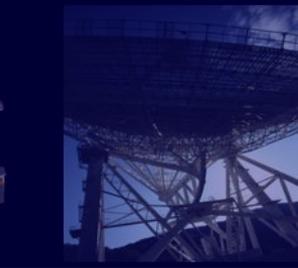
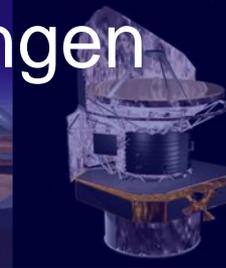
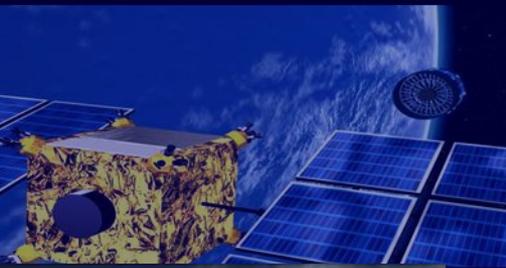


# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie

Wintersemester 2007/8



## Themen & Daten

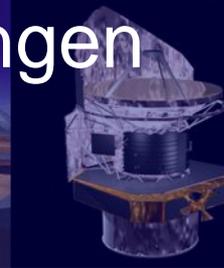
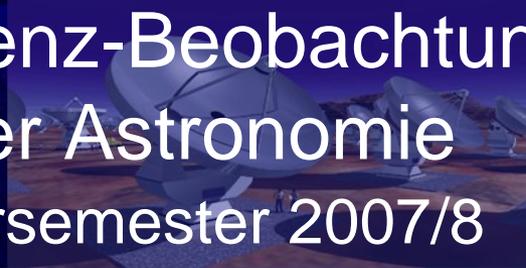
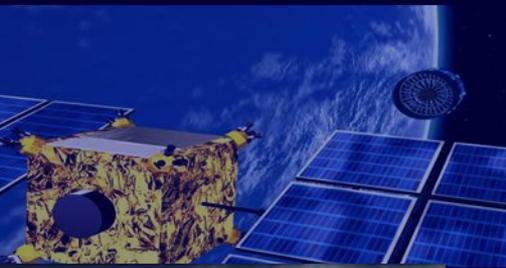
- 19.10.: Überblick
- 02.11.: Erste Ergebnisse der Durchmusterungen
- 16.11.: Hochenergie-Astronomie
- **30.11.: Update: Neue Teleskope**
- 14.12.: Dunkles (Materie & Energie)
- 



- 11.01: Multifrequenzkampagnen
- 25.01.: Mikrowellenhintergrund
- 08.02.: Virtuelle Observatorien

# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie

Wintersemester 2007/8



## HEUTE

- Nachtrag
  - Komet
  - EUSO
- Neues: Supernovae-Messungen & Dunkle Energie
- Vergessen: Gravity Probe B; Test der Allg. Relativitätstheorie & Lense-Thirring-Effekt
- Die Zukunft: Neue Teleskope
  - Programm: Beyond Einstein
  - Inflation Probe
  - JDEM: SNAP
  - JDEM: Destiny

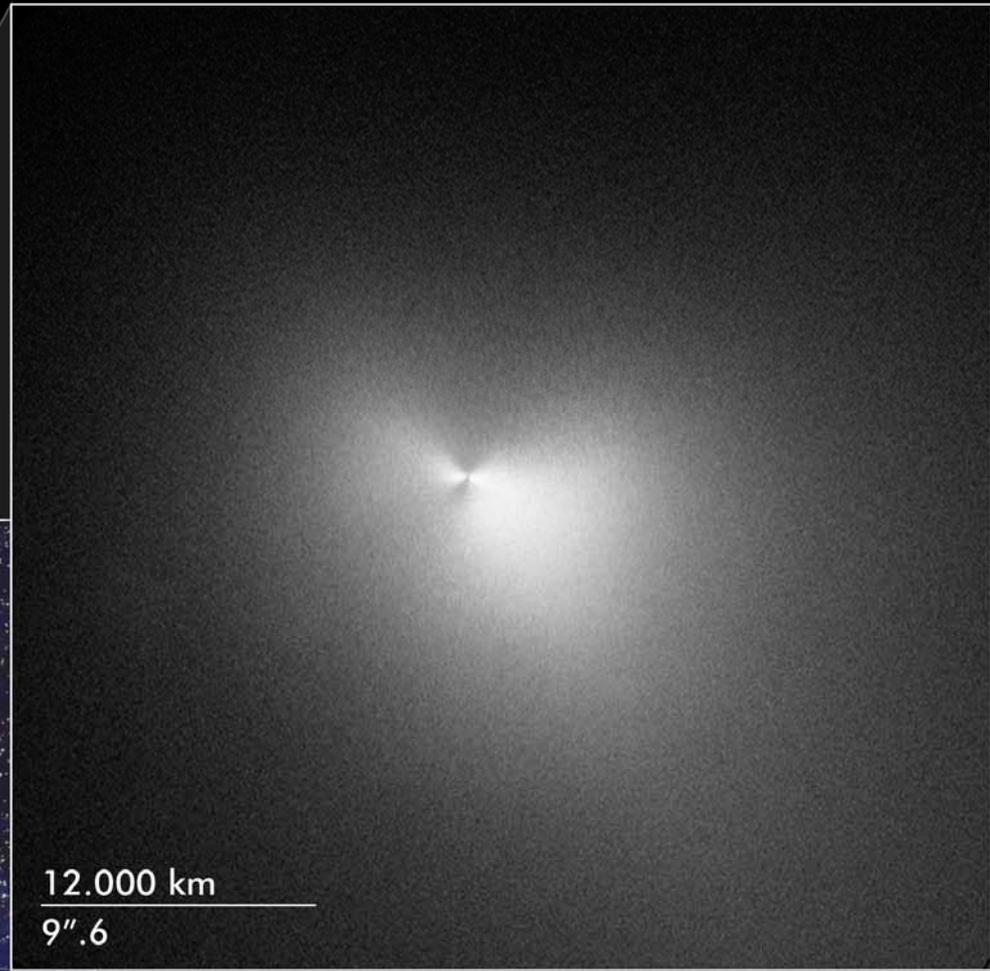
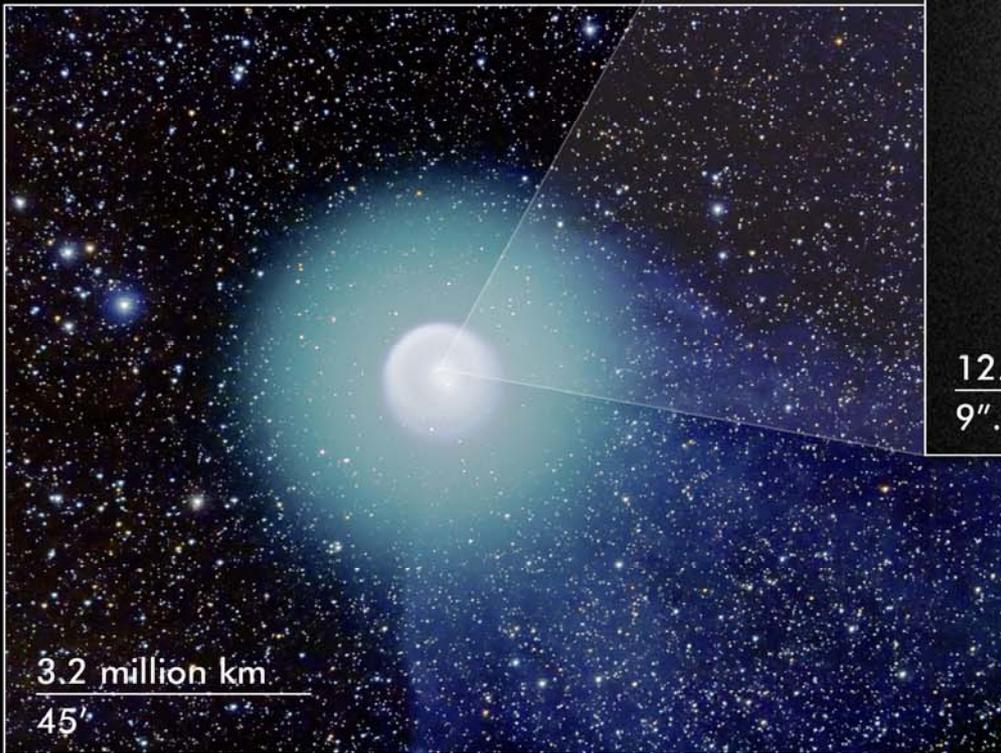
Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

***Nachtrag  
Komet***



# Komet 17P/Holmes

November 1, 2007  
A. Dyer, Alberta, Canada



November 4, 2007  
HST WFPC2

# Komet 17P/Holmes

- HST-Beobachtungen 29. Okt., 31. Okt., 4. Nov.
- Auflösung 54 km
- Auch 12 Tage nach Ausbruch noch alles im Staub verborgen
- Teile noch nicht sichtbar

Comet 17P/Holmes ■ *Hubble Space Telescope* WFPC2

Oct. 29

Oct. 31

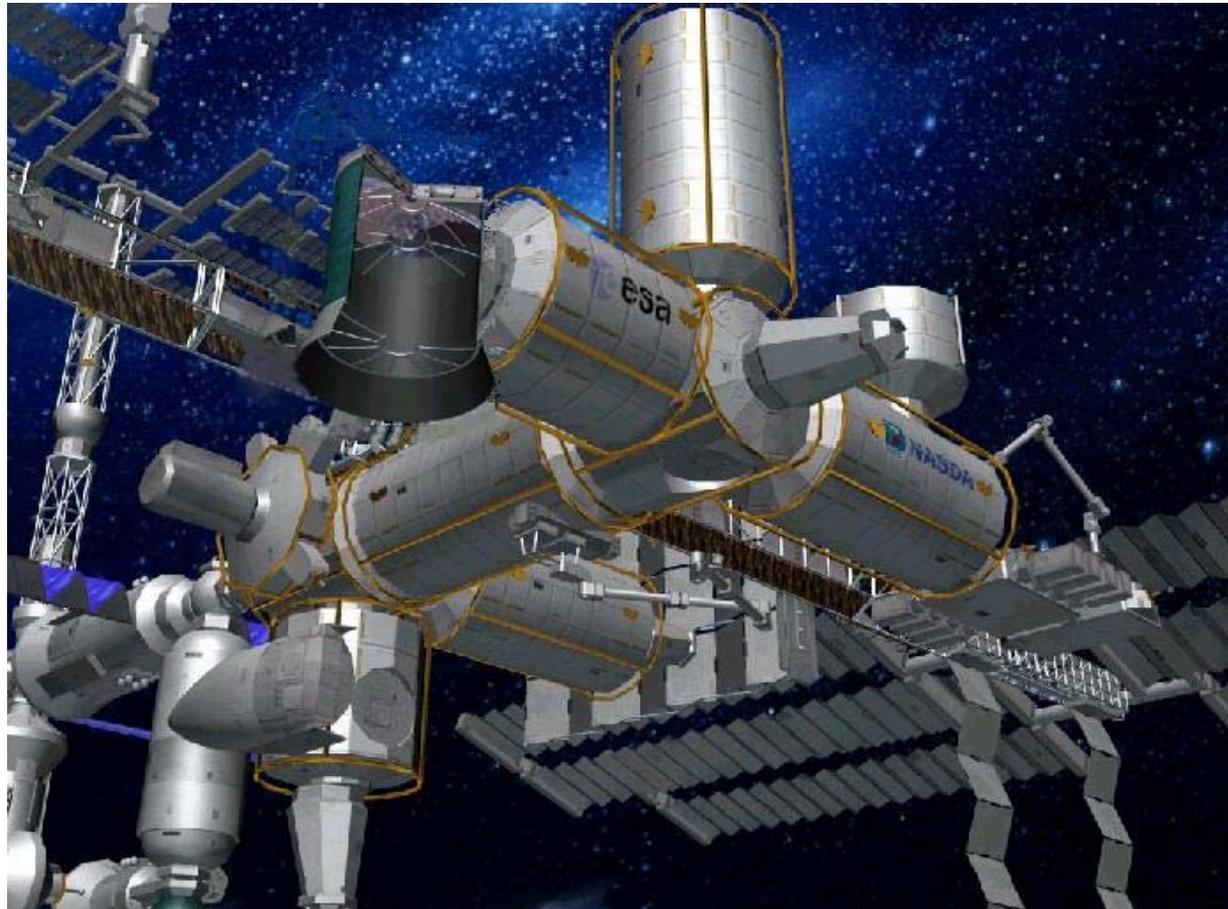
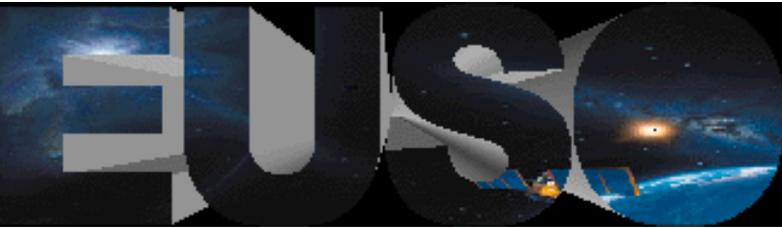
Nov. 4



