

천체물리의 현재와 미래

- 한국물리학회 천체물리분과 중심으로

이창환 / 부산대학교

2023
KPS
한국물리학회
The Korean Physical Society

천체물리 분과

블랙홀 우주배경복사 암흑에너지
중성자별 WMAP GRB 중력파 James Webb 우주선 상대론
외계행성 암흑물질 임플
인플레이션 우주론 LIGO 중성미자
외계행성 다중신호

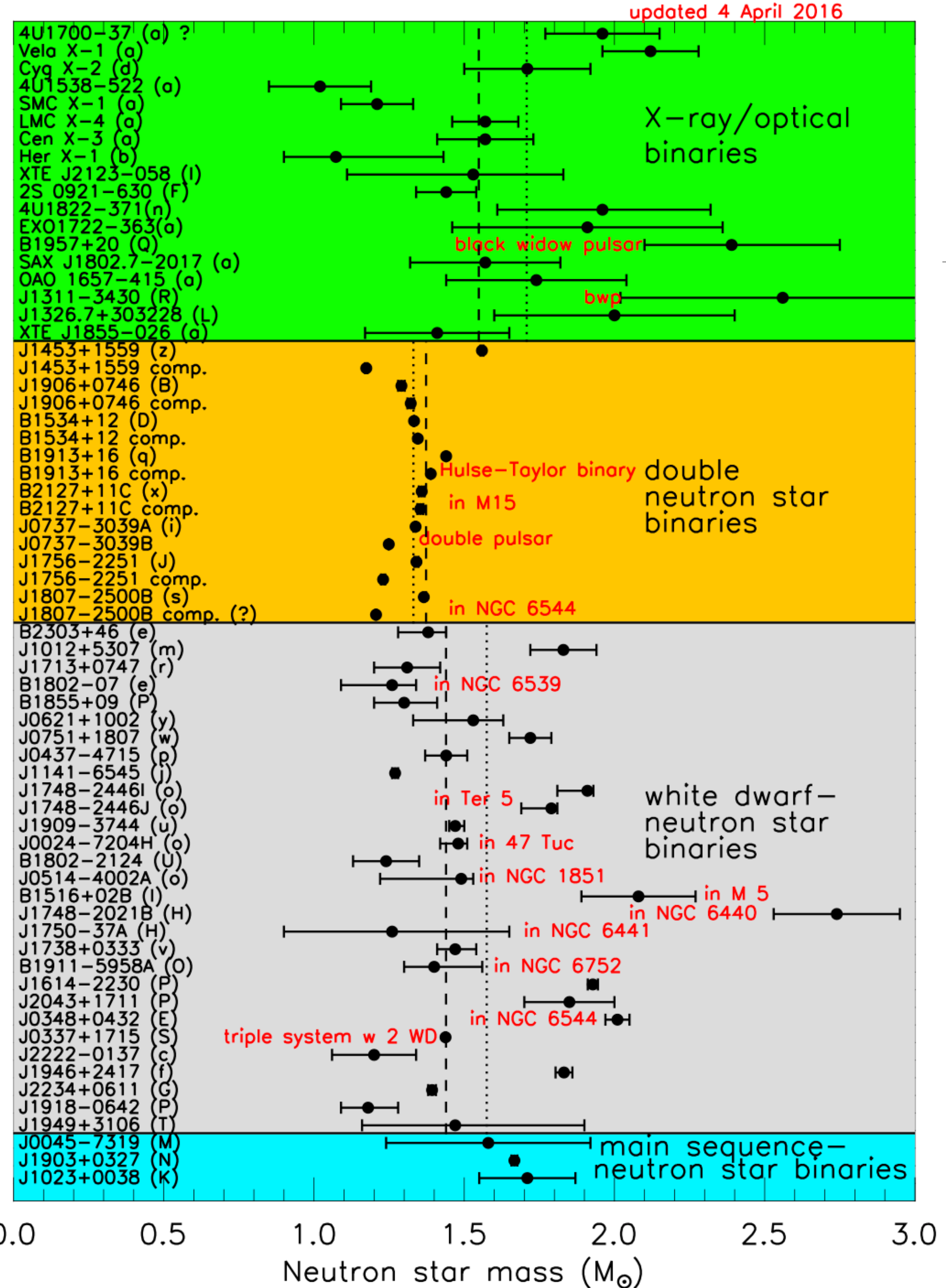


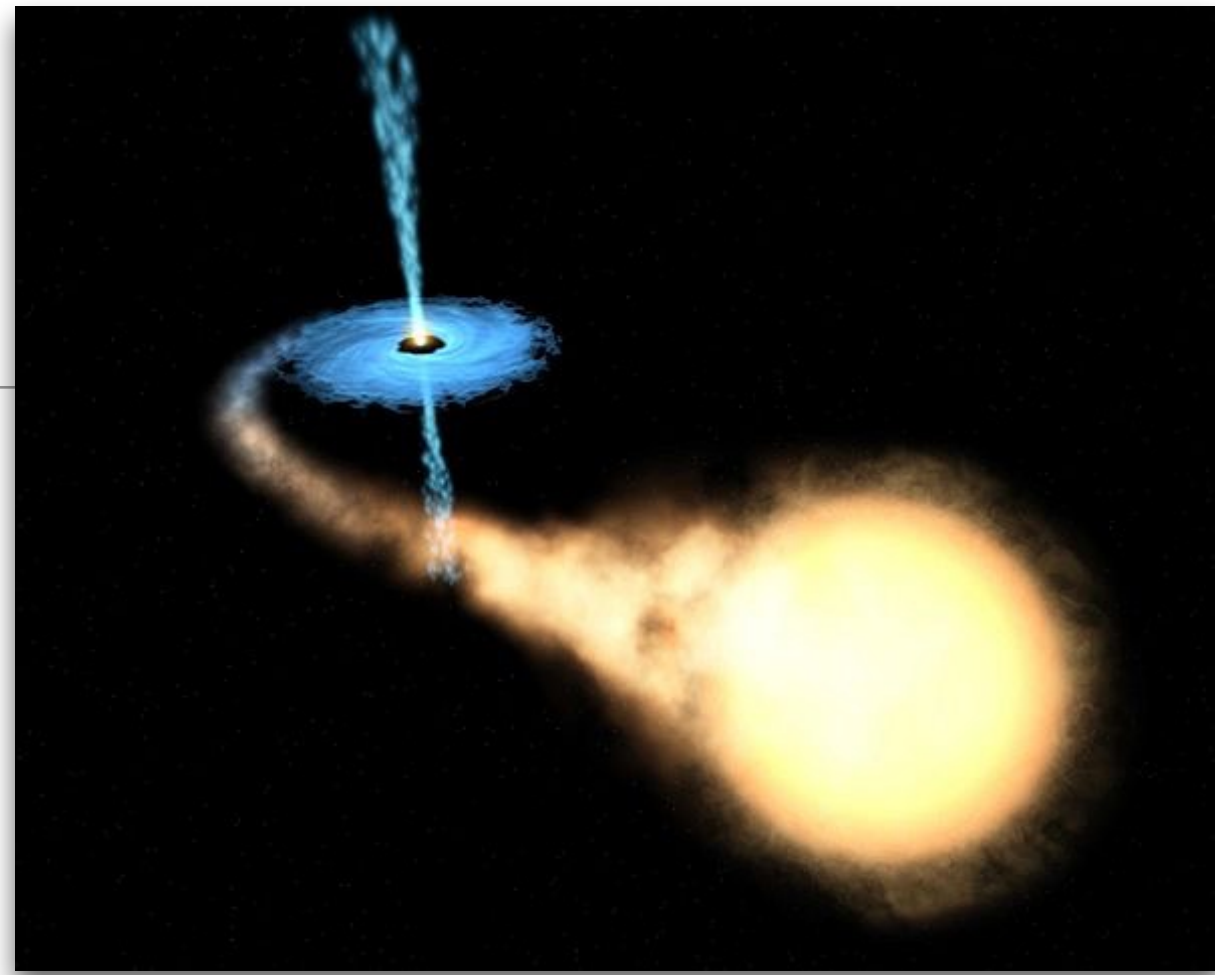
Contents

- **Neutron Stars in the Multi-messenger Era**
 - 최근 관측 결과 / NICER, 중력파,
- **한국물리학회 천체물리분과**
 - 천체물리분과의 현재
 - 미래를 위한 준비
 - 로드맵 2020

By EM before GW

- High-mass neutron stars in X-ray binaries & white dwarf-NS binaries (2010 & 2013)
- Less than 1.5 solar mass in double NS binaries
- Maximum NS mass is still uncertain





Low-Mass X-ray binary (low-mass companion)

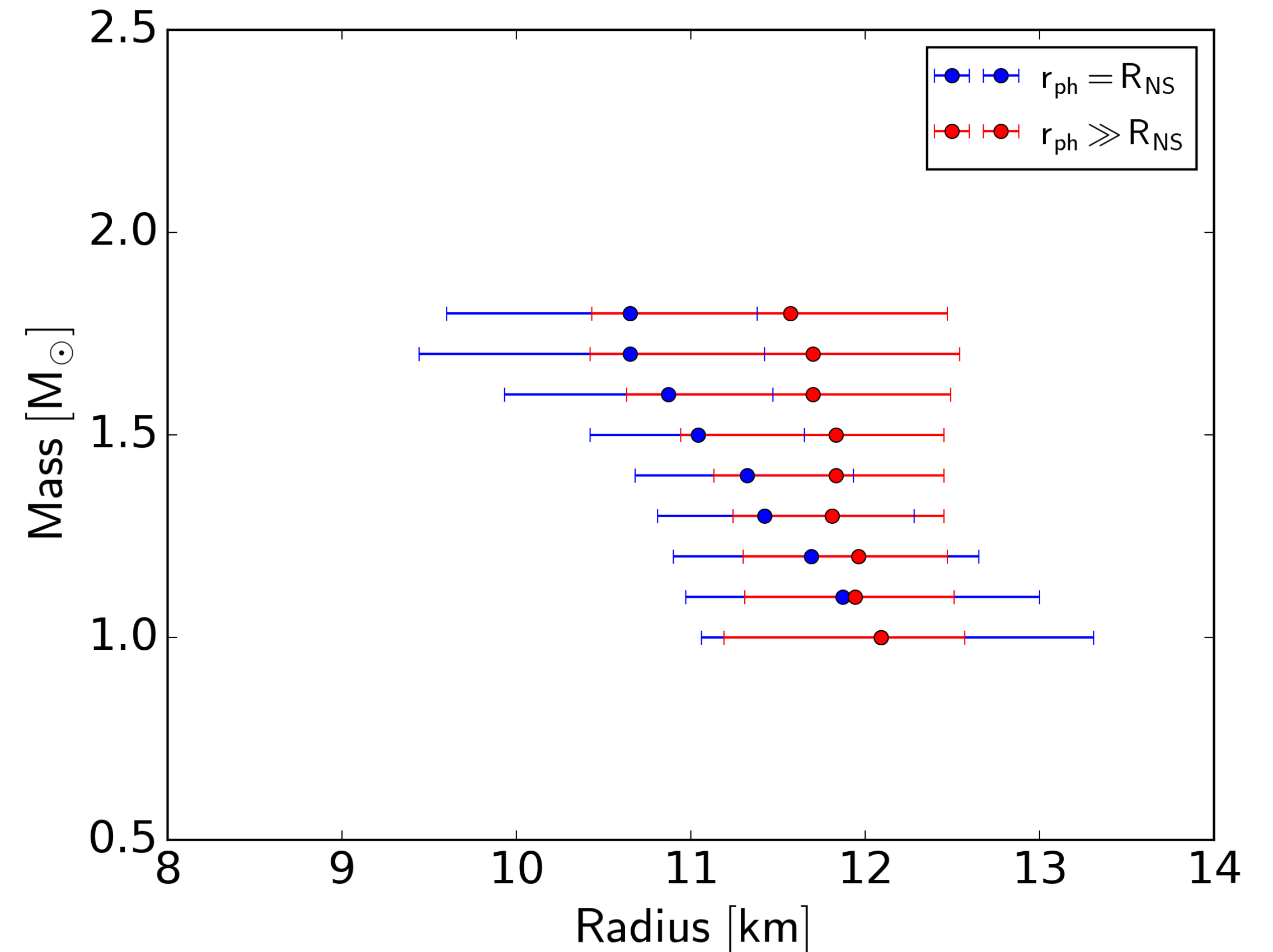
Table 9

Most Probable Values for Masses and Radii for Neutron Stars Constrained to Lie on One Mass Versus Radius Curve

Object	$M (M_{\odot})$	R (km)	$M (M_{\odot})$	R (km)
	$r_{\text{ph}} = R$		$r_{\text{ph}} \gg R$	
4U 1608–522	$1.52^{+0.22}_{-0.18}$	$11.04^{+0.53}_{-1.50}$	$1.64^{+0.34}_{-0.41}$	$11.82^{+0.42}_{-0.89}$
EXO 1745–248	$1.55^{+0.12}_{-0.36}$	$10.91^{+0.86}_{-0.65}$	$1.34^{+0.450}_{-0.28}$	$11.82^{+0.47}_{-0.72}$
4U 1820–30	$1.57^{+0.13}_{-0.15}$	$10.91^{+0.39}_{-0.92}$	$1.57^{+0.37}_{-0.31}$	$11.82^{+0.42}_{-0.82}$
M13	$1.48^{+0.21}_{-0.64}$	$11.04^{+1.00}_{-1.28}$	$0.901^{+0.28}_{-0.12}$	$12.21^{+0.18}_{-0.62}$
ω Cen	$1.43^{+0.26}_{-0.61}$	$11.18^{+1.14}_{-1.27}$	$0.994^{+0.51}_{-0.21}$	$12.09^{+0.27}_{-0.66}$
X7	$0.832^{+1.19}_{-0.051}$	$13.25^{+1.37}_{-3.50}$	$1.98^{+0.10}_{-0.36}$	$11.3^{+0.95}_{-1.03}$

