Super-Kamiokande, Hyper-Kamiokande, and Korean Neutrino Observatory

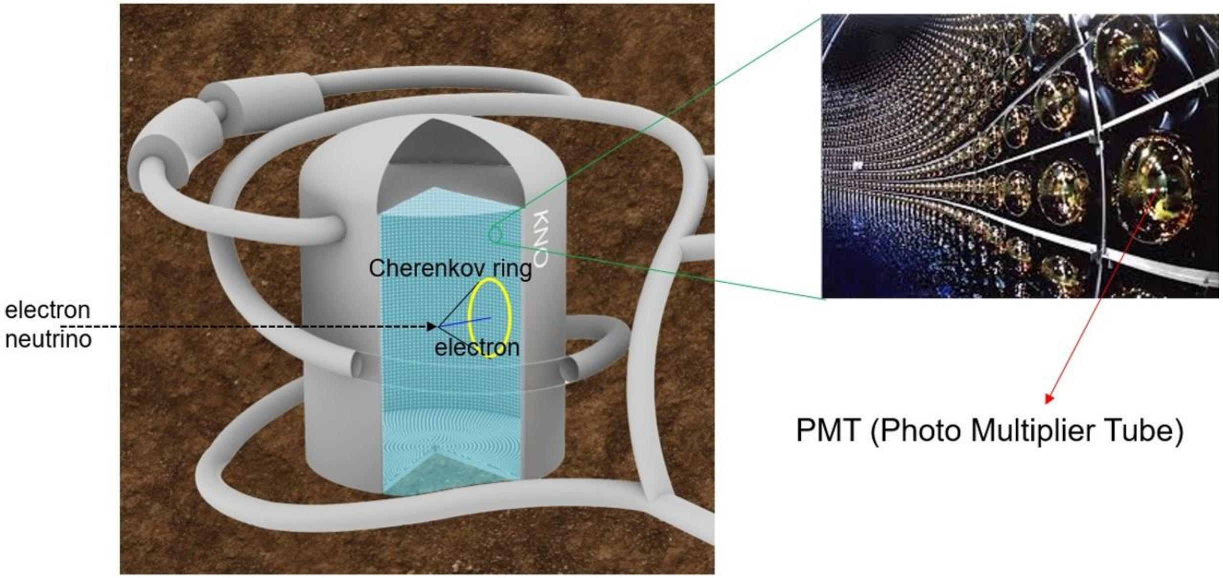
성균관대학교

유인태

입자 및 장물리학 분과 학술대회, 2022.12.17

Super-Kamiokande(SK), Hyper-Kamiokande(HK), Korean Neutrino Observatory(KNO)

- Water Cherenkov Detector

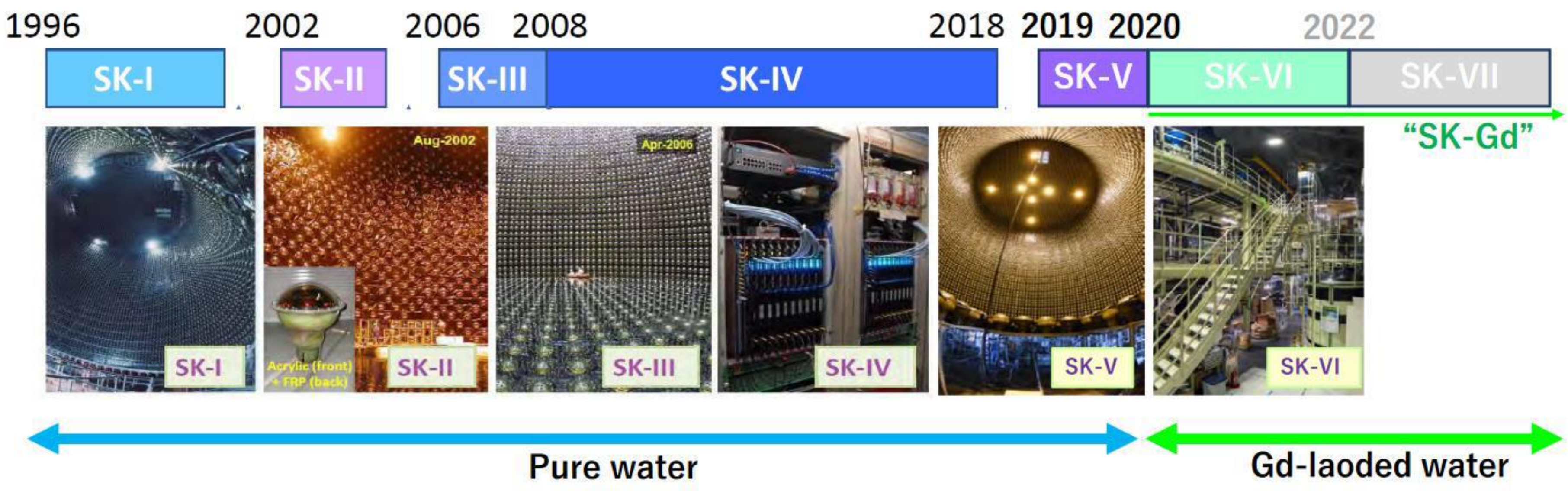


	SK	HK	KNO
Water volume	50,000 ton	260,000 ton	500,000 ton
20″ PMT	~13,000	~20,000	~30,000

Super-Kamiokande (SK)

SK Data Taking Phases

- Data taking since 1996
  → Gd-loading phase: SK-VI (0.01%), SK-VII (0.03%)
  → Improve neutron tagging efficiency (75% for SK-VII)
  Especially useful for search of diffuse supernova neutrinos



Linyan Wan, NEUTRINO 2022

Korea SK Group

- 5개 기관 (서울대, 전남대, 성균관대, GIST, IBS)의 10여명의 연구자 참여

- Korean laser system을 사용한 water parameter 측정 연구

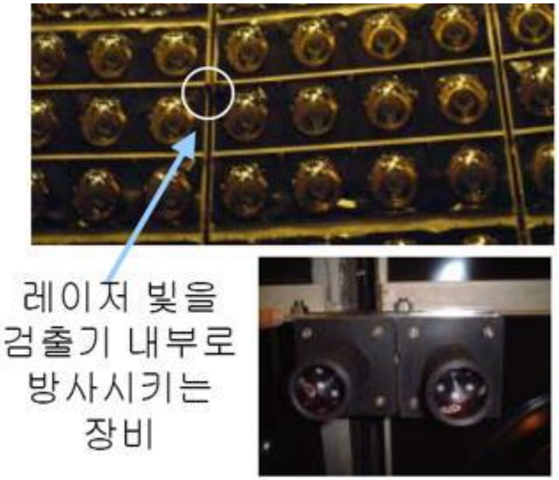
- Ongoing SK Data Analyses

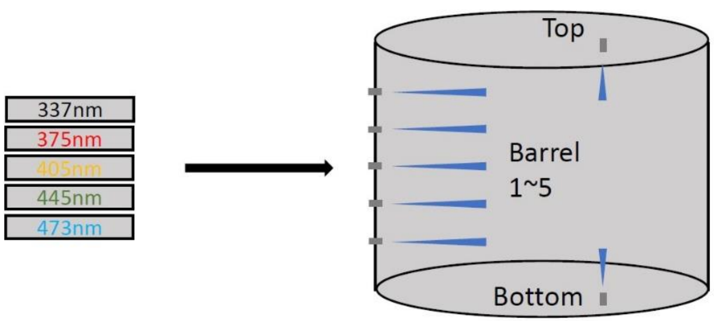
  → Seasonal variation of solar neutrino