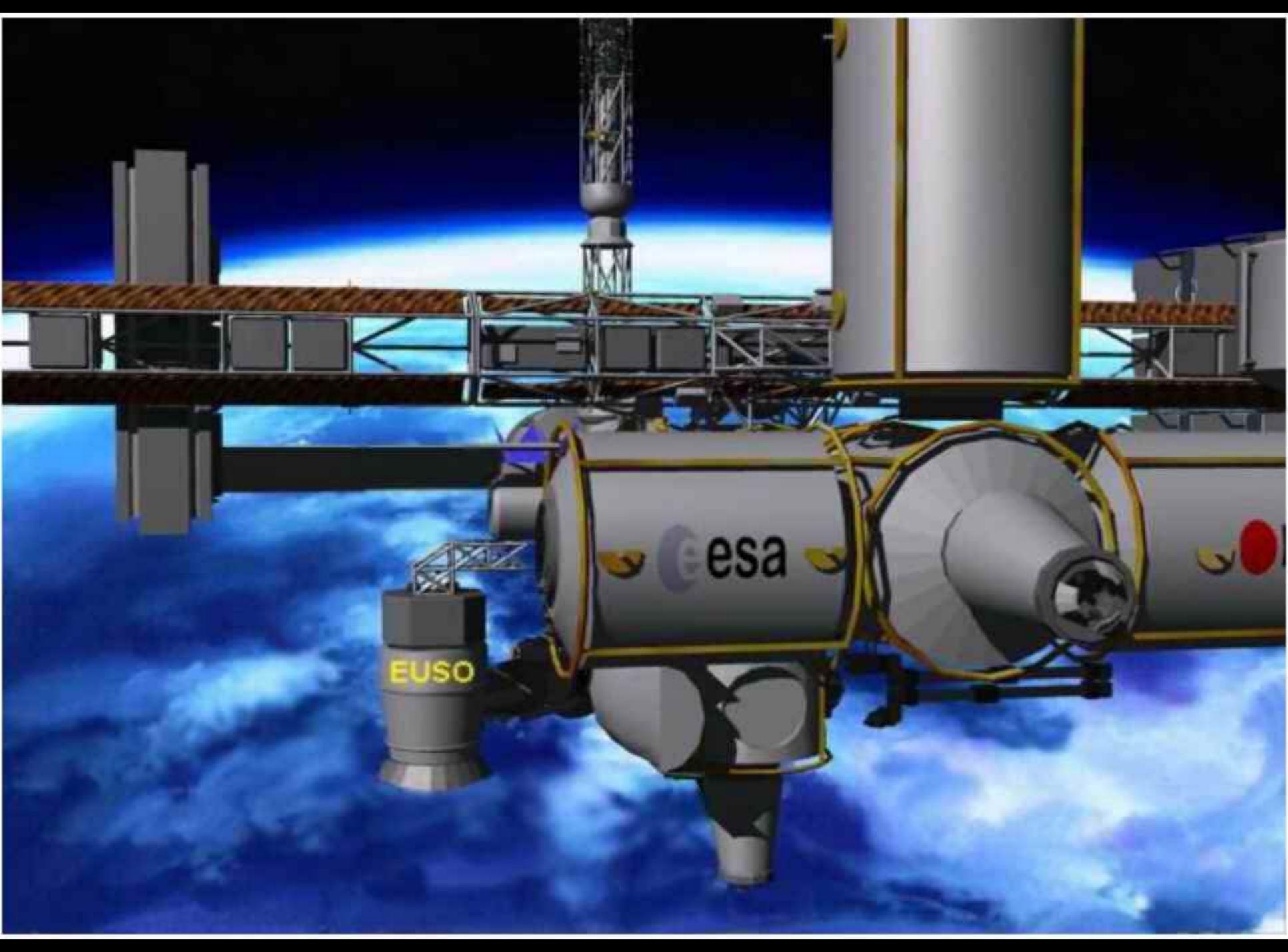
Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

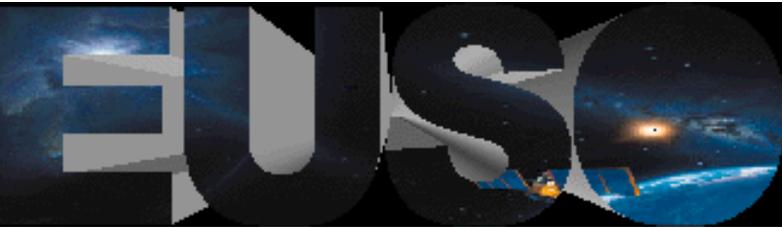
***Nachtrag***  
***EUSO***





An Explorative Mission  
Probing the Extremes of the Universe  
using the Highest Energy Cosmic Rays and Neutrinos





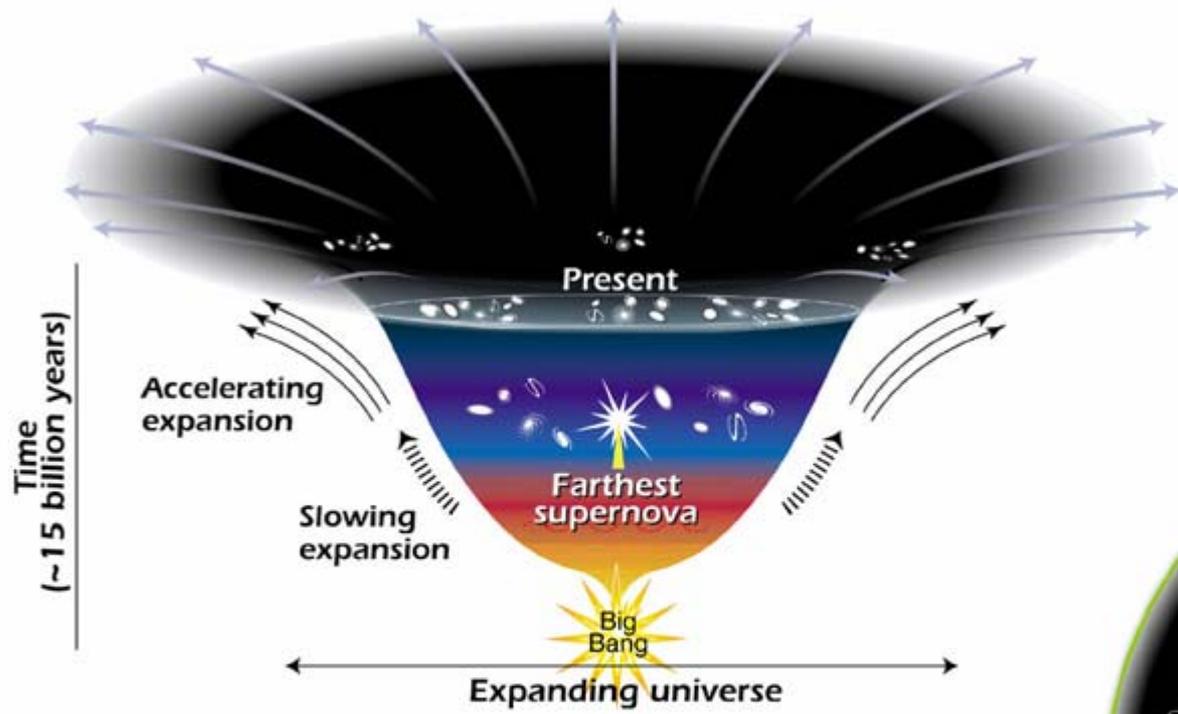
- Korrekte Interpretation der astrophysikalischen Phänomene erfordert, daß man alle UV-Ereignisse berücksichtigt, die ebenfalls mit EUSO beobachtet werden können.
- EECRs (Extremely Energetic Cosmic Rays) in der gesamten Atmosphäre mit einer Dauer von einigen Nanosekunden bis Mikrosekunden; Dauer der „intrinsischen“ atmosphärischen Phänomene variiert zw. Millisekunden und Stunden:
  - Nachtglühen, molekulare Emission von  $O_2$  und  $N_2$ ; hat planetaren Anteil
  - Kurzlebige optisch-UV Phänomene; Troposphäre bis zur Mesosphäre;
  - Aurora
- Meteoriten: werden von EUSO beobachtet werden und Verteilung kann untersucht werden
- Wolken: im Mittel ist 50% der Erdoberfläche durch Wolken bedeckt; beeinflusst das UV- Bild der Schauer (Cerenkov-Strahlung wird erst nach Streuung an Erdoberfläche oder Wolken detektiert); Wolkenverteilung ist essentiell für Interpretation der Ergebnisse: optischer Radar

Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

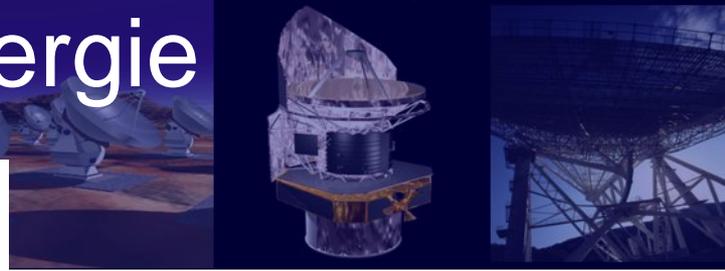
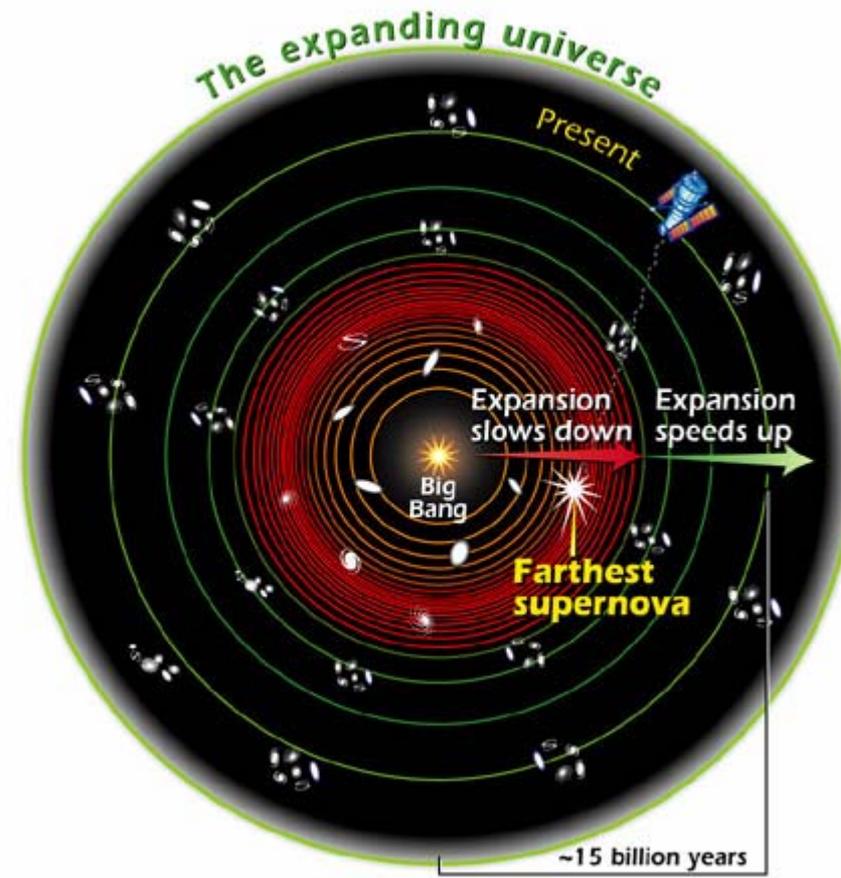
**NEUES**  
**„Biggest Blunder“**