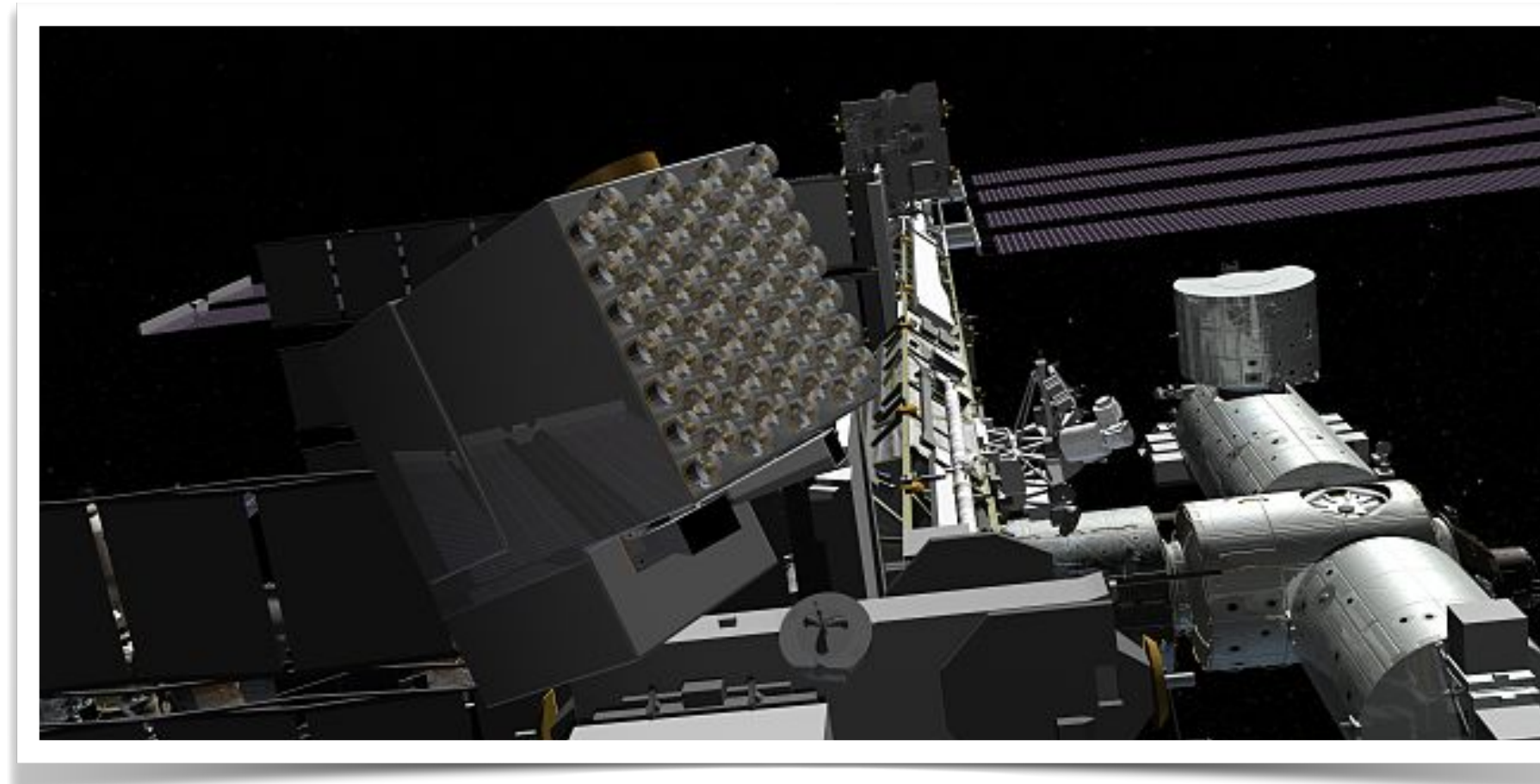
Steiner, Lattimer, Brown, ApJ 2010

95% confidence limits by using MC sampling (for fixed NS mass)



NICER Neutron star Interior Composition ExploreR

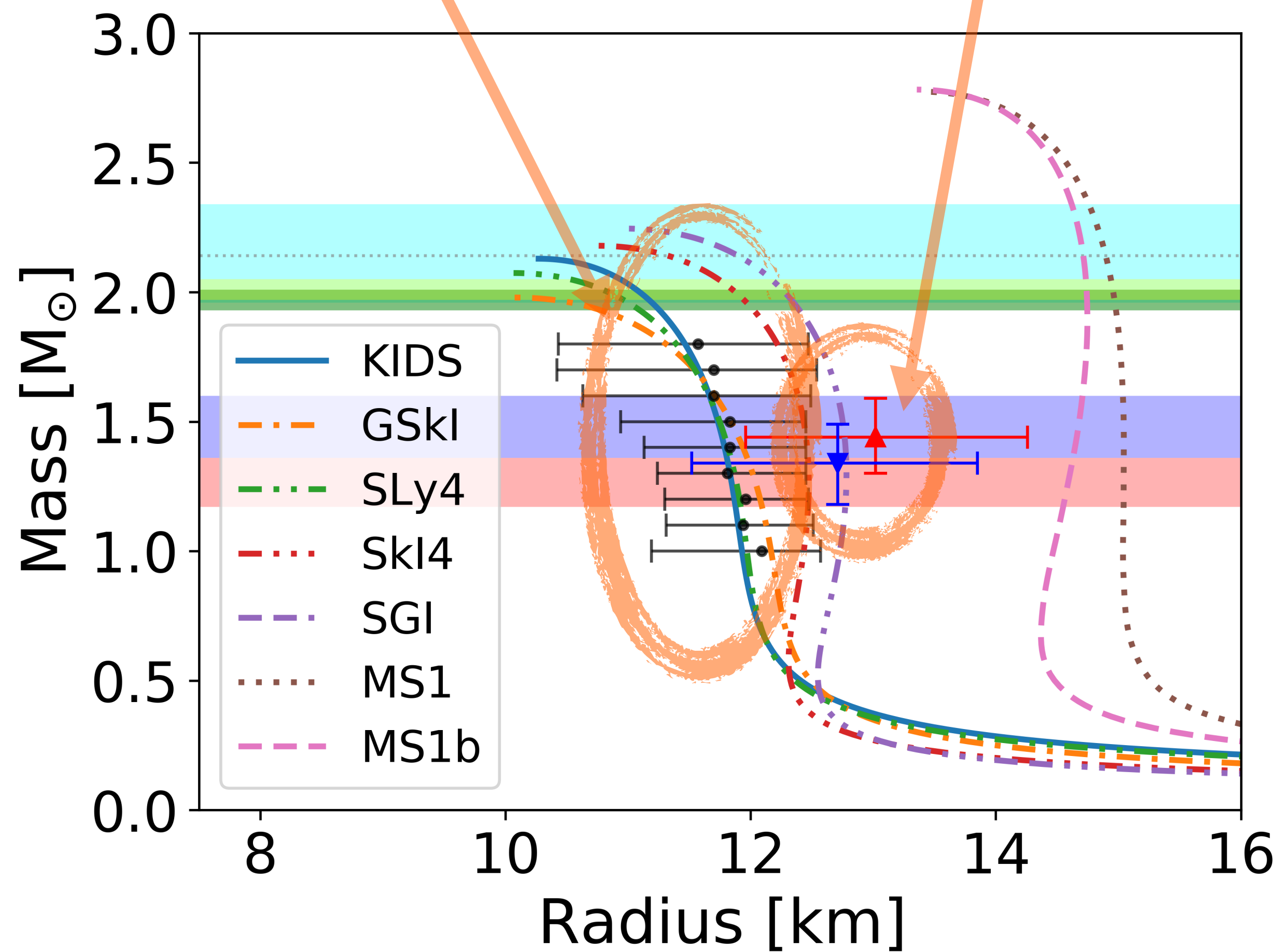
- **launch:** June 2017, SpaceX
- **platform:** ISS ELC (ExPRESS Logistics Carrier)
- **instrument:** X-ray (0.2-12 keV)
- **objective**
 - **structure:** neutron star radii to 5%, cooling timescales
 - **dynamics:** stability of pulsars as clocks, properties of outbursts, oscillations, and precession
 - **energetics:** intrinsic radiation patterns, spectra, and luminosities



Single NS (better constraint) *J0030+0451 by NICER*

Low-mass X-ray binary (NS binary)

Riley 2019 vs. Miller 2019



$$2.14^{+0.20}_{-0.18} M_{\odot}$$

H. T. Cromartie, *et al.*
Nature Astronomy (2019).

Kim et al., EPJA 56, 157 (2020)

PSR J0740+6620 (by NICER & XMM)

$$12.39^{+1.30}_{-0.98} \text{ km and } 2.072^{+0.067}_{-0.066} M_{\odot}$$

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 918:L27 (30pp), 2021 September 10
© 2021. The American Astronomical Society. All rights reserved.

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac0a81>



A NICER View of the Massive Pulsar PSR J0740+6620 Informed by Radio Timing and XMM-Newton Spectroscopy

Parameter	Median	-1σ	$+1\sigma$	-2σ	$+2\sigma$	Assumed value
R_e (km)	13.933	12.344	17.396	11.342	22.215	13.378
GM/c^2R_e	0.221	0.177	0.248	0.139	0.267	0.230
$M (M_{\odot})$	2.081	1.991	2.174	1.895	2.261	2.080

THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 918:L28 (31pp), 2021 September 10
© 2021. The American Astronomical Society. All rights reserved.

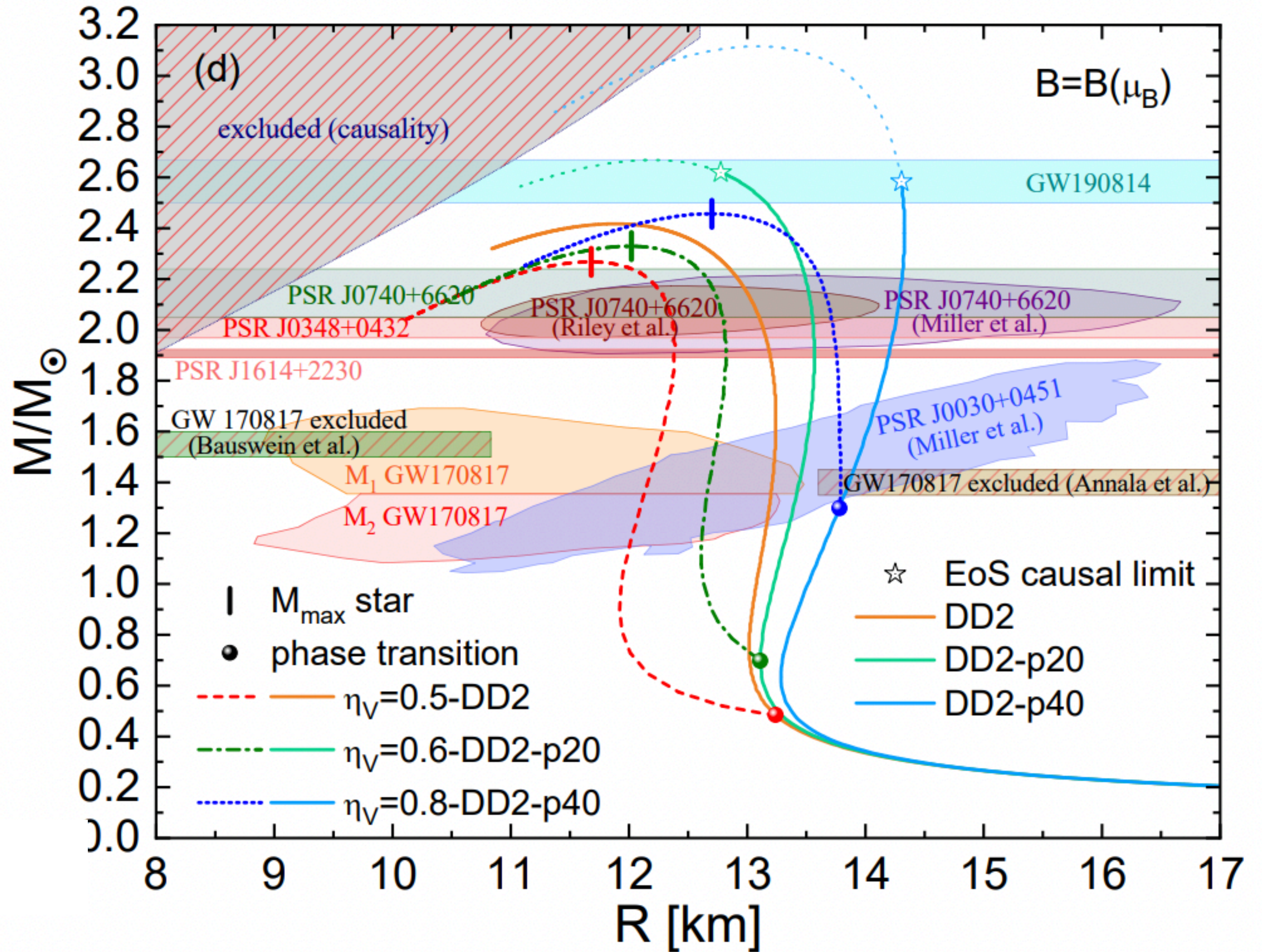
<https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac089b>