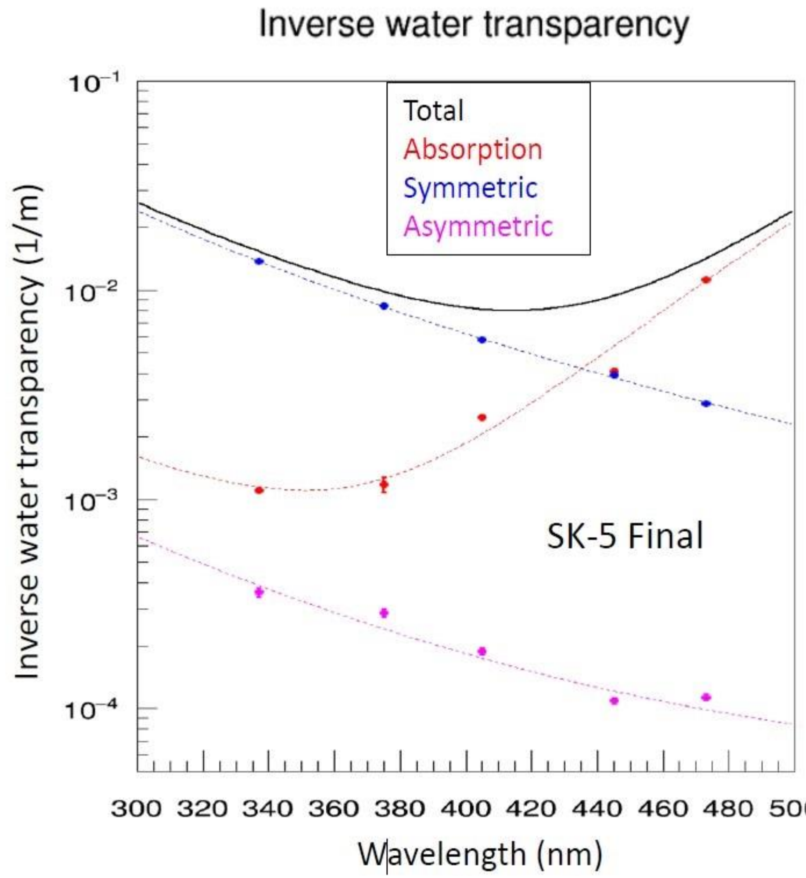
  → Search for $p \rightarrow e^{+}\pi^{0}\pi^{0}$ and $p \rightarrow \mu^{+}\pi^{0}\pi^{0}$

  → Search for $n \rightarrow \nu\pi^{0}$ and $p \rightarrow \nu\pi^{+}$

Light Scattering Measurement in SK



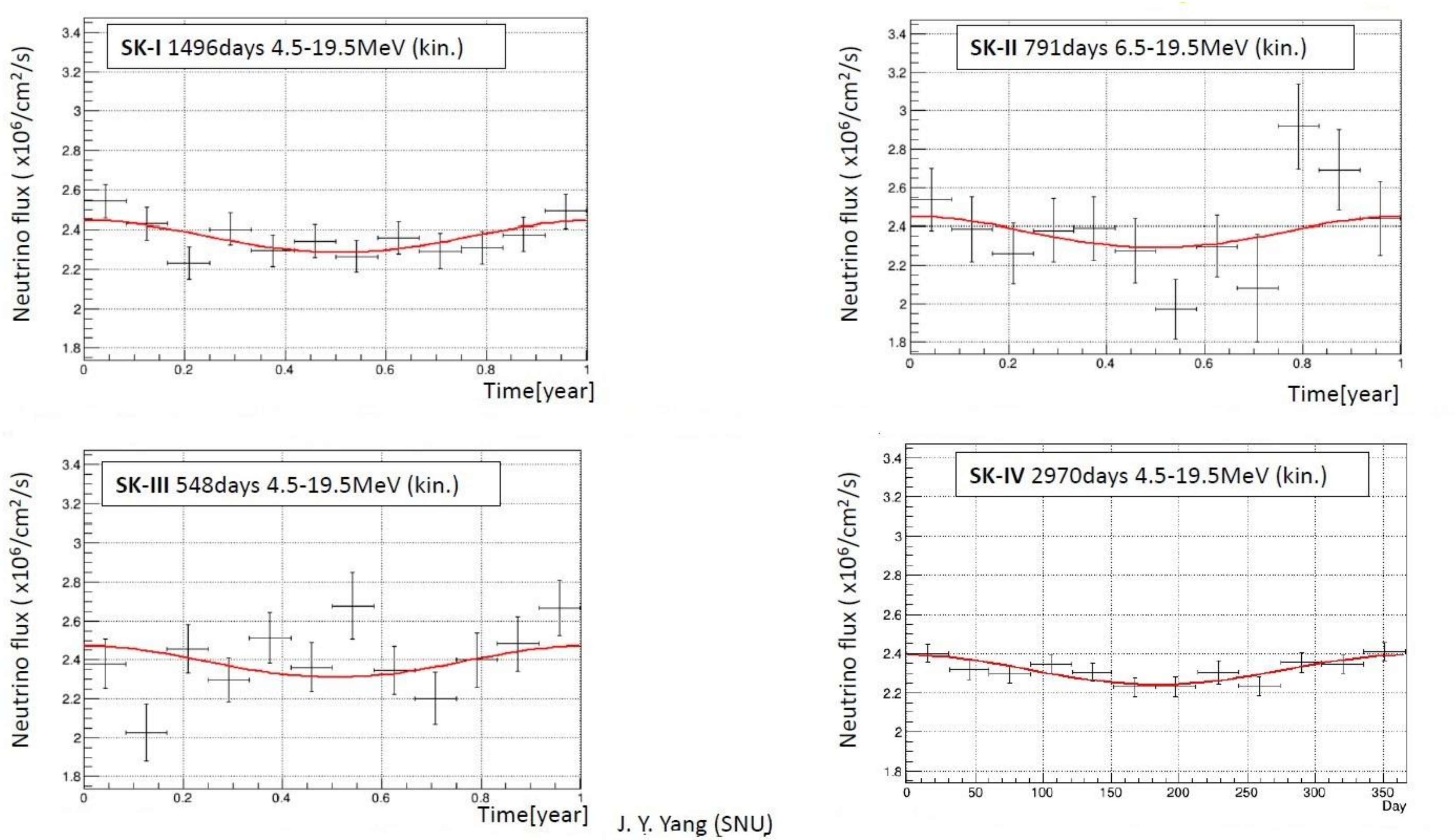




J.W. Seo (SKKU)