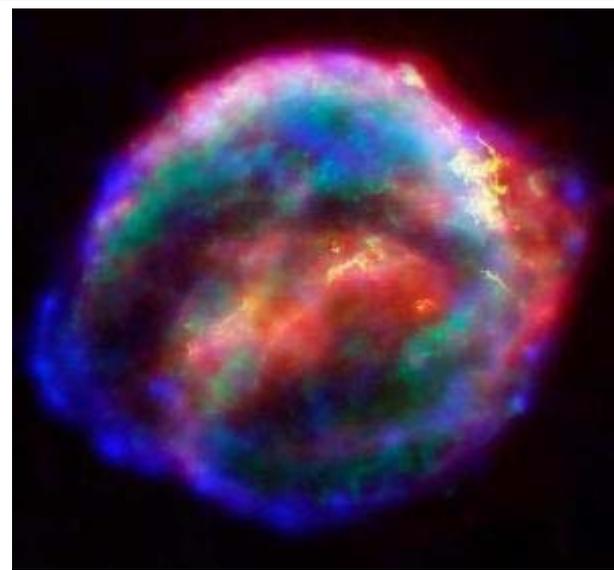
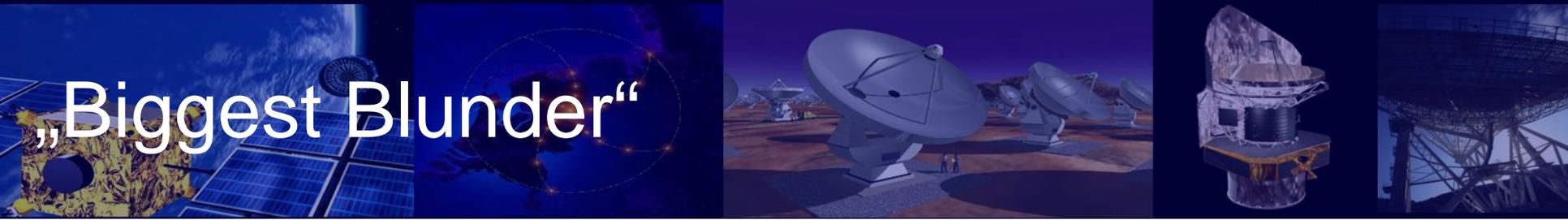
# Supernovae und Dunkle Energie



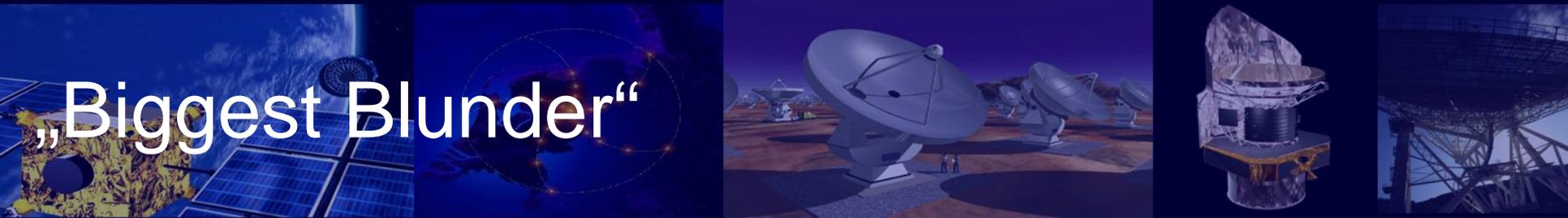
This diagram reveals changes in the rate of expansion since the universe's birth 15 billion years ago. The more shallow the curve, the faster the rate of expansion. The curve changes noticeably about 7.5 billion years ago, when objects in the universe began flying apart at a faster rate. Astronomers theorize that the faster expansion rate is due to a mysterious, dark force that is pushing galaxies apart.



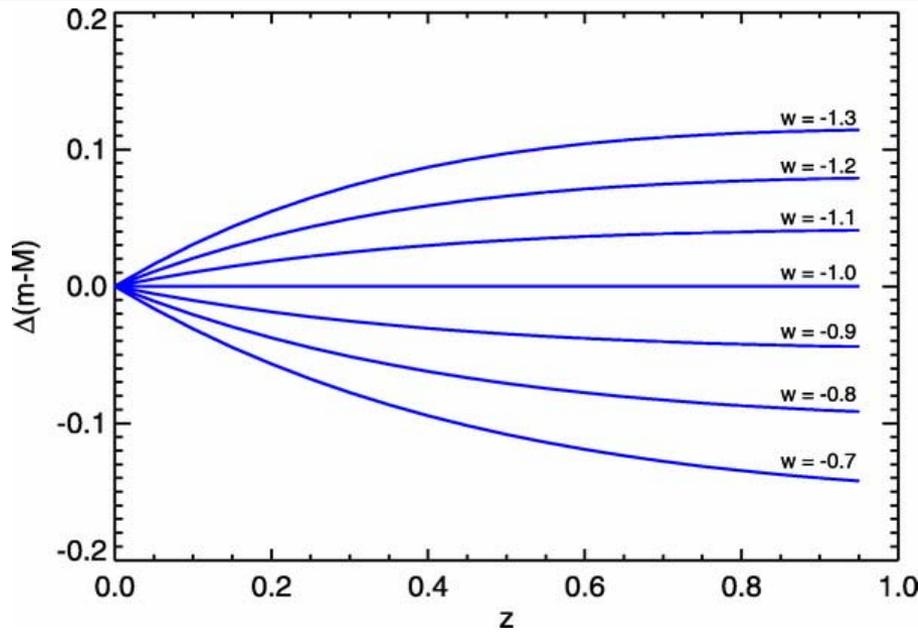
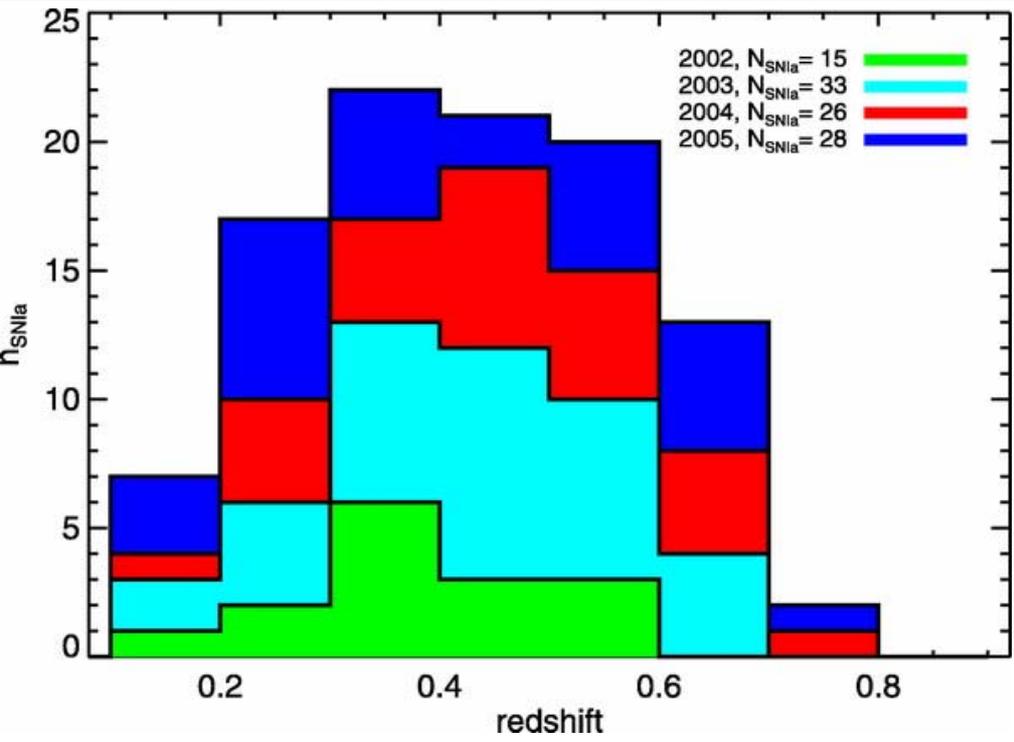
# „Biggest Blunder“

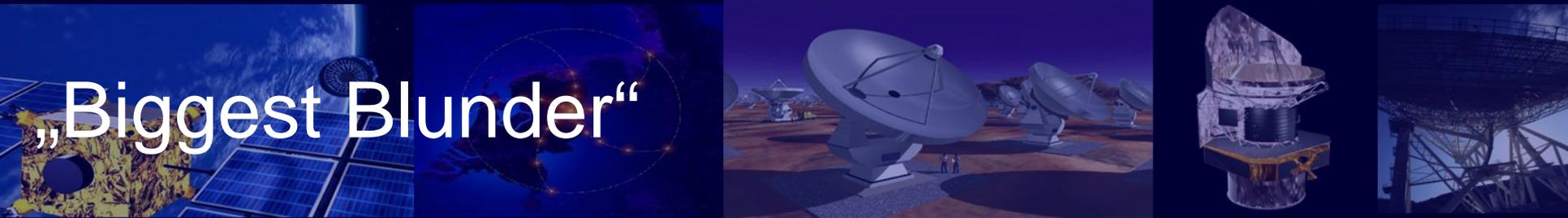


- „Biggest Blunder“ = mögliche kosmologische Konstante; eine Kraft, die Einstein einführte (1917, Allgemeine Relativitätstheorie), um ein statisches Universum zu produzieren; eine Kraft, die der Schwerkraft entgegenwirkt und verhindert, daß das Universum kollabiert
- 12 Jahre später: Hubble entdeckt Expansion des Universums und Einstein verflucht seine Konstante
- ESSENCE: Supernovae-Untersuchungen (Dunkle Energie); Beginn Oktober 2002, Ende: Dezember 2007; 200 Supernovae untersucht
- Vergleich der Distanz der Supernovae mit den Rotverschiebungen: ergibt die Dichte der Dunklen Energie ( $w$ -Parameter)
- Damit Einstein Recht hat:  $w$ -Parameter muß 1 sein
- Ergebnis:  $1 \pm 10\%$

