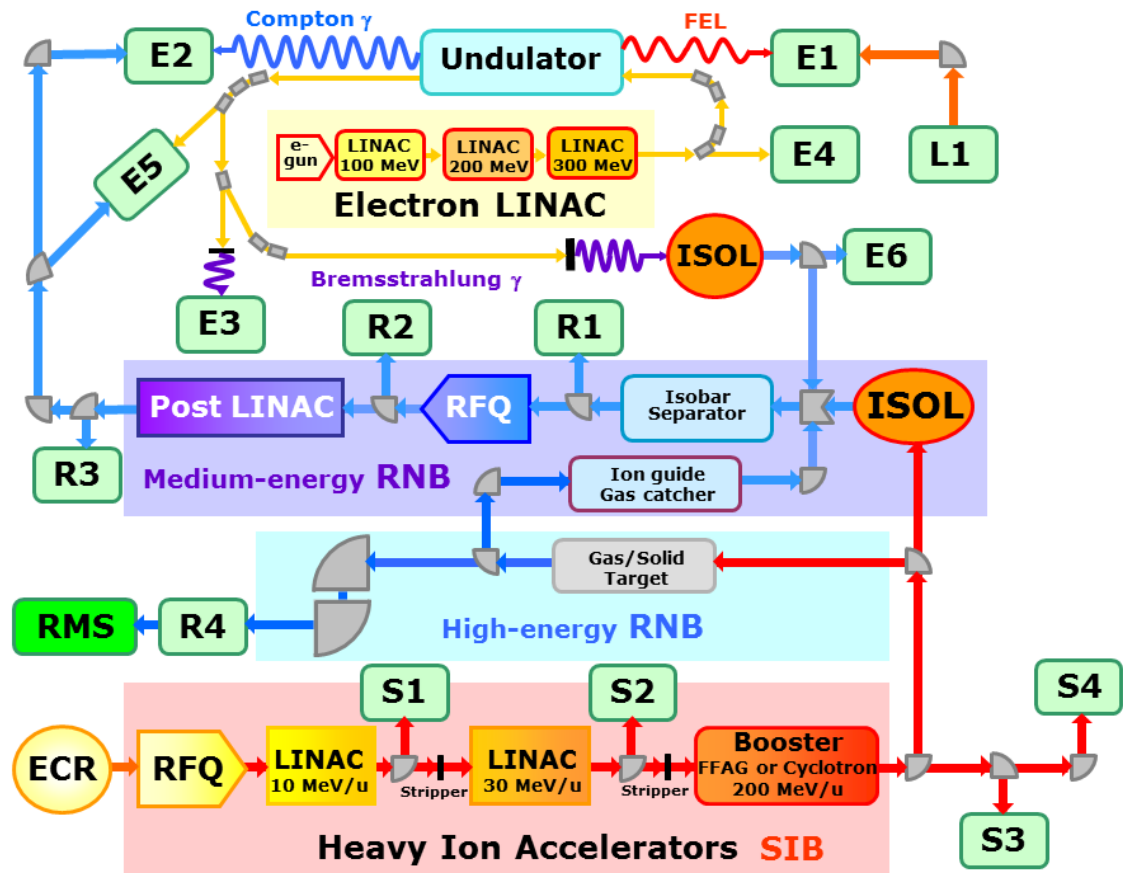
**핵물리 연구분야에  
바라는 미래 모습**

---

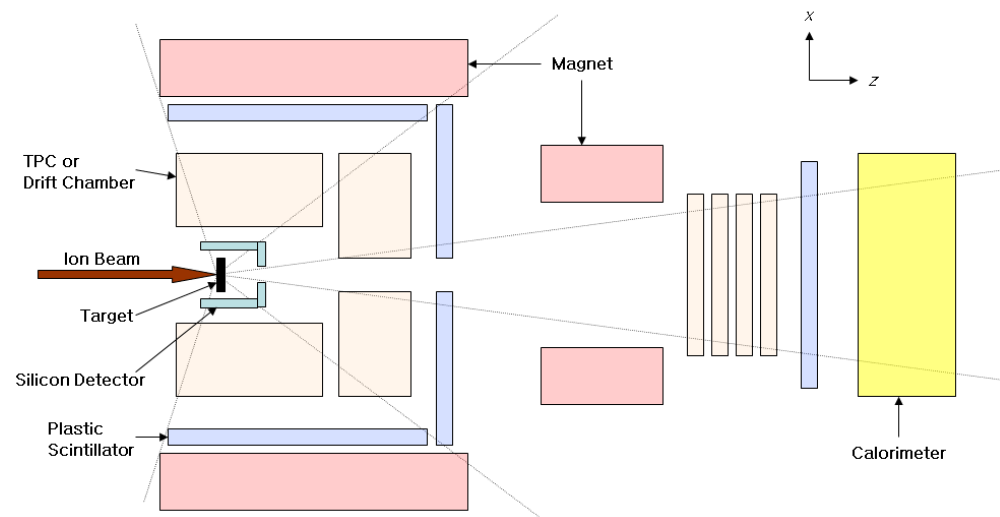


# 대한민국 핵물리 연구자의 꿈

- 2003년에 한국물리학회 핵물리분과 특별위원회: 국립핵과학연구소(NLNS)를 최초로 제안 [ICPR R2003-001]



## First thought of *complete* detector



- RAON 프로젝트: 2011년 시작

# 대한민국 핵물리 연구자의 꿈

2026년 현재

- Accelerator System
- RI production System
- Conventional Utilities
- Experimental System