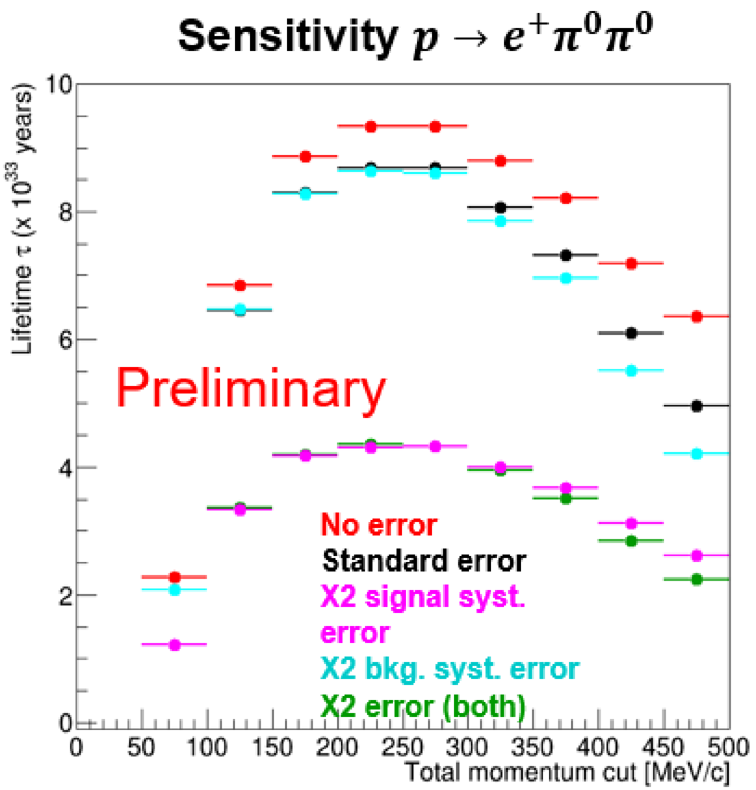
- Korean laser system (7 injector positions, 5 wavelengths)
  → measure water parameters for each period

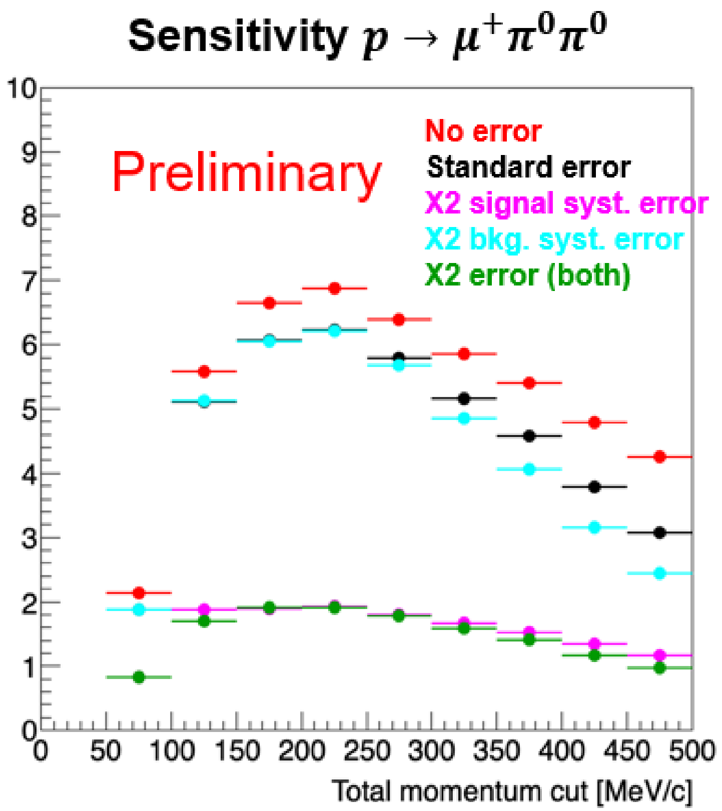
Seasonal Variation of Solar Neutrino



- Measure seasonal variation of solar neutrino flux
  → preliminary results consistent with predictions based on orbital corrections, neutrino oscillations and MSW effect