The Radius of PSR J0740+6620 from NICER and XMM-Newton Data

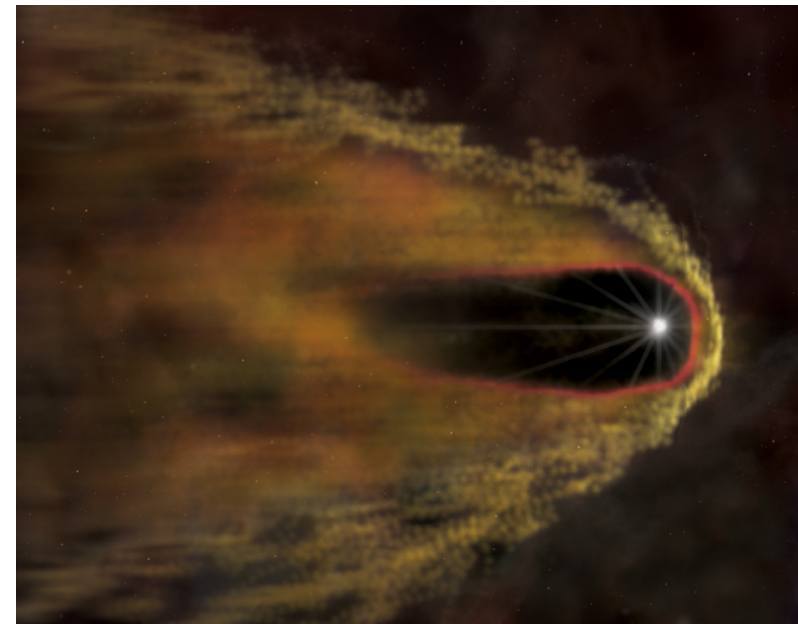
arXiv:2201.00477

Contrera, Blaschke,
Carlomagno, Grunfeld,
Liebbing

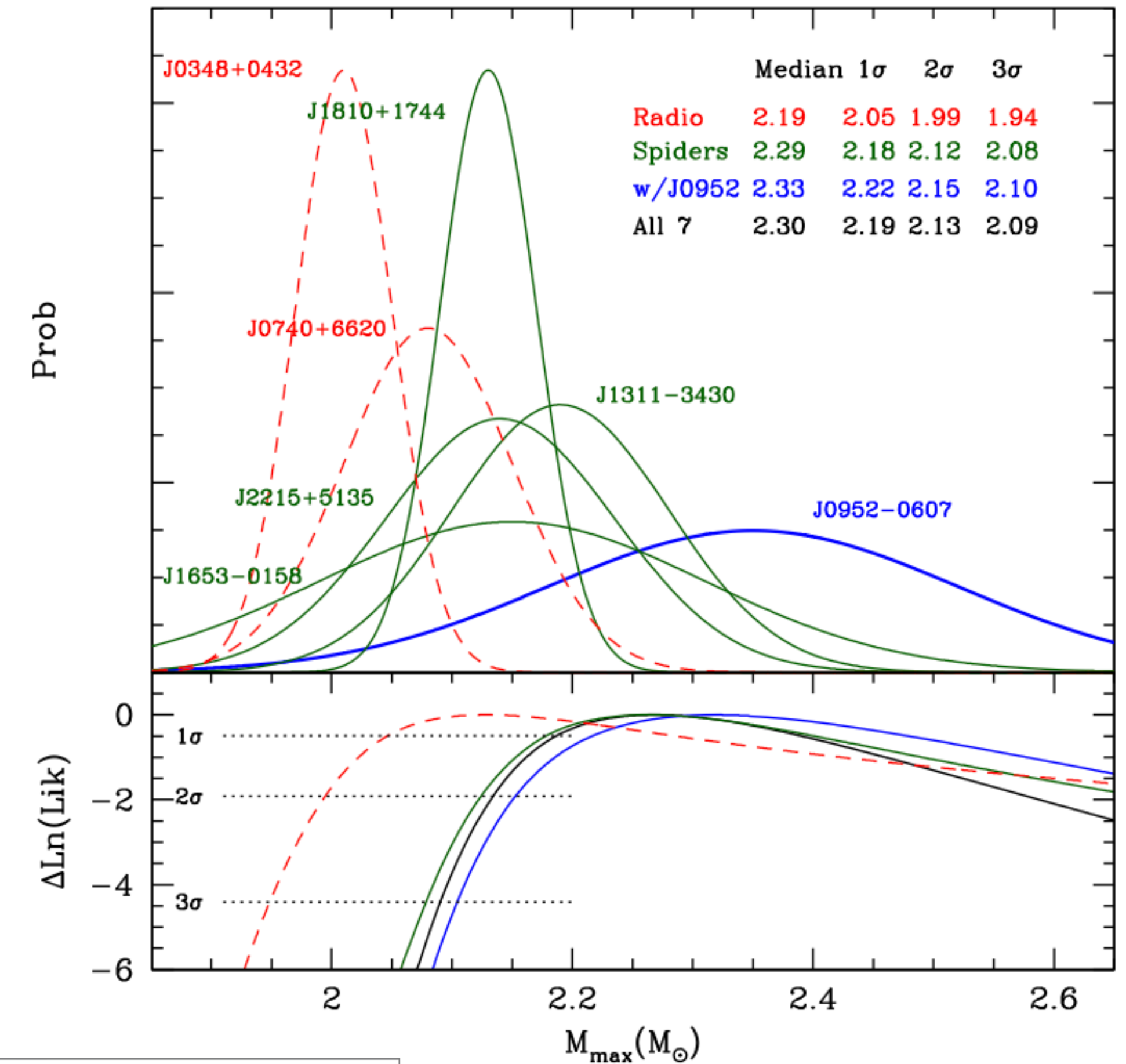


Black Widow Pulsar

Companion is destroyed by the strong powerful outflows, or winds, of high-energy particles caused by the neutron star



$$M_{\text{NS}} = 2.35 \pm 0.17 M_{\odot}$$



THE ASTROPHYSICAL JOURNAL LETTERS, 934:L17 (6pp), 2022 August 1

© 2022. The Author(s). Published by the American Astronomical Society.

<https://doi.org/10.3847/2041-8213/ac8007>

OPEN ACCESS



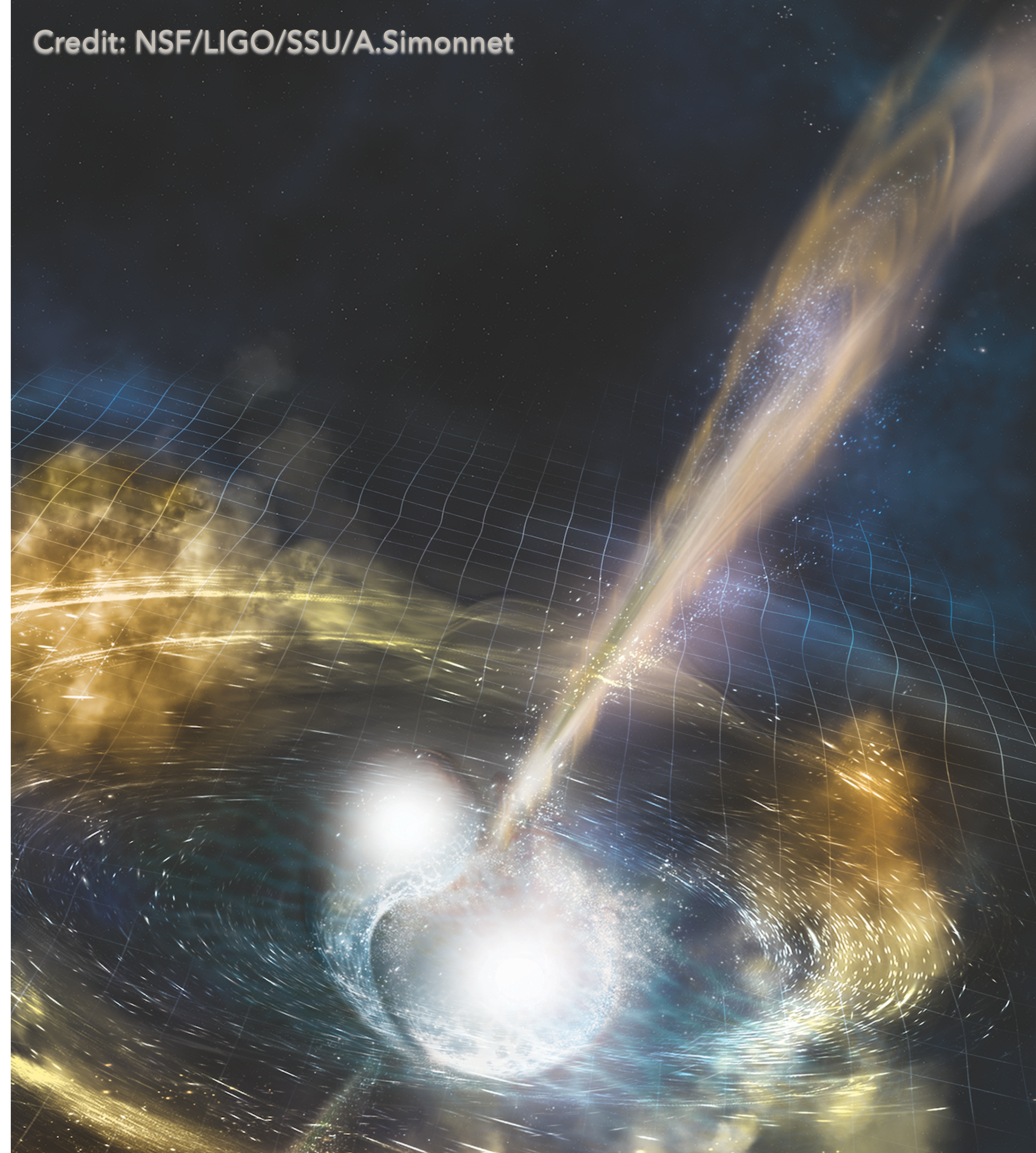
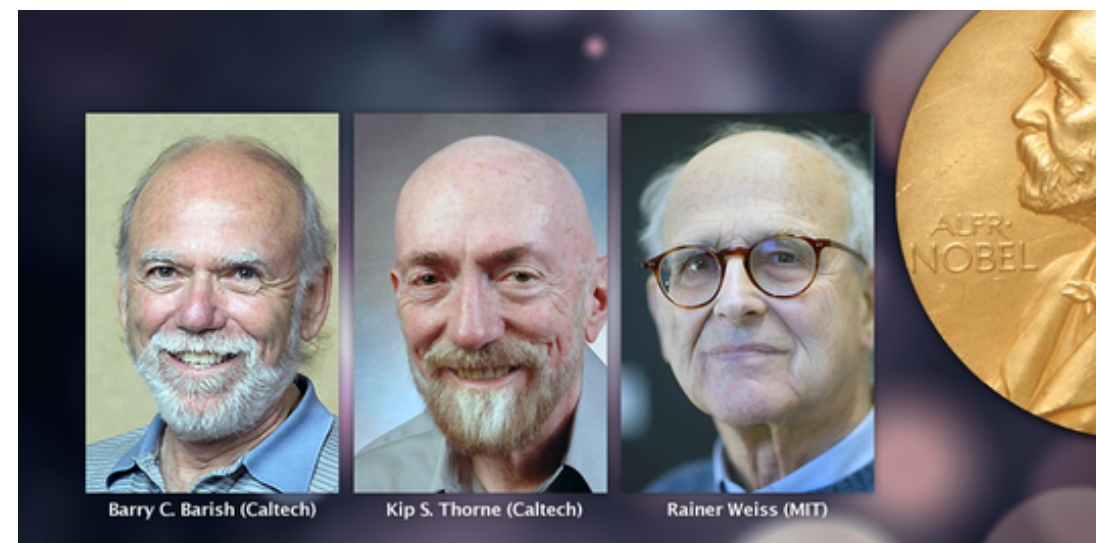
PSR J0952–0607: The Fastest and Heaviest Known Galactic Neutron Star

Roger W. Romani¹ , D. Kandel¹ , Alexei V. Filippenko² , Thomas G. Brink² , and WeiKang Zheng² 

Press Release Oct 16, 2017
GW from Binary NS Mergers

GW 170817 (**d=40 Mpc**)
GRB 170817A by Fermi-GBM
Kilonova/X-ray/Optical Afterglows

soon after the announcement of
2017 Nobel Prize

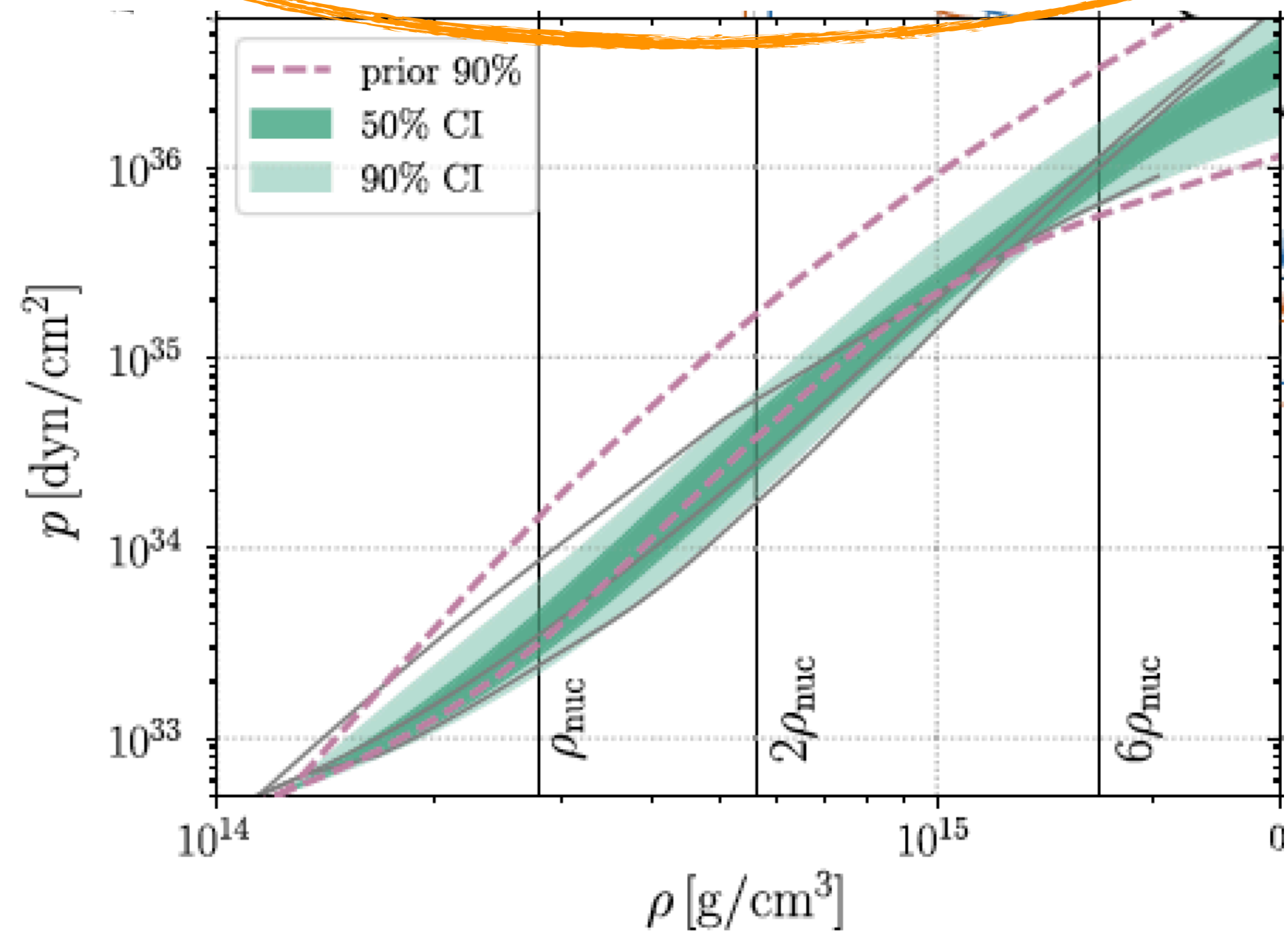
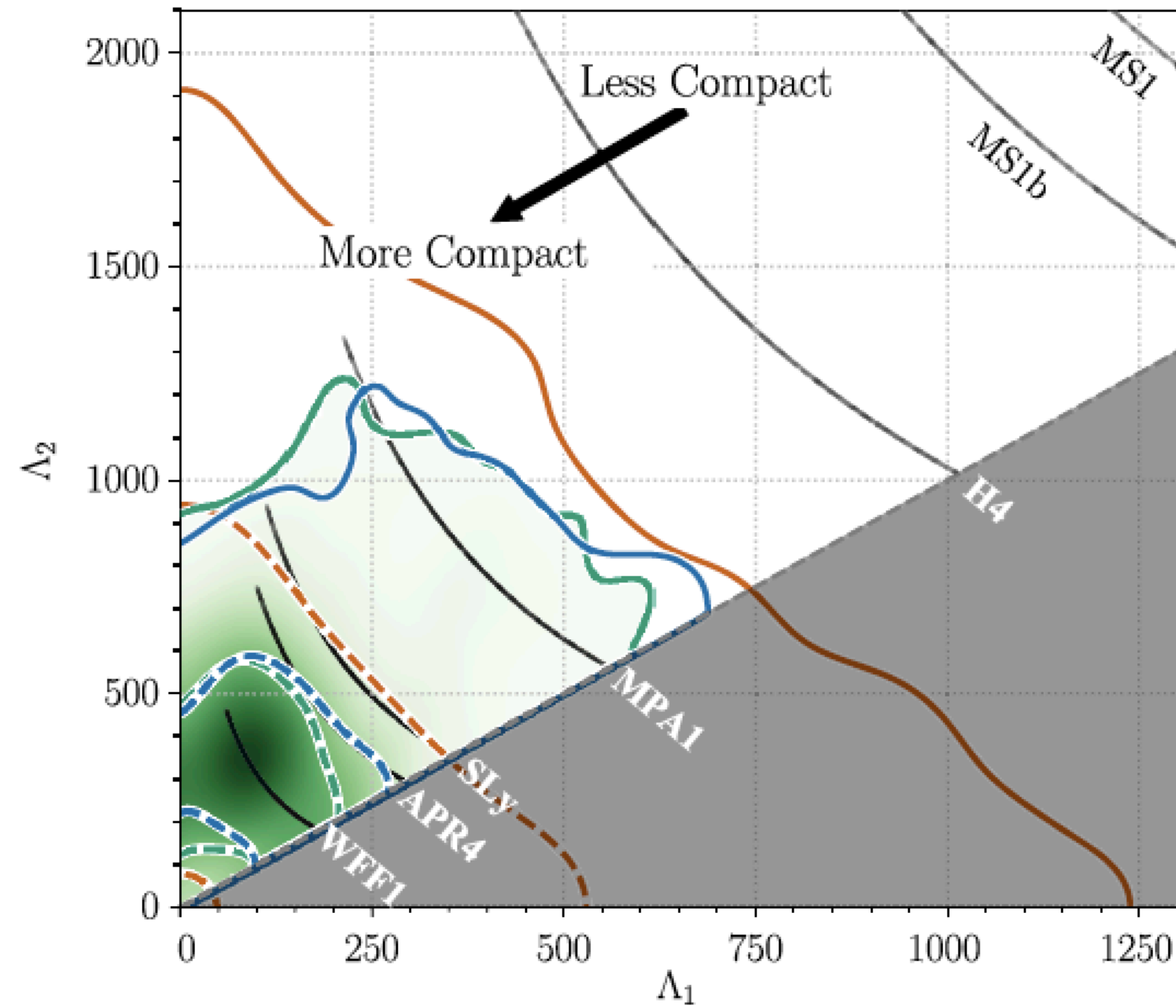


