



# 다정한 거대 과학을 위해

## :KoALICE 향후 20년

권민정  
인하대학교

2026.3.14  
한국 핵물리 장래계획 타운홀 미팅

# ALICE/KoALICE collaboration



## ALICE Collaboration

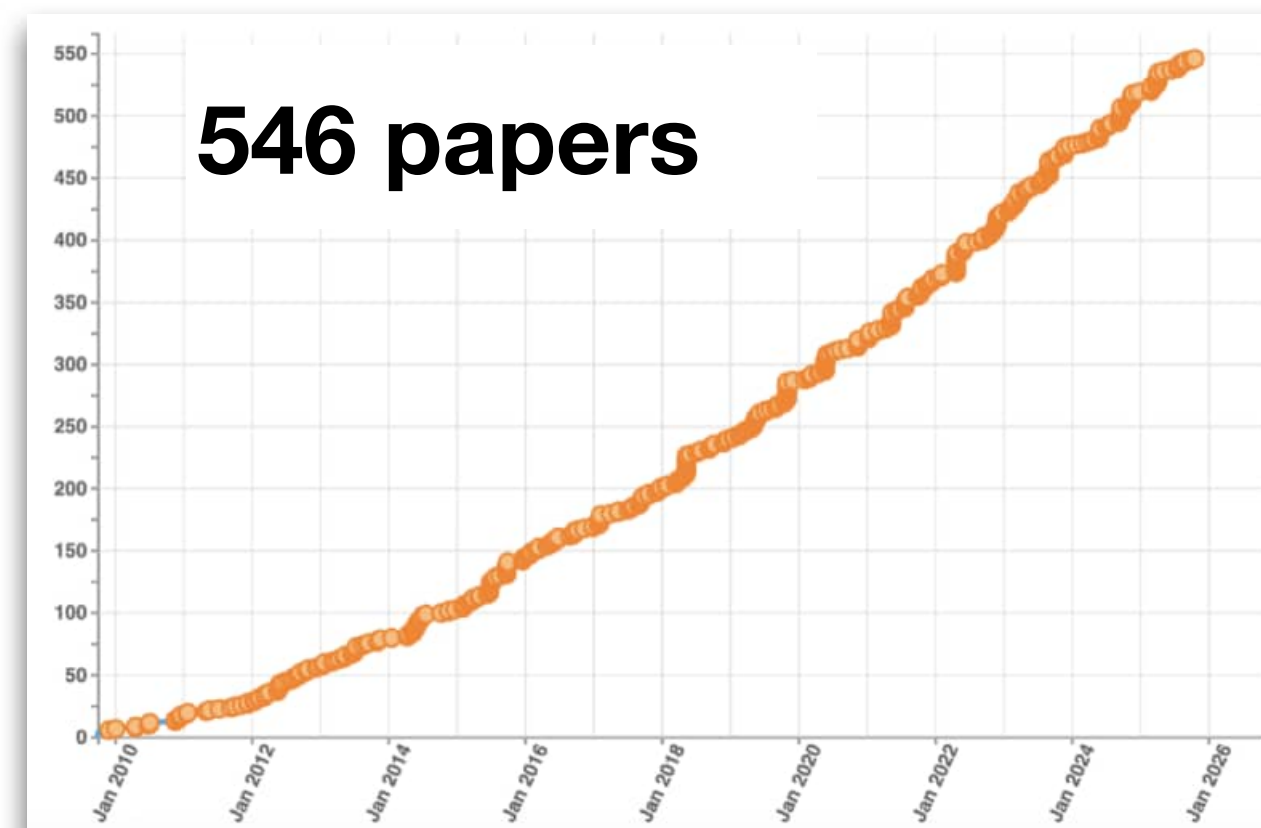
- **1041 authors, 1861 members**
- **147 member institutes, 23 associate**
- **40 countries**



## KoALICE

**Participants: 56**

- **7개 대학**
- **교수급: 10**
- **박사후 연구원 : 8**
- **대학원생: 35**
- **기타 : 3**



\* KISTI: 다른 소스 참여 기관 (1)

소규모 연구그룹과 거대 연구그룹은 과학생태계를 유지하기 위해 하는 일이 다르다

↓

대규모 인프라를 구축하여 안정적으로 장기 프로젝트 수행

feat: 국제 프로젝트지만 직접 검출기 구축에 참여하여

# 이런 측면에서 (국가 차원의 참여구조인) KoALICE는

## KoALICE (based on 한-썬 사업)

한국 고에너지핵물리학의 ‘국제 실험 참여 플랫폼’ 역할 수행

➔ 지속 가능한 참여 구조를 만들어 주는 역할

✨ 연구 협력 조직으로 기능하다 (physics analysis, detector operation, shift, ..):

↳ (한국 연구 그룹 내) 공동 연구 계획 수립 가능

✨ 기여없이도 영향력(혹은 데이터를 사용할 권리)도 없다 (안정적인 파견 공동연구 + 검출기 개발/제작):

↳ 데이터 사용자 → 검출기 구축자로서의 역할 가능

**그렇다면 KoALICE는 이러한 플랫폼으로서의 역할을 했을까?**

- Jaeyoon Cho (Inha): Measurement of  $\Xi_c^+$  baryon via hadronic decay channel in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV
- Hyunwoo Kim (Inha): Measurement of  $\Xi_c^+$  baryon jet to understand charm fragmentation in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV
- Giyoung Kim (Inha): Measurement of  $\Xi_c^+$  baryon via hadronic decay channel in PbPb at 5.36 TeV
- Vit Kucera (Inha): Measurement of  $\Lambda_c$  baryon jet to understand charm fragmentation in pp collisions at  $\sqrt{s} = 13.6$  TeV
- Sangwoo Park (SKKU):  $f_2(1270)$  production measurement in PbPb collisions,
- Yeonseul Bae (SKKU):  $f_0(980)$  production measurement in pp and PbPb collisions,
- Junsuk Bae (SKKU): Jet transverse momentum in all three collision systems,
- Hyungjun Lee (SKKU): b-jet production in pp collisions
- Jaehyeok Ryu (PNU): Multiplicity dep. and R-dep. jet fragmentation observables in pp at 13.6 TeV
- Sujung Ji (PNU):  $K_1$  production in pp at 13.6 TeV, Charged  $K^*$  polarization in PbPb at 5.36 TeV
- Hyunji Lim (PNU): Multiplicity dep.  $\rho(770)$  production in pp at 13.6 TeV
- Changhwan Choi (PNU): b-jet cross section with GNN in pp at 13.6 TeV
- Minjae Kim (PNU): vdM scan analysis, Multiplicity dep.  $\Xi(1530)$  production in pp at 13.6 TeV
- Jinhyun Park (PNU):  $\Xi_c^+$  cross section via hadronic decay channel in pp at 5.36 TeV
- Krista Smith (PNU):  $\Xi_c^0$  cross section via hadronic decay channel in pp at 5.36 TeV, heavy-flavor electron flow in pp at 13.6 TeV
- Adrian Nassirpour (Sejong): prompt photon in pp at 13.6 TeV
- Jimun Lee/Adrian Nassirpour (Sejong):  $\phi$  and  $K^*$  in and out of jets in pp at 13.6 TeV

Run3 data 분석 예

Heavy flavour baryons

Heavy flavour jets

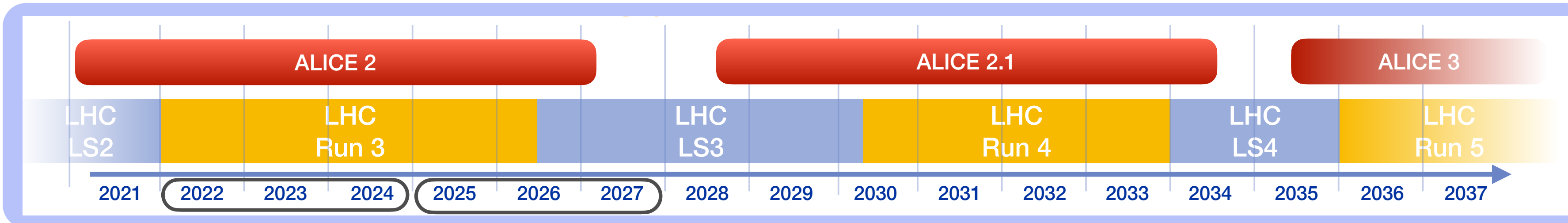
Heavy flavour flow

Light flavours (f, K,  $\rho$ ,  $\phi$ , ...)