Search for p→$e^+\pi^0\pi^0$ and p→$\mu^+\pi^0\pi^0$



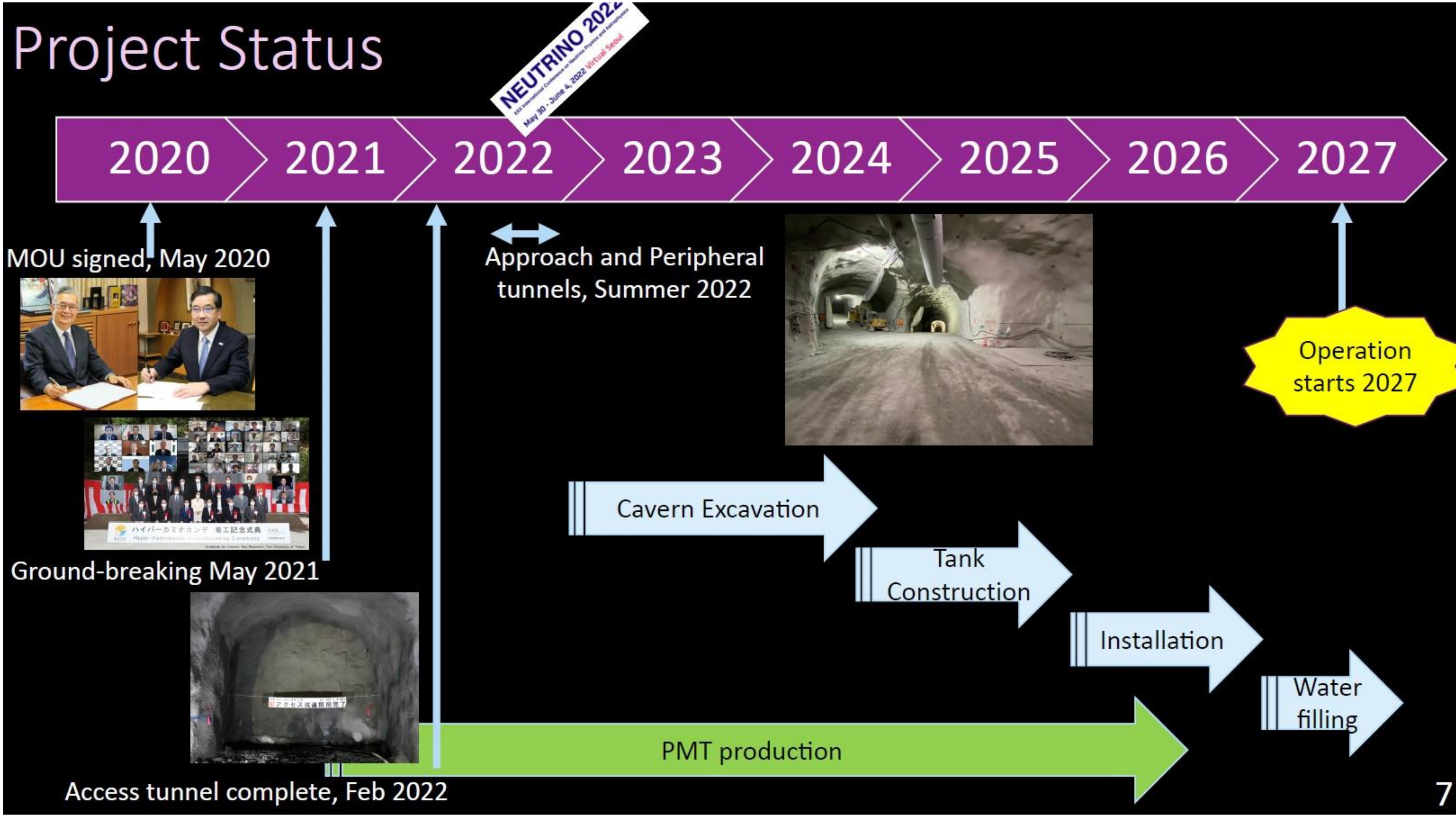


J.W. Seo, NEUTRINO 2022

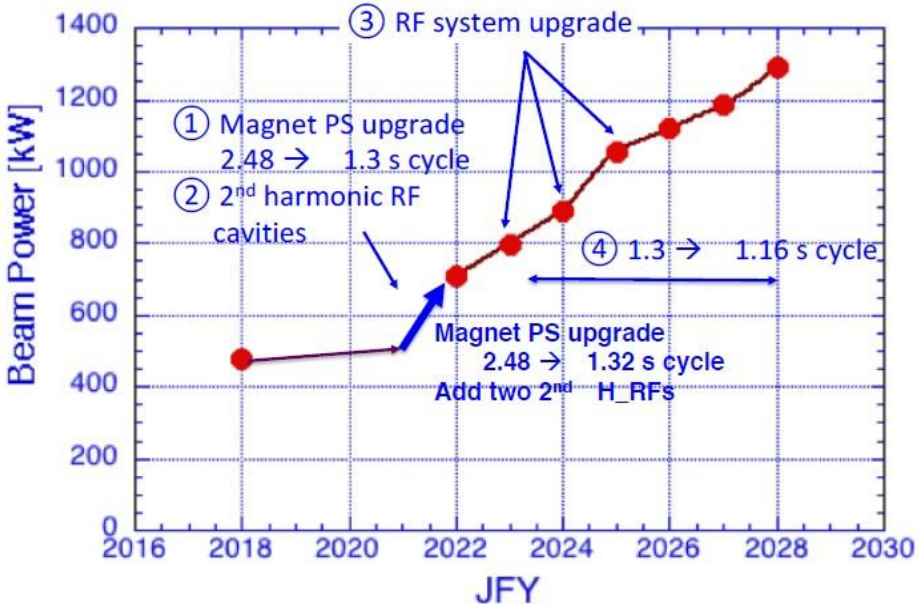
- Search for three-body decay of protons
  → previous measurements from IMB (~10^{32} yrs)
  → Using SK I~V data, sensitivity up to 6~8 X 10^{33} yrs

Hyper-Kamiokande (HK)

