

LAMPS Collaboration Meeting at KU, April 17, 2020

Beam Test of the LAMPS Prototype Detectors

Jung Keun Ahn
(Korea University)



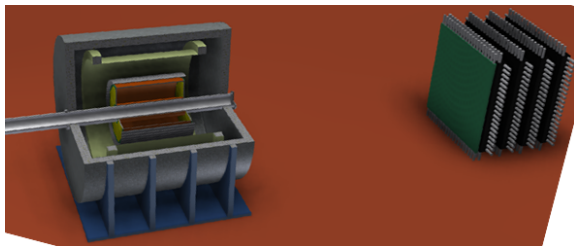
검출기 R&D 단계

- Sketch, Simulation, [Design, Prototyping, Characterization (Bench Tests and Beam Tests)] $\times n$, Fabrication, Assembly, Installation, and Beam Commissioning
- 현재 첫 시작품의 기초 성능 벤치 테스트 단계 (중성자 검출기는 제작 조립 단계를 거쳐 설치 전 활용 단계)
- 시작품 테스트 결과에 따라 성능 개선 과정 여러번 반복 가능성
- LAMPS와 비슷한 에너지의 핵반응으로 빔 테스트 필요 (HIMAC이 빔 테스트에 가장 좋은 이용 시설)

솔레노이드 없는 전체 시스템 테스트

100 AMeV 빔 테스트에서 얻어야 하는 것

- 빔 검출기 (BDC와 SC)는 빔 프로파일과 시작 시간 측정 성능
- TPC는 대전 입자 트랙 구별과 dE/dx 성능
- TOF는 p, d, t 까지 시간과 ΔE 로 구별
- 중성자 검출기(Veto)는 쏟아지는 대전입자 속 진짜 중성자 골라내기
- DAQ 테스트, 표적 설치, 검출기 설치, 트리거, 데이터 저장



중이온 빔 테스트 목표

- BDC의 빔 프로파일 위치 분해능과 측정 효율, 빔 입사 각도 측정
- SC의 빔 통과 시간 측정 분해능, Pile-up 있다면 몇 개로 쪼개야
- TPC는 작은 각 안쪽으로 쏟아 지는 대전 입자들의 트랙 측정, dE/dx 분해능 확인, 대전 입자의 전하량과 속도에 따른 신호 최대 크기, 안쪽 원통 물질과 반응하는 효과, TOF의 힛 위치와 트랙 비교
- TOF는 TPC의 트랙 길이, 운동량, 에너지 손실과 함께 비행 시간과 ΔE 로 입자 판별 가능성과 온라인 트리거 평가
- 중성자 검출기는 먼저 쏟아지는 대전입자를 막을 Veto 검출기 효율 (중양에 가까운 검출기 PMT는 Booster가 필요할 수도), 바닥이나 (자석 구조)에서 오는 중성자와 표적에서 온 친구와 구별
- 각 검출기 신호 교정과 신호 동기화
- 트리거 조건에 따른 DAQ 테스트, 표적 설치 방법, 검출기 지지대, 데이터 전송, 저장, 디코딩

중이온 빔 테스트로 못하는 것

- 솔레노이드 자기장 때문에 빔이 퍼지는 효과 → 입사 빔 궤적을 표적 위치를 지나 15 m 뒤 중성자 검출기 위치까지 시뮬레이션 필요
- TPC 신호 Diffusion의 자기장 효과 → LAMPS Solenoid가 온 다음에나 측정 가능
- 낮은 운동량 입자 TOF 불검출 → 대략은 중이온 빔 테스트 결과로 유추 가능
- 무거운 핵 검출 포기? 전방으로 가는 다양한 대전 입자 측정은?
- 중성자 검출기 PMT 자기장 영향과 15 m 거리에 놓을 때 공기 층 상호작용 → 자기장 세기에 따른 PMT Gain Drop 테스트 필요; 15 m 공기층은 1.5 cm 플라스틱과 비슷, 헬륨백과 PMT보호 질소백 필요?

