LiteBIRD

Lite (Light) Satellite for the Studies of B-mode Polarization and Inflation from Cosmic Background Radiation Detection

インフレーション宇宙を検証する LiteBIRD計画の現状

羽澄昌史（KEK/Kavli IPMU/総研大）

LiteBIRD（ライトバード） ― 熱いビッグバン以前の宇宙を探索する宇宙マイクロ波背景放射偏光観測衛星

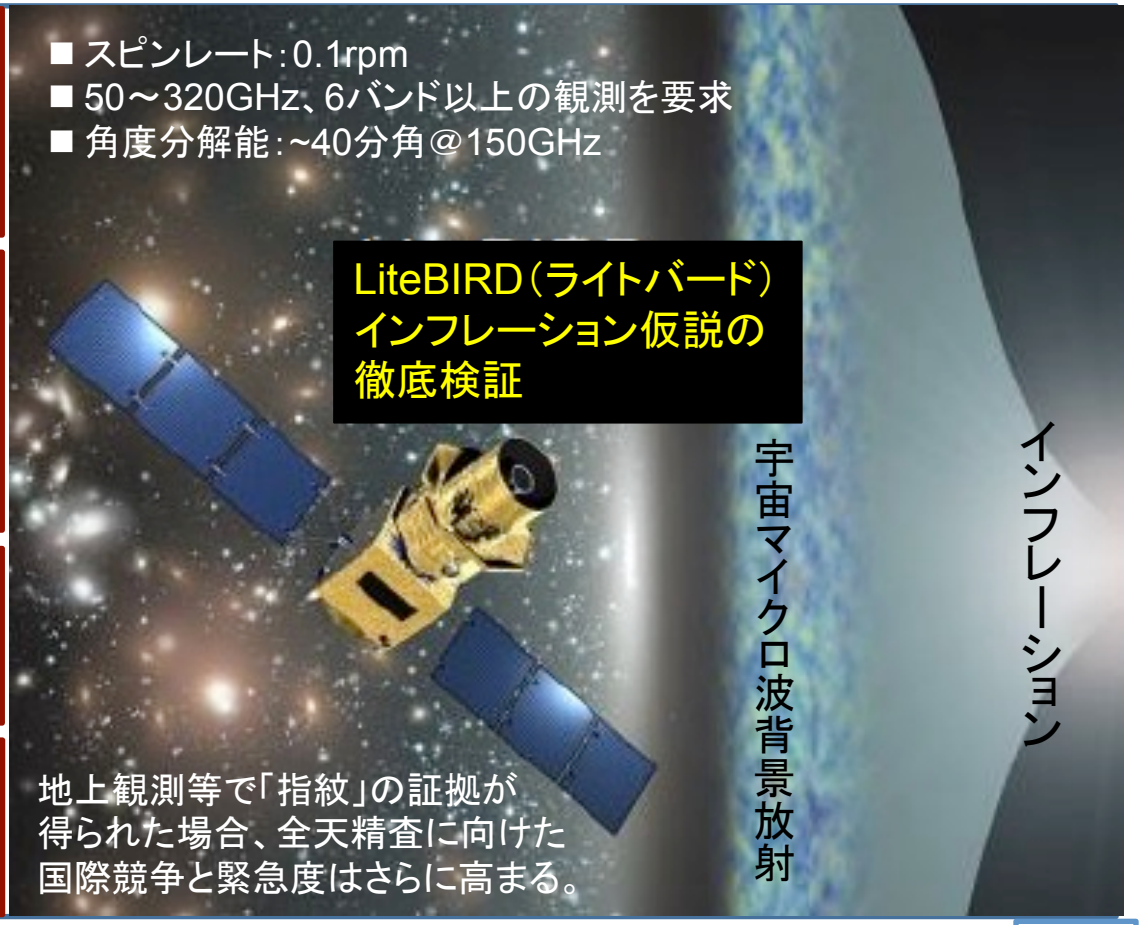
概要

人類にとって根源的な問いに答える
- ◆ 宇宙誕生の瞬間とは？
- ◆ 宇宙・時空を創るルールブック（究極理論）とは？

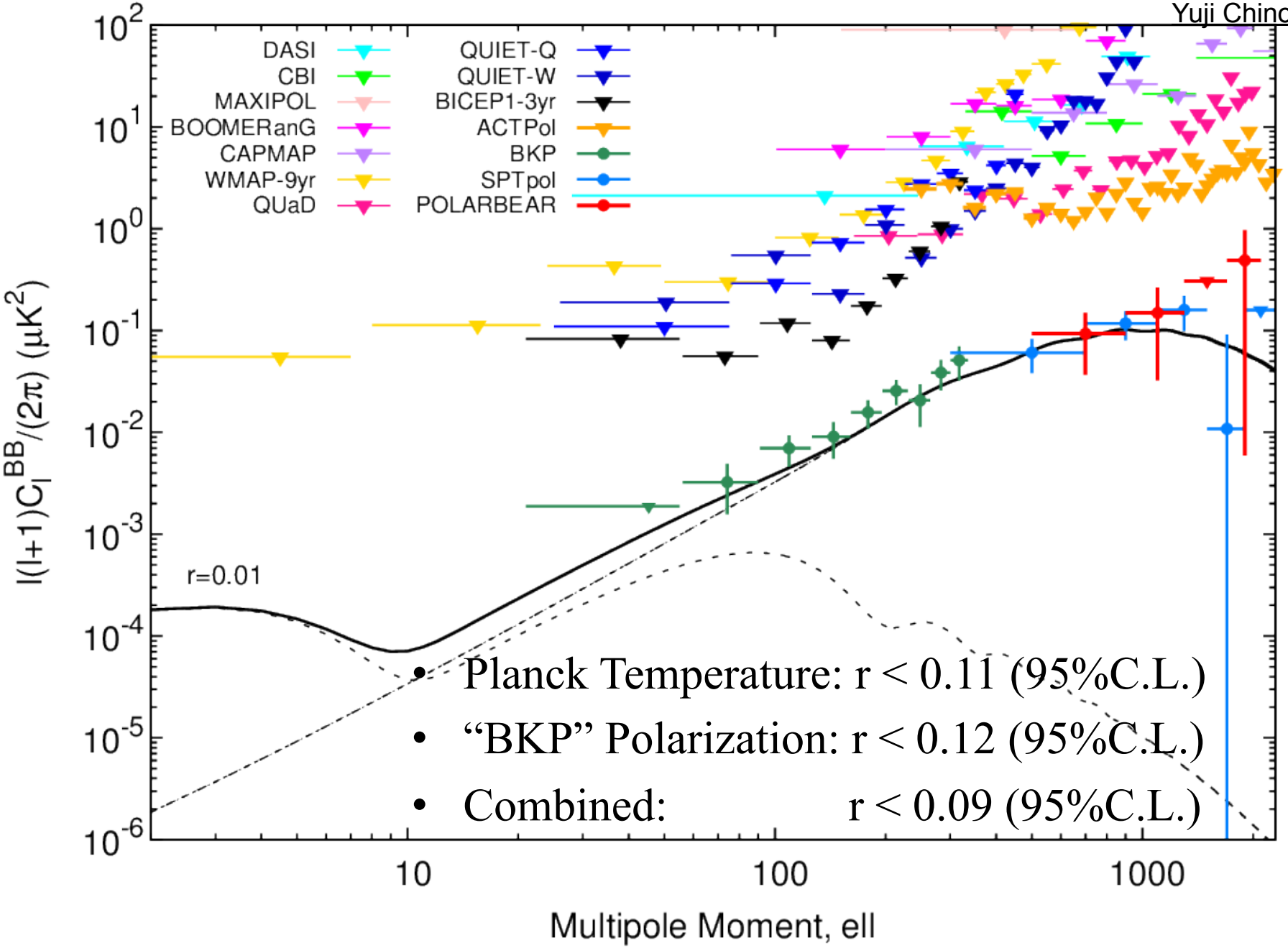
「宇宙のインフレーション仮説」（佐藤勝彦自然科学研究機構長等が提案）は、熱いビッグバン以前の宇宙に関する最有力仮説。
原始重力波の存在を予言。