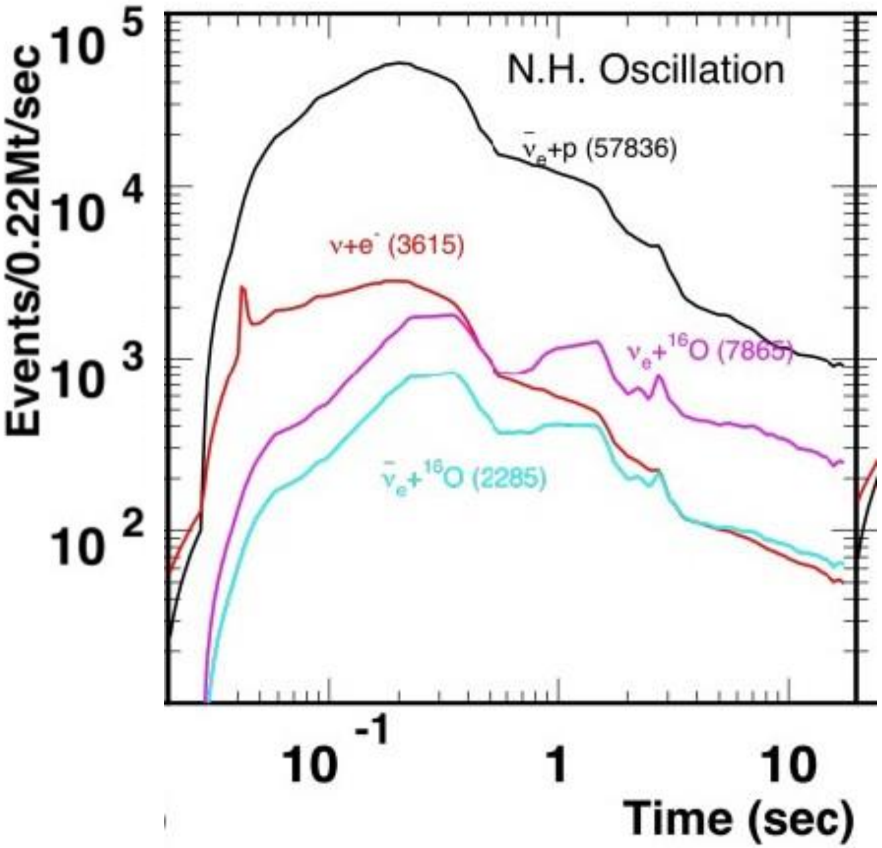
Status of Hyper-K

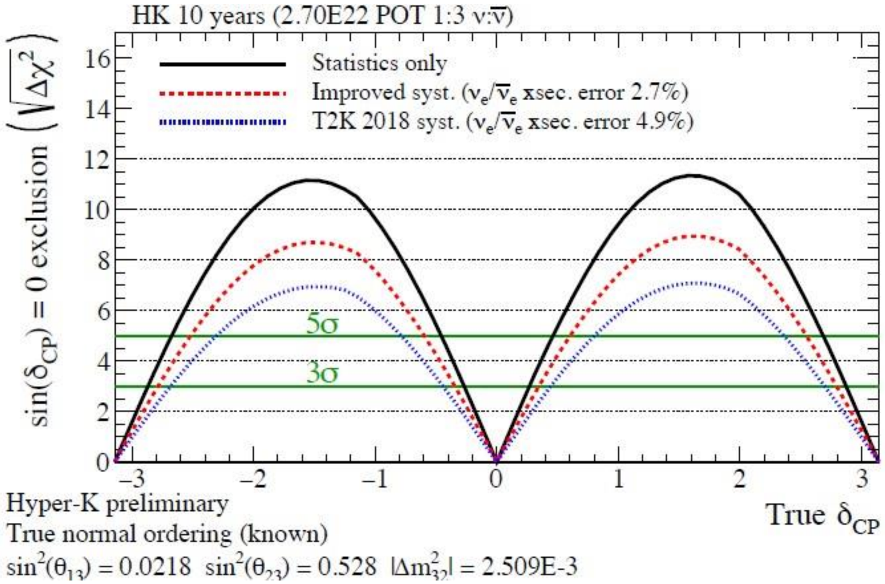


Status of Hyper-K



10kpc SN





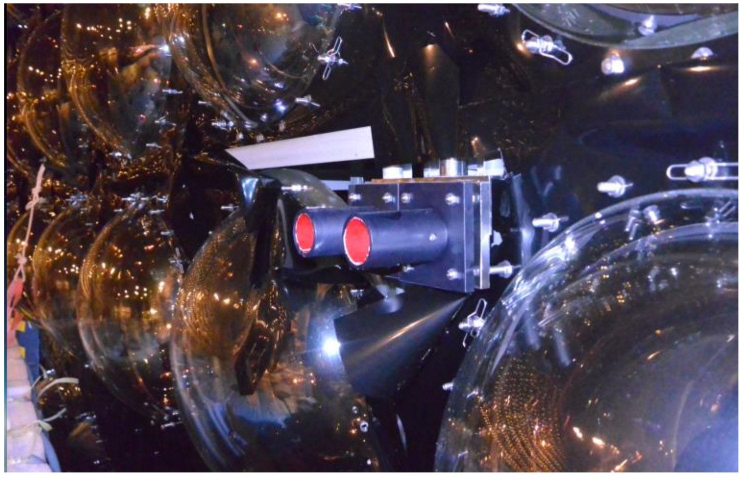
Jeanne Wilson, NEUTRINO 2022

Korean Hyper-K Group

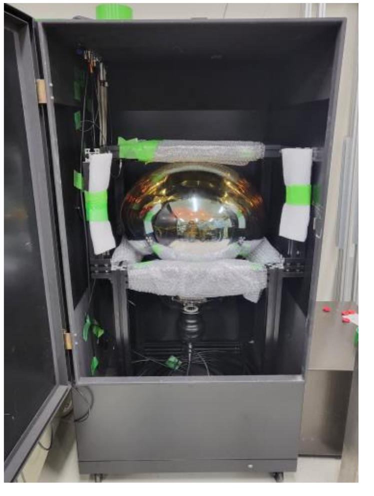
- 7개 기관 (서울대, 전남대, 성균관대, GIST, 경북대, UNIST, 동신대)의 20여명의 연구자 참여

- Contributions of Korean HK group
  → water calibration을 위한 improved laser system
  → PMT pre-calibration (2023~2025)
  → possible contributions to HK computing

Korean Laser Injector at SK

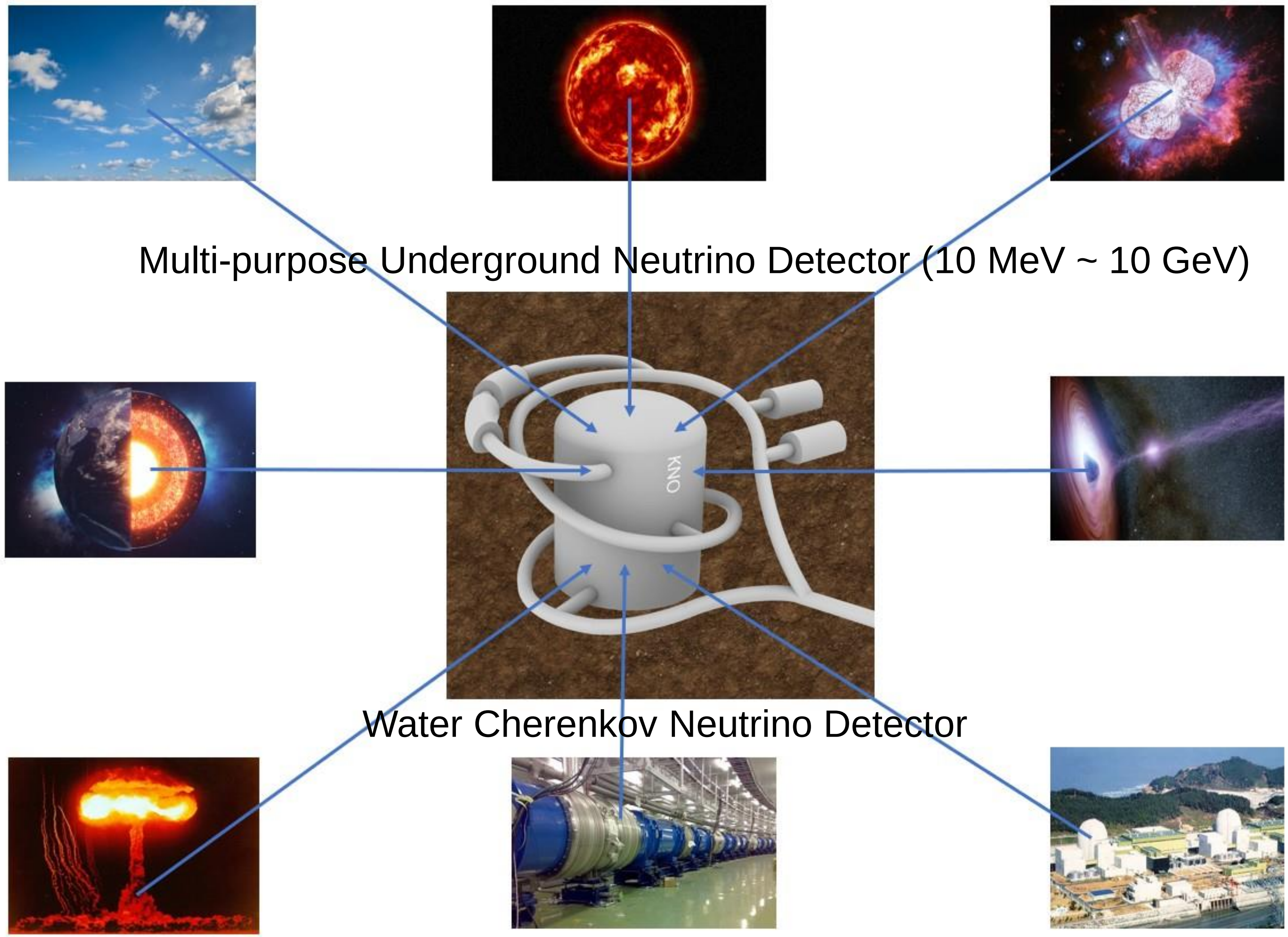


PMT Test Bench



Korean Neutrino Observatory (KNO)