A new constraints by GW observations

$$\Lambda_{1.4M_{\odot}} = 190^{+390}_{-120}$$

$$P_{2\rho_{\text{nuc}}} = 3.5^{+2.7}_{-1.7} \times 10^{34} \text{ dyne/cm}^2$$

$$P_{6\rho_{\text{nuc}}} = 9.0^{+7.9}_{-2.6} \times 10^{34} \text{ dyne/cm}^2$$

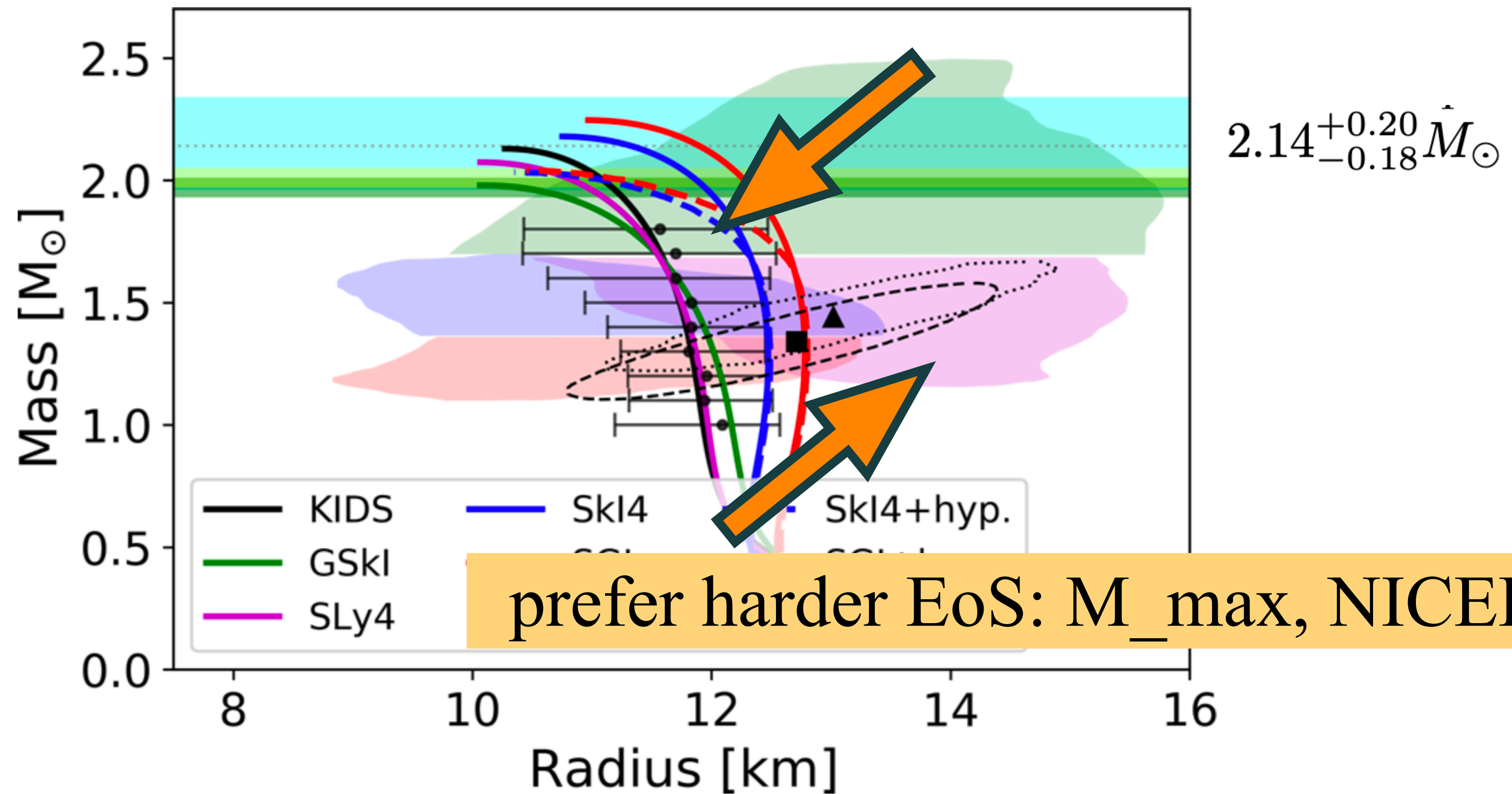


LSC and Virgo, PRL 121, 161101 (2018)

$$\rho_{\text{nuc}} = 2.8 \times 10^{14} \text{ g/cm}^3$$

Constraints on Equation of State

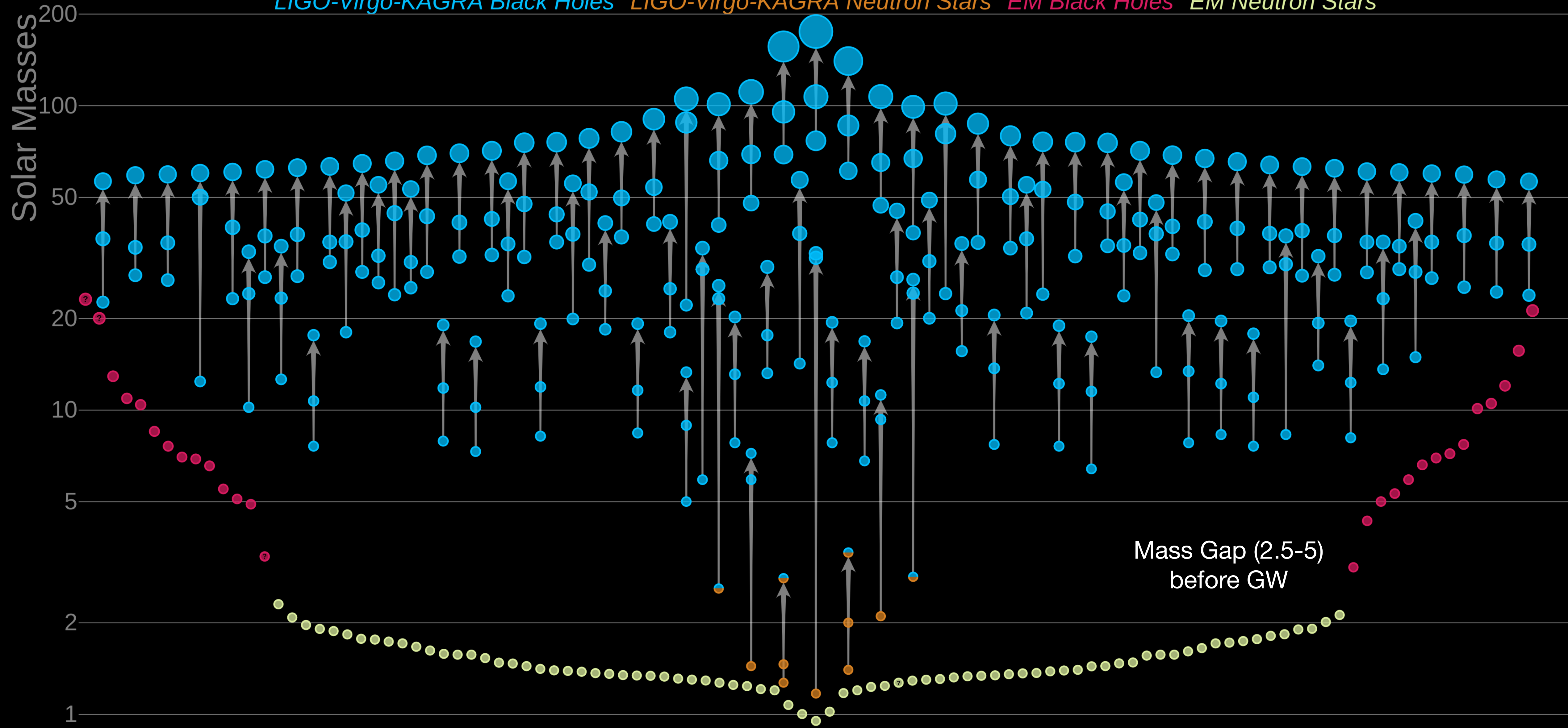
prefer soft EoS: GW170817, strangeness

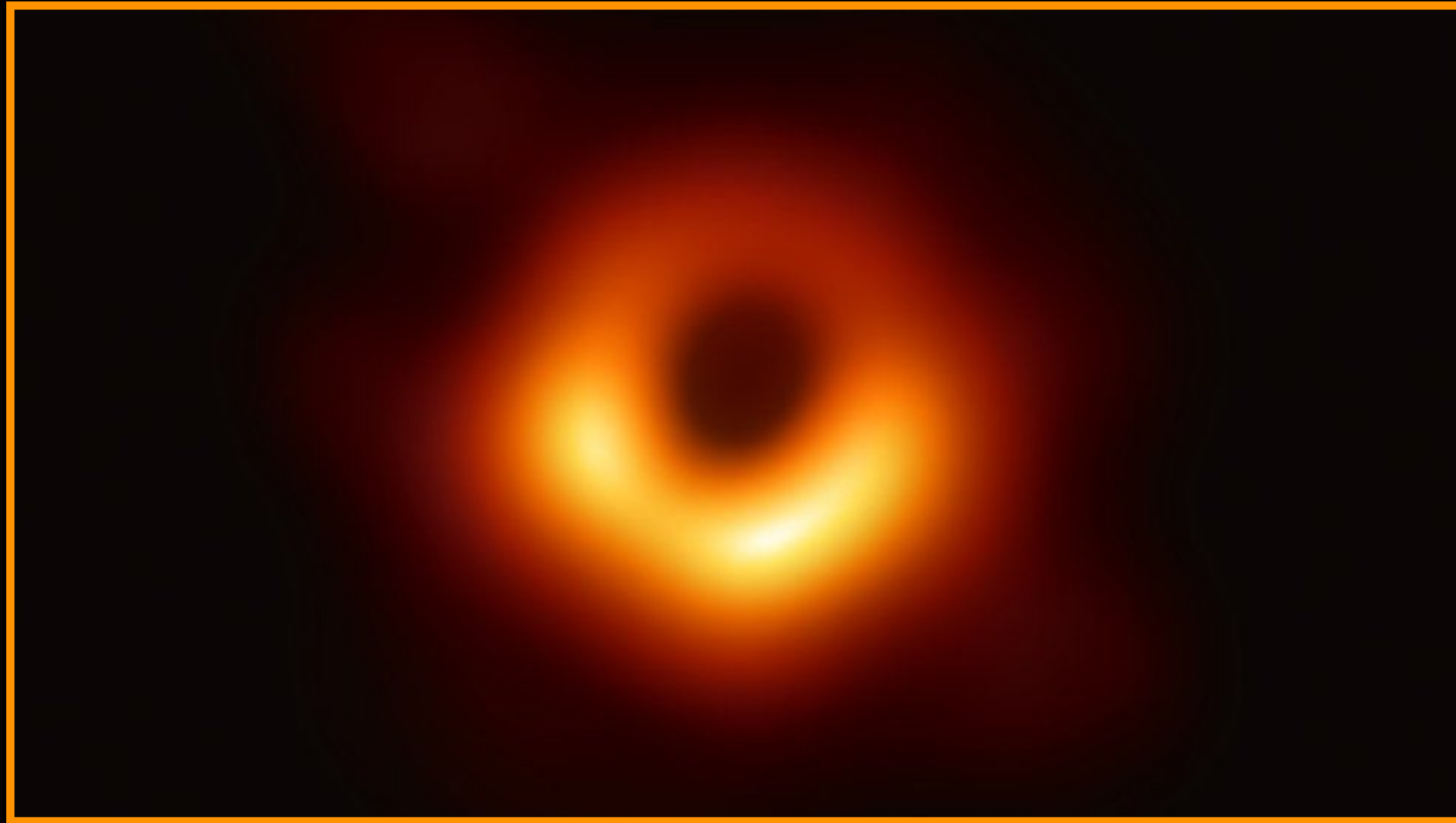


prefer harder EoS: M_{max} , NICER

Masses in the Stellar Graveyard

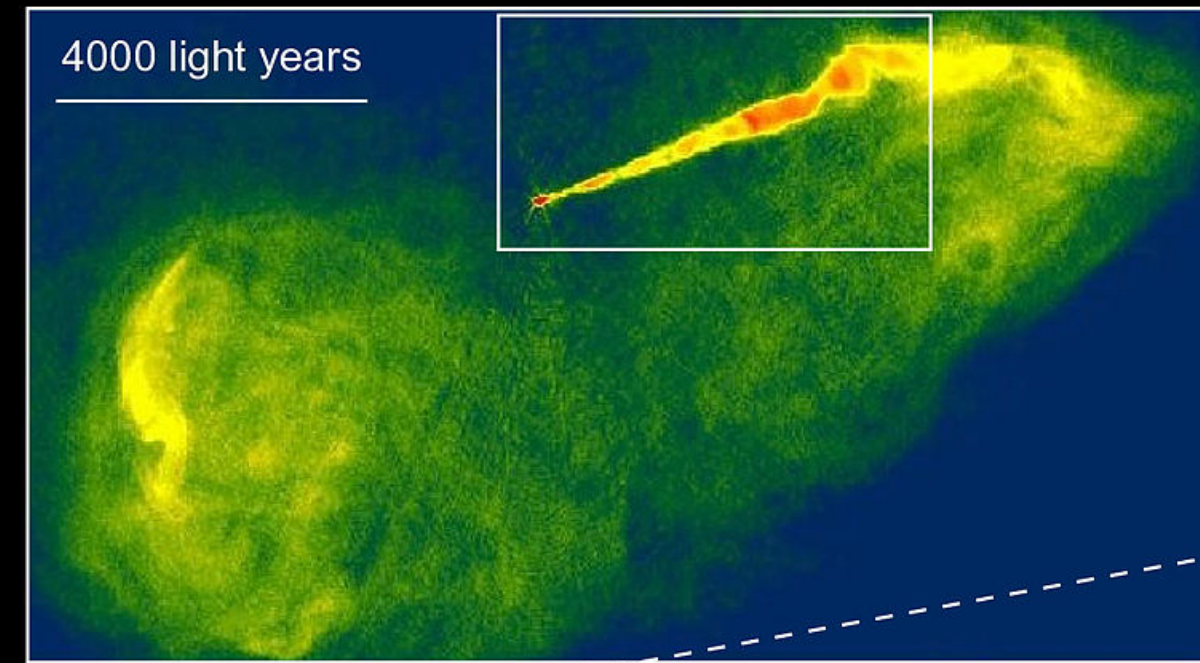
LIGO-Virgo-KAGRA Black Holes *LIGO-Virgo-KAGRA Neutron Stars* *EM Black Holes* *EM Neutron Stars*