原始重力波は宇宙マイクロ波背景放射（CMB）の偏光マップに「指紋」の様な痕跡（Bモードと呼ばれる）を残す。

LiteBIRDはスペースからの観測でのみ可能な「指紋」の全天精査を行い、インフレーション仮説を徹底検証する。

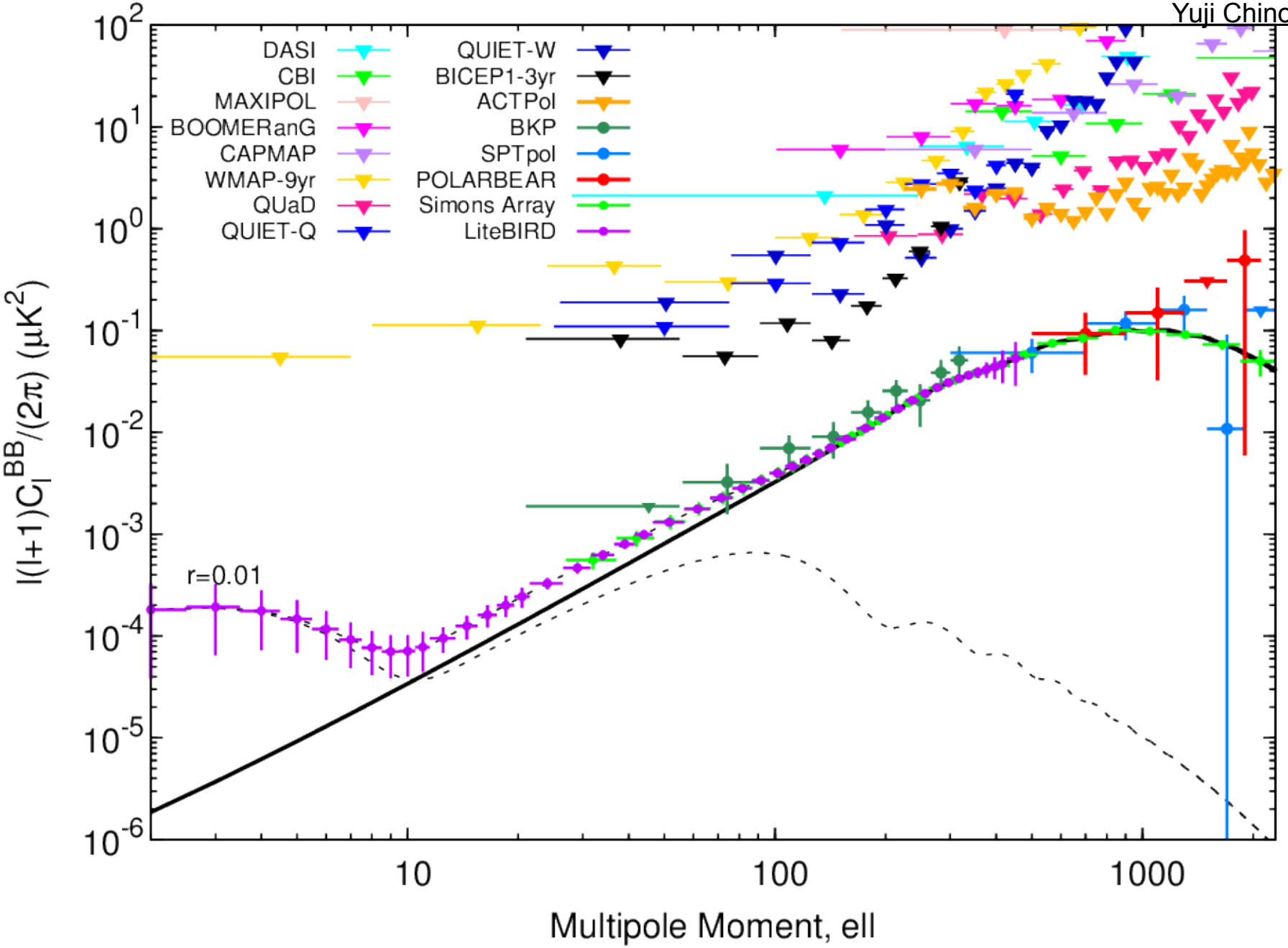


Yuji Chinone



- Planck Temperature: r < 0.11 (95%C.L.)
- "BKP" Polarization: r < 0.12 (95%C.L.)
- Combined: r < 0.09 (95%C.L.)

Yuji Chinone



LiteBIRD working group

121 members, international and interdisciplinary.

JAXA
宇都宮 真
岡本 篤
河野 功
坂井 真一郎
佐藤 洋一
篠崎 慶亮
杉田 寛之
竹井 洋
西城 邦俊
西堀 俊幸
野田 篤司
福家 英之
松浦 周二
松原 英雄
松村 知岳
満田 和久
山崎 典子
吉田 哲也
四元 和彦
和田 武彦

大阪大
黒宮 章太
高倉 理
高野 恵介
中嶋 誠

大阪府大
井上 将徳
岡田 望
小川 英夫
木村 公洋
高津 湊

岡山大
石野 宏和
岡本 晃範
喜田 洋介
樹林 敦子
岐部 佳朗
山田 要介

核融合研
高田 卓

Kavli IPMU
片山 伸彦
菅井 肇
服部 香里

KEK
岡村 崇弘
小栗 秀悟
木村 誠宏
郡 和範
佐藤 伸明
鈴木 敏一
田島 治
茅根 裕司
都丸 隆行
長崎 岳人
永田 竜
西野 玄記
羽澄 昌史(PI)
長谷川 雅也
森井 秀樹
吉田 光宏

甲南大
大田 泉

国立天文台
稲谷 順司
鹿島 伸悟
唐津 謙一
関口 繁之
関根 正和
関本 裕太郎
新田 冬夢
野口 卓
A. Dominjon
S. Shu

埼玉大
成瀬 雅人

NICT
鵜澤 佳徳

総研大
秋葉 祥希
石塚 光
井上 優貴
瀬川 優子
富田 望
渡辺 広記

筑波大
永井 誠

東工大
松岡 聡
R. Chendra

東北大
服部 誠
森嶋 隆裕

名古屋大
市來 淨與

横浜国大
入江 郁也
中村 正吾
夏目 浩太
藤野 琢郎
水上 邦義
山下 徹

理研
大谷 知行
美馬 覚

APC Paris
R. Stompor

CU Boulder
N. Halverson

McGill U.
M. Dobbs

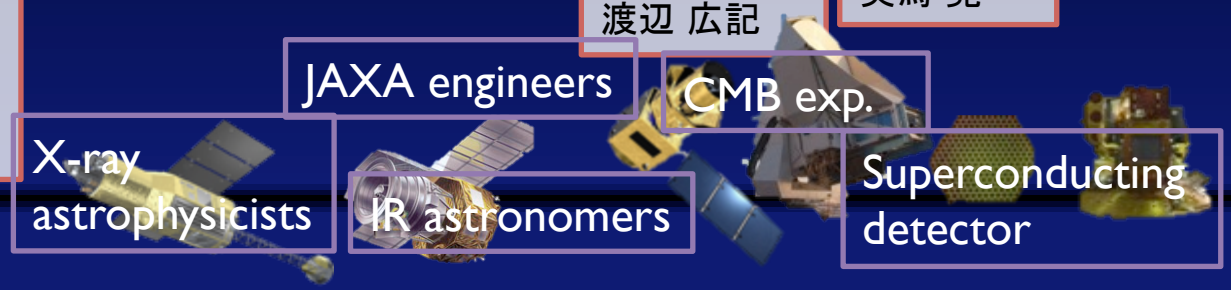
MPA
小松 英一郎

NIST
G. Hilton
J. Hubmayr

Stanford U.
並河 俊弥
K. Irwin
C.-L. Kuo

UC Berkeley / LBNL
日下暁人
鈴木有春
堀泰斗
J. Borrill
A. Cukierman
T. de Haan
J. Errard
N. Goeckner-wald
P. Harvey
C. Hill
W. Holzapfel
O. Jeong
A. Lee(US PI)
E. Linder
P. Richards
U. Seljak
B. Sherwin
P. Turin
B. Westbrook
N. Whitehorn

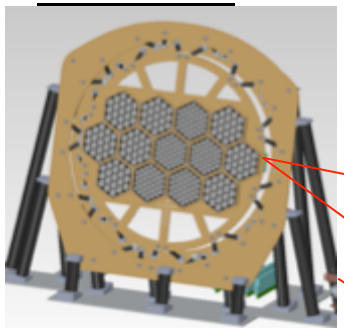
UC San Diego
K. Arnold
T. Elleot
B. Keating
G. Rebeiz



LiteBIRD Instrument

- Mission module benefits from heritages of other missions (e.g. ASTRO-H) and ground-based experiments (e.g. POLARBEAR).
- Bus module based on high TRL components