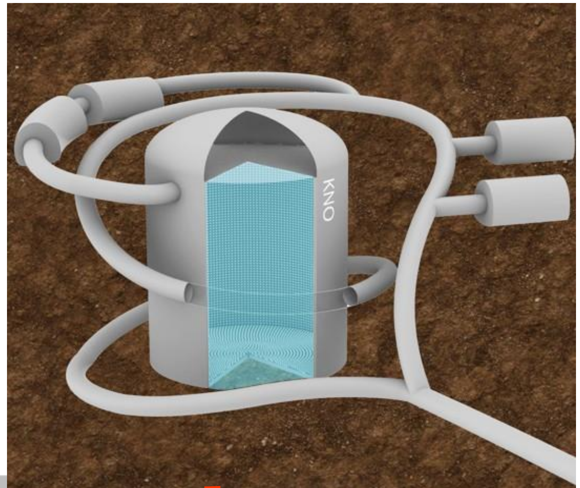
KNO Science



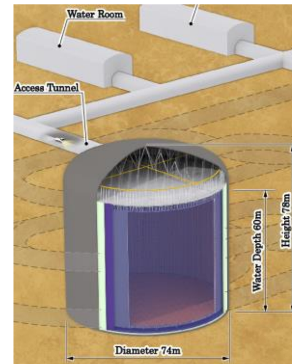
Multi-purpose Underground Neutrino Detector (10 MeV ~ 10 GeV)
KNO
Water Cherenkov Neutrino Detector

Neutrino Beam from J-PARC

KNO



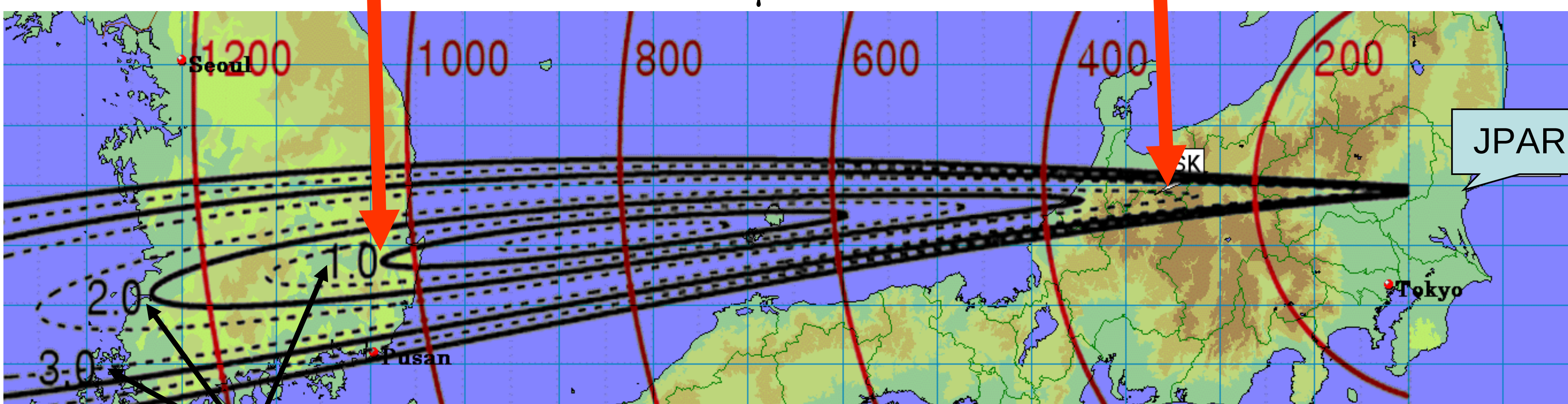
~1.5 deg. off axis



Hyper-K

2.5 deg. off axis

The J-PARC ν_μ beam comes to Korea.



JPARC

Off-axis angle

see hep-ph/0504061

By K. Hagiwara, N. Okamoura, K. Senda

Neutrino Physics of KNO

- Observation of CP Violation (δ_{cp}) in the Neutrino sector
  → possibly explain the matter-antimatter asymmetry in the universe

- Determination of Neutrino Mass Hierarchy

- Search for Proton Decays
  → predicted by GUT model (10^{34}~10^{36} yrs)

- Search for self annihilating Dark Matter in the Sun, Earth,..

- Search for Non-Standard Neutrino Interactions and many others

Neutrino Astronomy of KNO

- Supernova Neutrinos
- Solar Neutrinos
- Neutrinos from active galactic nuclei and microquasars
- Neutrinos from black hole and neutron star merging
- Neutrinos from interactions of cosmic protons and nuclei in the Galaxy
- Neutrinos from gamma-ray bursts (GRB)
- Neutrinos from dark matter decays

Multi-Messenger Astronomy

KNO의 경쟁력

국가	실험	검출기 규모	건설 비용	중요 기대성과
한국	KNO	50만톤 물 체렌코프 검출기	약 3500억 원	CP 비대칭성 발견 및 정밀측정 우주 중성미자 발견 및 정밀관측 양성자 붕괴 탐색
일본	Hyper-Kamiokande	26만톤 물 체렌코프 검출기	약 8000억 원	CP 비대칭성 발견 우주 중성미자 발견 양성자 붕괴 탐색
미국	DUNE	4만톤 액체 아르곤 검출기	약 3조 원	CP 비대칭성 발견 우주 중성미자 발견 양성자 붕괴 탐색

KNO 의 SWOT 분석

강점 (Strength)	약점 (Weakness)
해외 경쟁 프로젝트에 비해 낮은 구축 비용과 우수한 연구기대성과	대형 연구시설에 대한 지원시스템의 부재로 인한 사업 추진 지연
기회 (Opportunity)	**위협 (Threat)**
노벨상 급의 연구기대성과 (물질-반물질 비대칭성, 다중신호 천문학 등)	Hyper-Kamiokande, DUNE 등의 해외 차세대 프로젝트와의 경쟁

KNO 추진 경과

- 2016년 6월: KNO 건설 논의와 국제 학계와 추진 협의
- 2016년 9-11월: KNO 국제 학회 개최, 관련 백서 발간
- 2017년~현재: 선행연구 착수와 추진 노력
- 2017년 4-7월: 구축 후보지 지반 탐사와 건설 비용 산정
- 2017년 11월: 물리학계, 천문학계 공동 추진을 합의
- 2018년 10월: 가칭 "KNO 추진단" 결성
- 2020년 5-11월: 과기정통부 정책과제 "중성미자 분야 발전방안" 수행
- 2020년 9월: 대구시 혁신성장국 방문
- 2020년 11월: 비슬포럼에서 KNO 지역발전방안 설명
- 2021년 2월: 국회 방문
- 2021년 5월: 노벨상 수상자 카지타 교수 초청 KNO 워크샵 개최
- 2022년 11월: 경북대, UNIST, 물리학회, 천문학회, 천문연구원과 KNO 추진을 위한 업무협약서 (MOU) 체결