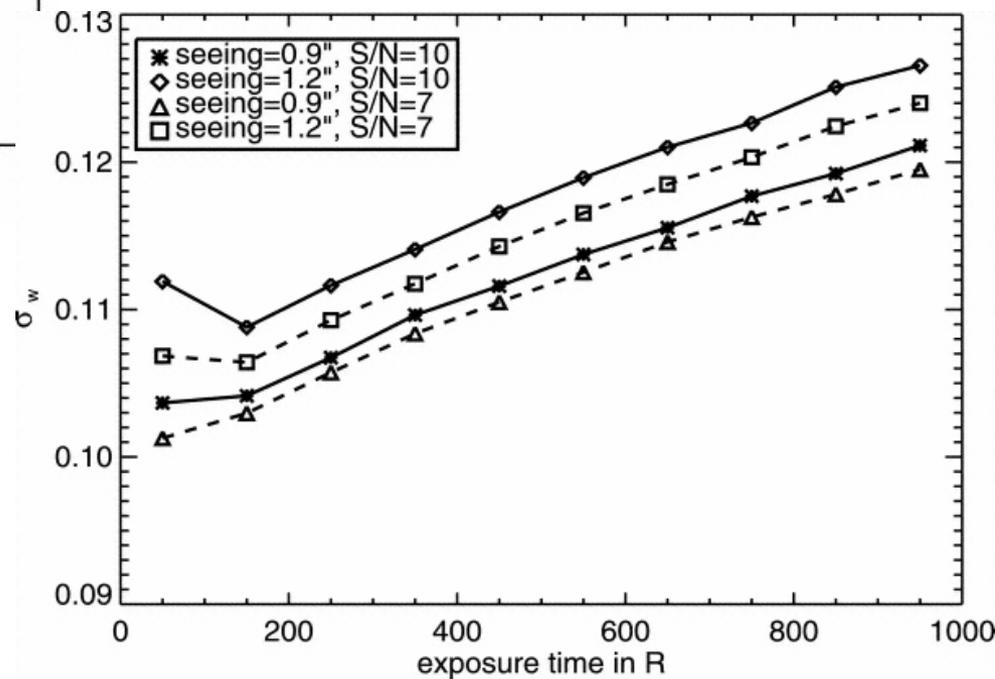
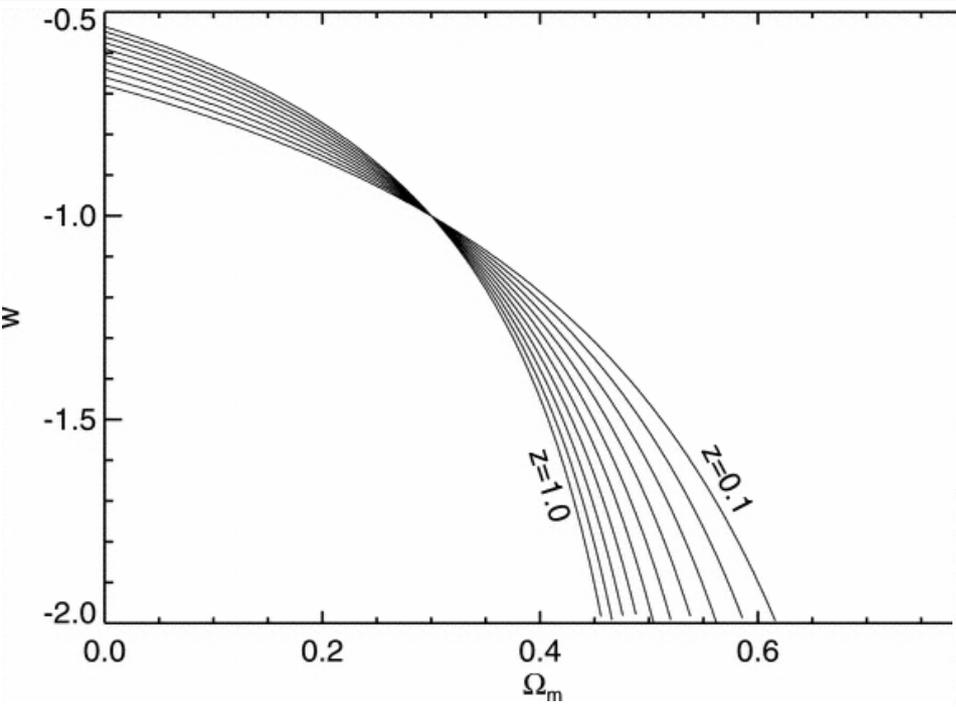


# „Biggest Blunder“





# „Biggest Blunder“



Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

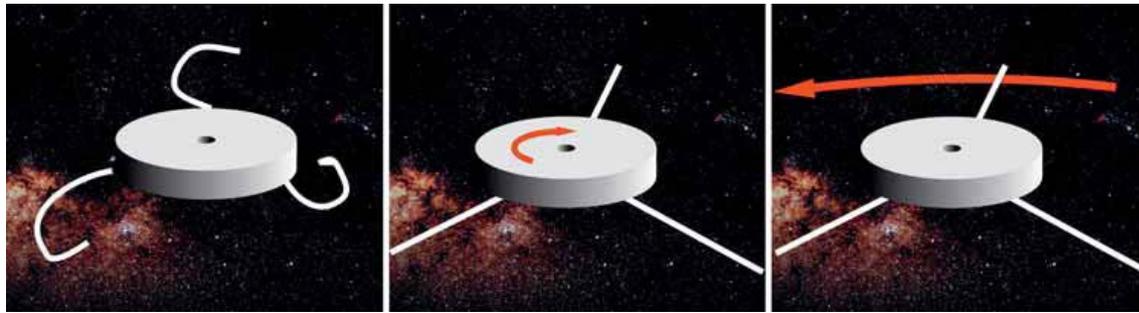
**Update: ~~Neue~~ Teleskope  
Gravity Probe B**





# GRAVITY PROBE B

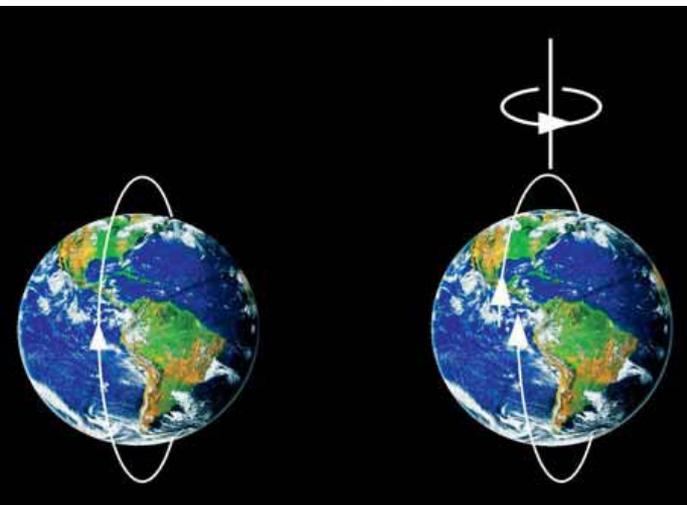
testing einstein's universe



Satelliten-Mission zur erstmaligen Überfrüfung zweier Aussagen der Allgemeinen

Relativitätstheorie:

- Gekrümmte Raumzeit: eine Masse im Raum verformt die lokale Raumzeit, Delle der Raumzeit
- Lense-Thirring-Effekt (Frame-dragging-Effekt): 1918 Josef Lense und Hans Thirring sagen voraus, daß die Rotation einer Masse im Raum die lokale Raum-Zeit mit sich zieht und verdrillt

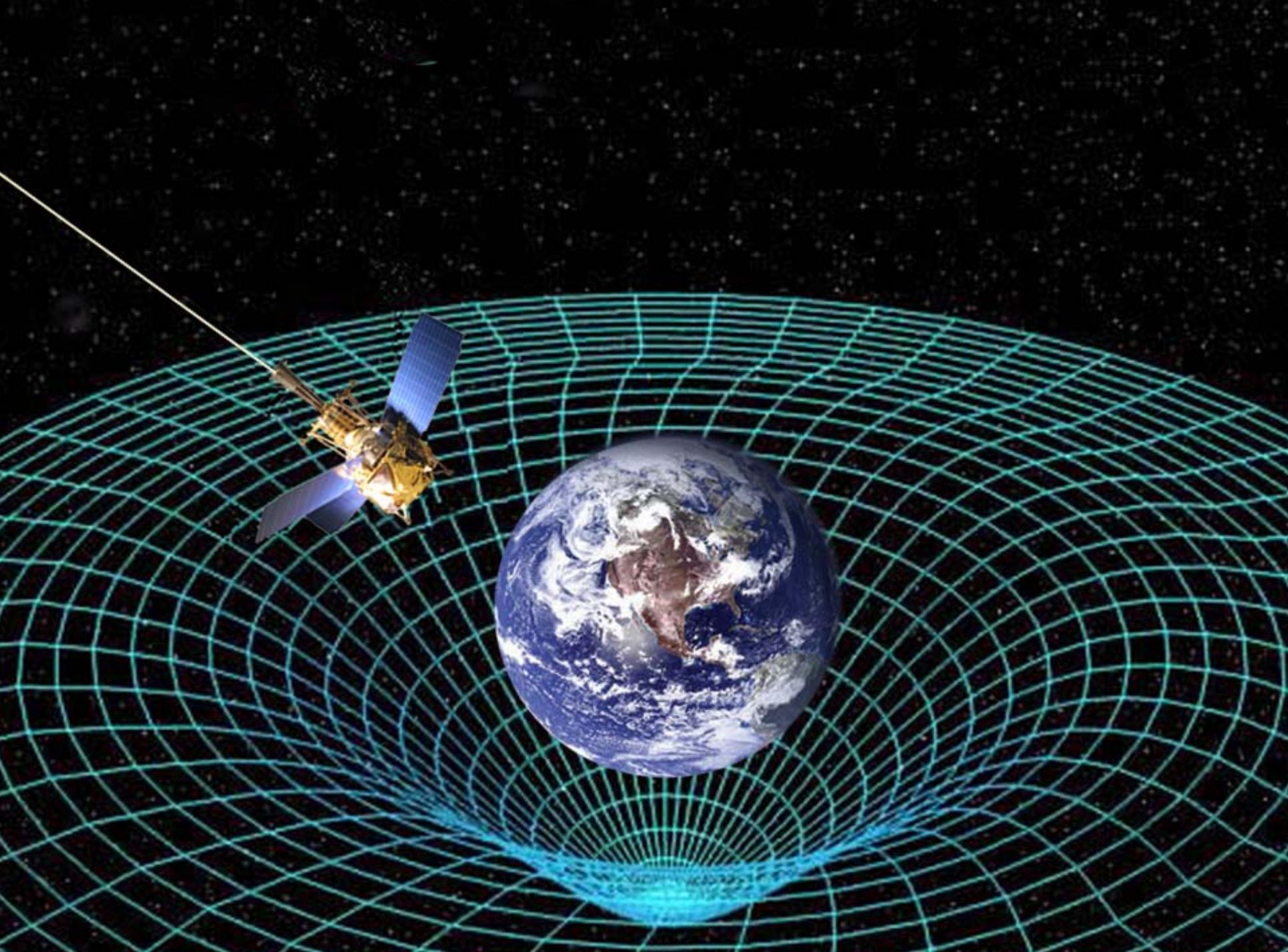




# GRAVITY PROBE B

t e s t i n g   e i n s t e i n ' s   u n i v e r s e

- Im Satelliten Gravity Probe B befindet sich Gyroskop-Experiment: kleinste Änderungen in der Ausrichtung der Rotationsachsen von vier Gyroskopen (Kreisel, Quarzkugeln in der Größe eines Tischtennisballs, rotieren im Vakuum mit 10 000U/min; auf 1.8 K abgekühlt, s.d. ihre mit Niob beschichtete Oberfläche supraleitend wird; Veränderungen der Rotationsachse werden mittels hochempfindlicher supraleitender Quanteninterferenz-Detektoren gemessen; Veränderungen von 1/40 000 000 Grad messbar) sollen nachgewiesen werden
- Bislang genauester Test der allgem. Relativitätstheorie
- Am 20.4.2004 gestartet, Satellit in Höhe von 740km über den Polen
- Voraussagen:
  - Rotationsachsen sollten sich pro Jahr um 6.6 Bogensekunden aufgrund der Raumzeit-Krümmung neigen
  - 42 Millibogensenkunden durch Lense-Thirring-Effekt