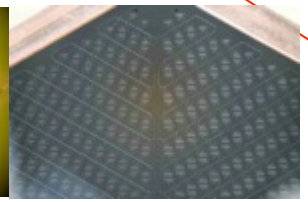
Multi-chroic focal plane detectors



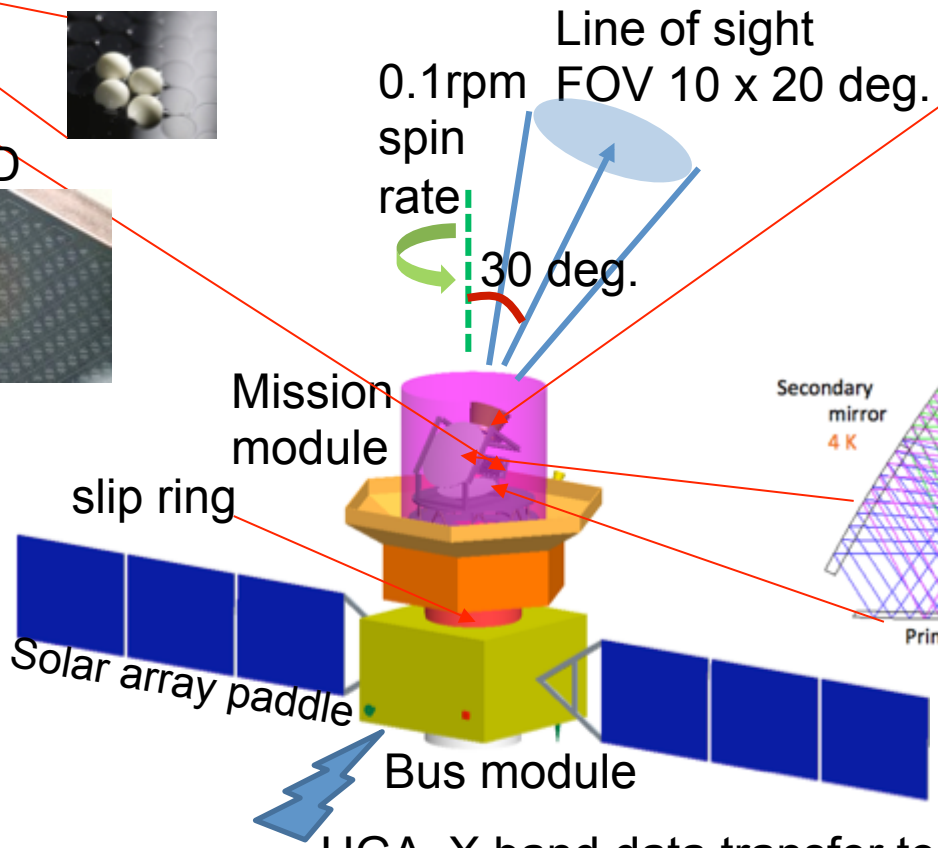
Lenslet

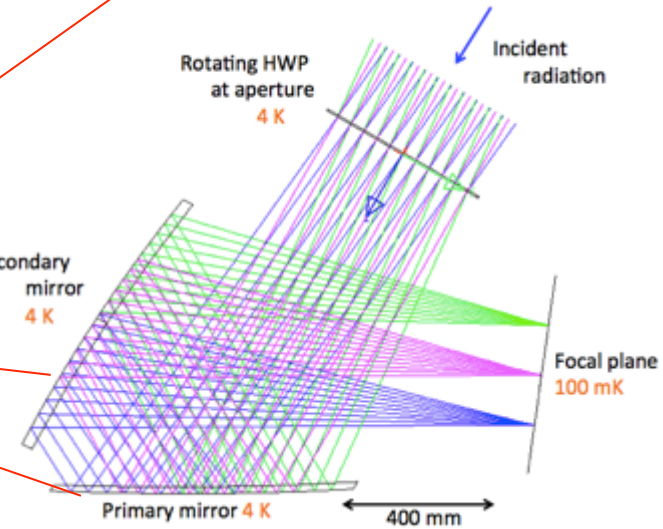
TES

MKID



Continuously-rotating half wave plate (HWP)



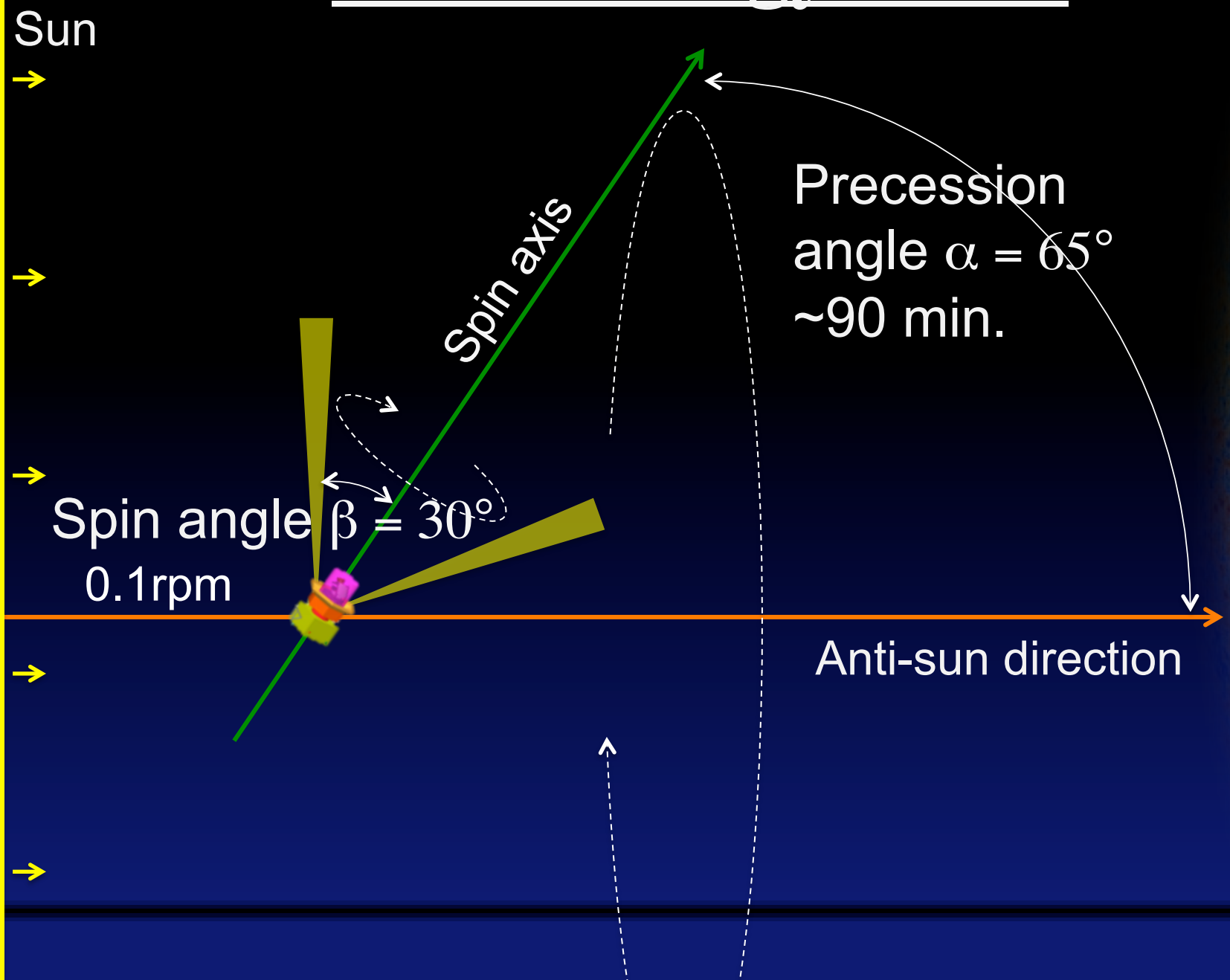


Mirrors at 4K

Cryogenics

- JT/ST and ADR (ASTRO-H heritage)

Scan strategy at *L2*



Scientific "Shopping List"