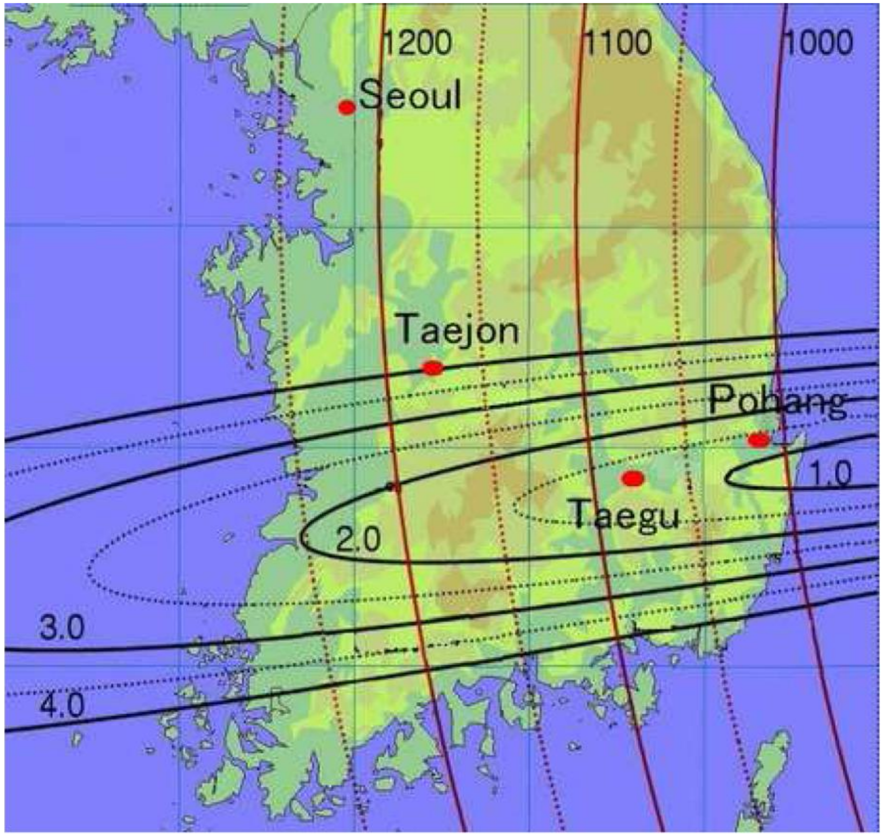
KNO 추진단

- KNO 추진단 결성 (2018.10)
- 4개의 working group들이 활동 중
- 국내 10여개 대학 40여명의 박사급 연구자 참여

www.kno.or.kr

KNO 후보지

- **후보지 여건**
  - J-PARC neutrino beam을 활용할 수 있는 한반도 남부지역 (~1000km, 1~2도)
  - 1000m 이상의 높이를 가진 산

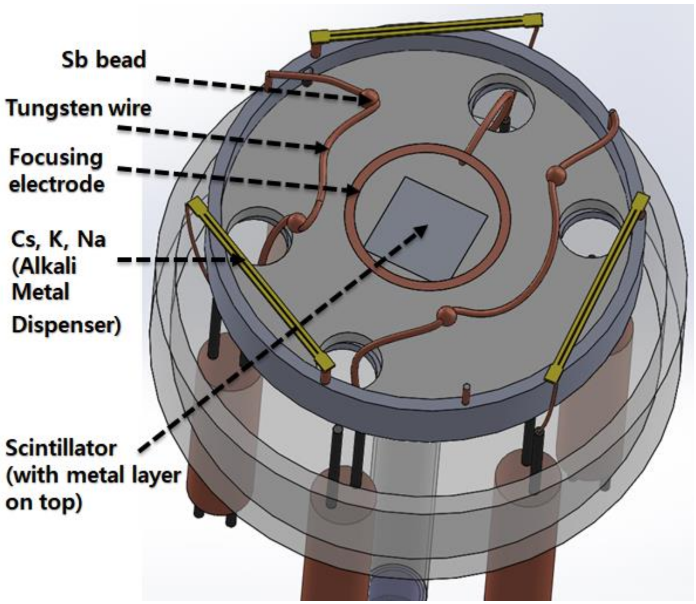


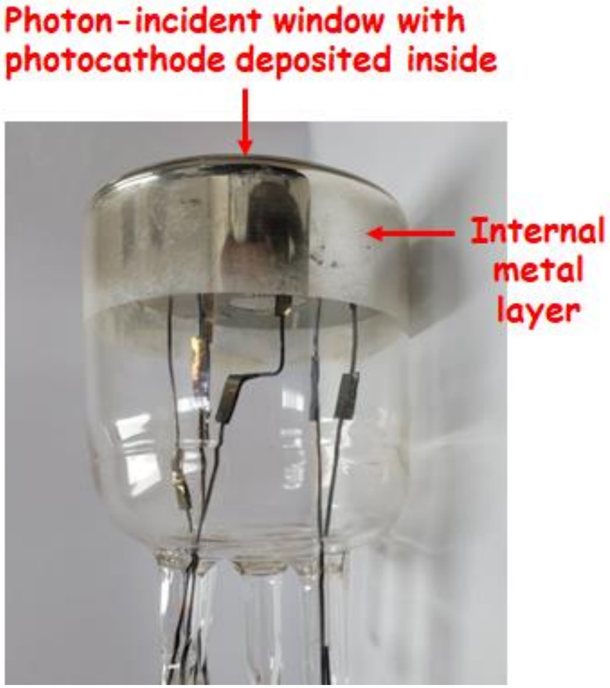
- **유력 후보지**
  - 달성 비슬산 (1084m)
  - 영천 보현산 (1124m) 등

Site	Height (m)	Baseline (km)	Off-axis angle (degree)	Elements of rock
Mt. Bisul	1084	1088	1.3°	Granite porphyry, Andesitic breccia
Mt. Hwangmae	1113	1140	1.8°	Flake granite, Porphyritic gneiss
Mt. Sambong	1186	1180	1.9°	Porphyritic granite, Biotite gneiss
Mt. Bohyun	1124	1040	2.2°	Granite, Volcanic rocks, Volcanic breccia
Mt. Minjuji	1242	1140	2.2°	Granite, Biotite gneiss
Mt. Unjang	1125	1190	2.2°	Rhyolite, Granite porphyry, Quartz porphyry

Activities on Detector R&D

- Development of Silicon PMT
  - Kyungpook National University (KNU)
  - Hybrid PMT using photocathode, scintillator, and SiPM