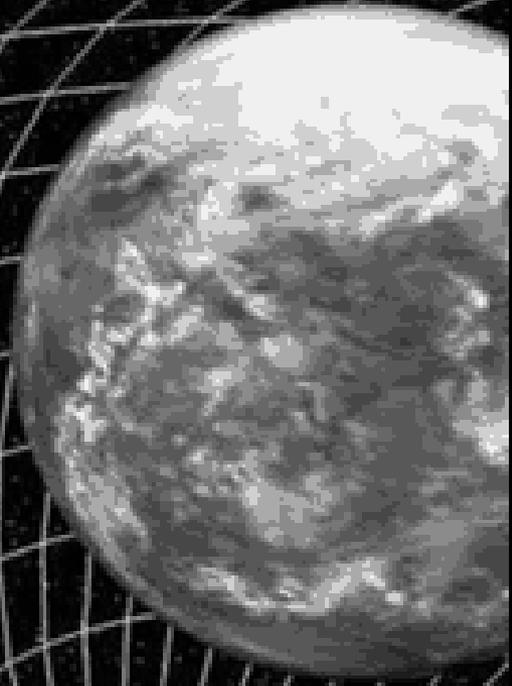
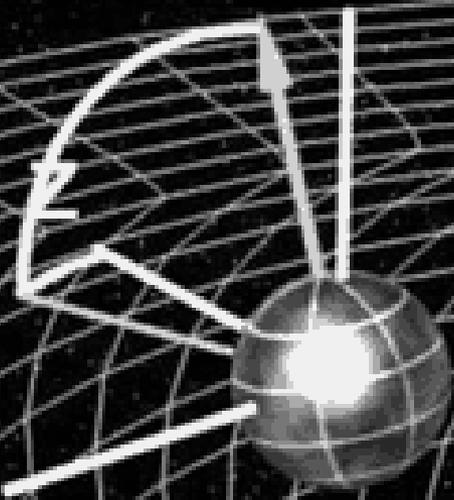
IM Pegasi



Geodetic effect  
6.6 arcsec/yr

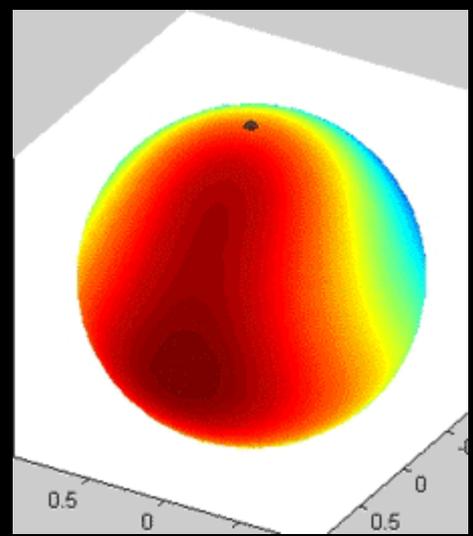
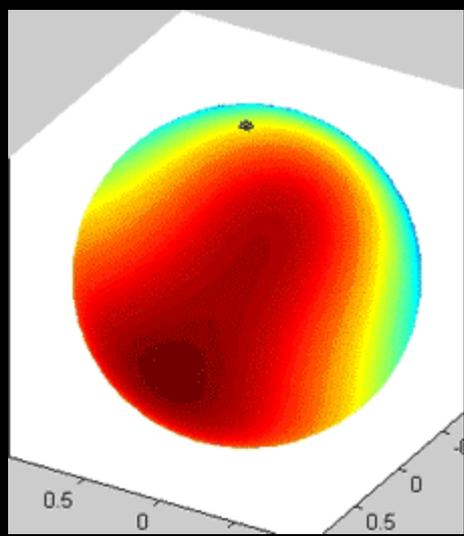
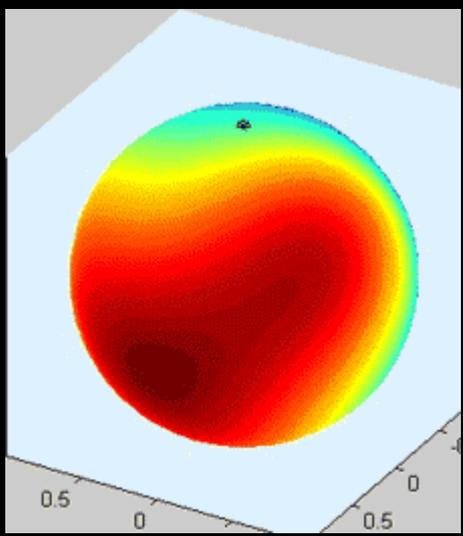


Frame dragging  
0.042 arcsec/yr



# GRAVITY PROBE B

testing einstein's universe





# GRAVITY PROBE B

t e s t i n g   e i n s t e i n ' s   u n i v e r s e

- Gravity Probe A: Vorgänger
- Gravity Probe C: Nachfolger, mögliche zukünftige Mission, bestehend aus zwei Satelliten, die die Erde in entgegengesetzter Richtung auf äquatorialen Umlaufbahnen umkreisen
  - Voraussage: verursacht durch die Erdrotation sollen sich die Umlaufzeiten um ca. 100 ns unterscheiden
- Gravity Probe B: Erste Ergebnisse; Krümmung des Raums konnte mit einer Genauigkeit von einem Prozent nachgewiesen werden; genauere Resultate bis zum Jahresende
  - Schwierige Auswertung: elektrostatische Aufladungen an Teilen der Kreisel führten zu Messfehlern (Ablagerungen auf der Oberfläche)
  - Genauigkeit von 0.005 Bogensekunden angestrebt
- Das am längsten laufende physikalische Forschungsprojekt der NASA



# GRAVITY PROBE B

t e s t i n g   e i n s t e i n ' s   u n i v e r s e

- GP-B Programmmanager: „Das Analysieren der gesammelten Daten hat etwas von einer archäologischen Ausgrabung. Ein Wissenschaftler beginnt mit einem Bulldozer, arbeitet mit einem Spaten weiter und schließlich verwendet er eine Zahnbürste, um den Staub von der Schatztruhe zu wischen. Wir packen gerade die Zahnbürsten aus.“

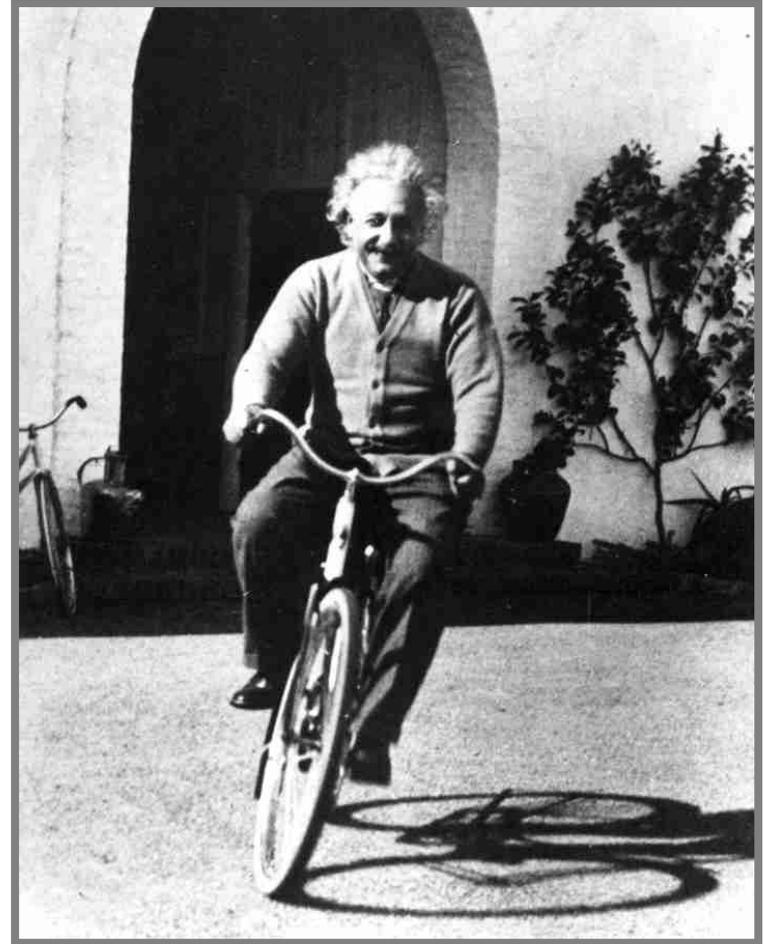
Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

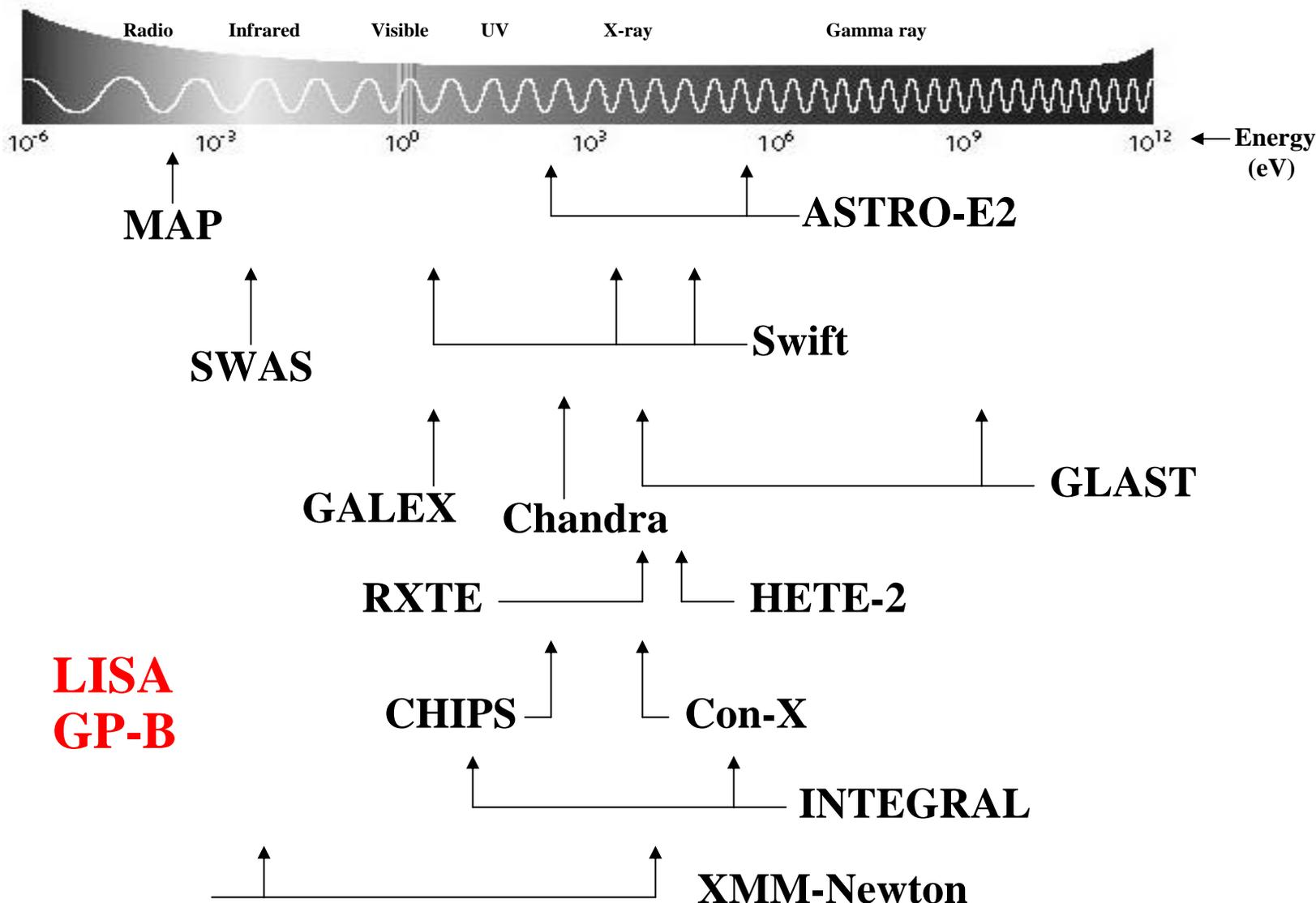
**Update: Neue Teleskope  
„Beyond Einstein“**