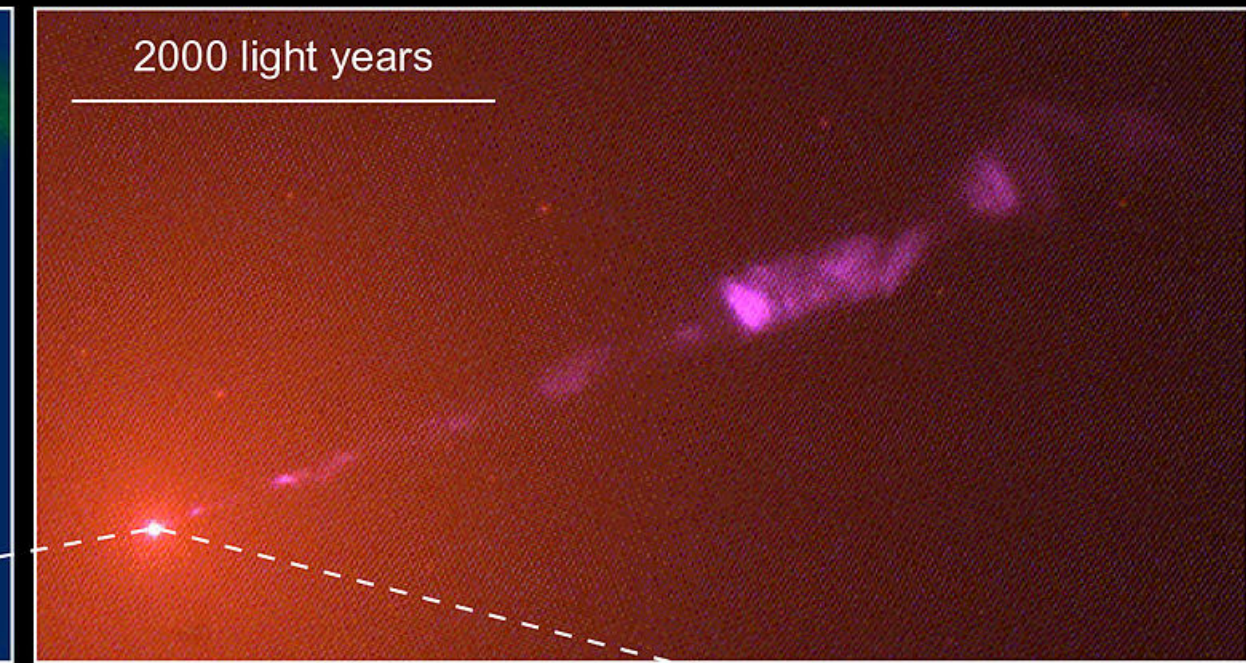


5500만 광년 **M87** 은하 중심
태양의 65억배 질량 블랙홀
EHT / 2019.4.10

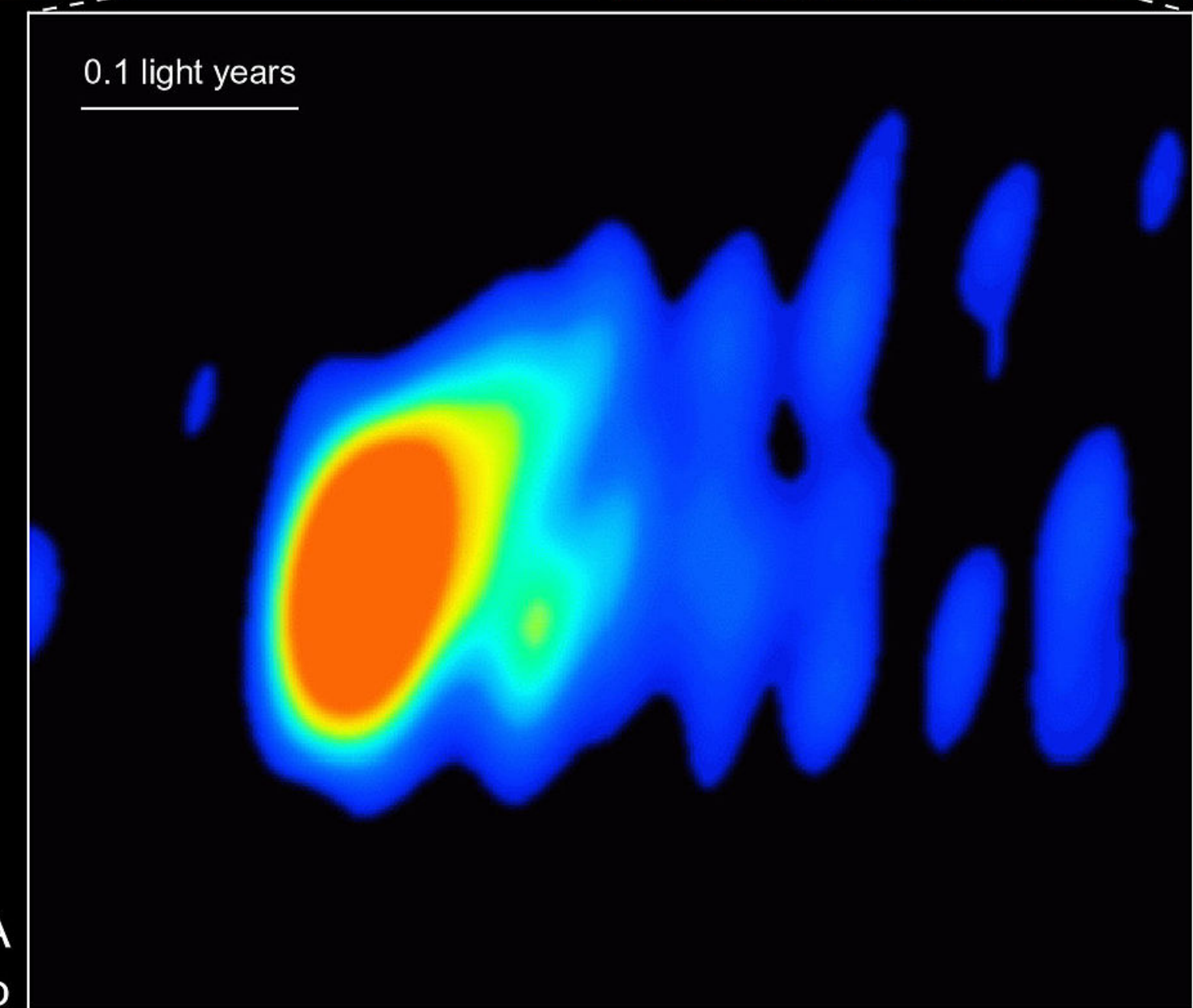
Galaxy M87



VLA
Radio



HST • WFPC2
Visible



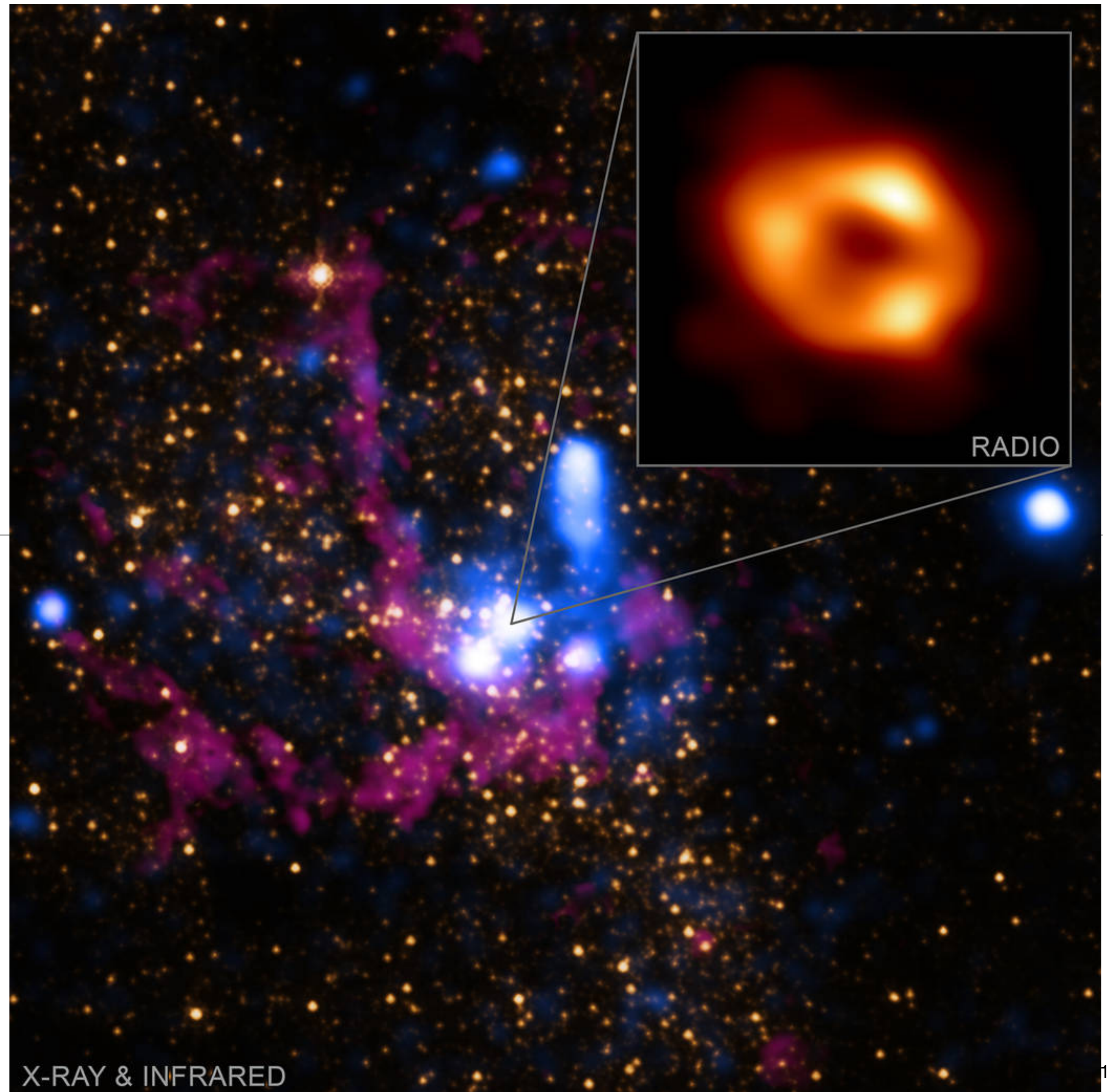
VLBA
Radio

NASA, NRAO and J. Biretta (STScI) • STScI-PRC99-43

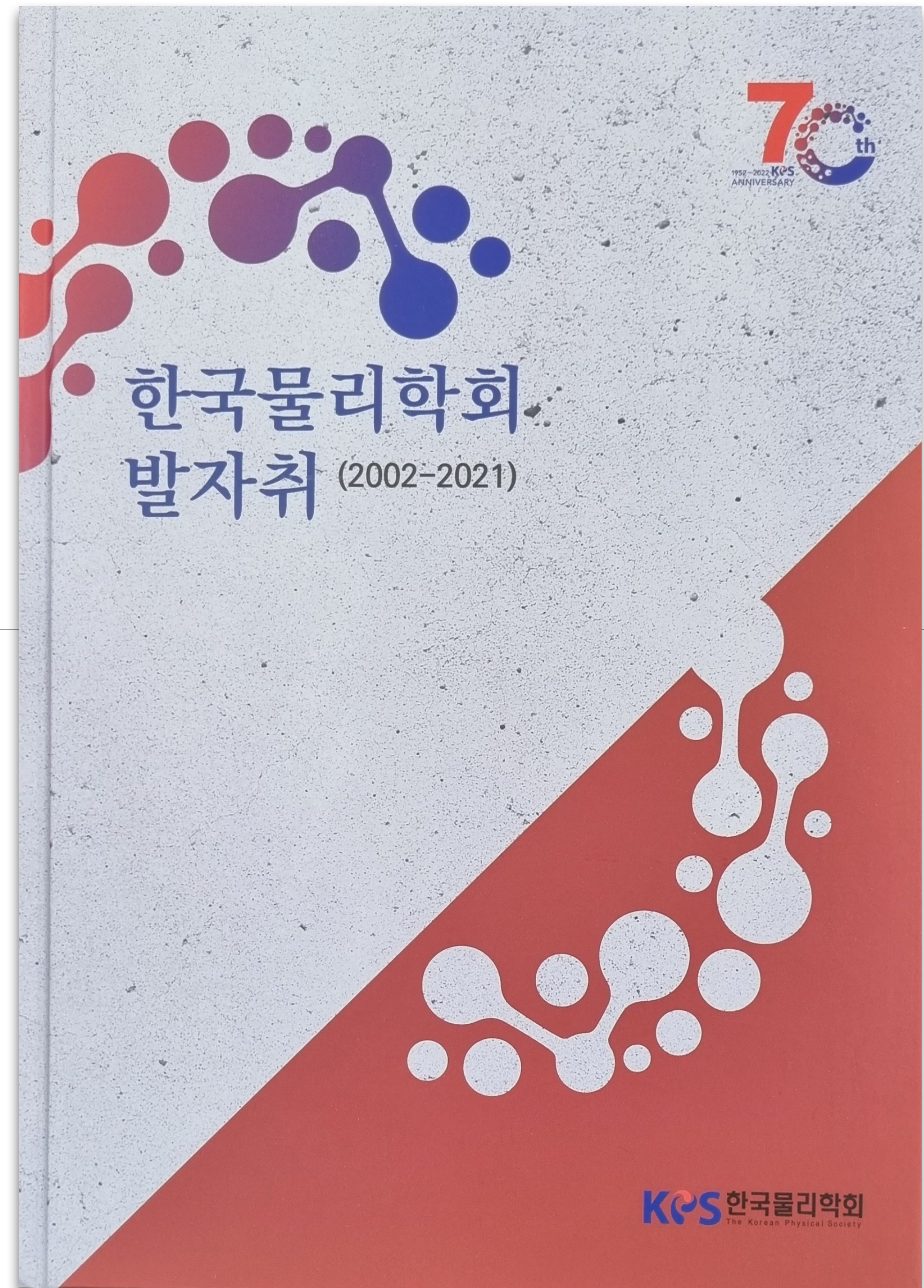
우리은하 중심 블랙홀

2022.05.12

X-ray: NASA/CXC/SAO
IR: NASA/HST/STScI
Radio: EHT Collaboration



천체물리분과의 현재



한국물리학회 천체물리 분과

- **1995년 10월 27일 창립**
 - 초대 위원장: 이철훈(한양대) 1996-1997
- **다양한 배경의 연구자로 구성**
 - 천체물리 / 입자물리 / 핵물리 / 천문학 / 수리과학, ...
- 참고: 한국물리학회 70년사