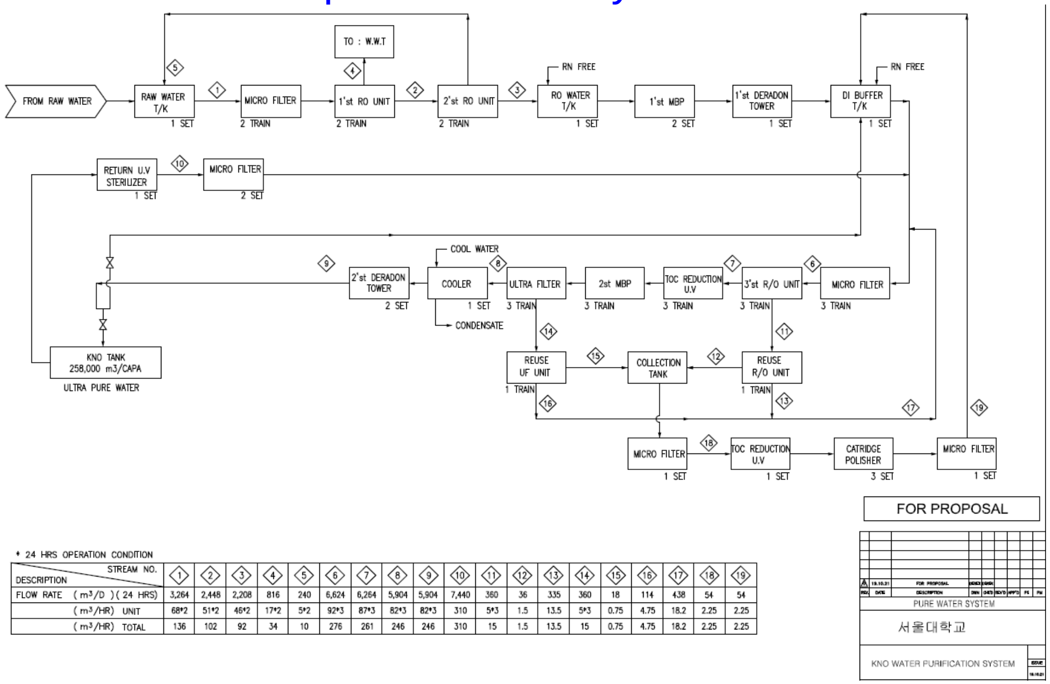


Activities on Detector R&D

- Water purification system, radon vacuum degasifier, highly sensitive radon detector
  - Seoul National University (SNU) in collaboration with DICOTECH
  - prototype construction

Rn detector prototype

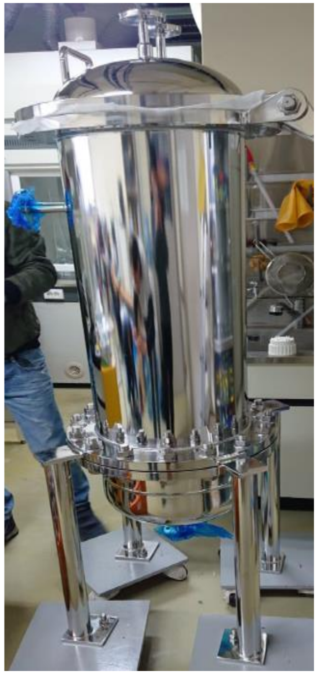
Blueprint of Water system



* 24 HRS OPERATION CONDITION

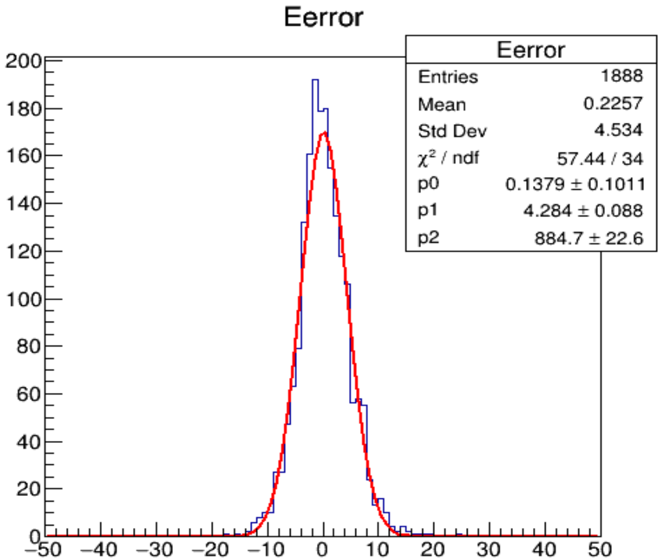
DESCRIPTION \ STREAM NO.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
FLOW RATE (m^3/D)(24 HRS)	3,264	2,448	2,208	816	240	6,624	6,264	5,904	5,904	7,440	360	36	335	360	18	114	438	54	54
(m^3/HR) UNIT	68*2	51*2	46*2	17*2	5*2	92*3	87*3	82*3	82*3	310	5*3	1.5	13.5	5*3	0.75	4.75	18.2	2.25	2.25
(m^3/HR) TOTAL	136	102	92	34	10	276	261	246	246	310	15	1.5	13.5	15	0.75	4.75	18.2	2.25	2.25

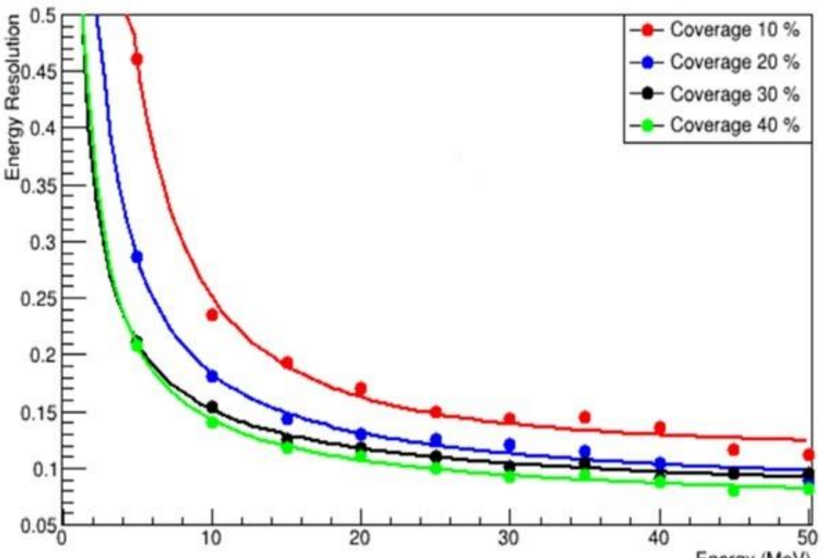
Rn vacuum degasifier prototype



KNO Software Development

- Develop KNO reconstruction packages which can be used to study sensitivities and to optimize the detector design
- Use NuWro/GENIE as generators and WCSIM as the detector simulation
- Separate reconstruction packages for low energy and high energy neutrinos being developed





Conclusion

- 20여년 동안 SK실험에 참여하여 water Cherenkov detector에 대한 노하우 획득
- 차세대 실험인 HK실험에의 참여를 통해 KNO에 대한 시너지 효과 기대
- KNO는 해외 차세대 프로젝트와 비교하여 훨씬 적은 비용으로 더 우수한 연구성과를 얻을 수 있을 것으로 기대
- KNO에 대한 사전 연구가 상당한 정도로 진행되고 있어 KNO의 성공 가능성을 높이고 있음
- 5개의 기관 및 학회와 KNO 추진을 위한 업무협약서를 체결하였으며 이를 확대할 계획. 현재 과기부로부터 KNO사업을 위한 기획과제예산 확보를 추진 중임.