- 미루어 놓은 숙제 누가?



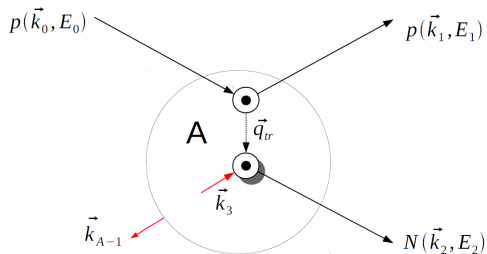
테스트 실험과 핵반응 물리 주제

- (솔레노이드) LAMPS 스펙트로미터의 첫 테스트
- 성공 여부를 확인할 핵반응 실험 결과

- LAMPS는 무거운 핵은 측정하지 않고 p_T 가 큰 가벼운 입자들만 측정 (솔레노이드 특징).
- LAMPS 검출기의 데이터를 받을 수 있는 것 만으로도 큰 성공!
- 데이터를 받을 수 있을 때, 데이터 검증을 위한 핵반응 실험 데이터 취득.
- $^{12}\text{C}+p$ and $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ reactions with a polyethylene $((\text{C}_2\text{H}_4)_n)$ target (물론 Au 표적이거나 Al 등 무거운 핵도 가능).
- Detection of p, d, t, α , nuclear fragments, ^{12}C , and neutron.
- Measurement of energy, track, time-of-flight, and (momentum).



Quasi-free Scattering Reaction (p, pN)



- Quasi-free scattering reaction (p, pN) in the rest frame of the target nucleus A .
- The incoming proton knocks out a nucleon N from the nucleus, creating a hole in the residual $(A - 1)$ nucleus.
- \vec{k}_3 and \vec{k}_{A-1} indicate the internal momentum of the knocked-out particle and the balancing recoil momentum of the $(A - 1)$ system.

Physics with Quasi-free Scattering

- The modification of in-medium nucleon properties
- Correlations between nucleons inside nuclei

- $(p, 2p)$, (p, pn) , (p, pd) , and $(p, p\alpha)$ (클러스터 구조)
- $(p, 2p + n)$ with triple coincidence
- The binding energy B_N of a nucleon inside a nucleus:

$$B_N = S_N + E_{A-1}^* = T_0 - (T_1 + T_2 + T_{A-1}),$$

where T_0 denotes a kinetic energy of the incoming beam.

- The residual nucleus will decay either via **γ -ray emission** if $0 < E_{A-1}^* < S_{A-1}$ or via **breakup** if $E_{A-1}^* > S_{A-1}$.
- The **internal nucleon momentum** can be deduced

$$\vec{k}_{A-1} = \vec{k}_0 - \vec{k}_1 - \vec{k}_2 = -\vec{k}_3$$

진짜 잘해보려면...

- N/Z 비대칭 핵 빔을 이용한 준탄성산란 반응 연구
- 표적 주변 high-Z 핵 ΔE 검출기와 전방 산란 Tracker

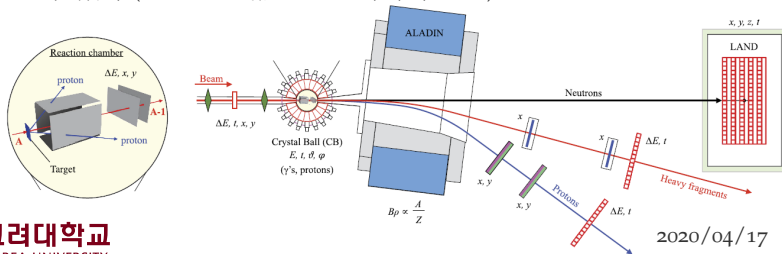
- Silicon 검출기 또는 얇은 플라스틱 검출기를 활용?
- ^{12}C 이 테스트 하기엔 좋은 핵종 후보: 많은 기존 실험 데이터와 single-particle structure는 잘 이해.
- Deep-lying hole state나 internal correlation between nucleons는 아직 도전할 숙제
- Ground state of ^{12}C has $(1s_{1/2})^2(1p_{3/2})^4$ shell-configuration for protons and neutrons.
- The QFS knockout of a single proton populates a state in ^{11}B with a hole either in the valence (loosely bound) p -shell or in the inner (deeply bound) s -shell.