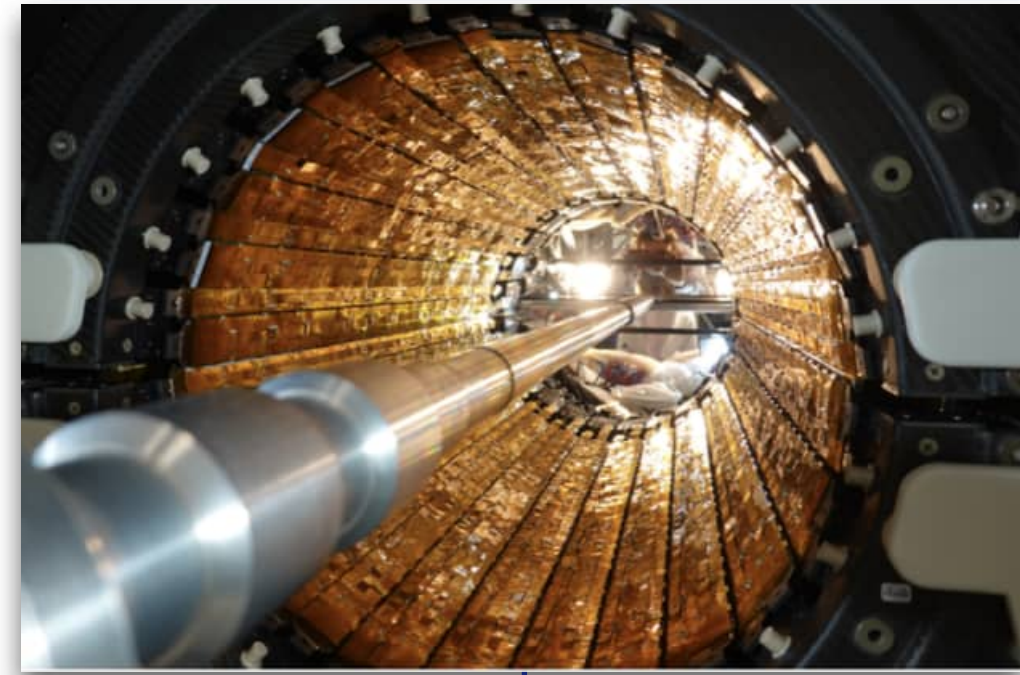
Jets

Jet structures

# 지속적인 참여를 기반으로 실리콘 픽셀 검출기 제작 주도 가능해짐



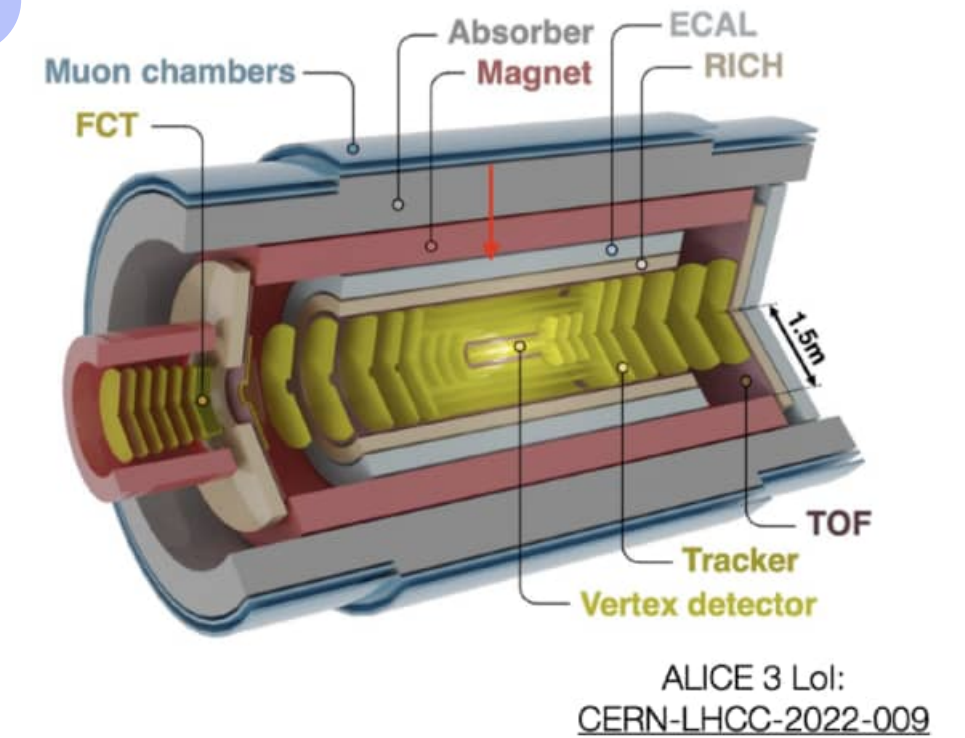
실리콘 픽셀 검출기는 매우 어렵다...



ITS3 (LS3)

CMOS 웨이퍼를 스티칭하여 통으로 구부려 사용하는 혁신 기술 (HEP 분야 최초)

주도적 R&D 참여



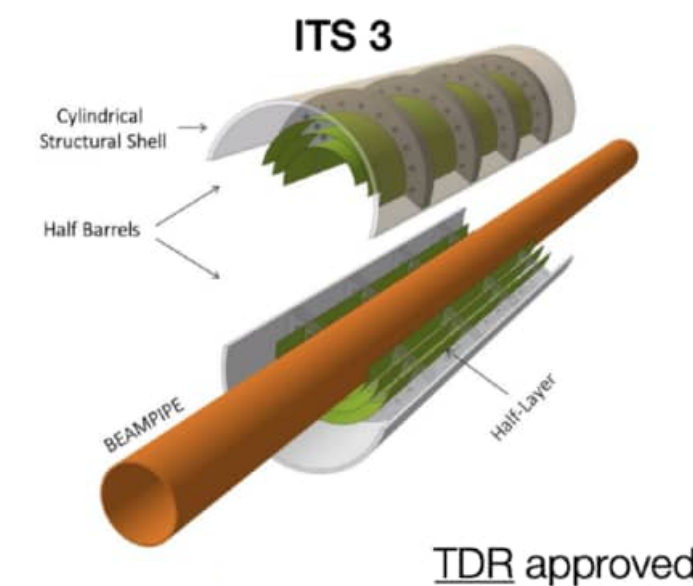
1

ITS2 (Run 3)

현재 운용 단계

R&D 및 제작 참여를 통해 실리콘 검출기 전문성 확보

2



3

ALICE3 (LS4)

모든 검출기가 반도체 센서로 이루어짐

→반도체 기술 집약

차세대 R&D 주도

KoALICE 실리콘 검출기 R&D 역사

1단계: 2013~2021 ITS2 R&D 및 제작 참여 → 2단계: 2021~현재 ITS3 주도적 R&D 참여 → 3단계: 2023~현재 ALICE3 차세대 R&D 주도

**이러한 틀안에서, ALICE의 연구 결과는  
KoALICE 각 연구자의 기여가 한땀씩 녹아 있는 결과로 와 닿다  
(ALICE 연구 결과 = 나의 연구 결과)**

# High-energy heavy-ion physics: 무엇 알아냈을까?

Understanding the fundamental properties of strongly interacting quark gluon-plasma (QGP) remains one of the key goals in high-energy nuclear physics.

What is the bulk behavior of QCD?

What are the collective features of QCD (Dynamics of heavy-ion collisions)?

How does the transition from confined matter to deconfined QGP occur?