천체분과의 관측 및 빅데이터 우주론

- **천체 망원경을 통한 관측**

- 원적외선 망원경 (2003),MIRIS(Multi-purpose InfraRed Imaging System) (2013, 천문연구원)
- UFFO(Ultra-Fast Flash Observatory)-pathfinder (2016,성균관대), ISSCREAM,

- **중력파를 이용한 천체물리**

- 수치상대론 및 중력파 여름 학교 (2005~), 한국중력파연구단 LIGO Scientific Collaboration 가입 (2009)
- KISTI 대용량실험데이터센터(GSDC) (2010~), KAGRA 참여 (2011~), 별빛 간섭계,

- **빅데이터 및 AI기술을 이용한 우주론**

- Sloan Digital Sky Survey 참여, DESI (은하 분광 탐사) 참여,

천체물리 이론

- 끈 우주론 / 인플레이션 우주론
- 암흑 물질 / 암흑 에너지
- 블랙홀 / 웜홀 / 중성자별

주요 활동

- 한이상대론심포지엄 (1987~)
- CosPA (Symposium on Cosmology, Particle Astrophysics) (2002~)
- APSW (Asia Pacific School/Workshop on Gravitation and Cosmology) (2007~)
- AAPPS-DACG (Division of Astrophysics, Cosmology, and Gravitation) (2015 창립)
- STCOS(String Theory and Cosmology) (2010~)
- APCTP supported programs
-

□ 2014~2017년도 국가과학기술표준분류 물리학 분야 과제 신청/선정현황

(단위 : 건)

구분	2014			2015			2016			2017		
	신청	선정	선정률	신청	선정	선정률	신청	선정	선정률	신청	선정	선정률
천체물리	23	4	17.4%	22	6	27.3%	36	12	33.3%	24	12	50.0%
입자/장물리	60	19	31.7%	78	28	35.9%	82	37	45.1%	80	44	55.0%
응집물질물리	263	73	27.8%	247	85	34.4%	236	97	41.1%	227	126	55.5%
광학	76	19	25.0%	54	18	33.3%	69	30	43.5%	70	36	51.4%
원자/분자물리	17	5	29.4%	13	1	7.7%	16	4	25.0%	21	7	33.3%
원자핵물리	31	10	32.3%	35	11	31.4%	32	15	46.9%	27	16	59.3%
유체/플라즈마	9	1	11.1%	16	5	31.3%	16	6	37.5%	25	14	56.0%
통계물리	27	14	51.9%	18	10	55.6%	33	15	45.5%	48	31	64.6%
복합물리	31	5	16.1%	20	6	30.0%	25	8	32.0%	26	13	50.0%
총합계	537	150	27.9%	503	170	33.8%	545	224	41.1%	548	299	54.6%



물리학 분야 기초연구사업 선정현황(2014~2017)

미래를 위한 준비

천체물리 분과

블랙홀 우주배경복사 암흑에너지
중성자별 WMAP GRB 중력파 James Webb 우주선 상대론
암흑물질 임플
외계행성 앞 LIGO 중성미자 다중신호



천체물리학상 제정

- 2018년 천체물리학상 제정
 - 김성원 회원(제6대 분과위원장)의 기탁금
 - 분과 총회 경매 수익금
 - 회원들의 추가 기부금

국가과학기술분류체계 소분류 개정

<표준분류 개정 진행일정>

2018년 - 개정수요(대/중분류) 접수 (2018.11.)

2019년 - 적합성 평가 실시, 의견 수렴(제안기관에 결과 환류 포함) (2019.7.)

국가과학기술자문회의 심의(임시/퇴출분류 확정)

2020년 - 2차 개정수요 접수(소분류 신설 등) (2020.4.~5.)

2차 개정 타당성 평가대상 선정(제안기관에 결과 환류 포함) -> 현재 단계

*탈락될 경우 개정 타당성 평가 조차 받을 수 없습니다.

2021년 - 신설 대/중분류 등 모니터링

2022년 - 개정타당성 평가 및 개정 확정

2023년 - 적용

국가과학기술분류체계 소분류 개정

국가과학기술분류체계-천체물리분야 (2018. 4 현행)	소분류 개정 요청안 (2018.4.26 분과총회 의결)
NB0801. 일반상대론/중력	NB0801. 중력/우주론 (상대론/중력/우주론 통합)
NB0802. 고에너지 천체물리	NB0802. 고에너지천체 (고에너지 천체물리/ 고중력 천체 통합) <small>** 고에너지 천체물리(관측 위주)의 기원이 고중력 천체 (이론적 소스 연구)</small>
NB0803. 우주론	NB0803. 중력파/다중신호천체물리 <small>** 우주선도 포함 가능</small>
NB0804. 고중력 천체	삭제
NB0899. 달리 분류되지 않는 천체물리	NB0899. 달리 분류되지 않는 천체물리

- 2020.5.21. 제안서 KISTEP 제출
- 2020.12.1 개정 요청안 적합 판정 통보

국가과학기술분류체계 소분류 개정

- 2020.12.1 개정 요청안 적합 판정 통보

제안 개정수요(소분류)		적합성 평가 결과
개정 유형	개정 내용	
통합	‘NB0801.일반상대론/중력’ 와 ‘NB0803.우주론’ 를 하나의 소분류로 통합 → (천체물리) 중력/우주론	적합
통합	‘NB0802.고에너지 천체물리’ 와 ‘NB0804.고중력 천체’ 를 하나의 소분류로 통합 → (천체물리) 고에너지천체	적합
신설	(NB08. 천체물리) 중력파/다중신호천체물리	적합

- 2021부터 임시 적용
- 2023부터 공식 적용

물리학회 학술대회 초록 분류 방법 변경 (2021년 가을 학회부터 적용)

- 변경 전
 - Astrophysics theories
 - Astrophysics experiments/observations
 - Other astrophysics
- 변경 후 (국가과학기술분류체계 소분류 반영)
 - 중력/우주론
 - 고에너지천체
 - 중력파/다중신호천체물리
 - 달리 분류되지 않는 천체물리

2021.04.22 @ KPS 천체분과 총회

젊은 천체물리학자 모임 소개

Junior Astrophysicists' Meeting

모임의 취지

천체분과 no JAM? 有 JAM!

- 배경
 - 천체분과 25주년
 - 천체분과의 학생 및 젊은 회원이 점점 줄어들고 있음
 - 기존의 젊은 회원들 역시 서로간에 교류 기회가 많지 않았음
- 취지
 - 젊은 회원들간의 연구 교류 및 정보 공유
 - 연구비 및 정규 포지션 등 중요 문제에 대한 의견 수렴 및 반영

로드맵 2020

천체물리의 미래

천체물리 분과

블랙홀 우주배경복사 암흑에너지
중성자별 WMAP GRB 중력파 James Webb 우주선 상대론
암흑물질 임플
인플레이션 외계행성 LIGO 중성미자 다중신호