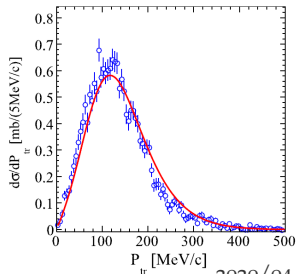
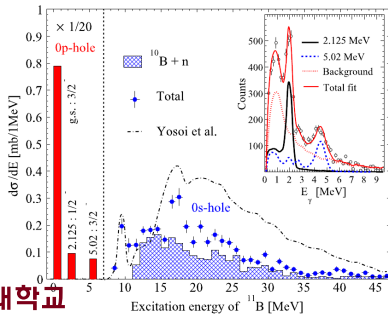
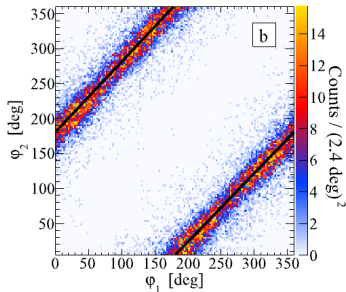
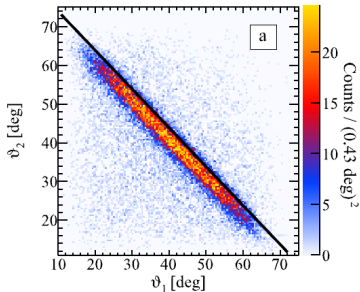
$^{12}\text{C}(p, 2p)^{11}\text{B}$ Reaction

- Exclusive measurement of quasi-free $^{12}\text{C}(p, 2p)^{11}\text{B}$ reactions in inverse and complete kinematics

- 양성자 빔의 핵반응은 핵 안의 양성자와 탄성 반응한 다음 둘 다 핵 밖으로 빠져나간다. 남은 핵은 상대적으로 낮은 운동량을 가지기 때문에 측정하기가 어렵다.
- 중이온 빔을 이용하는 경우 남은 핵에서 붕괴한 입자, 핵들을 측정할 수 있다 (SSD 또는 얇은 신틸레이터 필요)



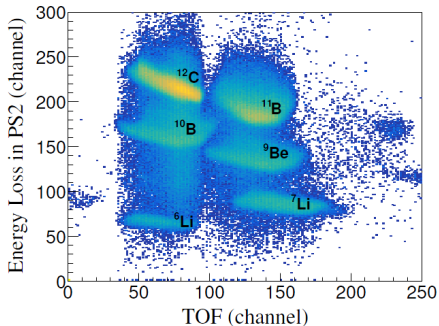
$^{12}\text{C}(p, 2p)^{11}\text{B}$ Reaction