- LiteBIRD will provide precise and accurate whole-sky maps of B-mode and E-mode.
  - C_l^{BB} → Inflation and Quantum Gravity (r, n_t)
    → Lensing B-mode down to very low ℓ
  - C_l^{EE} → Reionization history
  - Power spectrum deviation from ΛCDM
    → e.g. Parity Violation in Gravity, Quantum Loop Gravity, Primordial Magnetic Field
  - Bi-spectrum (BBB etc.)
    → Tensor non-Gaussianity
  - Non-standard patterns (e.g. bubbles) in the maps
    → e.g. Multiverse
  - Foreground Science
  - Galactic Magnetic Field (in particular at large galactic attitude)
  - データ公開予定→多彩な天文学

前回講演（2015年3月）の内容

- フルサクセス条件
- ミッション・システム要求
- 衛星システム例
- 運用スケジュール（案）
- 国際情勢

Current Status

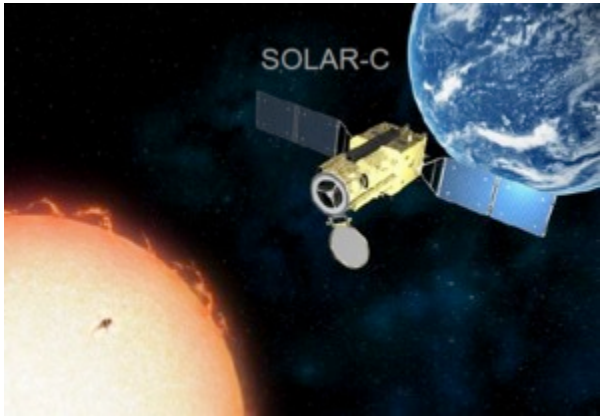
- Proposal submitted to JAXA in Feb. 2015 for JFY2022 launch
  → Passed initial down-selection by ISAS/JAXA (June 2015), in transition to phase-A1 studies

- US participation proposal for NASA MO submitted in Dec. 2014
  → Passed initial down-selection (July 2015), starting US phase-A studies

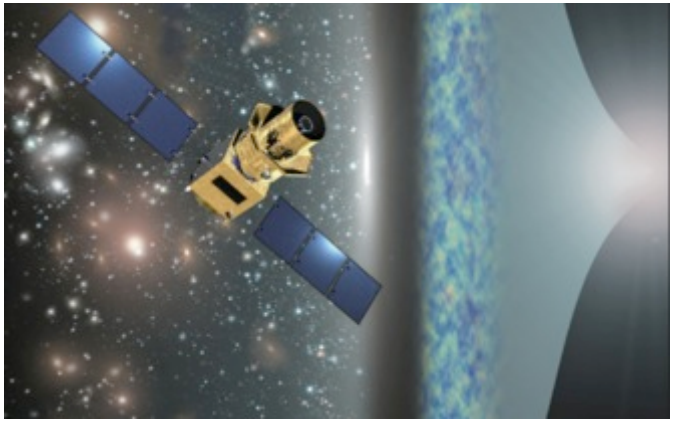
2015 Down-selection for Strategic Missions 2021-2025

- Three missions passed MDR down-selection

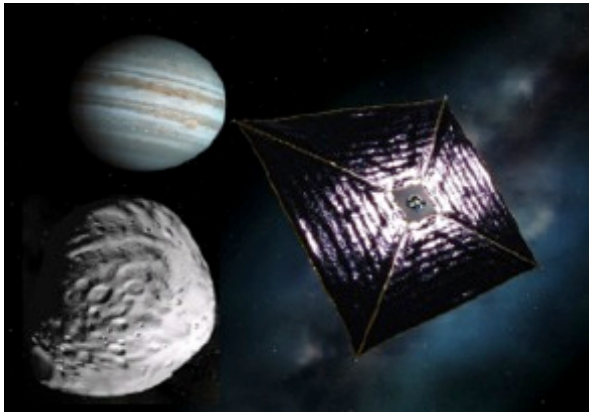
SOLAR-C



LiteBIRD



Solar Sail
to Jupiter Trojans

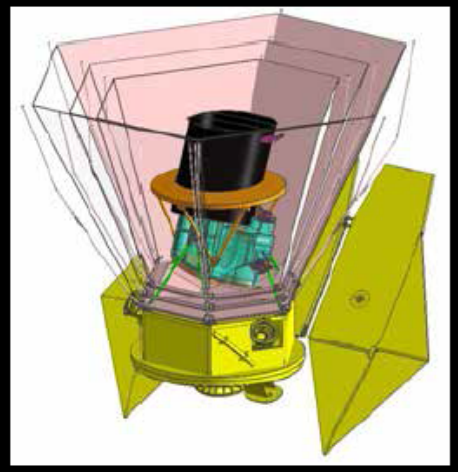


- Additional special mission in consideration
  - Phobos (or Deimos) Sample Return

These four missions will continue studies to pass SRR.
<u>Two of them* will be selected for 2021-2025 launches.</u>

*Proposal of a new mission is not excluded.

Astrophysics SMEX/MO Missions in Formulation



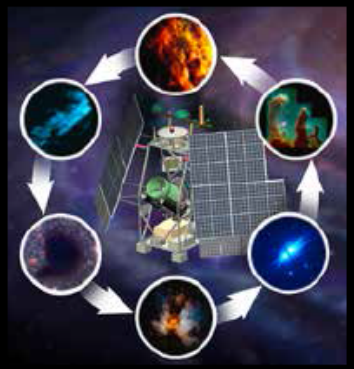
SPHEREx
PI: J. Bock, Caltech
An All-Sky Near-IR Spectral Survey

PRAXyS
PI: K. Jahoda, GSFC
Polarimeter for Relativistic Astrophysical X-ray Sources

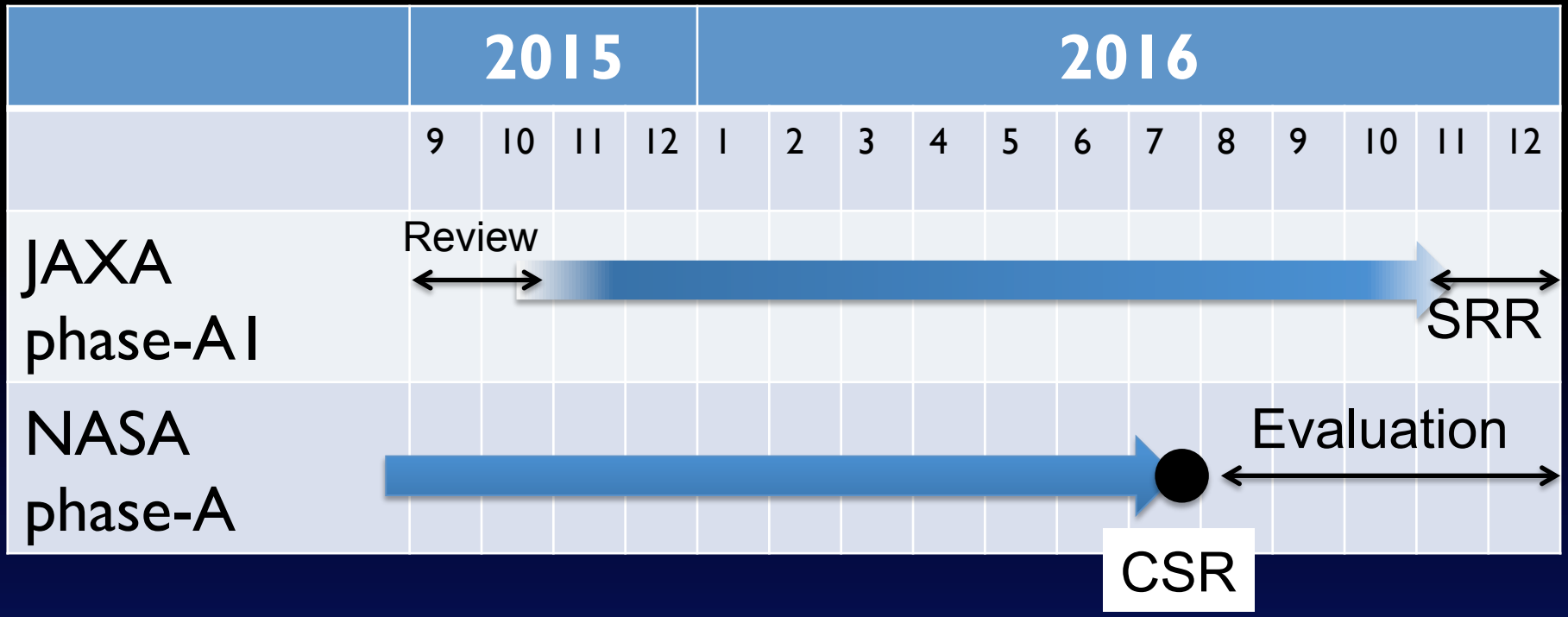
IXPE
PI: M. Weisskopf, MSFC
Imaging X-ray Polarimetry Explorer