# Some last words from Einstein

- “The most incomprehensible thing about the Universe is that it is comprehensible”





**LISA**  
**GP-B**

**CHIPS: Cosmic Hot Interstellar Plasma Spectrometer; 2003**  
**HETE-2: High Energy Transient Explorer-2**

**ACE**

*ASTRO E2*

**Chandra**

**CHIPS**

*Constellation-X*

**GALEX**

*GLAST*

**Gravity Probe B**

**HETE-2**

**INTEGRAL**

*LISA*

**RXTE**

**SWAS**

**Swift**

**WMAP**

**XMM-Newton**

*Not yet  
launched*



**Hubble**

**In orbit**



## Astronomy and Physics Division



Infrared, Visible and Ultraviolet

### BEYOND EINSTEIN

FROM THE BIG BANG TO BLACK HOLES

Structure and Evolution of the Universe

Radio, Microwave, X-ray, Gamma-ray, Gravity, Cosmic Rays



SEEING AND EXPLORING  
THE  
UNIVERSE!

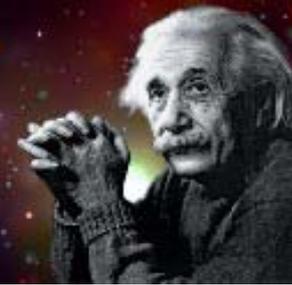
<http://universe.sonoma.edu>

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

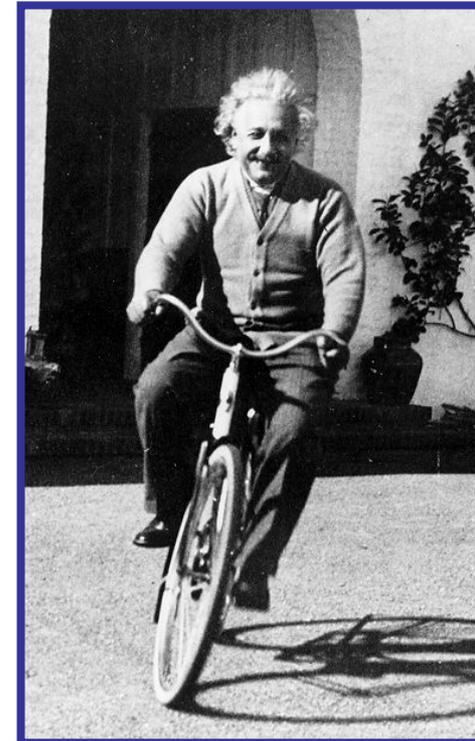
*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- Cosmic Microwave Background
- **X-ray Astronomy**
- **Gamma-ray Astronomy**
- Gravity

*Coming soon ----  
Beyond Einstein!*

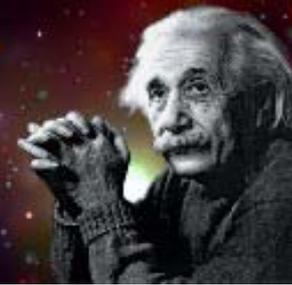


# BEYOND EINSTEIN

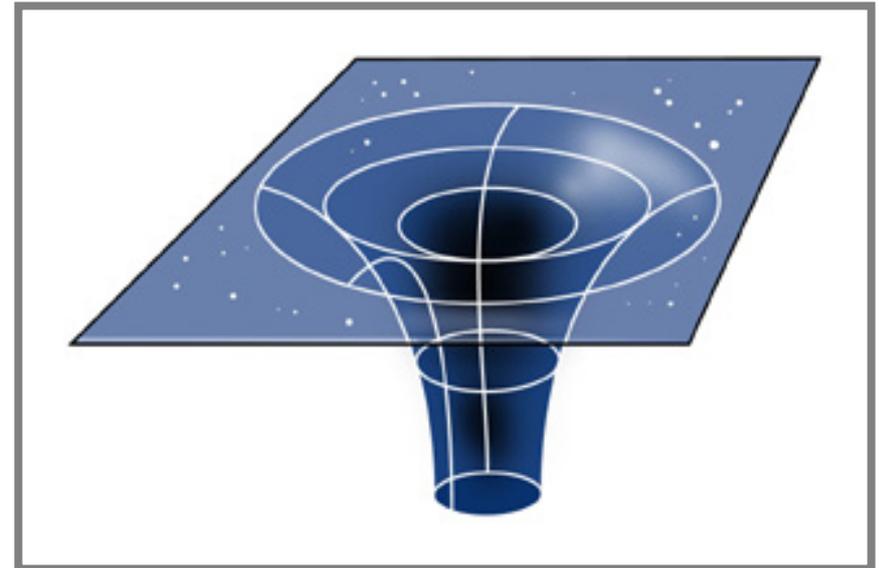
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- Event horizon around singularity is defined by radius where escape velocity is equal to the speed of light
- Not even light can escape, once it has crossed the event horizon



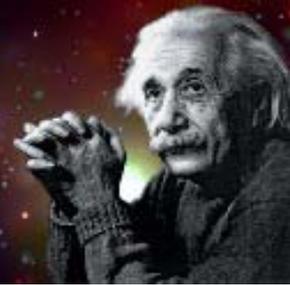
$$R = 2GM/c^2$$

# BEYOND EINSTEIN

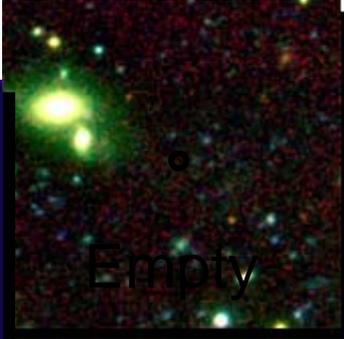
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge of a black hole?*

*What is dark energy?*

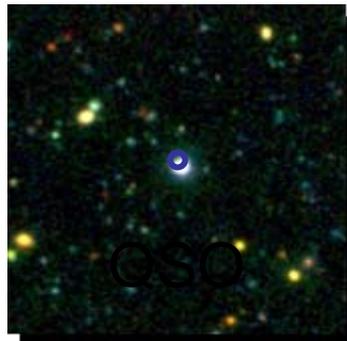
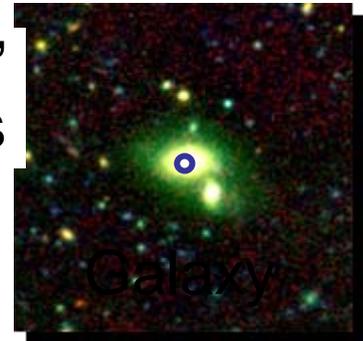


Chandra deep field



Black holes in empty space

Black holes in "normal" galaxies



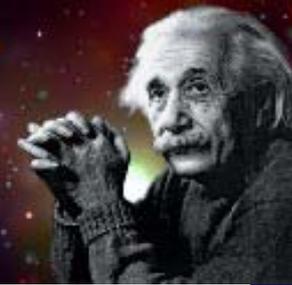
Black holes in quasars

# BEYOND EINSTEIN

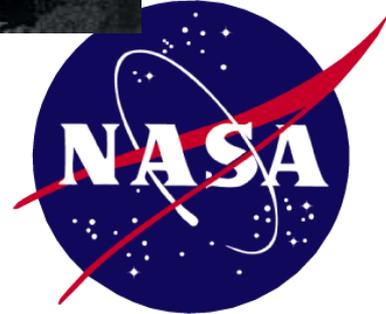
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



## Going Beyond Einstein



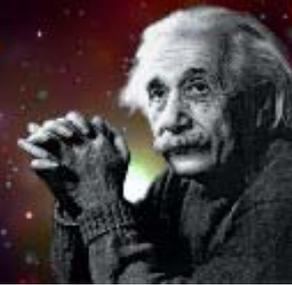
- NASA startet ein neues Programm um die Vorhersagen der Theorien von Einstein zu überprüfen:
  - Was passiert am Rand eines Schwarzen Lochs?
  - Was hat den Big Bang angetrieben?
  - Was ist die mysteriöse Dunkle Energie, die das Universum auseinandertreibt ?
- Beschreiben Einstein's Theorien unser Universum ausreichend ?

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



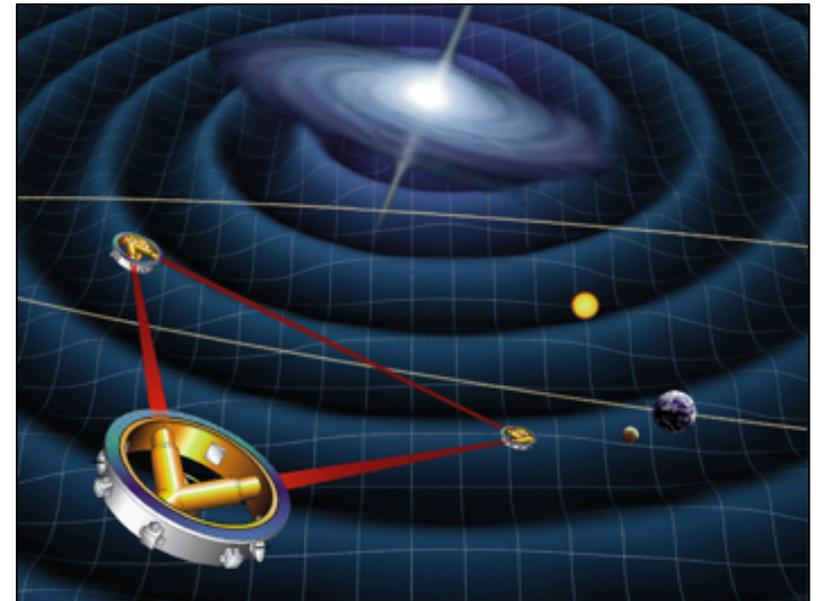
## Erste Meilensteine auf dem Weg ....