➔ **ALICE is the LHC experiment dedicated to heavy-ion physics!**

**다체계 QCD,  
Goal로 보자면 '이해의 지평을 넓히는'**

## QGP as seen at the LHC

Energy density  $> 10 \text{ GeV}/\text{fm}^3$

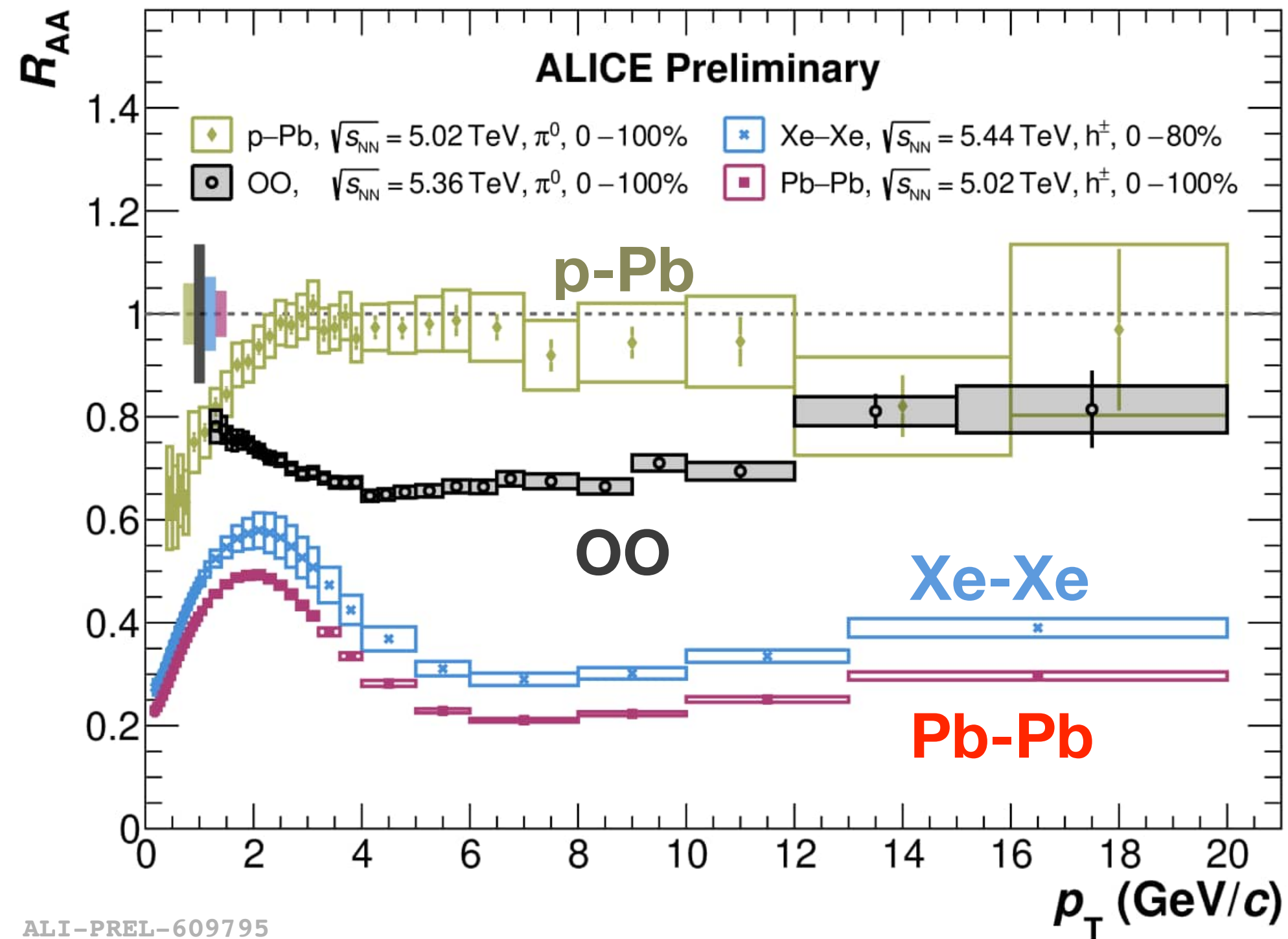
Colour charge deconfined

Strong energy loss for hard partons

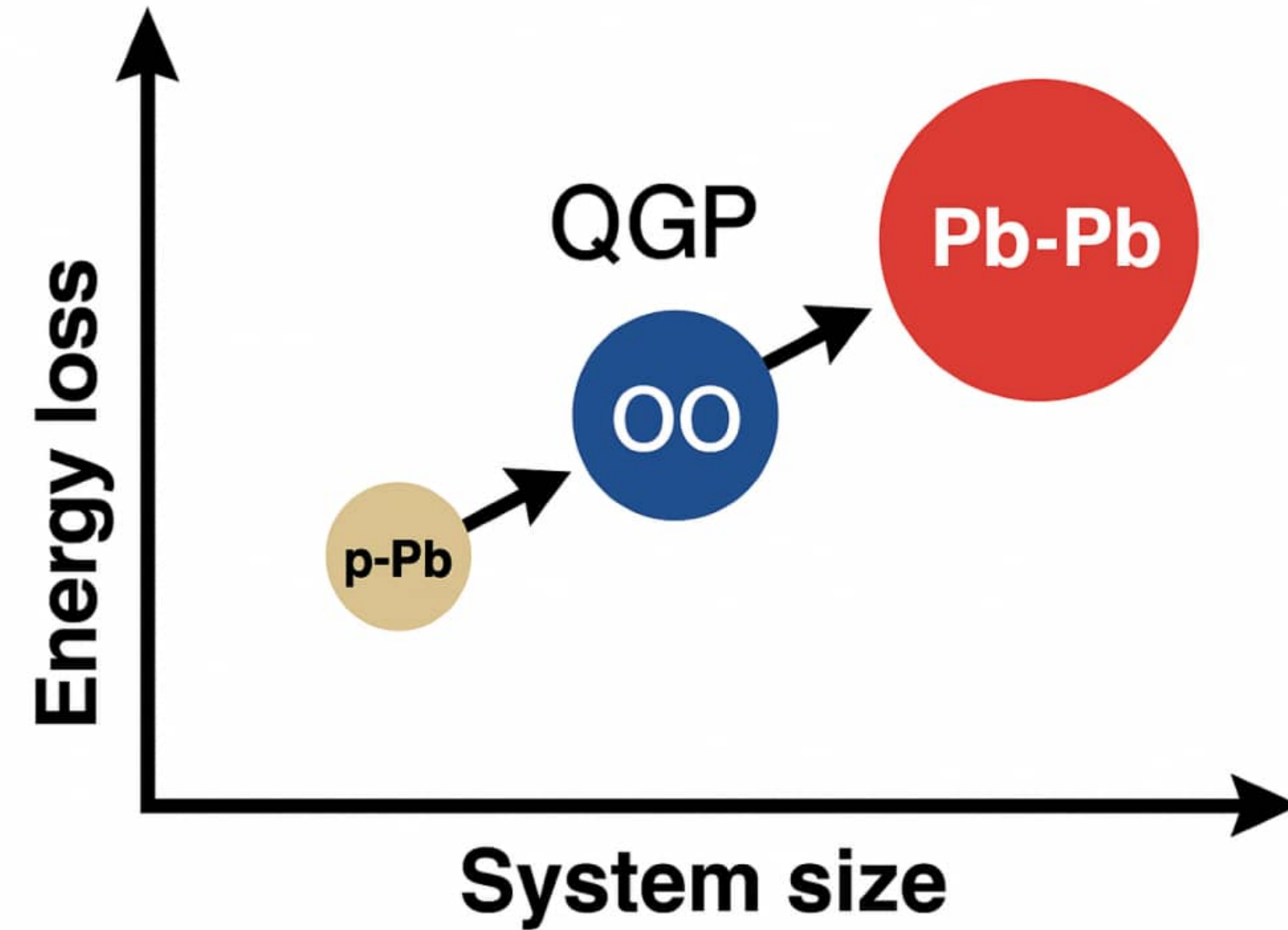
Hydro-dynamic expansion like a very-low viscosity liquid

Hadronization as in thermal equilibrium

# QGP의 존재 및 특성 규명: QGP에서의 에너지 손실



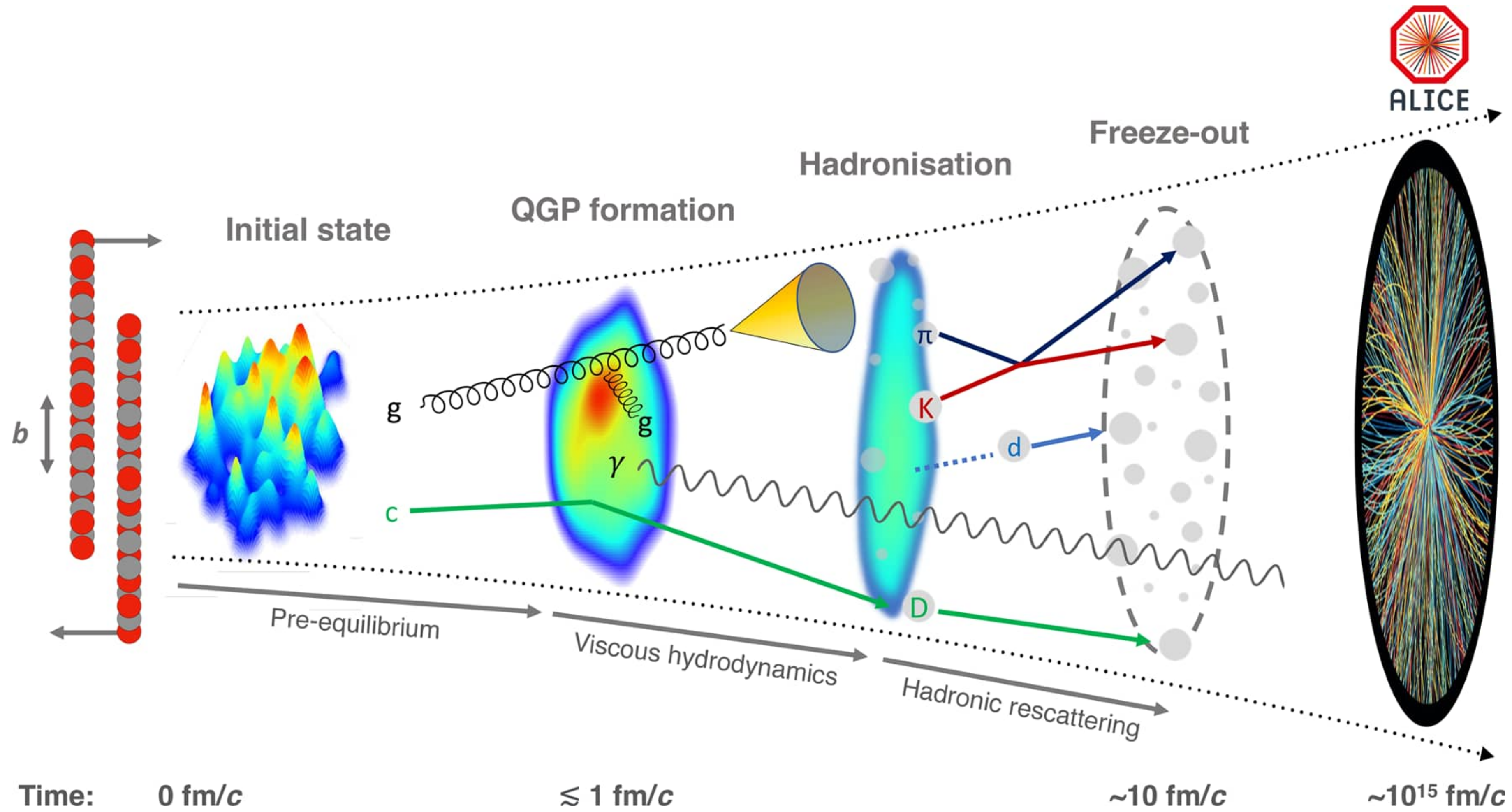
10<sup>12</sup> K 이상의 고온 고밀도 QCD 매질!