PI: A. Lee, UC Berkeley
US Participation in JAXA's LiteBIRD CMB Polarization Survey

PI: C. Walker, U. Arizona
GUSTO: Gal/Xgal U/LDB Spectroscopic - Stratospheric Terahertz Observatory



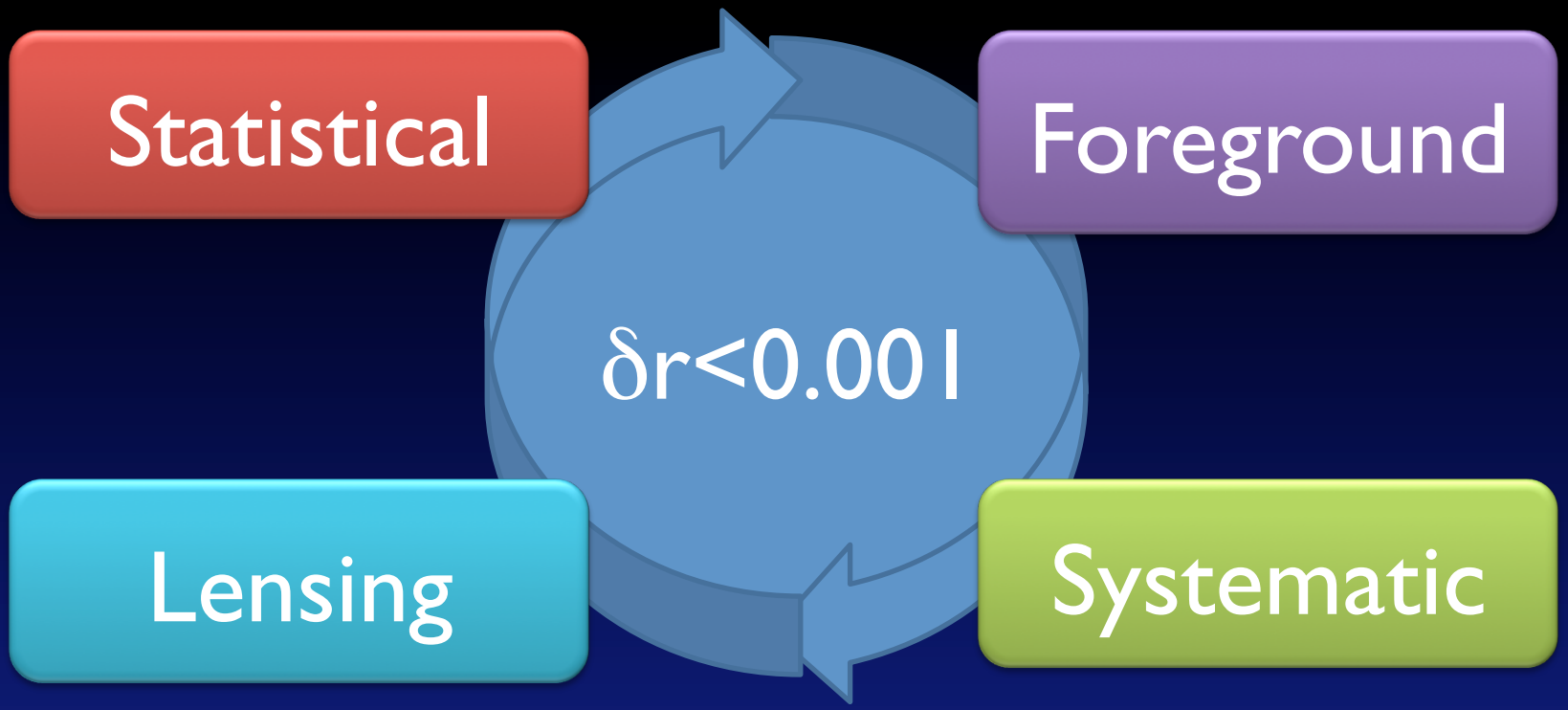
Timelines in 2015-2016



Two schedules agree well !

LiteBIRDのフルサクセス条件

CMB直線偏光の全天・大角度の観測を行い、
原始重力波強度パラメータr(テンソル・スカラー比)の
全誤差δrについて$\delta r < 0.001$を達成する。

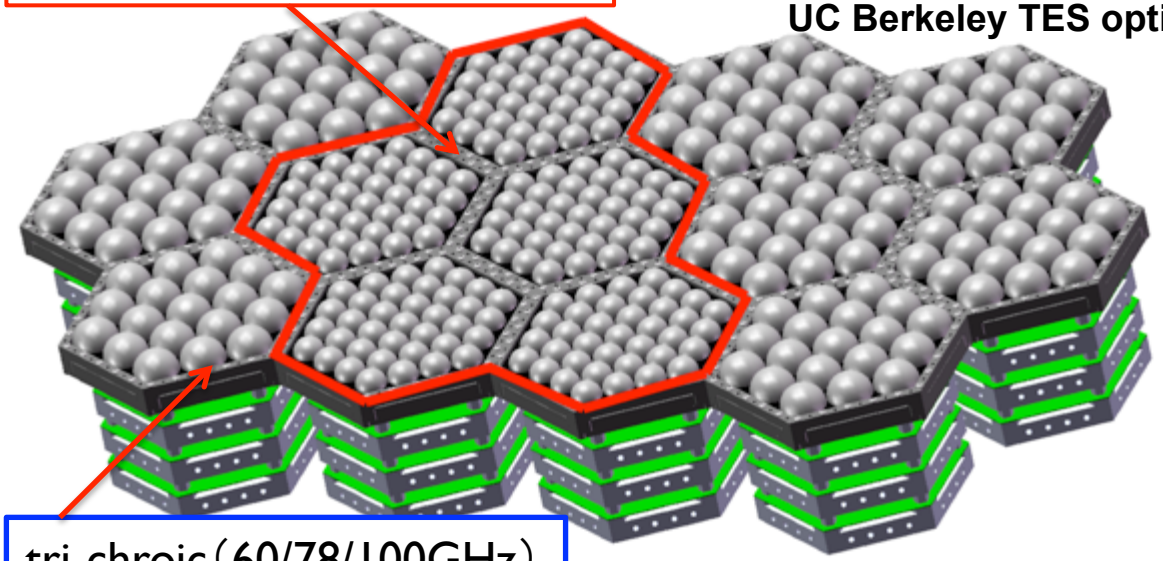


LiteBIRD focal plane JAXA baseline configuration

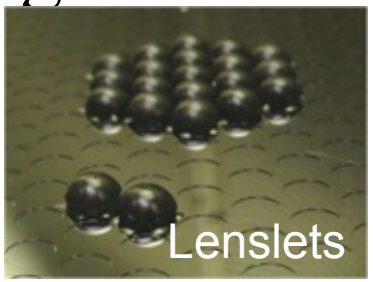
tri-chroic (140/195/280GHz)

2022 TES bolometers

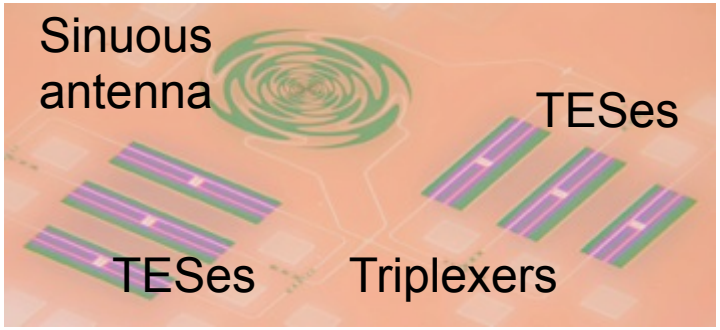
UC Berkeley TES option



tri-chroic (60/78/100GHz)



T_{bath} = 100mK



6-band baseline design → 12 bands (or more) can be accommodated (with frequency overlap & w/ notch filters for CO-line rejection