핵심과제 2020 로드맵

천체 물리학

핵심과제 1. 우주론/중력

▶ 중력과 암흑에너지 검증

▶ 차세대 관측을 대비한 이론 연구

핵심과제 2. 수정중력 및 양자중력

▶ 중력이론 검증 및 우주진화 이해

▶ 중력이론 모델링과 관측을 접목한 우주론/중력 융합연구

핵심과제 3. 고에너지 천체물리

▶ 우주 관측 기반 마련

▶ 우주의 극단적인 폭발현상 및 극한에너지 기원 연구

핵심과제 4. 고중력 천체물리

▶ 고중력 천체이론 연구 및 관측기반 마련

▶ 블랙홀과 중성자별 천체물리 현상 연구

핵심과제 5. 지상검출기를 활용한 중력과 과학

▶ 중력과 과학 연구 기반 확립

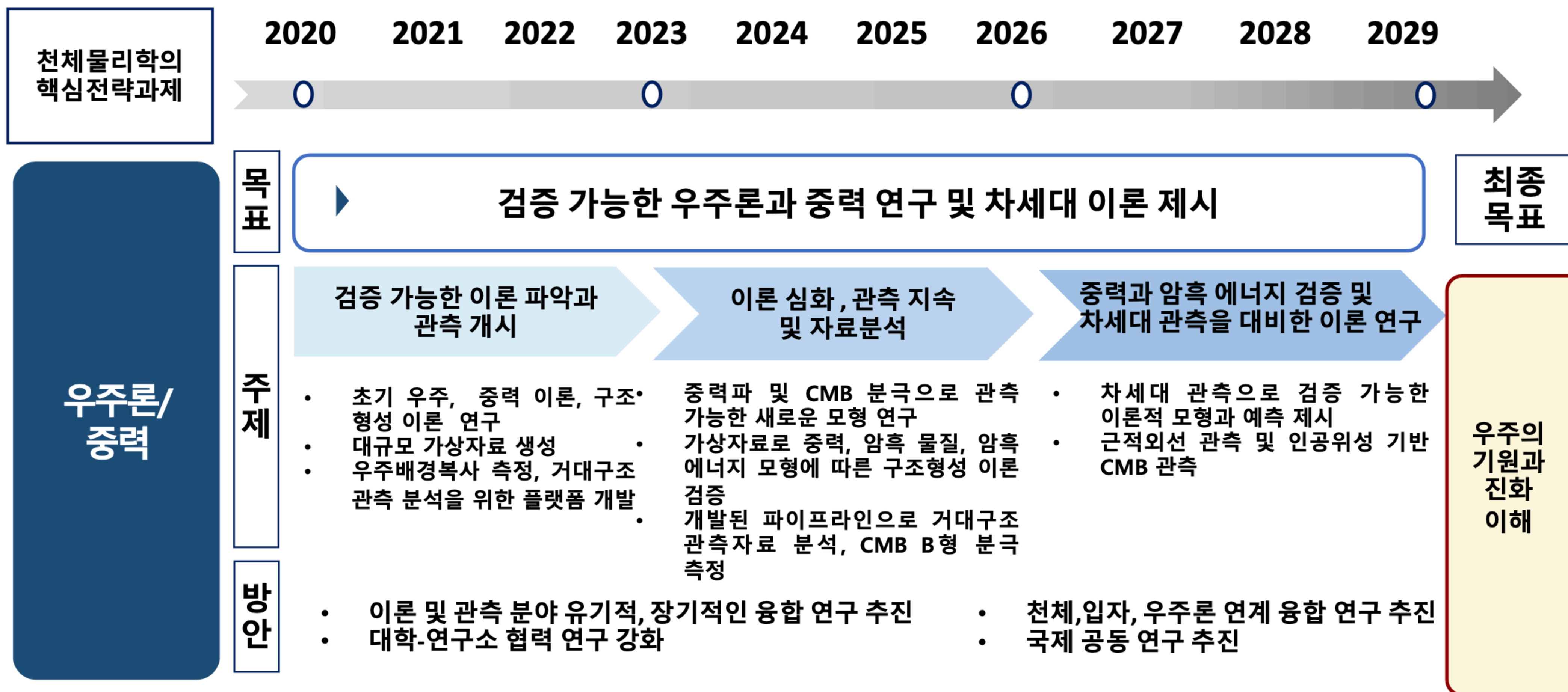
▶ 지상중력과 검출기 데이터 기반 천체물리 연구

핵심과제 6. 저주파 중력과 우주검출기

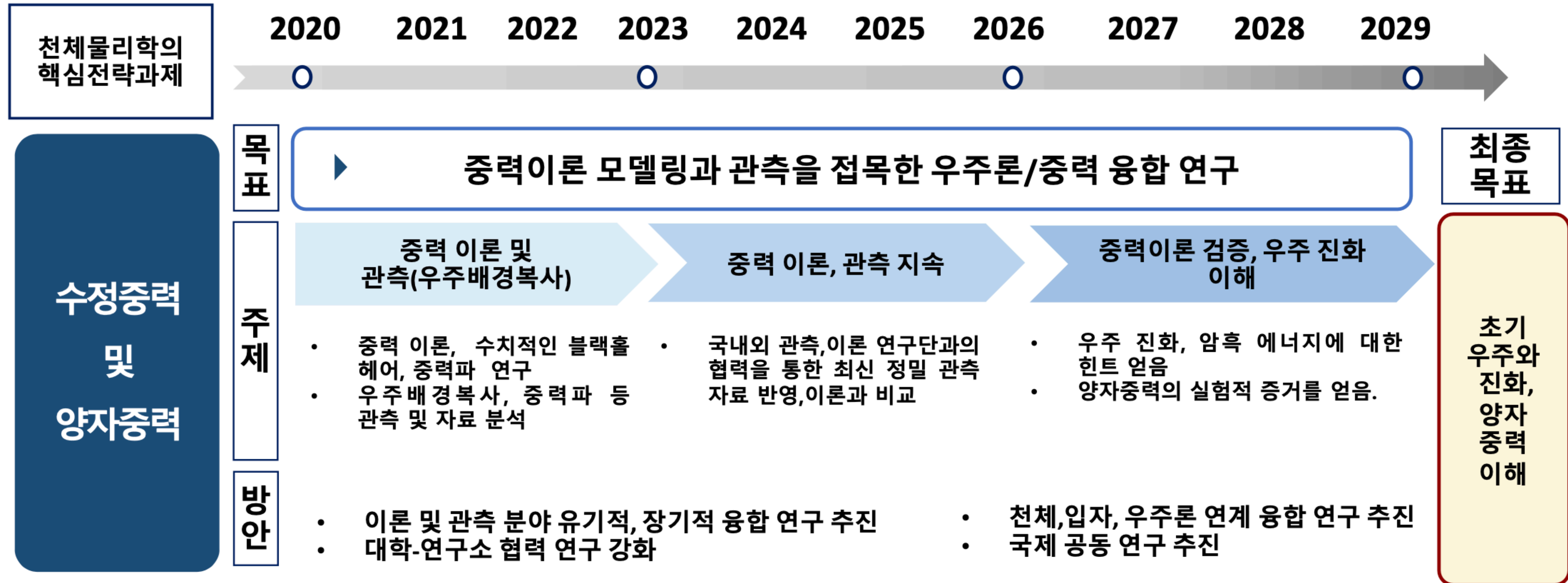
▶ 별빛간섭계 중력과 우주실험 설계

▶ 별빛간섭계 저주파 중력과 위성 발사

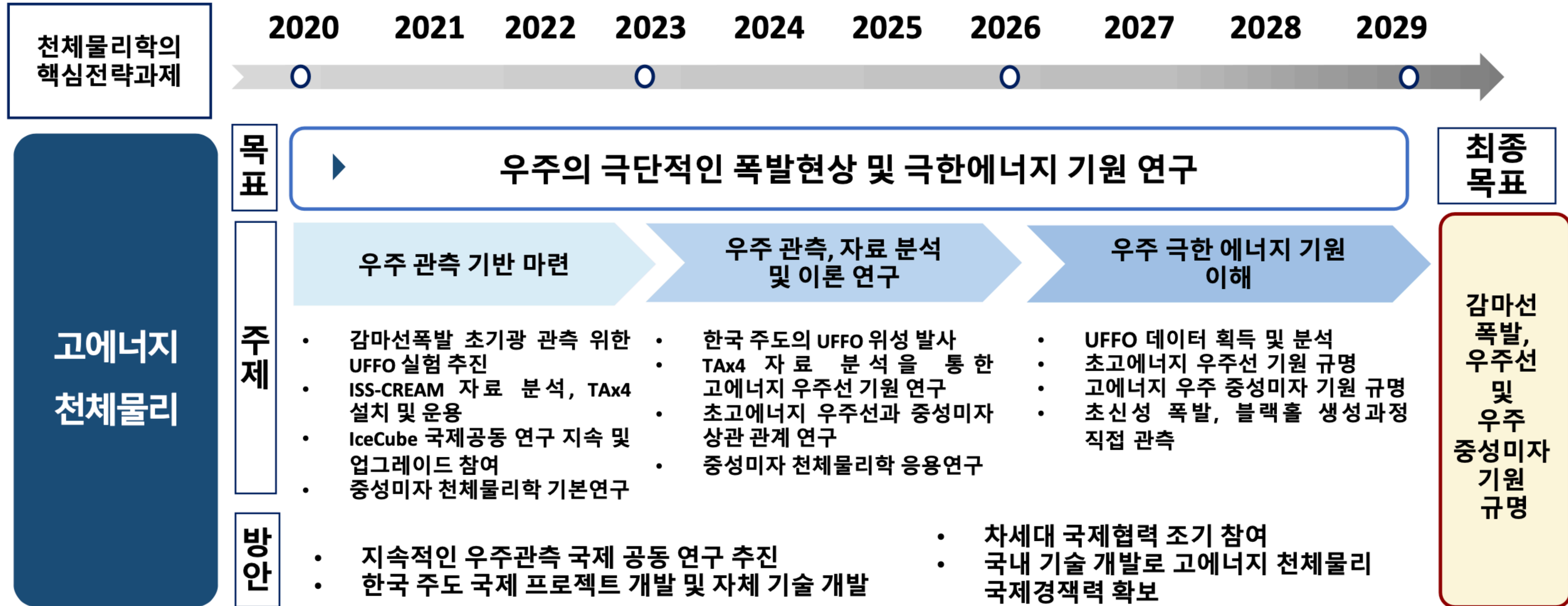
핵심과제 1. 우주론/중력



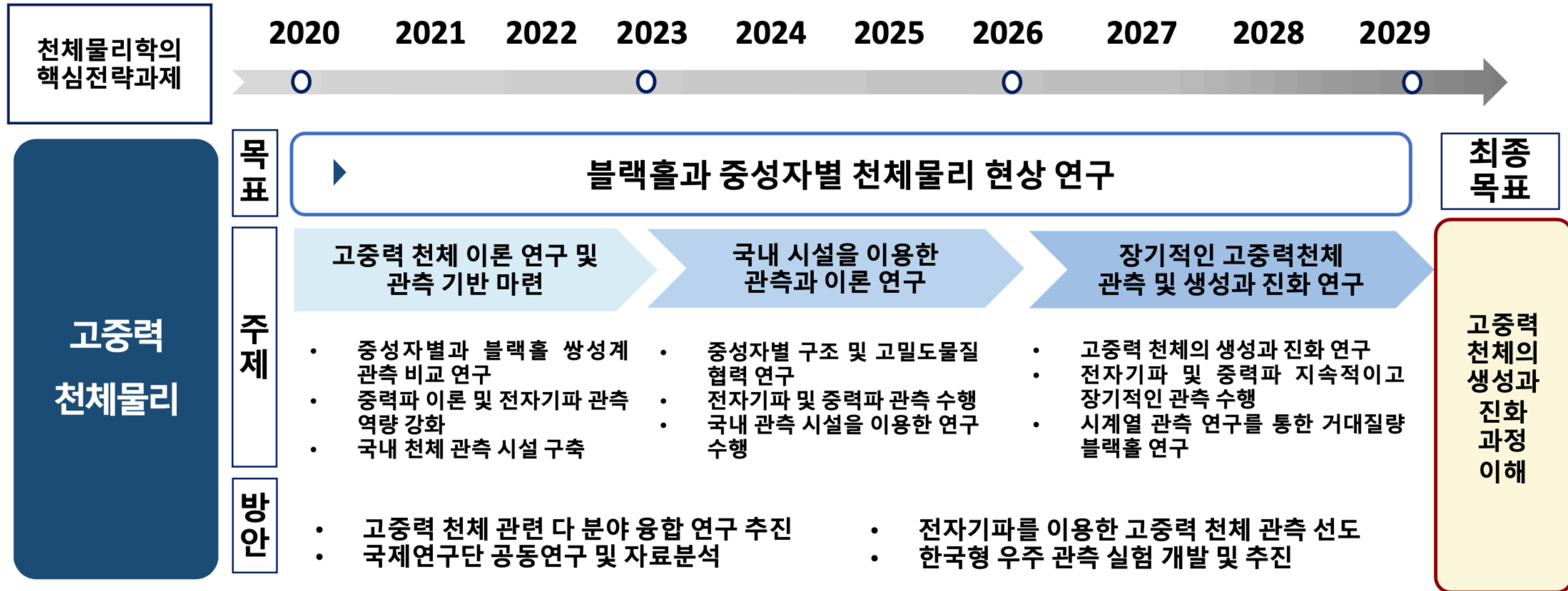
핵심과제 2. 수정중력 및 양자중력



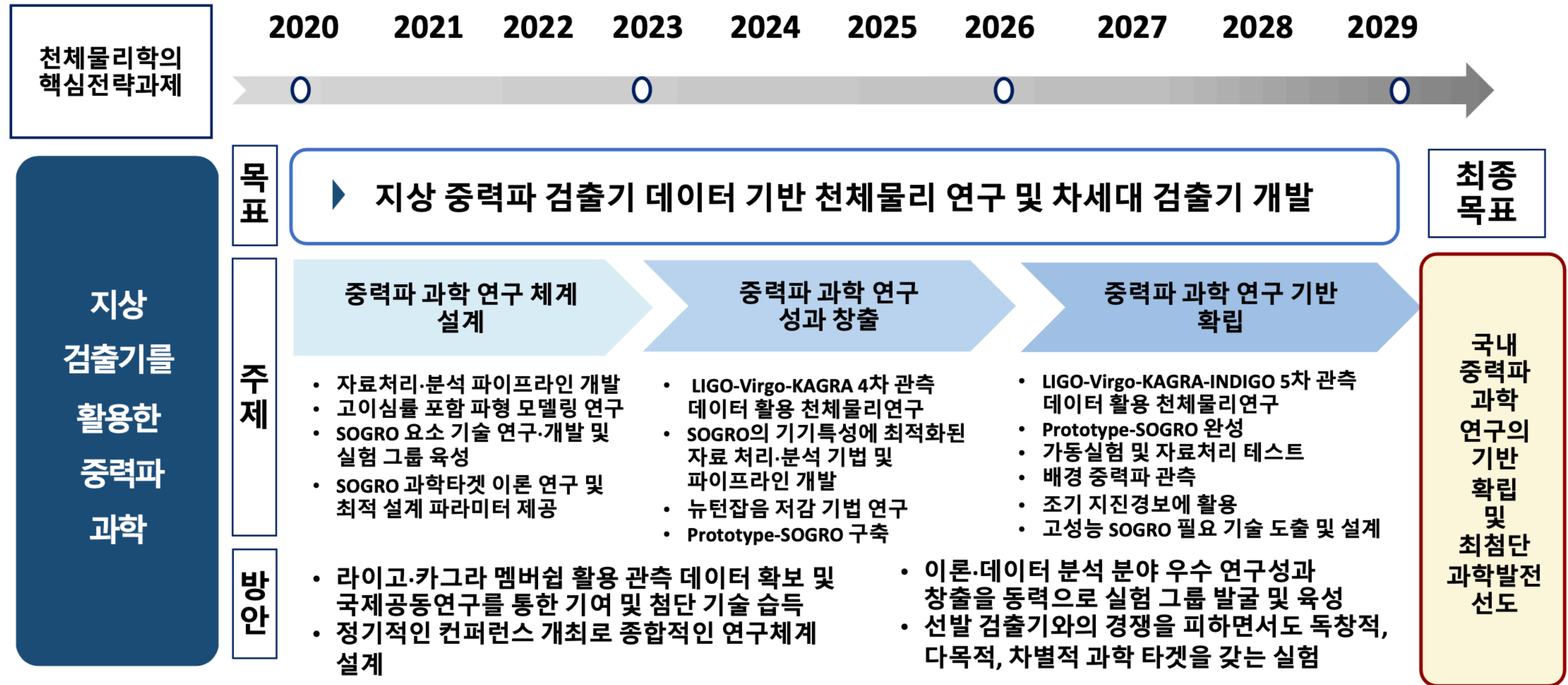
핵심과제 3. 고에너지 천체물리



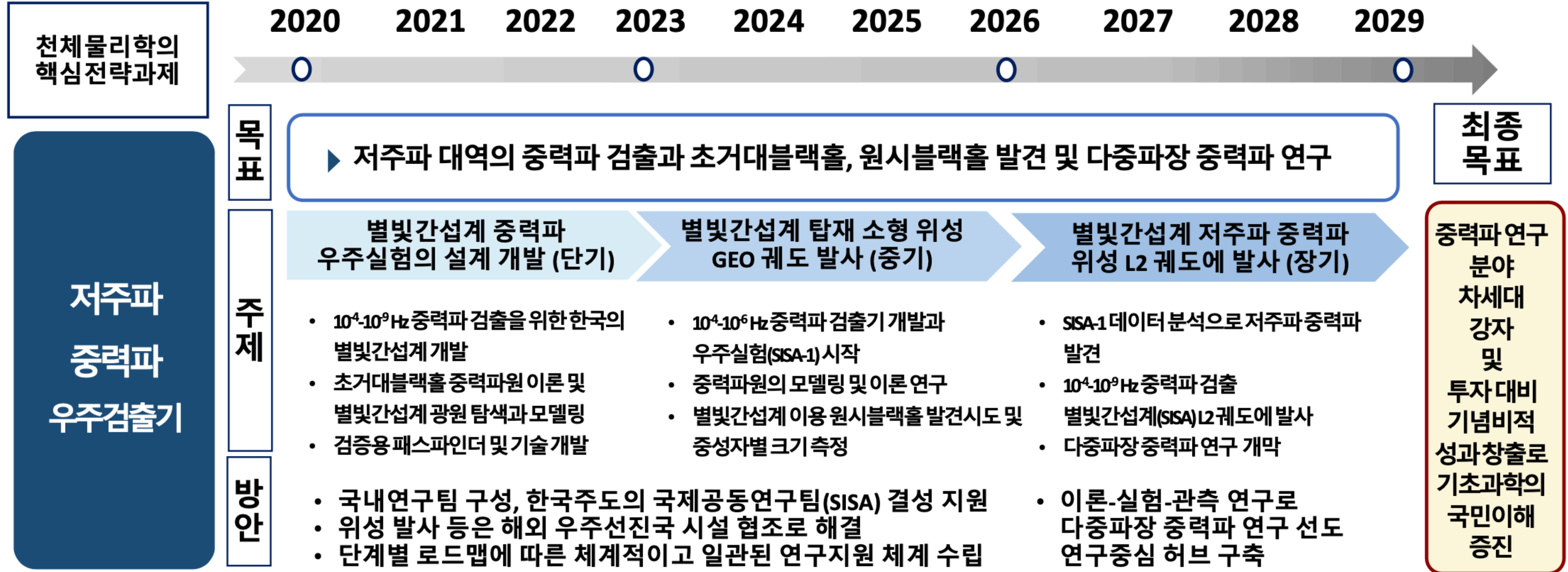
핵심과제 4. 고중력 천체물리



핵심과제 5. 지상 검출기를 활용한 중력파 과학



핵심과제 6. 저주파 중력파 우주검출기



융합과제 2020 로드맵

우주와 물질의 기원

융합과제 1. 새로운 입자 및 물리현상 연구

- ▶ 가속기에서 새로운 입자 탐색 및 이론 모형 연구
- ▶ 한국주도의 표준모형을 넘어서는 새로운 물리현상 연구

융합과제 2. 우주기원 및 우주개발