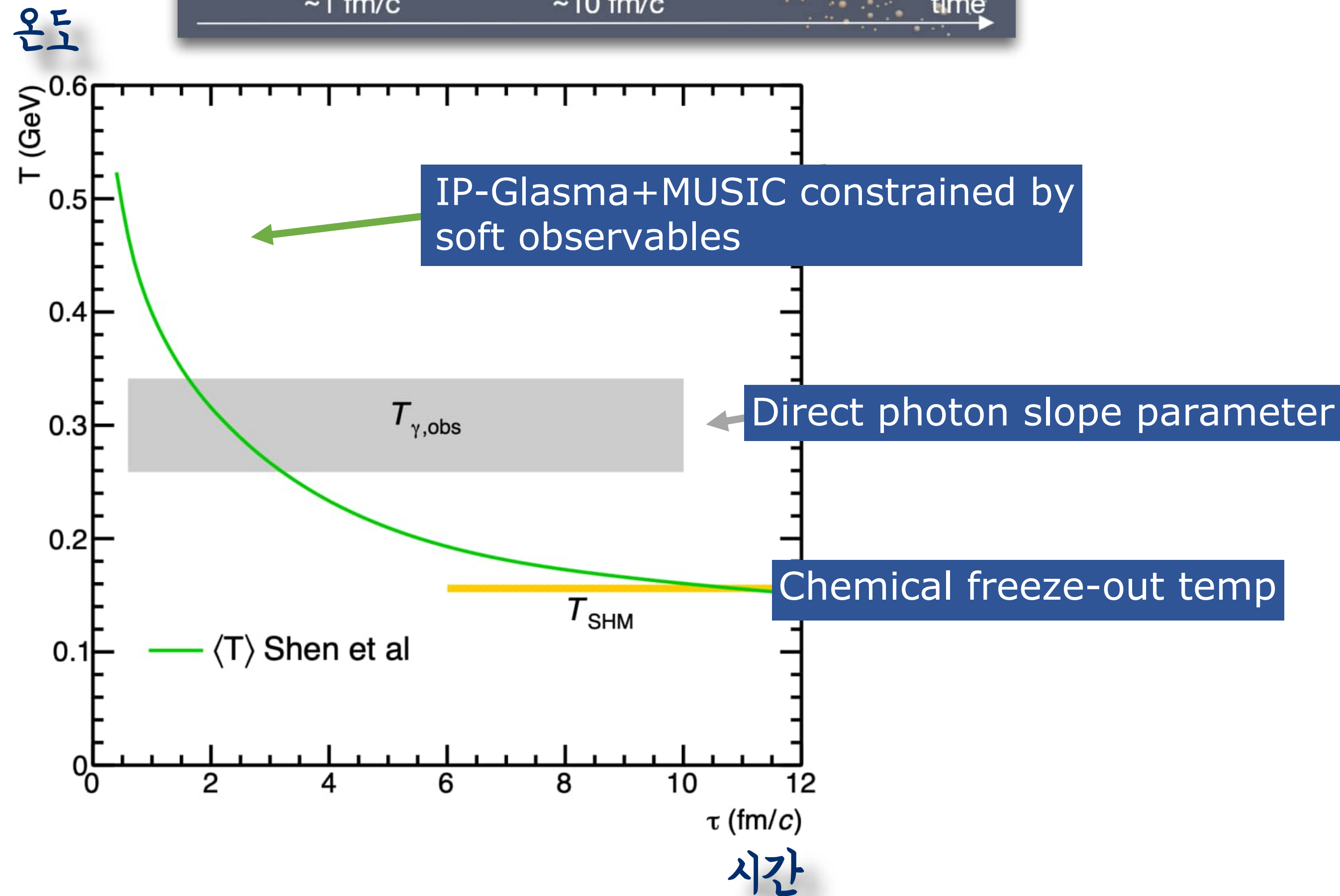
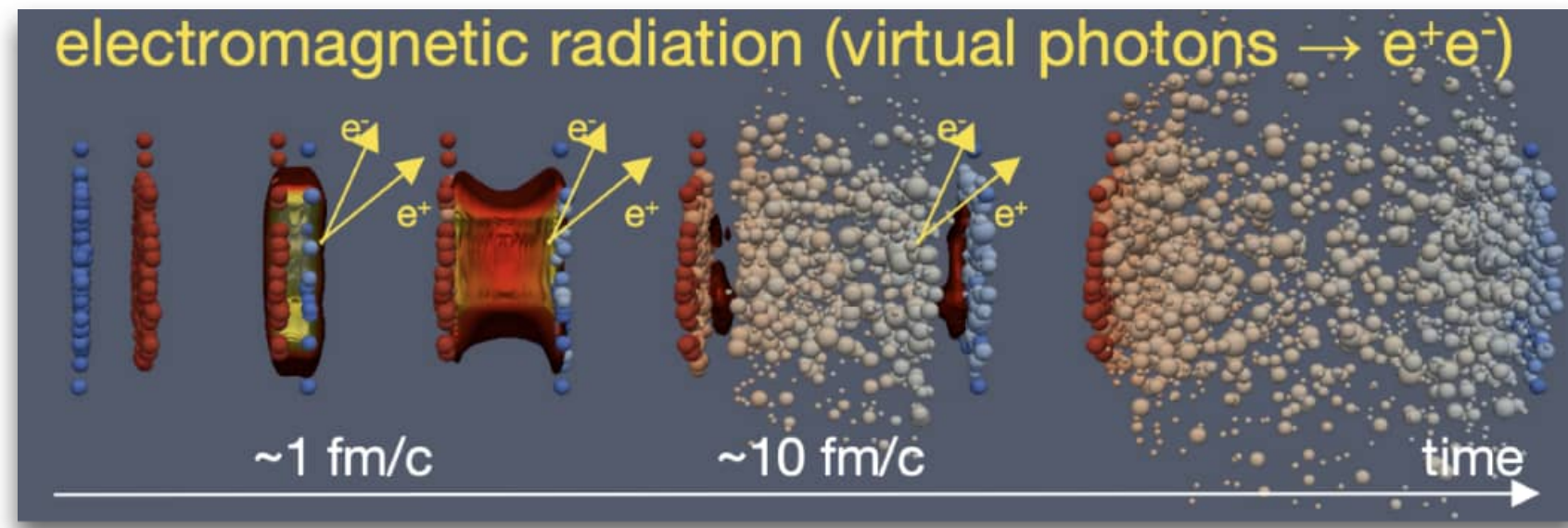
- 시스템이 클수록, QGP가 더 크고 뜨거워져서 입자들이 더 많은 에너지를 잃음 ( $R_{AA} < 1$ )
- 경량 핵(OO) 충돌에서도 에너지 손실 패턴이 보임  
→ 작은 시스템에서도 QGP가 만들어질 수 있는가? 라는 질문에 중요한 단서 제공