### Constellation X



**Four X-ray telescopes  
flying in formation**

### LISA

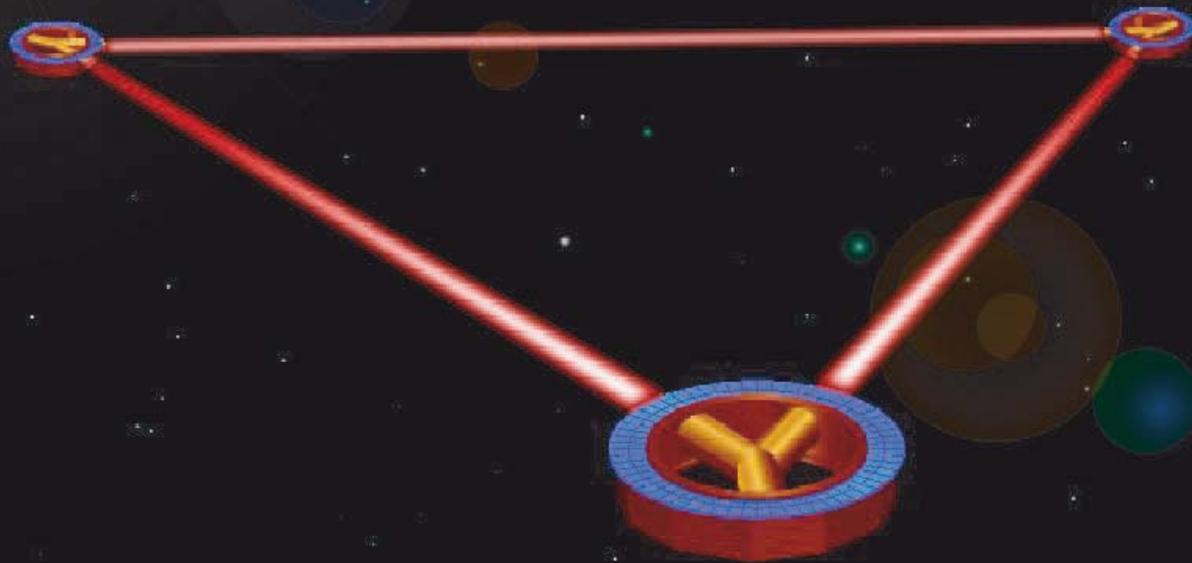


**Three satellites, each with 2  
lasers and 2 test masses**

# LISA

Opening a new window on the Universe

*Laser Interferometer Space Antenna*



- Sensitivitätskurve für LISA erstellen:

<http://www.srl.caltech.edu/~shane/sensitivity/MakeCurve.html>



**Hubble Space Telescope**  
2.4m monolith

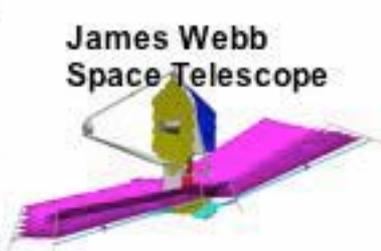


**Spitzer Space Telescope**  
.8m Cryogenic telescope



**Chandra X-ray Telescope:**  
X-ray imaging

**Current**



**James Webb Space Telescope**

6.5m Segmented Telescope  
Wavefront Sensing/Control  
Sunshade Pass. Cooling to 35K  
Large Deployables



**SIM: Astrometry**

Precision Metrology Interferometry

**In Development**



**TPF-C**

4x8 meter primary  
Prec. Optics/occulters  
Deformable mirrors/  
Advanced Algorithms  
Stable structures/  
Active Control



**LISA**

Gravity Wave Detection:  
3 space craft constellation.  
Sub nm displacements measured by laser/interferometry  
Micro-thrusters

**2005-2015**



**TPF-I**

Nulling Interferometry  
Formation Flying



**SAFIR: FIR Observatory**

10-meter FIR Telescope  
5-Kelvin Mirrors  
Active/Passive Cooling



**Constellation X: X-ray Spectroscopy**

4 Co-pointed 1 meter X-ray <15" Telescopes

**2015-2025**

**Sample Long Term Missions That Drive Technology**

- Stellar Imager : UV Interferometer Formation Flying**
- Life Finder And Planet Imager: >50m coronagraph+ Formation Flying Interferometer**
- FIR Interferometer 1 KM Baseline**
- Black Hole Imager: X-ray FF. Interf.**
- Large UV-Optical: 10+ meters Segmented Aperture**
- GEO/MEO InSAR/Soil Moisture**

**20+ Years**

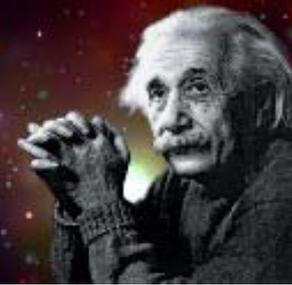
Note: Architectures and technologies shown are current configurations and will likely evolve.

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



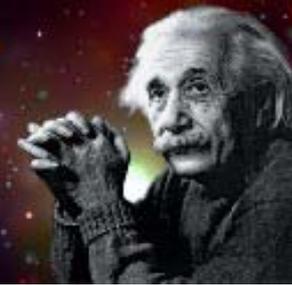
- NASA/NSF/DOE planen 3 “Einstein Probe” Missionen:
  - Zum Studium der Dunklen Energie: “**Joint Dark Energy Mission**” (JDEM) ;-> SNAP.
  - Eine Durchmusterung umd Schwarze Löcher im nahen Universum zu finden: “**Black Hole Finder**”.
  - Eine Mission, um die Polarisation in der CMB zu messen und damit die Gravitationswellen aus der Inflationsphase des Universums zu finden: “**Inflation Probe**” oder CMBPOL.
- November 2003, Gruppen wurden ausgewählt für Vorstudien
- Drei Gruppen für die Inflation Probe: Empfindlichkeit, Himmelsbedeckung, Frequenzüberdeckung, Auflösung, experimentelle Technologien

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



Black Hole Finder



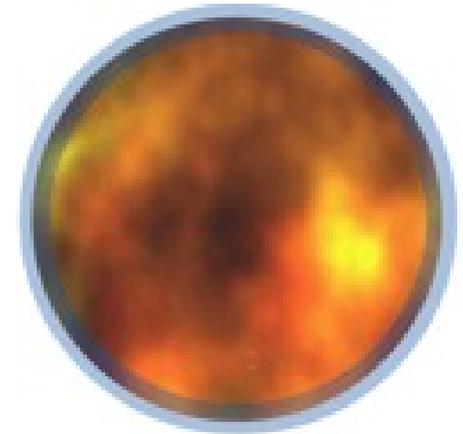
Census of  
hidden  
Black Holes

Dark Energy



Measure  
expansion  
history

Inflation



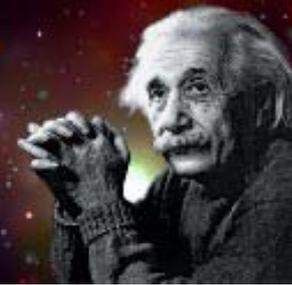
Polarization  
of CMB

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



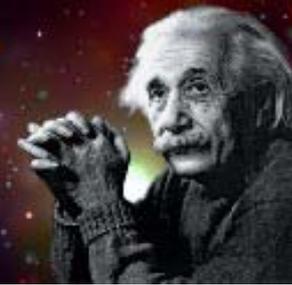
- **Black Hole Finder:**
  - EXIST: Energetic X-ray Imaging Survey Telescope
  - Spectrum Astro is providing spacecraft information to concept study
  - SSU is leading E/PO
- **Dark Energy Probe:**
  - Leading concept is SNAP: Supernova Acceleration Probe
  - NASA and DOE have signed agreement for “Joint Dark Energy Mission”

# BEYOND EINSTEIN

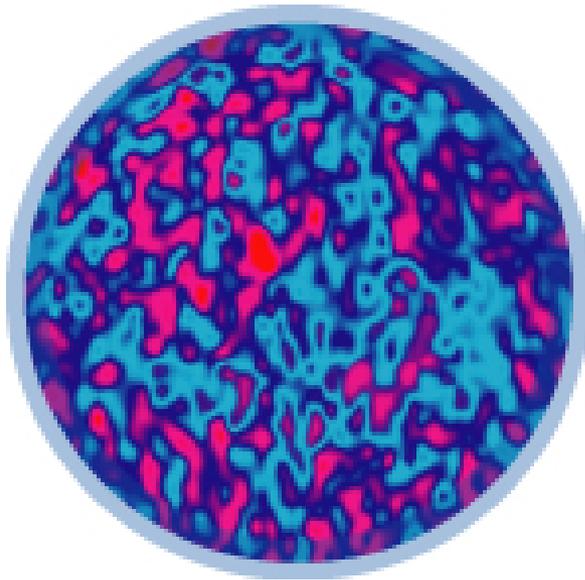
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*