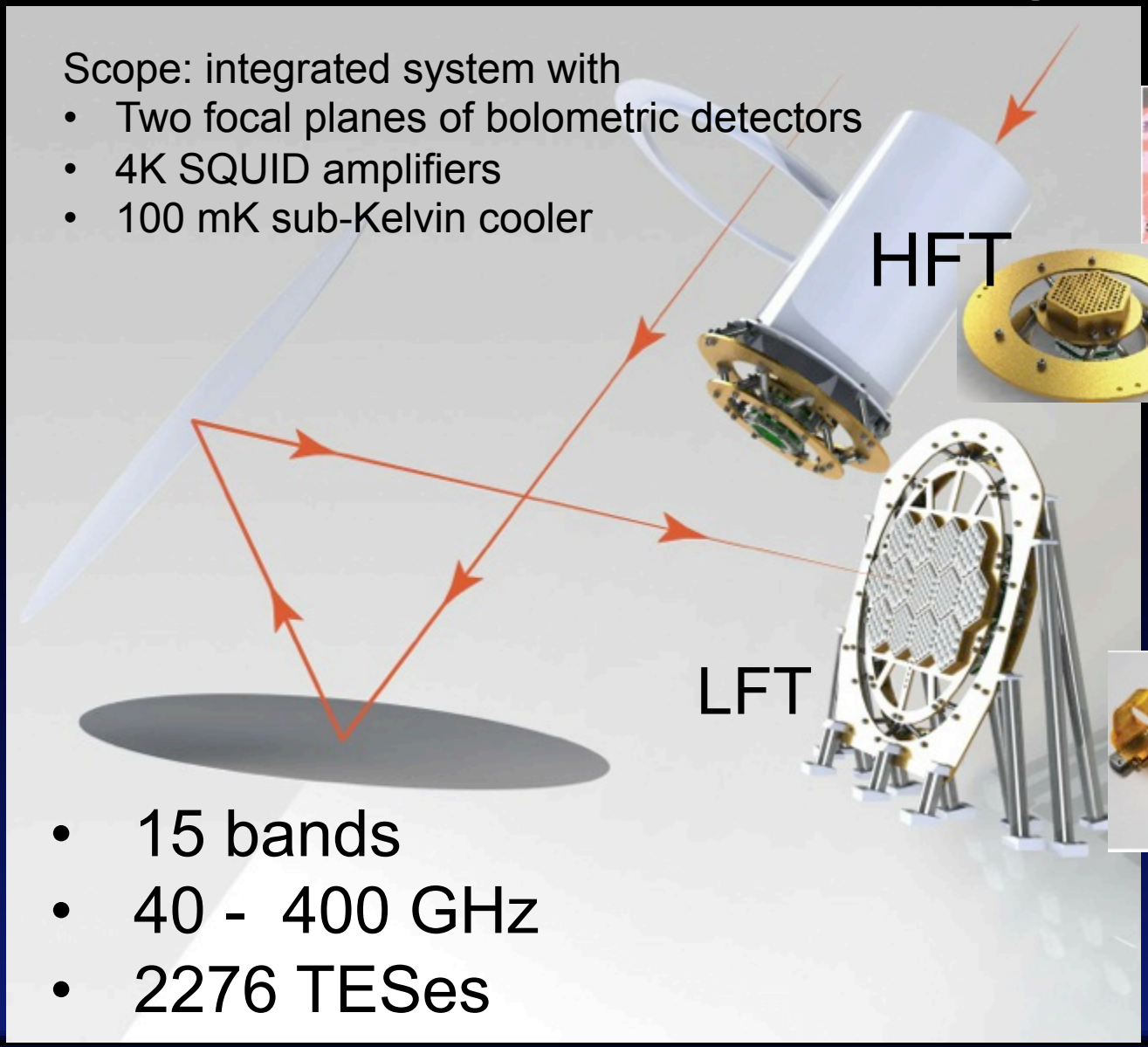
Band (GHz)	Beam (arcmin)	NET (μK$\sqrt{s}$)	Pixels per wafer	N_{wf}	N_{bolo}	NET_{arr} (μK$\sqrt{s}$)	Sens. (μK·arcmin)	Sens. with margin (μK·arcmin)	Band
60	54.1	94	19	8	304	5.4	9.6	15.7	X
78	55.5	59	19	8	304	3.4	6.0	9.9	X
100	56.8	42	19	8	304	2.4	4.3	7.1	Y
140	40.5	37	37	5	370	1.9	3.4	5.6	Y
195	38.4	31	37	5	370	1.6	2.9	4.7	Z
280	37.7	38	37	5	370	2.0	3.5	5.7	Z
total					2022		1.6	2.6	

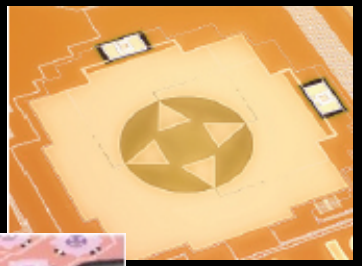
$\delta r = 0.4 \times 10^{-3}$

NASA MO 15-band Configuration

Scope: integrated system with

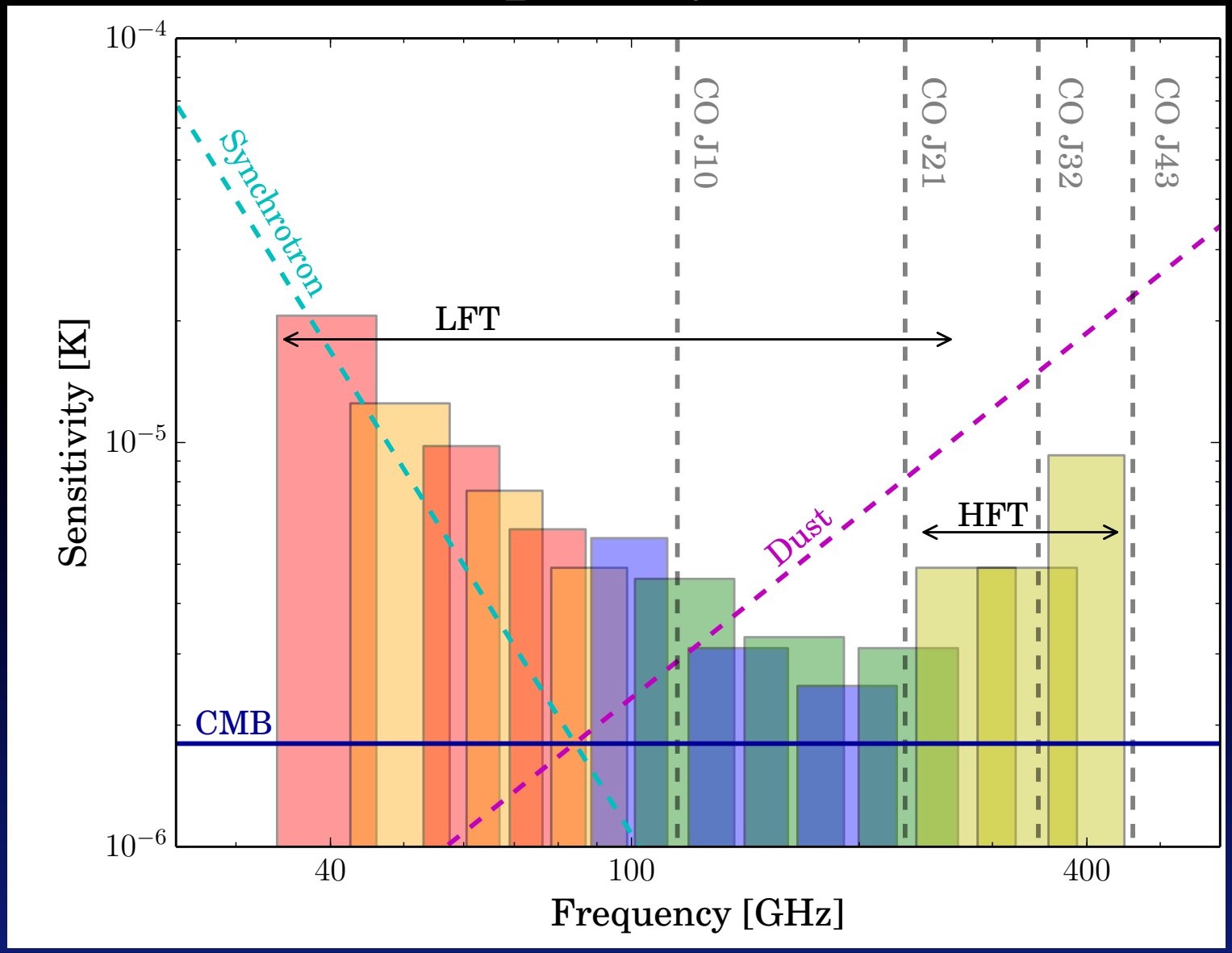
- Two focal planes of bolometric detectors
- 4K SQUID amplifiers
- 100 mK sub-Kelvin cooler