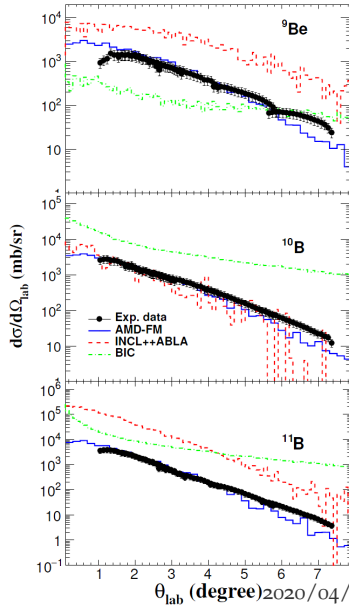
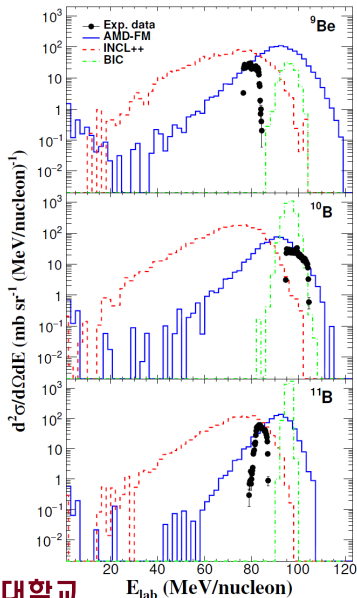
^{12}C Fragmentation in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ at 100 AMeV

- Fragments such as ^{11}B , ^{10}B , and ^9Be produced in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ scattering with an incident energy of 100 AMeV.

- This measurement aims to explore the reaction mechanism of the fragmentation process.
- The angular distributions and energy spectra are compared with AMD, binary INC, and Liège INC (INCL++).
- Particles were identified by the $\Delta E - \text{TOF}$ measurement.

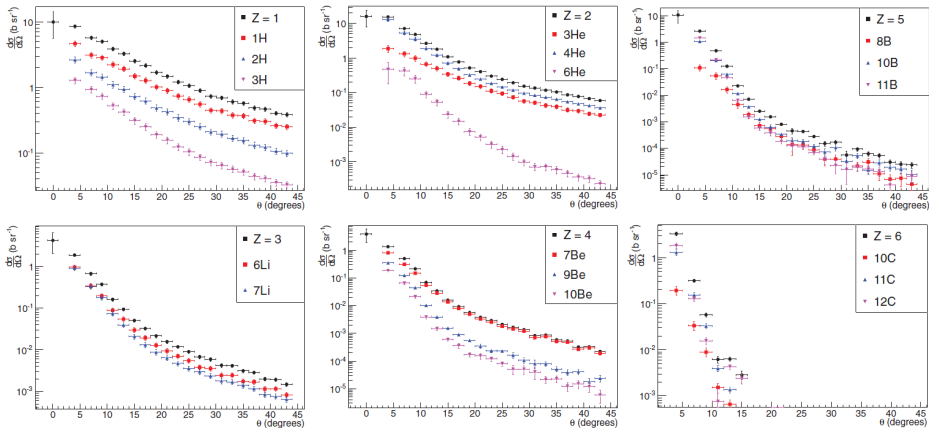


^{12}C Fragmentation in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ at 100 AMeV



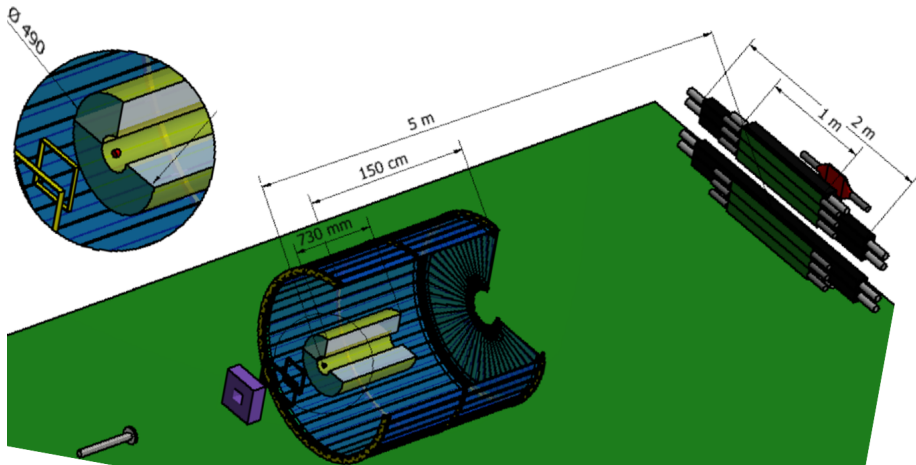
Fragments in $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ at 95 AMeV

- Double differential fragmentation cross sections of $^{12}\text{C}+^{12}\text{C}$ in fragmented particles, ranging from protons to carbon ion isotopes.