지금은 익숙해진 그림이지만,  
Group genius의 결과물

# 모든 단계에서 이해의 지평을 넓혀가다...



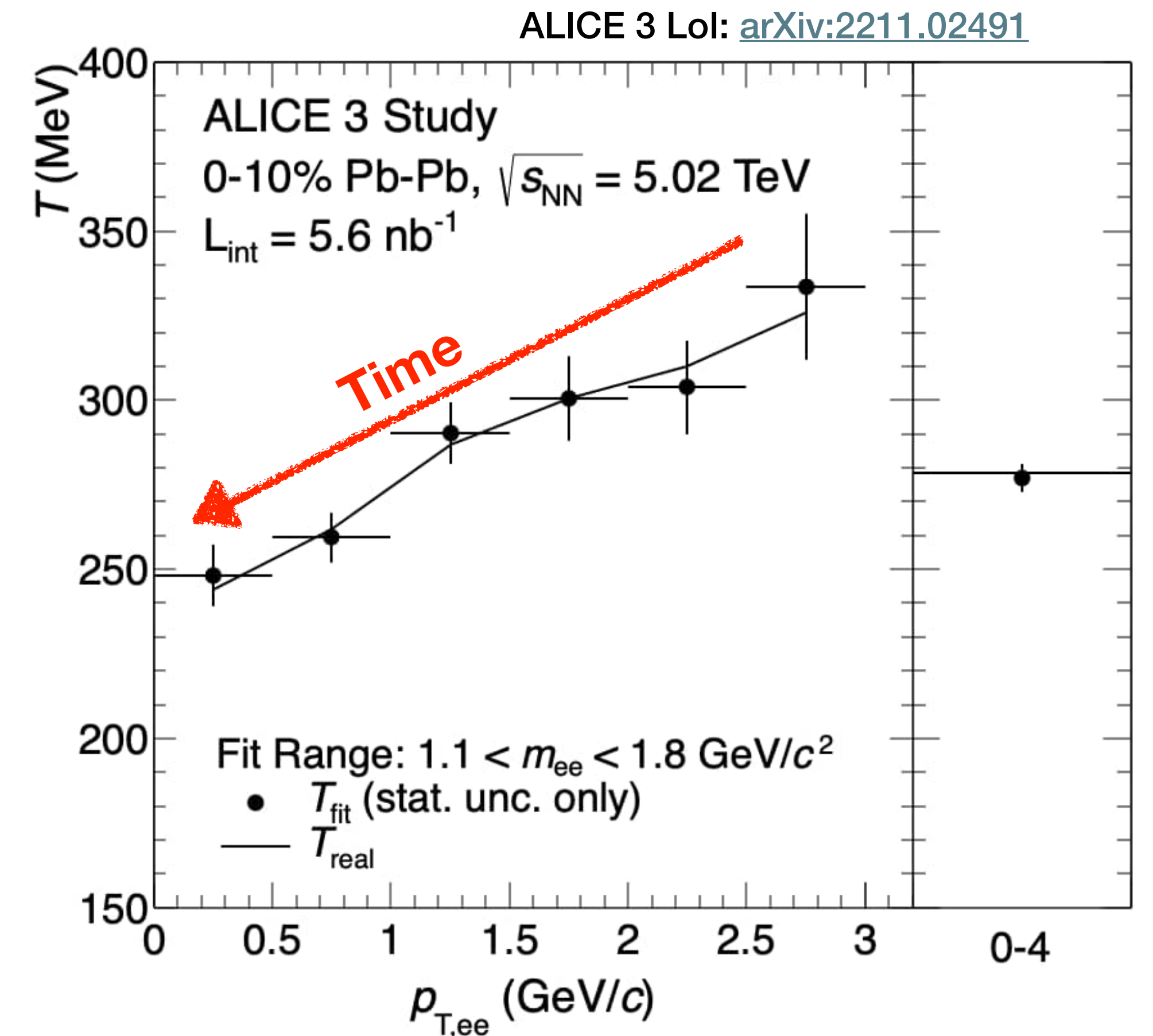
# Entering precision QGP



## Temperature evolution of the QGP

- Precision differential measurements of **dielectrons**

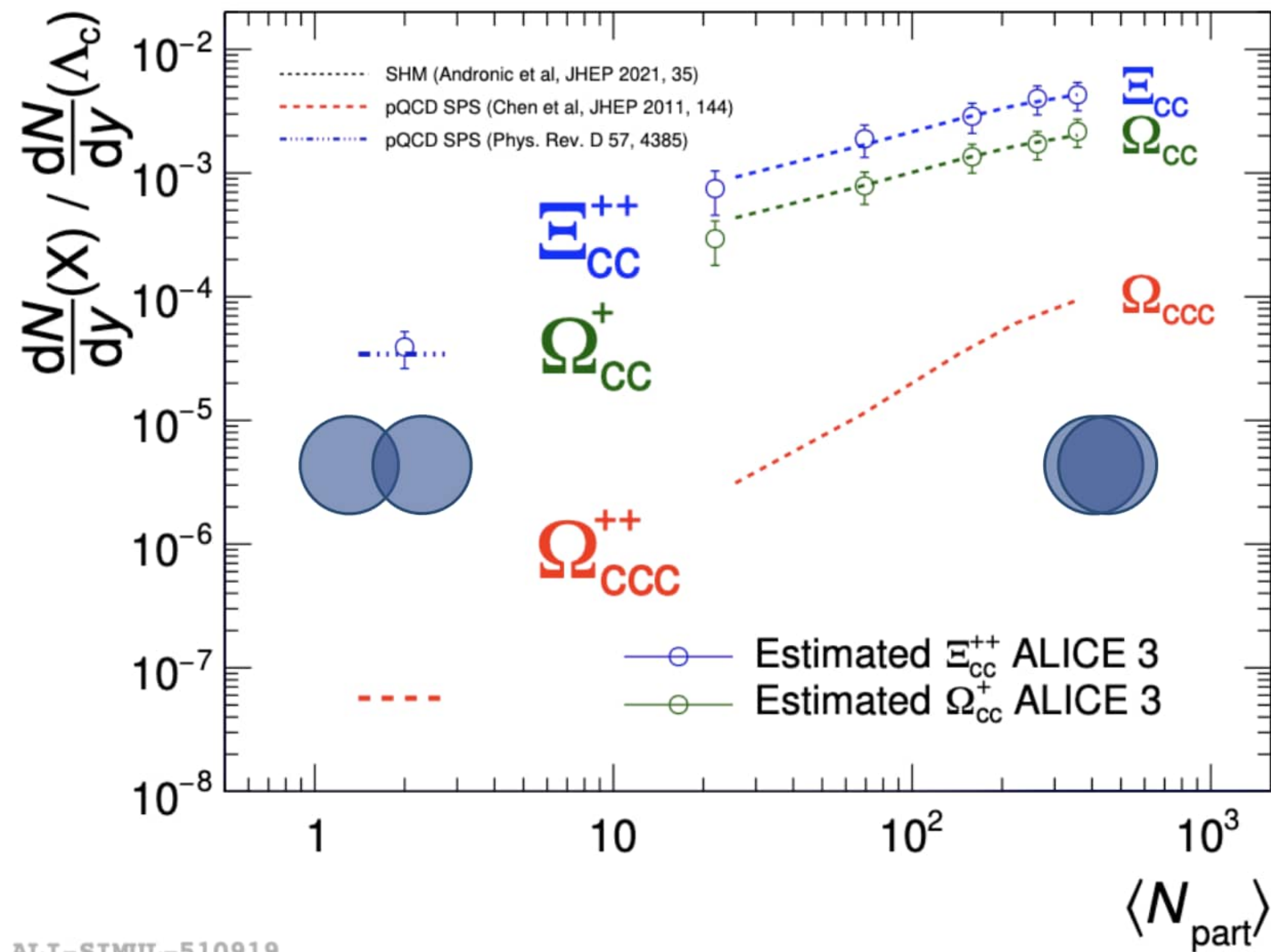
Double differential spectra:  $T$  vs mass,  $p_{T,ee}$



# Entering precision QGP

## Multi-charm baryons at low $p_T$

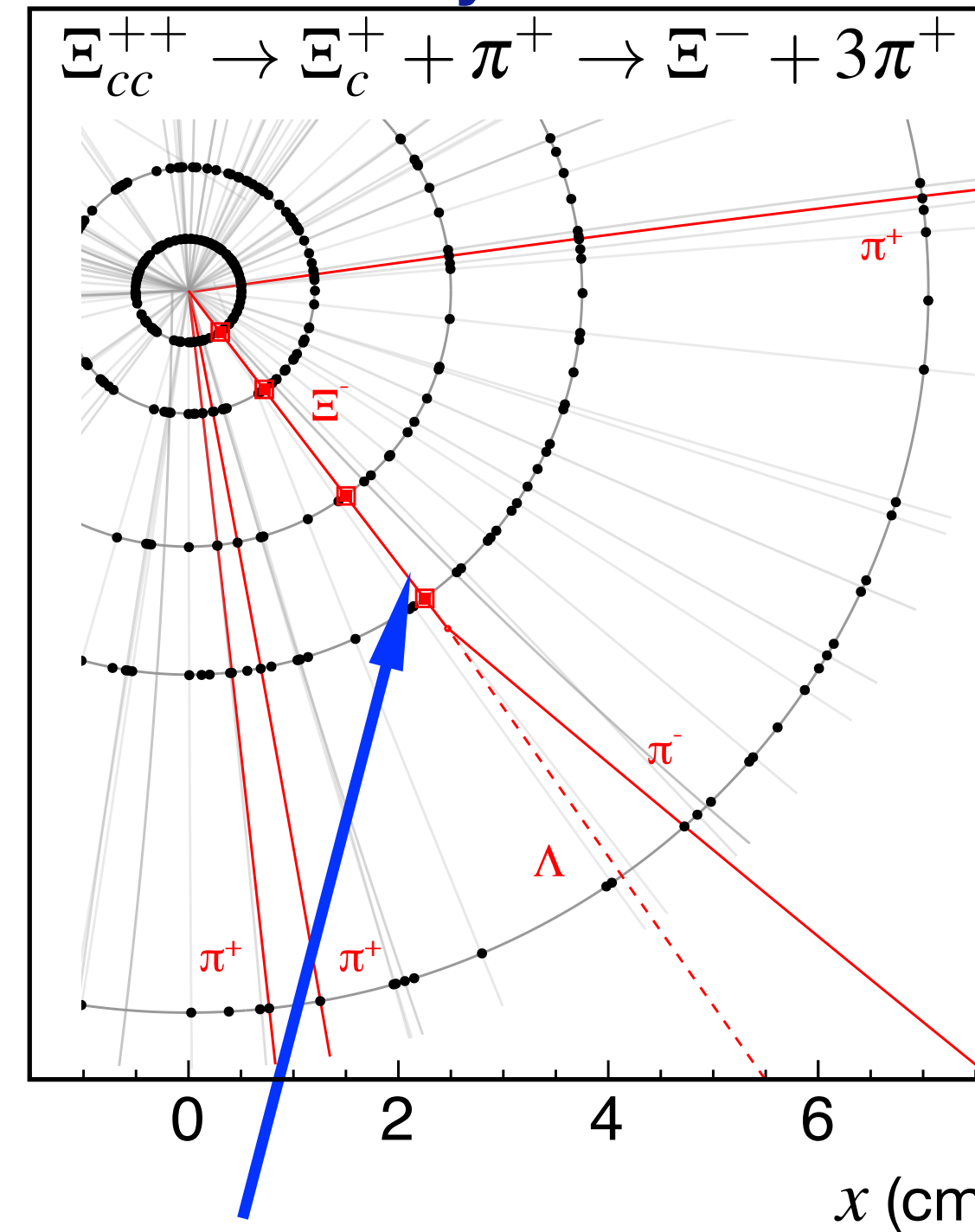
- How are hadrons formed in QGP?
- Recombination models predicts 2-3 orders of magnitude enhancement in Pb-Pb