- ▶ 우주진화이론 및 위성관측기술개발
- ▶ 극한 천체 현상 탐색 및 우주 관측 위성 개발과 운용

융합과제 3. 다중신호 천체물리

- ▶ 중력파-전자기파-입자융합 연구
- ▶ 다중신호를 통한 우주의 기원과 진화 규명

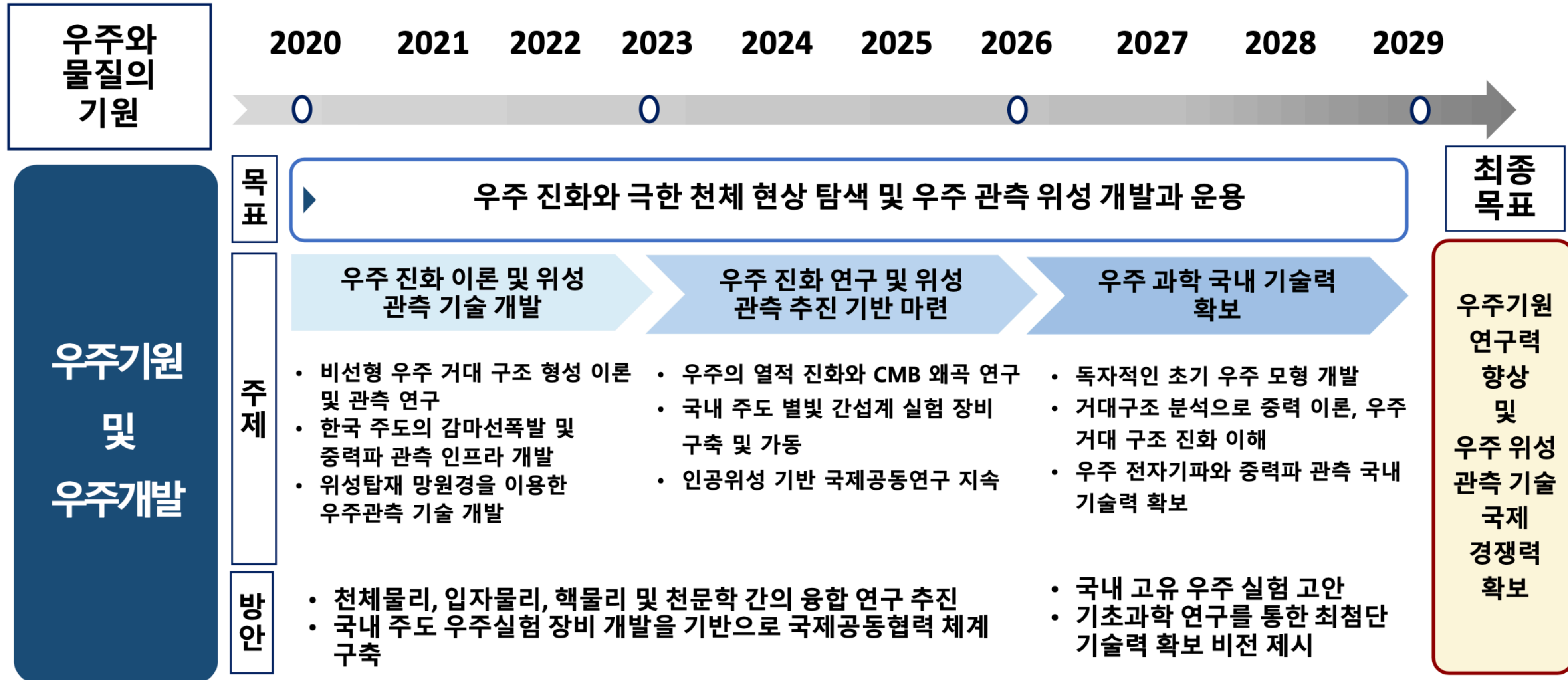
융합과제 4. 희귀 동위원소 빔을 이용한 핵물질 및 핵천체물리 연구

- ▶ RAON을 이용한 희귀 동위원소 실험
- ▶ 우주의 기원에 대한 해답 제시

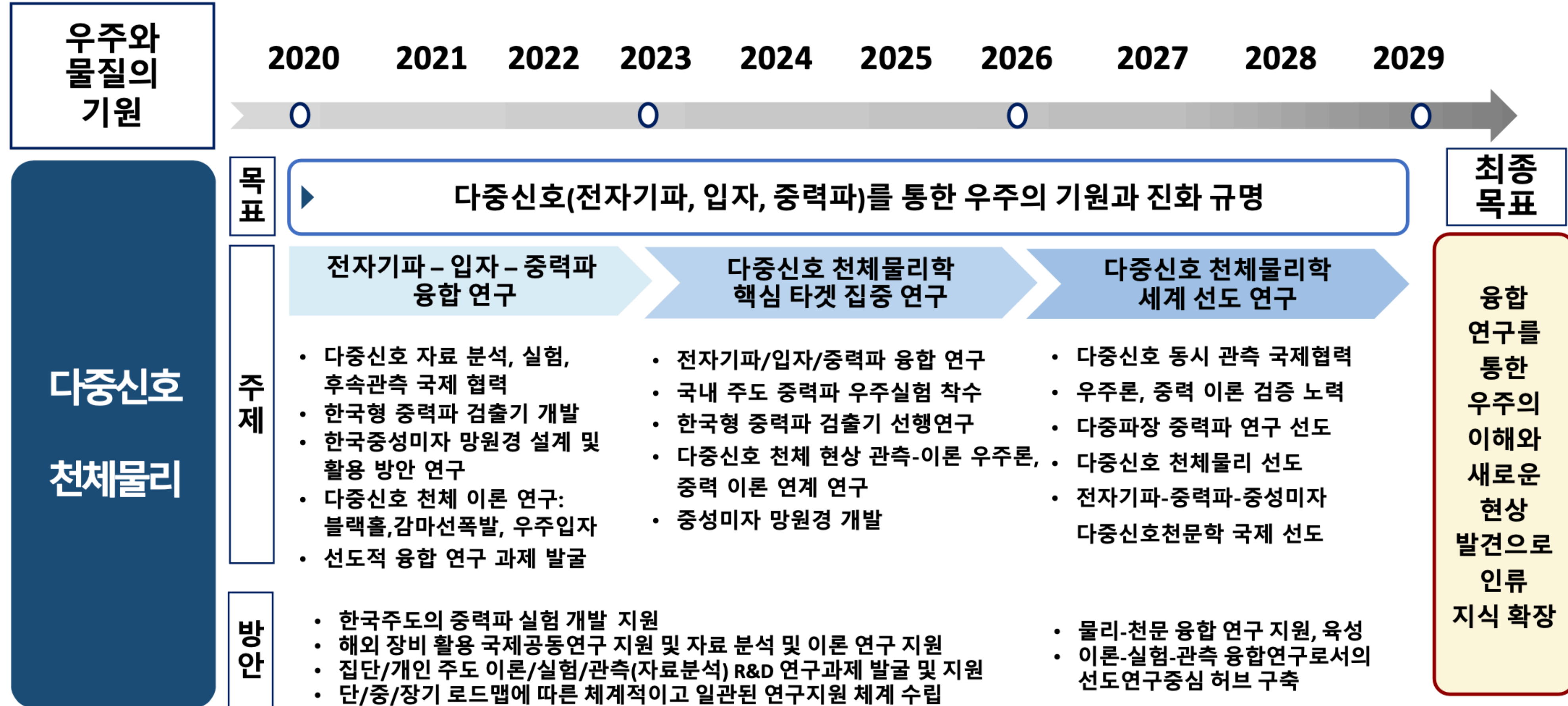
융합과제 5. 이론물리의 새로운 패러다임

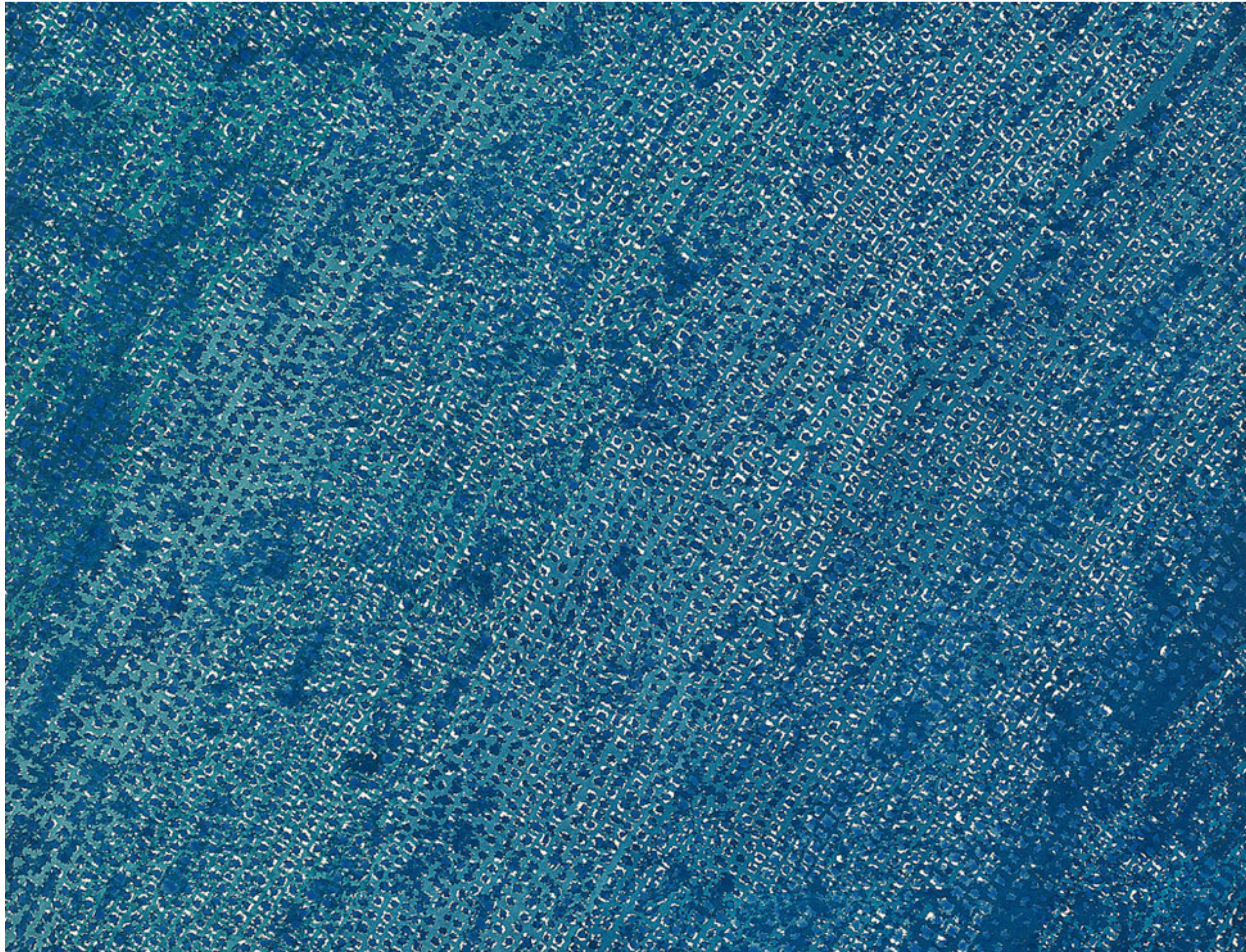
- ▶ 양자장론의 비섭동적인 구조 발견과 초끈이론적 이해
- ▶ 양자 시공간의 이해와 새로운 학문의 탄생

융합과제 2. 우주기원 및 우주개발

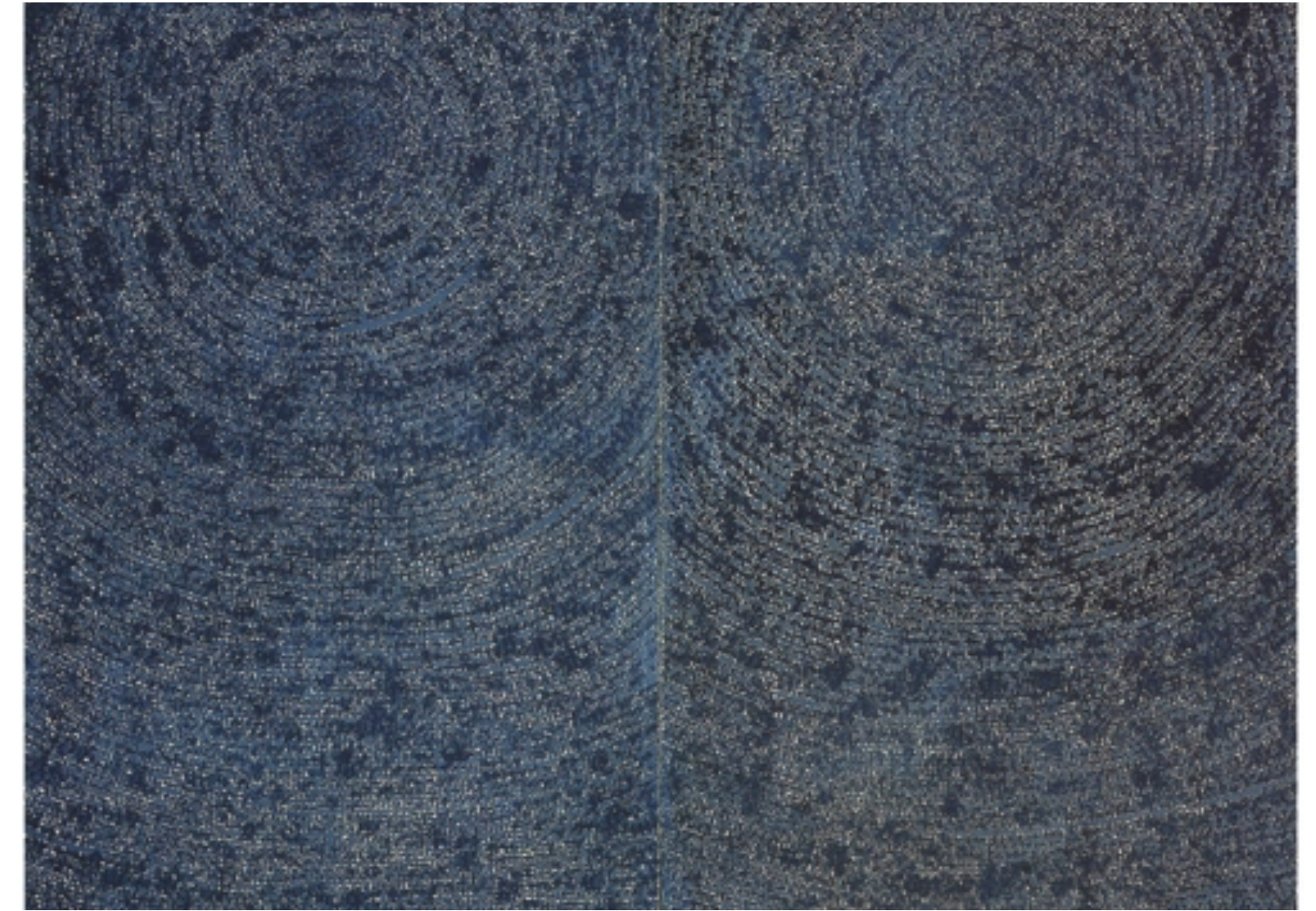


융합과제 3. 다중신호 천체물리





19-VII-71#209 경매가 47억 (2015) / 우주 5-IV-71#200 경매가 132억 (2019)



김환기 1913-1974

김환기 1970 어디서 무엇이 되어 다시 만나랴



김환기 1970
어디서 무엇이 되어 다시 만나랴

‘거대와 미소가 하나의 공간 속에서 숨 쉬고 있는’
우주의 풍경이다.
— 이진숙 / 롤리타는 없다



김환기 1970
어디서 무엇이 되어 다시 만나라

‘거대와 미소가 하나의 공간 속에서 숨 쉬고 있는’
우주의 풍경이다.
— 이진숙 / 롤리타는 없다

저렇게 많은 별 중에서
별 하나가 나를 내려다본다
이렇게 많은 사람 중에서
그 별 하나를 쳐다본다

밤이 깊을수록
별은 밝은 속에 사라지고
나는 어둠 속으로 사라진다

이렇게 정다운
너 하나 나 하나는
어디서 무엇이 되어 다시 만나라

— 이산 김광섭 / 저녁에