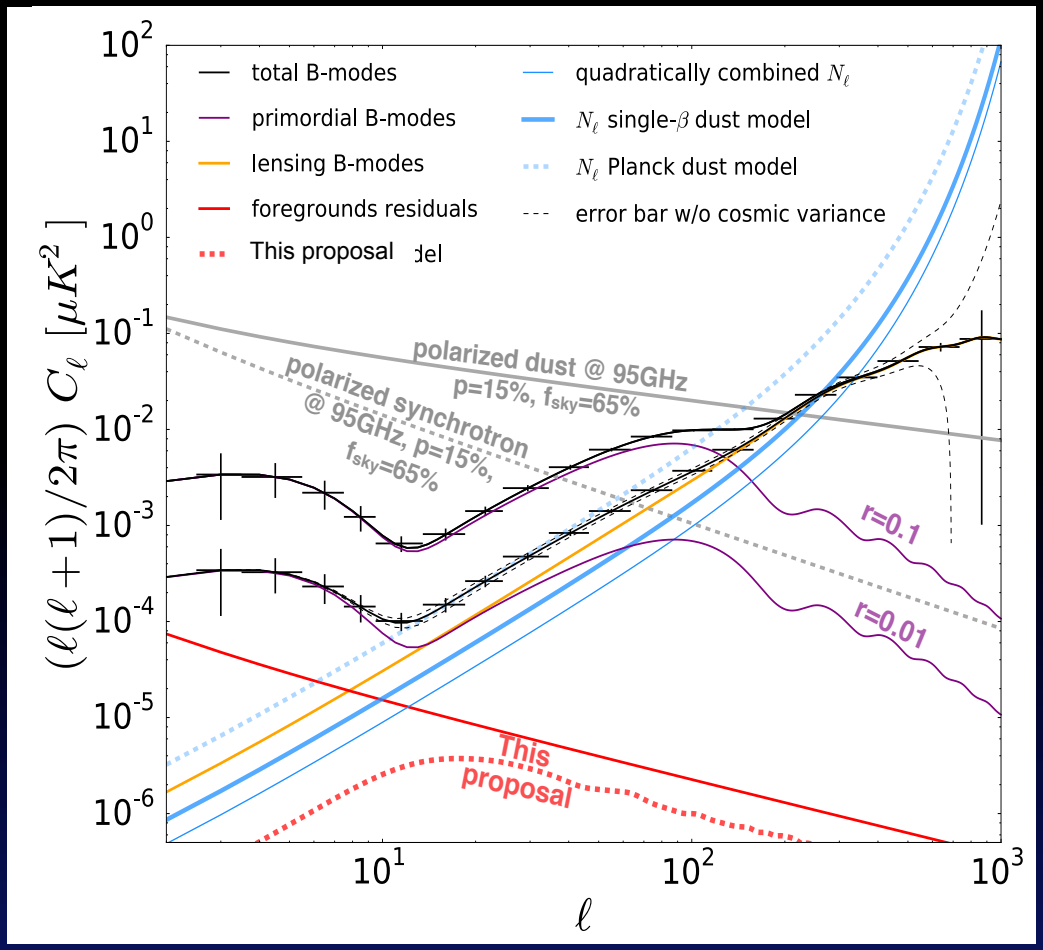


- 15 bands
- 40 - 400 GHz
- 2276 TESes

15 frequency bands



LiteBIRD Sensitivity (15 bands)



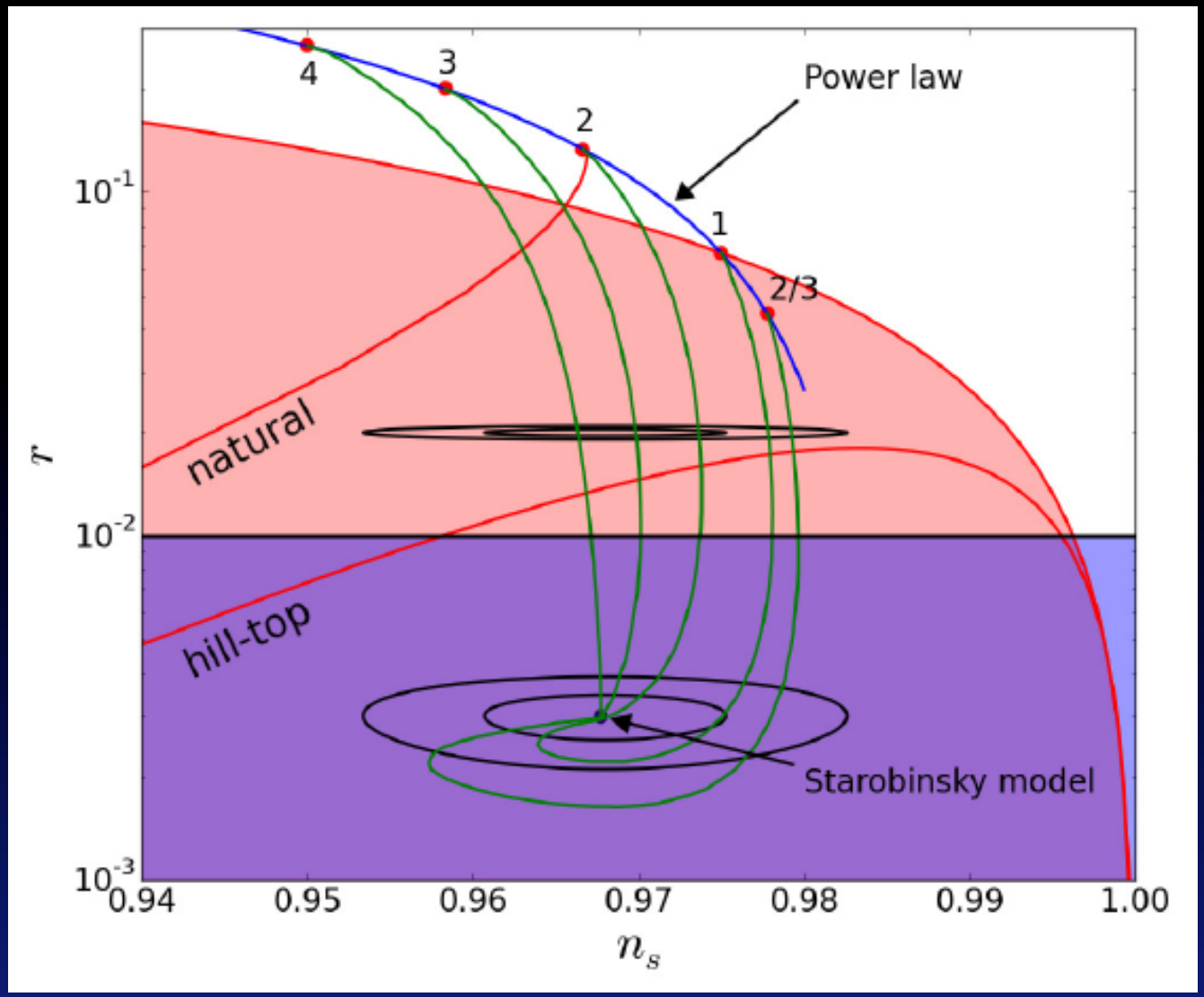
$\delta r = 0.2 \times 10^{-3}$

including
foreground removal*,
cosmic variance and
delensing w/ CIB**

* Foreground residual estimation with Errard et al. 2011, Phys. Rev. D 84, 063005
plus a new method (this proposal, another paper in preparation)