ALI-SIMUL-510919

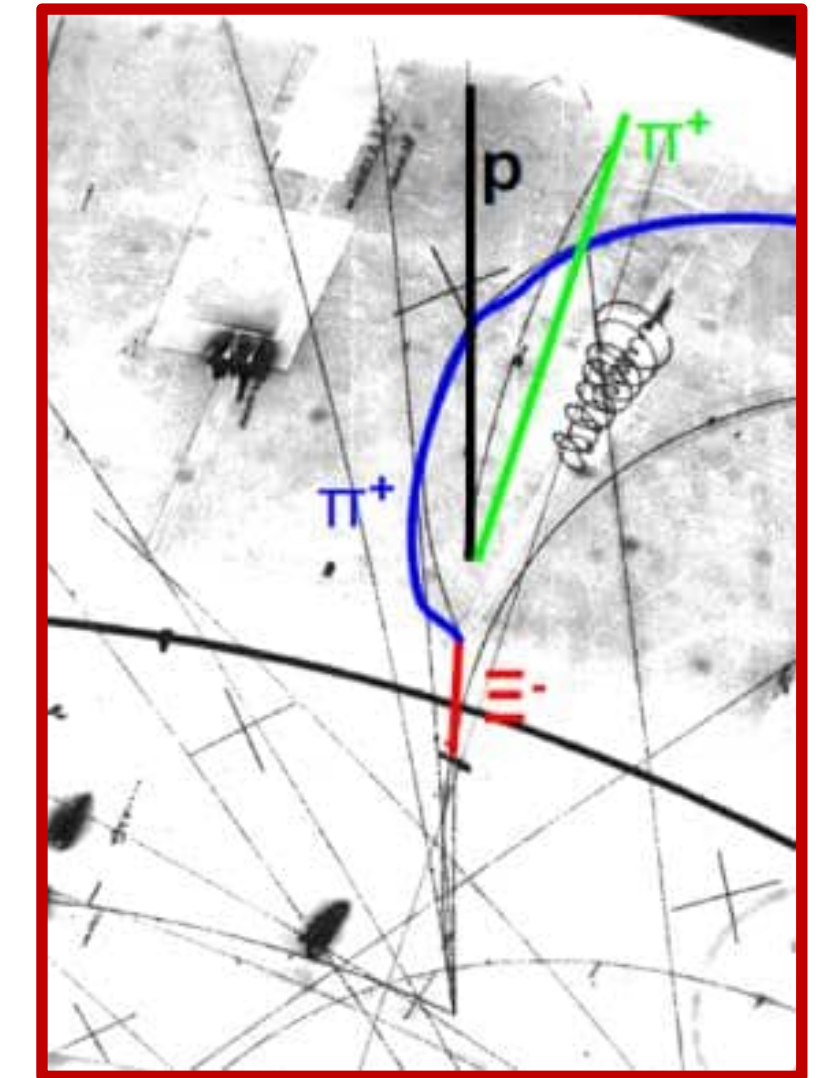
시간

## Multi-charm baryon reconstruction



Tracking of  $\Xi^-$

Strangeness tracking,  
Like a bubble chamber

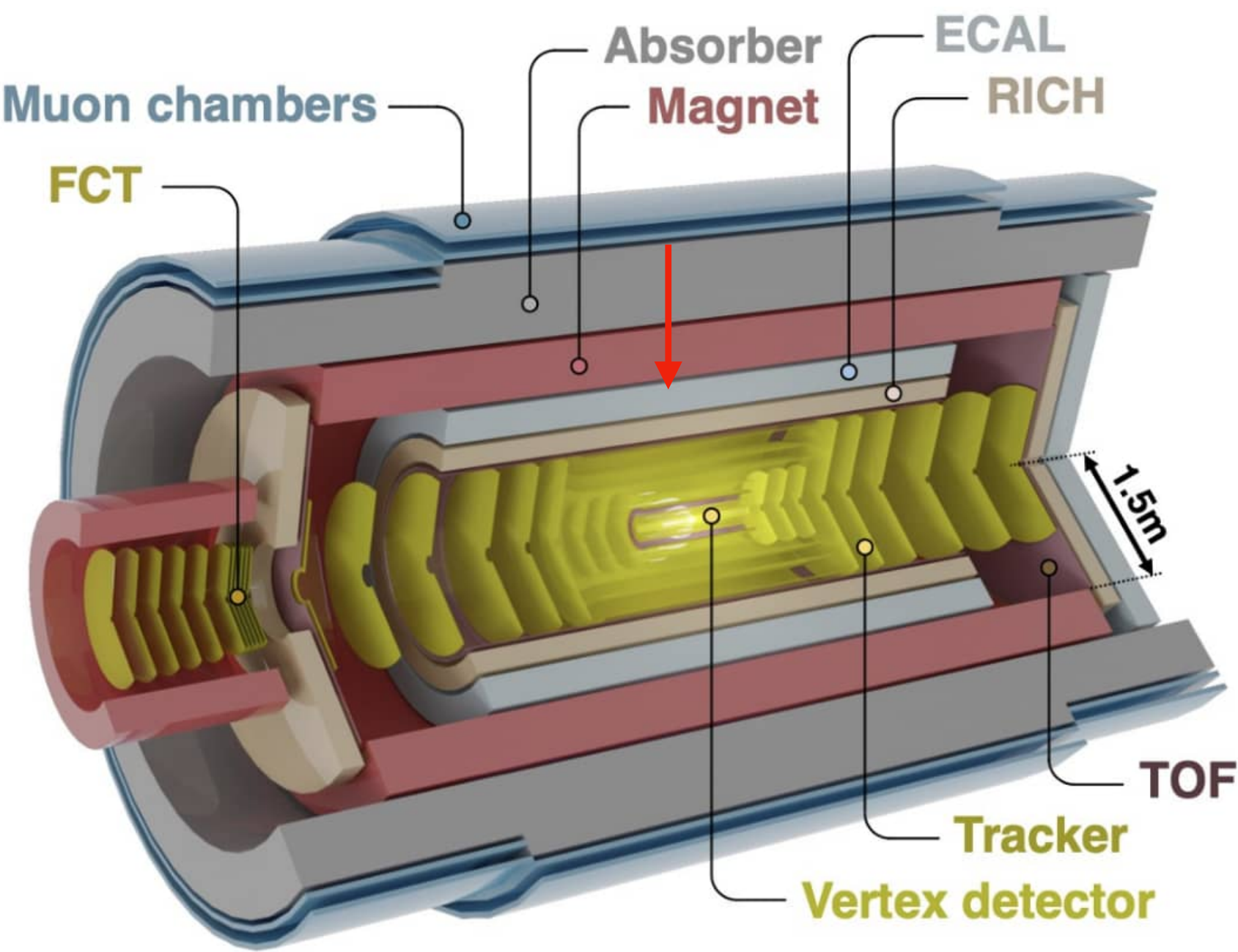


Track non-prompt  $\Xi$  baryon before it decays, novel technique

⇒ Unique access with ALICE 3 in Pb-Pb collisions

# Future ALICE: ALICE 3 업그레이드 (Run 5/6)

2040년까지 장기 계획 수립



모든 검출기가 반도체 센서로 이루어짐!  
→ 반도체 기술 집약

Vertexer : CMOS 실리콘 픽셀 검출기. 휘어지는 웨이퍼 크기 칩 이용 (ITS3 기술 기반 + 최첨단 기술을 이용해 빔파이프 안쪽에 설치)