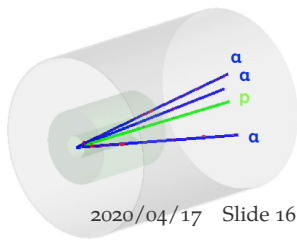
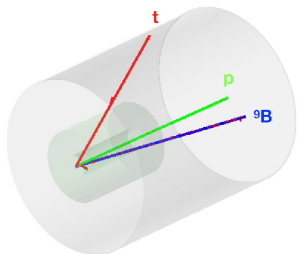
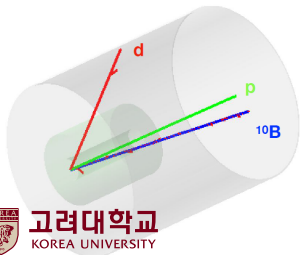
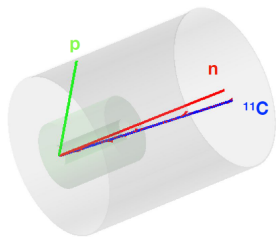
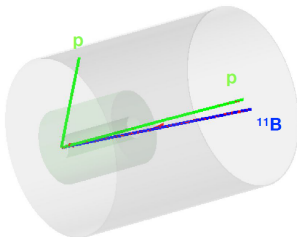
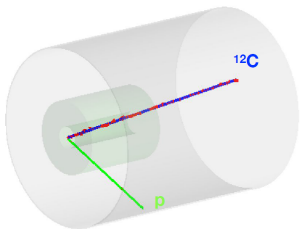


우리는 어떻게 실험을 할 것인가?

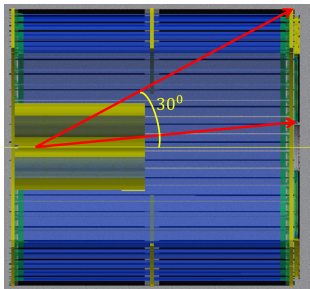
- 자석 없는 LAMPS Day-0 예비 실험!



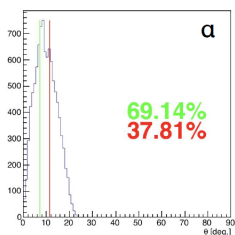
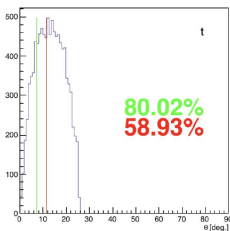
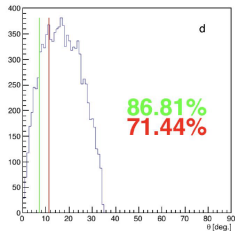
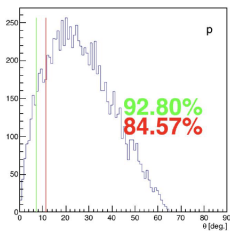
$^{12}\text{C}+p$ 반응에서 나오는 입자는 어디로?



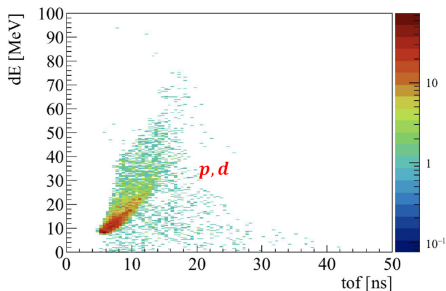
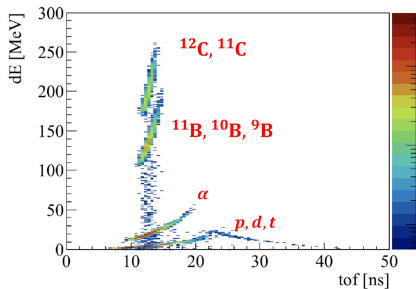
$^{12}\text{C}+p$ 반응에서 나오는 입자는 어디로?