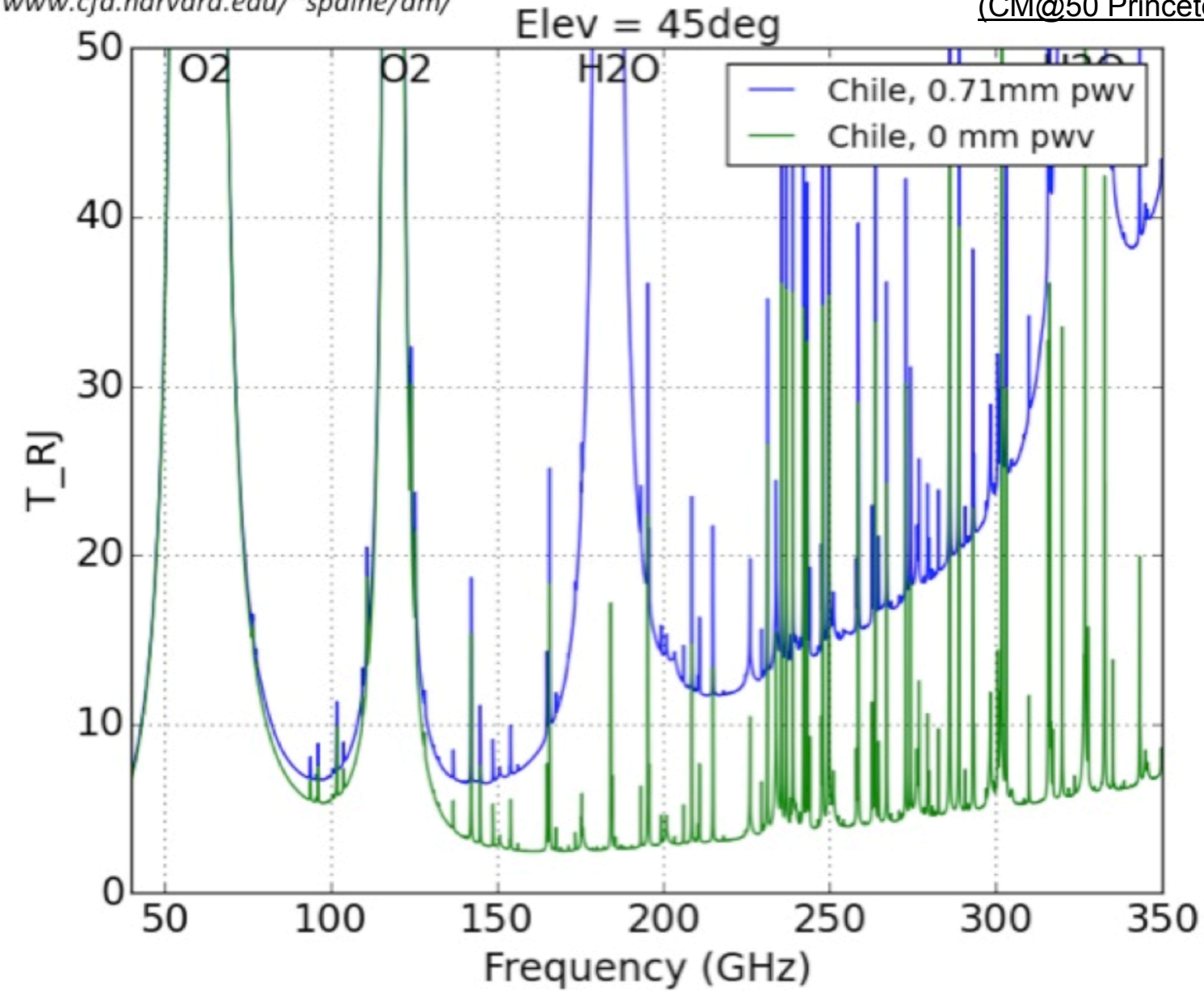
** "Delensing the CMB with the Cosmic Infrared Background", B. D. Sherwin, M. Schmittfull arXiv:1502.05356

LiteBIRD constraints on r vs. n_s plane (15 bands)



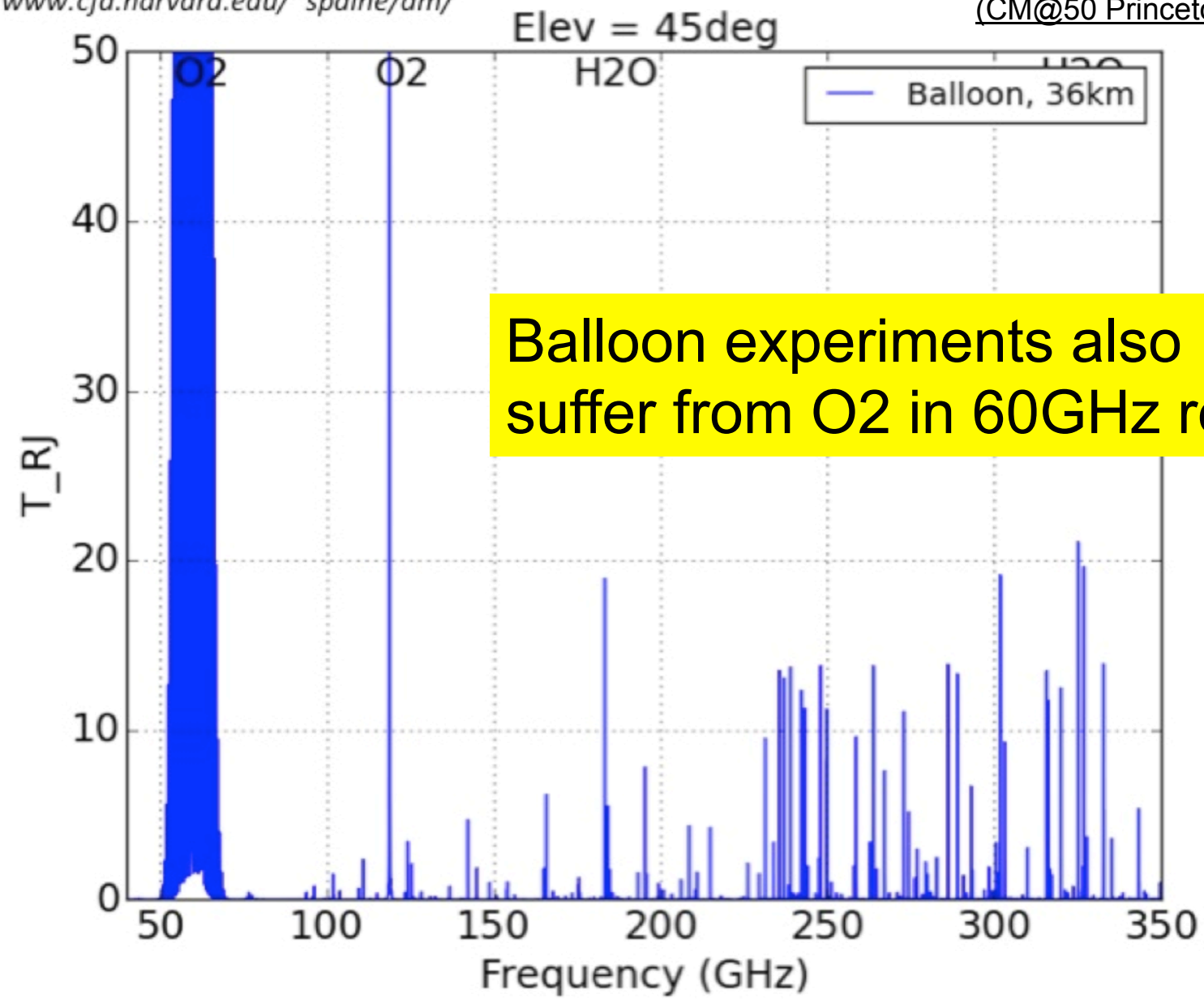
(Atmospheric spectra from "am" model, thanks to Stevie Bergman and Bill Jones)
https://www.cfa.harvard.edu/~spaine/am/

John Ruhl
(CM@50 Princeton, June 2015)



(Atmospheric spectra from "am" model, thanks to Stevie Bergman and Bill Jones)
https://www.cfa.harvard.edu/~spaine/am/

John Ruhl
(CM@50 Princeton, June 2015)



Balloon experiments also suffer from O2 in 60GHz region

おわりに：期待される成果

ビッグバン以前の観測による成果

原始重力波の発見

→ No: 新しい学問分野（量子時空の宇宙物理学）の誕生

代表的インフレーション宇宙モデルが棄却され、
観測による究極理論候補の選別が重要となる

↓ Yes

理論予想と一致

→ No: 人類の世界観に革命
（例：誕生と終焉を繰り返す宇宙）

↓ Yes

インフレーション宇宙の証明 → 佐藤勝彦先生ノーベル賞

天文観測による多彩な成果

- 銀河系・銀河系ハロー・局所銀河群磁場の構造及び起源の解明
- 星間ダスト組成分布及び整列機構の解明
- 宇宙再電離史の詳細決定と再電離機構の解明
- Galactic Haze emissionの起源の解明
- 超高精度ミリ波サブミリ波偏光全天探査によるセレンディピタスな発見

**国民が興奮し、
誇りとするような
人類共有の
「知の資産」を生む**