Outer Tracker (OT): CMOS 실리콘 픽셀 검출기. 업그레이드 된 ALPIDE 칩 이용. ITS2 검출기 면적의 6배: 100 억개 픽셀 x 6 = 600 억개 픽셀

TOF: 시간 분해능이 매우 뛰어난 반도체 검출기. CMOS 기반 센서

## 한국팀 ALICE3 Outer Tracker 주도

☐ 한국팀의 전략적 접근  
ITS2 제작 기간 동안 쌓은 전문성 및 인프라 확장 → 국내 기업과 협업하여 large scale industrial production → Outer Tracker 프로젝트 참여

# 한국팀 ALICE3 Outer Tracker R&D 주도

## 웨이퍼 후공정 정밀도

EngiON Thinning/dicing 기술로 웨이퍼 후공정의 정밀도를 확인하고 최적화

## 모듈 조립 자동화

R&D 진행 중인 조립 자동화 시스템 (MEMSPACK)으로 정확도를 검증  
플립칩 본딩 기술 R&D (NNFC)

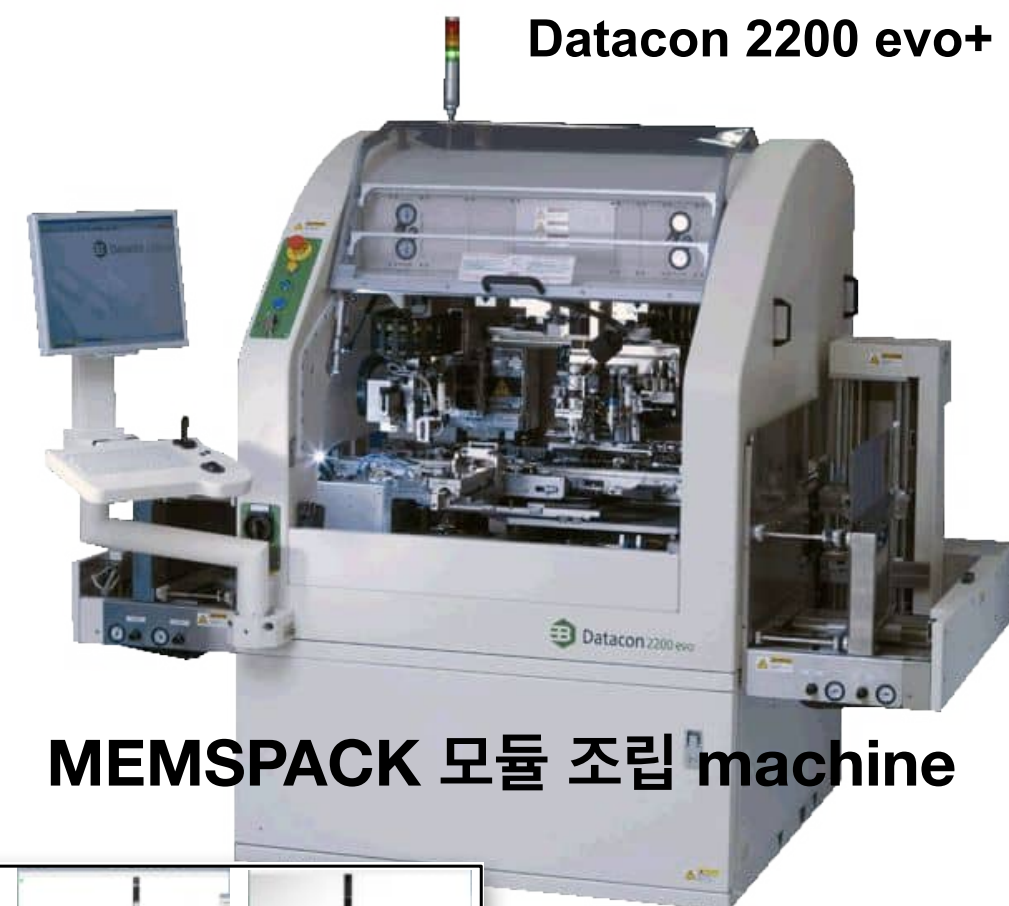
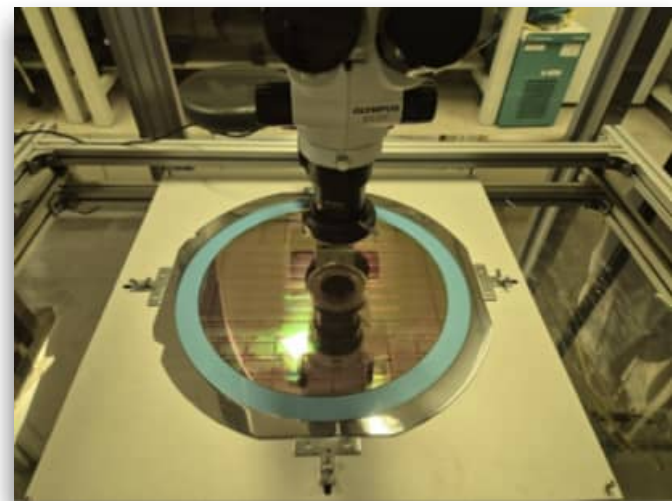
## 칩/웨이퍼 프로빙 시스템

시스템 운용 및 기업을 통한 대량 프로빙/테스트(두산테스나) R&D 수행  
칩대량테스트 장비 제작(C-ON Tech)

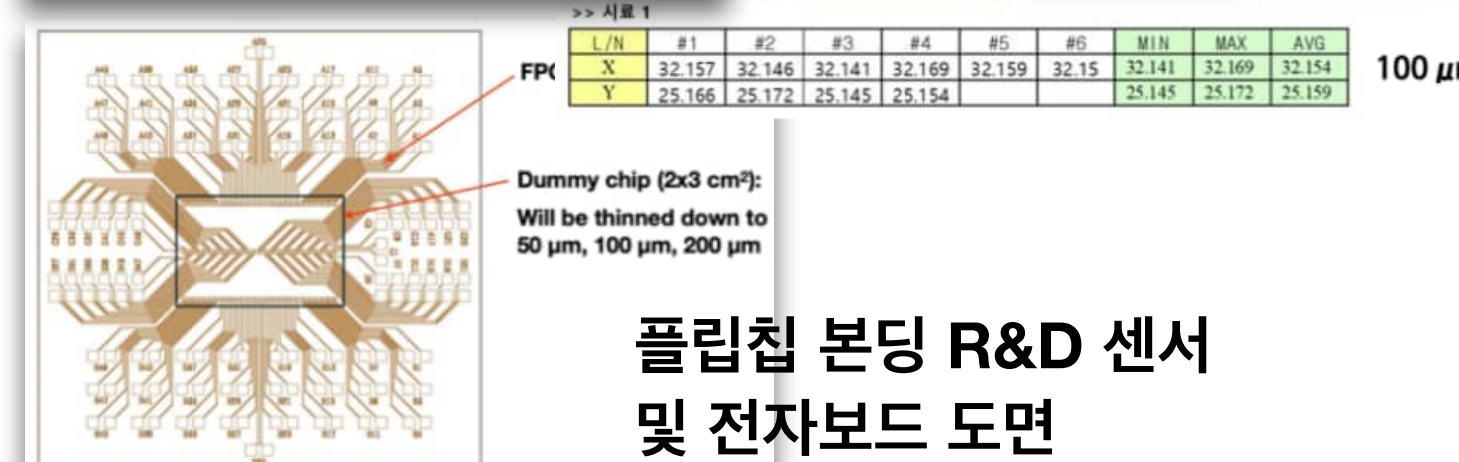
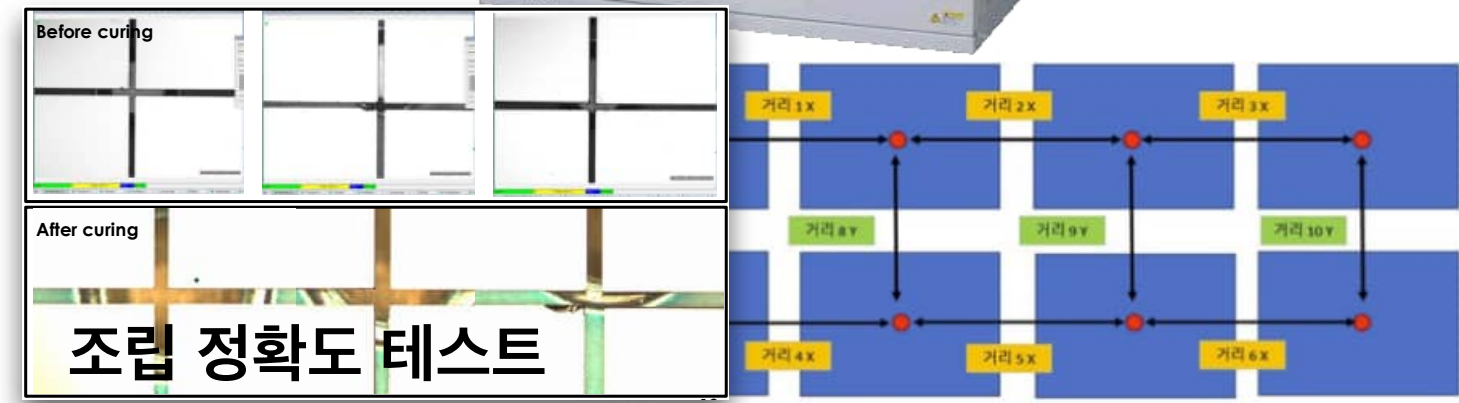
## 쿨링테스트용 센서 대량 생산