- BTOF에 가려면 30도 이상 각이 필요.
- BTOF에 오는 건 p 와 극히 일부의 d .
- FTOF는 10-30도 사이로 오는 p, d, t, α 까지 측정 가능.



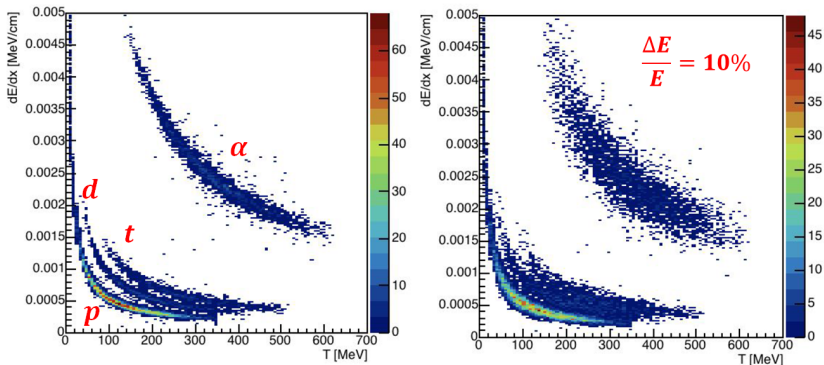
PID using ToF and ΔE



- (왼쪽) FTOF (두께 0.5 cm)와 (오른쪽) BTOF (두께 1.0 cm)의 ToF vs ΔE .
- 핵자당 100 MeV ^{12}C 빔 ($T=1.2$ GeV ^{12}C)
- FTOF의 경우 일부 Fragments까지 측정 가능하나, BTOF는 p, d 구별 불가
- 같은 전하량을 가진 입자들은 구별 불가

$$\Delta E \propto z/\beta^2, \quad (p = m\beta\gamma)$$

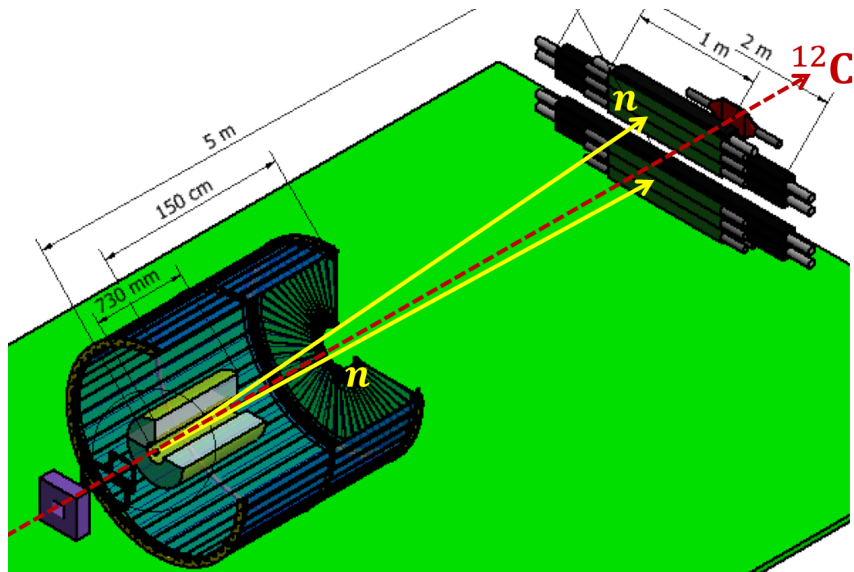
Stopping Power in TPC (Prototype)