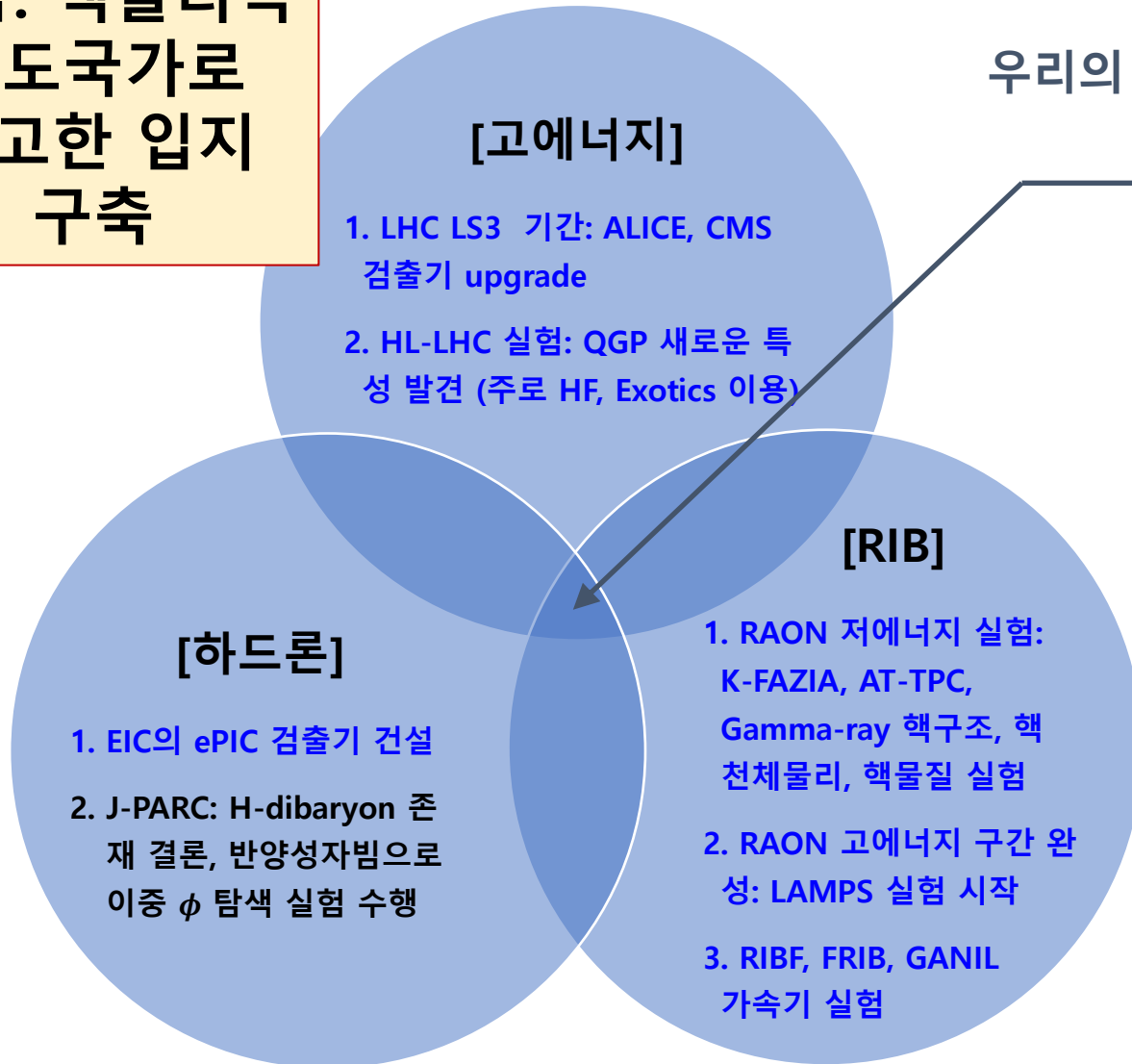
# 국립핵과학연구소 설립계획 Working Group

Working Group of the National Laboratory for Nuclear Science

이춘식 [연구책임자]	중앙대학교 물리학과 교수, 한국물리학회 원자핵물리학분과 위원장
김용균 [위원]	원자력연구소 선임연구원
김우영 [위원]	경북대학교 물리학과 부교수
김종원 [위원]	국립암센터 조교수
민동필 [위원]	서울대학교 물리학과 교수
박성희 [위원]	원자력연구소 양자광학기술개발부 선임연구원
안정근 [위원]	부산대학교 물리학과 조교수
윤민영 [위원]	서울대학교 기초과학교육연구공동기기원 연구원
홍병식 [위원]	고려대학교 물리학과 부교수
홍승우 [위원]	성균관대학교 물리학과 교수
윤종철 [위원보]	중앙대학교 물리학과 전임연구원
박중현 [위원보]	중앙대학교 물리학과 전임연구원
권영관 [위원보]	중앙대학교 물리학과 박사과정
문준영 [위원보]	중앙대학교 물리학과 박사과정
이주한 [위원보]	중앙대학교 물리학과 박사과정

# My view for the next 10 years

바람: 핵물리학  
선도국가로  
확고한 입지  
구축



우리의 역할

- 긴밀한 국제 네트워크 구축 및 교류
- 첨단 입자검출기 공동 개발
- 핵 및 핵물질 관련 새로운 이론 개발 및 응용
- **핵물리학 연구분야 전문인력 양성**

## 예상 일정