냉각 시스템 R&D를 위한 센서 대량 양산 체계 구축 및 생산 (ETRI)

### Setup at Pusan National University

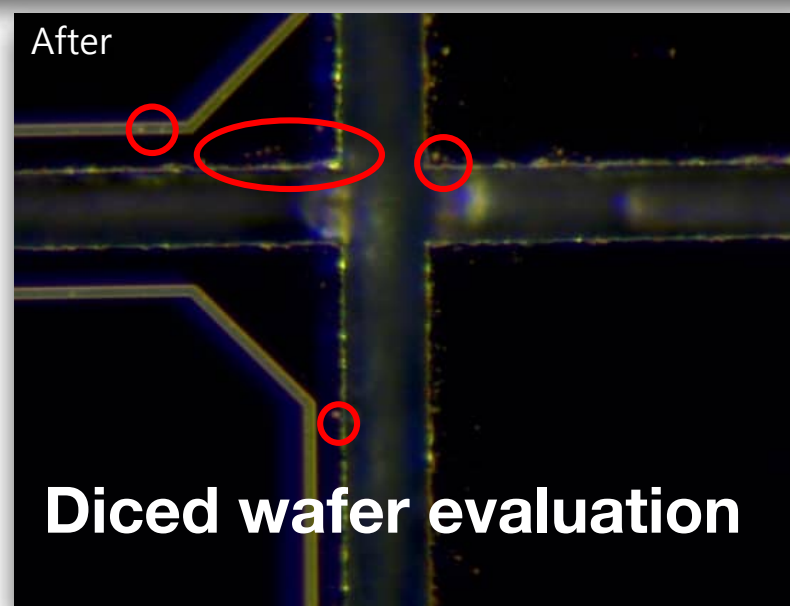
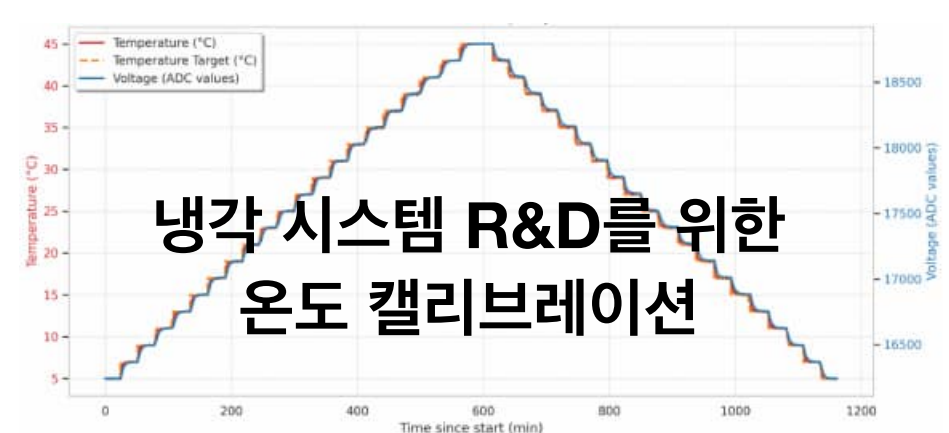
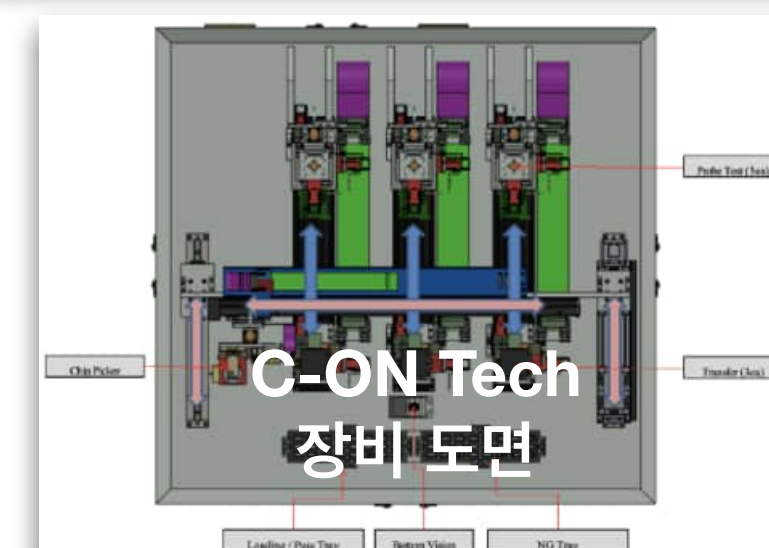
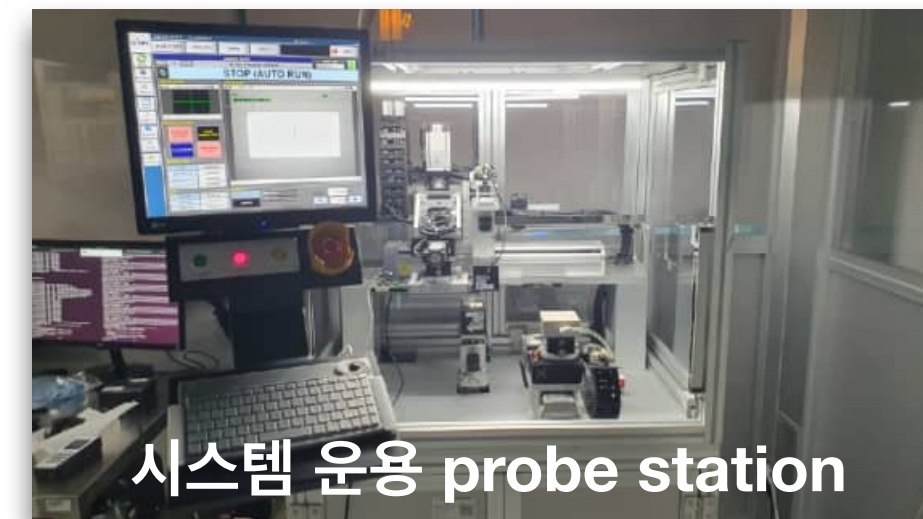


MEMSPACK 모듈 조립 machine



플립칩 본딩 R&D 센서 및 전자보드 도면

### Setup at Inha University



초짜였던 보노보가 완승했다. 협력이 필수인 곳에서는 관용이 지식을 앞선 것이다.<sup>40</sup>

#### 전쟁 없는 삶

자기가축화는 많은 변화를 일으킨다. 개중에는 사랑스럽거나 흥미로운 변화도 있지만, 어떤 변화는 괴상하기도 하다. 하지만 하나의 변화는 나머지 모든 변화와 연결되어 있다. 따라서 최초로 나타난 변화, 즉 친화력의 상승은 모든 가축화된 동물에게서 나타날 뿐 아니라 가장 중요한 특질이기도 하다.

보노보는 다정한 동물로 찬양되기도 하고, '전쟁 말고 사랑'이라는 모토에 걸맞은 히피 유인원이라고 조롱당하기도 한다. 특히 많은 과학자가 우리에게 좀 더 익숙한 침팬지를 우리의 거울상으로 더 적합하다고 믿으면서 보노보는 오랜 기간 무시되어왔다. 실제로 우리가 가진 거의 모든 특성이 침팬지에게 있다. 밝은 면도 어두운 면도. 우리가 그러하듯이 침팬지에게도 빛나는 지능과 악마 같은 장난기, 다정하다가도 순식간에 살해를 저지를 수 있는 잔학성이 공존한다.

그렇다고 보노보를 무시하는 것은 위험하다. 유인원의 친척 가운데, 오직 보노보만이 우리를 괴롭혀온 치명적인 폭력성에서 벗어난 종이기 때문이다. 그들은 서로를 죽이지 않는다. 탁월한 지능과 지성을 뽐내는 인간이 하지 못한 것을 보노보가 성취한 것이다.<sup>4</sup>

인류가 성공한 이유는  
'지능'이 아니라 '다정함'이다

Group genius가 빛을 발하고  
다정함이 있는 곳으로  
후속 세대에게도 비슷한 환경을  
지속적으로 만들어주고 싶다



**Thank you  
for your attention!**

**과학을 다루는 정책은 과학만큼 과학적이어야 한다.**  
**과학을 위한 과학 (science of science)**