- Stopping power with kinetic energy.
- With ToF PID, the kinetic energy can be deduced from

$$T = E - m, \quad E = \sqrt{p^2 + m^2}, \quad p = m\beta\gamma, \quad \beta = \frac{L}{c \cdot \text{ToF}}$$

Neutron Detector and Beam Flux Monitor



현재 우리는? 나부터

- $^{12}\text{C}+\text{CH}_2$ 반응 연구와 간단한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 개념 디자인
 - LAMPS ToF 시간 분해능 목표 설정을 200 ps 이하, 라이트 가이드 형태의 Prototype R&D 예정 (2020년 여름 완료)
 - BTOF와 FTOF 구매 (1/4, 1/2, 몽땅)
1. F. Cucinotta and R.R. Dubey, Phys. Rev. C 50, 1090 (1994)
 2. V. Panin *et al.*, Phys. Lett. B 753, 204 (2016)
 3. J. Engelage *et al.*, Phys. Lett. B 173, 34 (1986)
 4. C. Kezhong *et al.*, J. Phys. G: Nucl. Part. Phys. 20, 1225 (1994)
 5. H. Lohner *et al.*, Z. Physik A 292, 35 (1979)
 6. I. Ahmad, M.A. Abdulmomen, and M.S. Al-Enazi, Phys. Rev. C 65, 054607 (2002)
 7. J. Dudouet *et al.*, Phys. Rev. C 88, 024606 (2013)
 8. W.W. Qu *et al.*, Chinese Phys. C 42, 074001 (2018)



LAMPS 예비 실험 시간표

2020	4월	● 누가 무엇을 할 것 인가?
	6월	● 디자인, 제작, 조립, 시뮬레이션
<hr/>		
	8월	● 각 검출기 제작 완료, 우주선 테스트 성공
	10월	● (경주 100 MeV 양성자 빔 이용 테스트)
	11월	● 실험제안서 제출 기한 (11월 초)
	12월	● 빔 모니터, 무거운 핵 검출기 개발?
<hr/>		
2021	2월	● 경주 100 MeV 양성자 빔 이용 테스트
	3월	● HIMAC 실험용 구조물 제작, 검출기 준비 완료 기한
	4월	● 시뮬레이션과 트리거 연구, 표적 시스템 준비
	6월	● 전체 시스템 우주선 테스트 @ RAON
	9월	● 짐 싸기 (항공 운송)
	10월	● HIMAC 실험
..	..	●
2022	1월	● HIMAC 실험?

누가 무엇을 할 것인가?

- Collaborative Research : 한 목표를 향해 모두가 고민하고 노력하는 연구
- Cooperative Research : 각자의 목표를 향해 맡은 일에 책임지는 연구

○ 권민정, 김영진, 김은주, 김현철, 류민상, 문동호, 안정근, 이종원, 이효상, 임상훈, 홍병식, 황상훈, ... (12명+): 12가지 이상 Mission 수행 가능

1	Simulation	7	Trigger (Timing/Event Rate)
2	Beam Profile Chamber	8	Beam Monitor
3	Start Counter	9	High-Z Detector
4	TPC Prototype	10	Target System
5	BTOF/FTOF	11	Data Acquisition/Transfer
6	Neutron, Charge Veto	12	Forward Tracker

1) 지지대 만들기, 물건 보내고 다시 받기, 제안서 쓰기, 데이터 해석 등

학생들은?

- 경험삼아 참가는 비추!
- 최소한 검출기 제작, 벤치 테스트 단계부터 지도교수 지도 받아 참가해야 가능.
- (제 학생이 있다면) 개별 검출기 빔 테스트로 석사학위 논문, 전체 실험을 이끄는 경우 박사 논문도 가능.....할 듯.

어쨌거나 이 HIMAC 테스트 실험은 LAMPS 실험 전 꼬~옥 해야 함!!