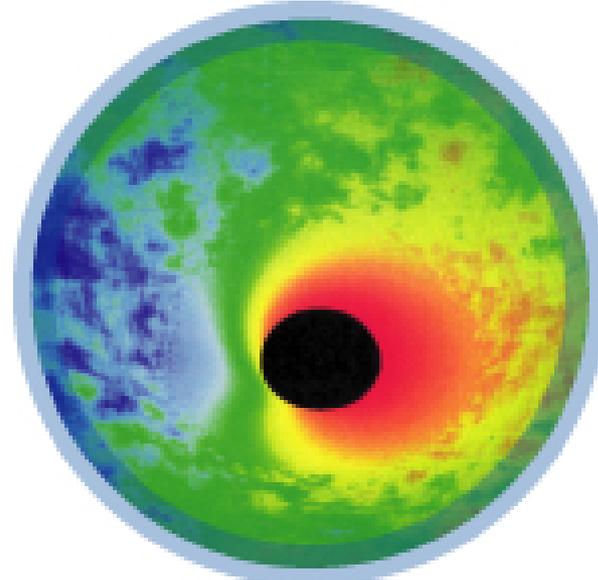


## Big Bang Observer



**Direct detection of  
gravitational waves  
from Big Bang**

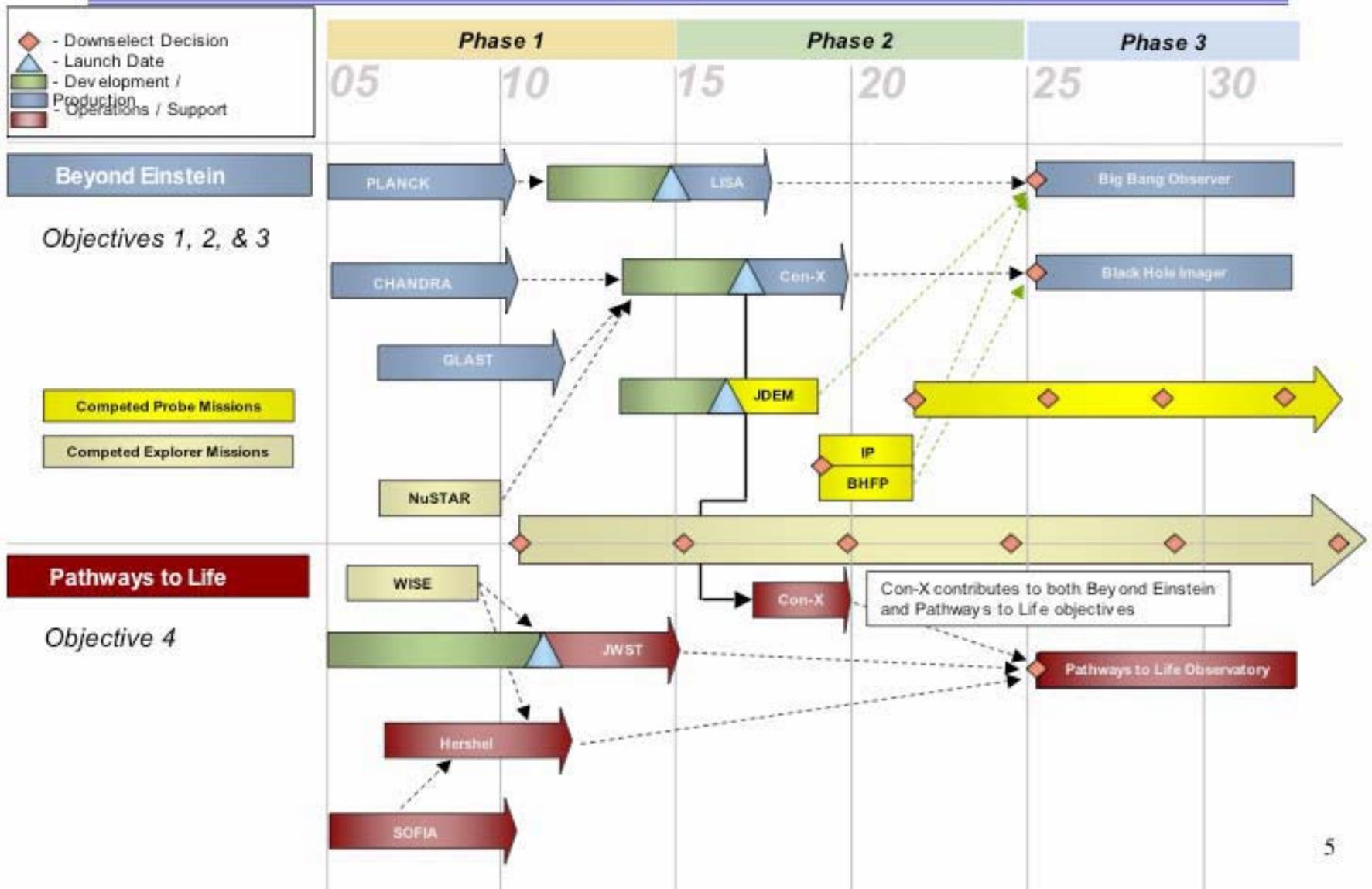
## Black Hole Imager



**Resolved image of  
the Event Horizon**

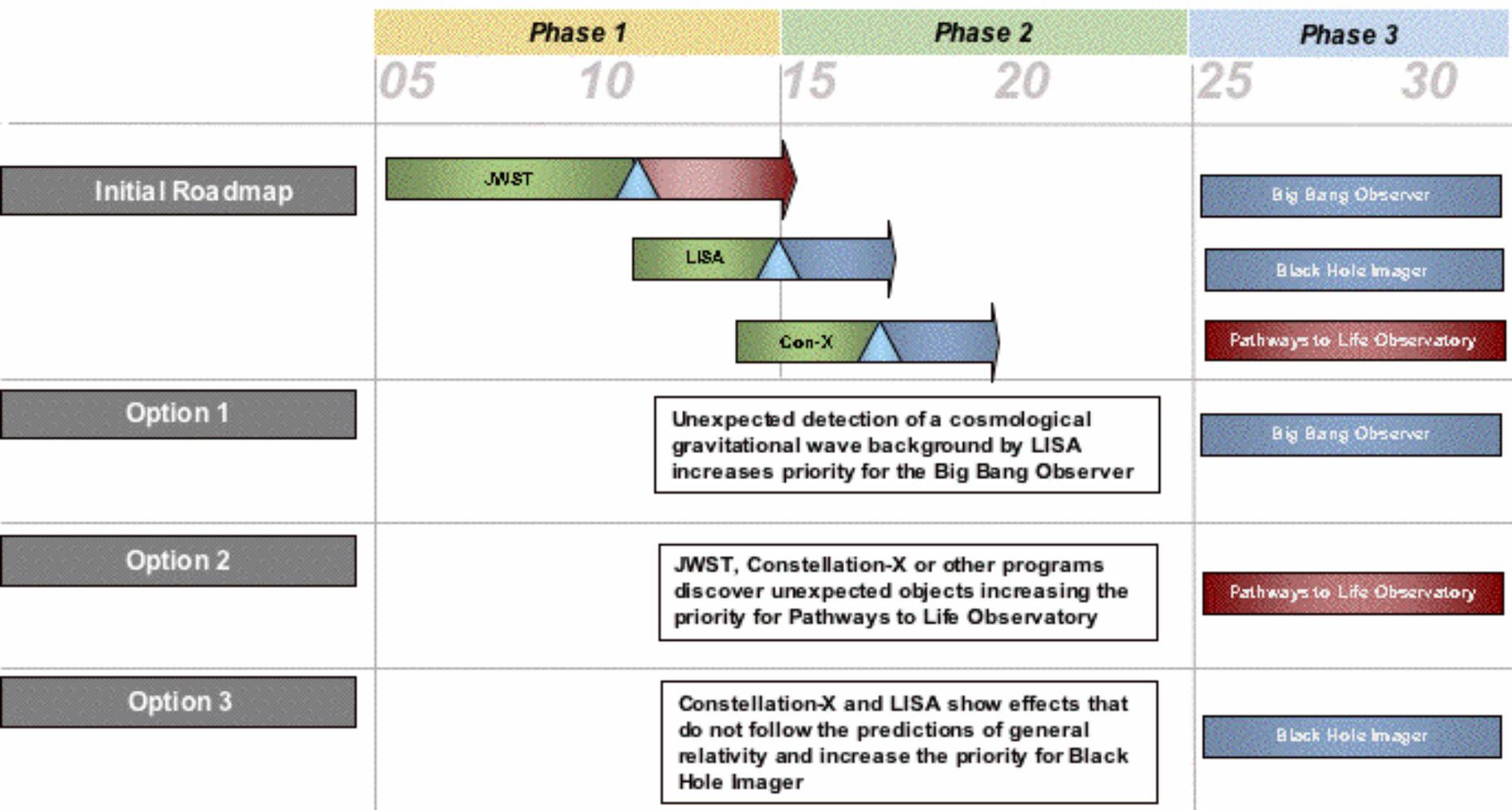
# Wechselwirkung und Einflußnahme

## Universe Exploration Timeline



# Key Decisions and Roadmap Options

*Discoveries, primarily during Phase 2, will inform the direction of research emphasis and mission selection for Phase 3*

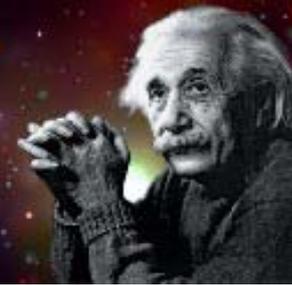


# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



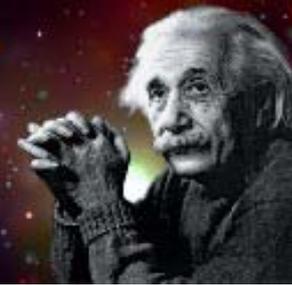
- I) Antrieb des Big Bang untersuchen:
  - 2005-2015: WMAP komplett auswerten; Planck-Daten analysieren; Inflationsmodelle verbessern basierend auf neuen Daten
  - 2015-2025: Gravitationswellen detektieren (LISA); WMAP Polarisationsmessungen; Inflation Probe soll die Signatur der Inflation in den Gravitationswellen finden
  - Nach 2025: direkt Gravitationswellen der Inflation detektieren; BBO – basierend auf LISA-Technologie - detektiert direkt Gravitationswellen der Quanteneffekte während der Inflation; Inflations-Voraussagen basierend auf 18 Größenordnungen; „BBO hears directly the beginning of time“

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



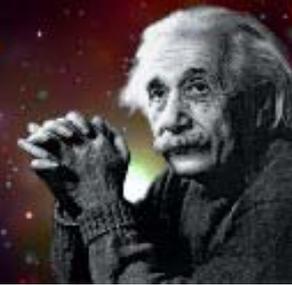
- II) Beobachten, wie Schwarze Löcher Raum, Zeit und Materie beeinflussen
  - 2005-2015: Beschleunigungsprozesse von relativistischen Jets aus Schwarzen Löchern beobachten (GLAST); das Verschmelzen und Anwachsen der ersten Schwarzen Löcher im Universum beobachten; JWST wird die ersten SL beobachten können, LISA das Verschmelzen von Galaxien
  - 2015-2025: LISA wird ermöglichen, daß Messungen der Schwarzen Löcher mit Theorien Einsteins verglichen werden können (Raumzeit und Horizont-Eigenschaften); Massen und Spins von Schwarzen Löchern bestimmen (für einige 100 SL); mittels Con-X Massen und Spins über einen weiten Rotverschiebungsbereich bestimmen; Rotierende Materie am Ereignishorizont: Con-X, Eisenlinie; Black Hole Finder Probe soll die verdeckten SL im lokalen Universum finden
  - 2025 und später: Black Hole Imager soll die auf das Schwarze Loch fallender Materie direkt beobachten, Energieproduktion, Akkretion, Entstehung von Jets, etc.; Big Bang Observer wird das Verschmelzen von mittelschweren und stellen SL, Neutronensterne in einem Rotverschiebungsbereich zw. 0 und 5 beobachten; Kosmische Geschichte der Bildung von stellaren SL

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- III) Die Natur der Dunklen Materie enträtseln:
  - 2005-2015: Mit WMAP und Planck die kosmologischen Parameter bestimmen; mit Chandra und XMM-Newton die massiven Galaxienhaufen detektieren
  - 2015-2025: die Kosmische Evolution der Dunklen Energie bestimmen; Con-X, LISA, JDEM werden komplementäre Messungen der Dunklen Energie erlauben; Con-X: Dichte der Galaxienhaufen als Funktion der Rotverschiebung; LISA: Leuchtkraft-Entfernung zu entfernten Schwarzen Löchern; JDEM: weit entfernte Supernovae (bis 1.5);
  - 2025 und später: die Geometrie und Kinematik unseres Universums bestimmen; Big Bang Observer wird die Entfernungen zu einer Mio Binären Systemen (Neutronensterne, Schwarze Löcher) messen



Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

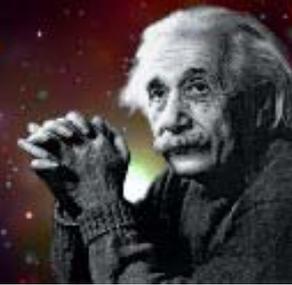
**Update: Neue Teleskope  
„Beyond Einstein“  
Inflation Probe**

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



Black Hole Finder



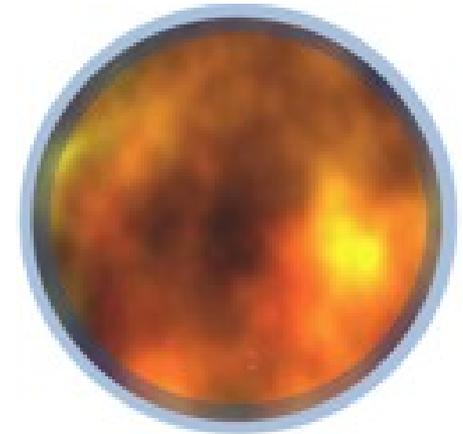
Census of  
hidden  
Black Holes

Dark Energy



Measure  
expansion  
history

Inflation



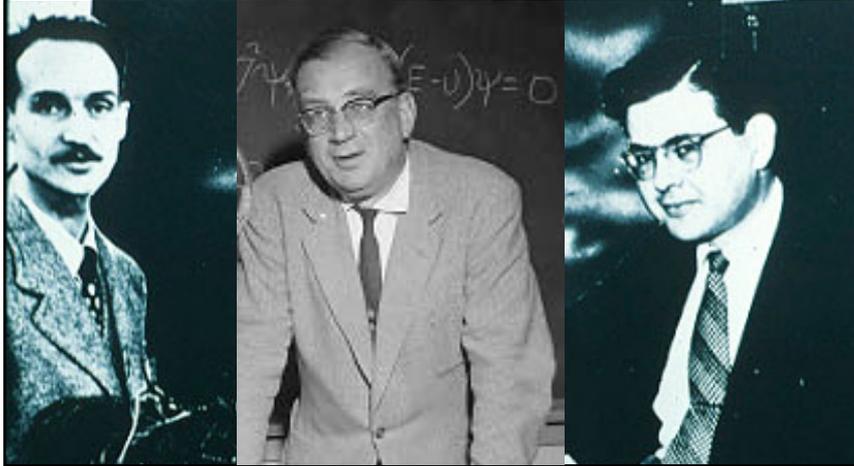
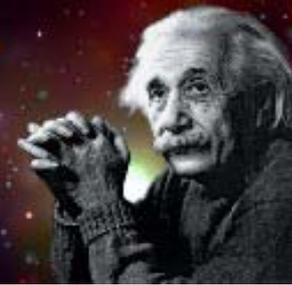
Polarization  
of CMB

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



## 1948: Big Bang Theory

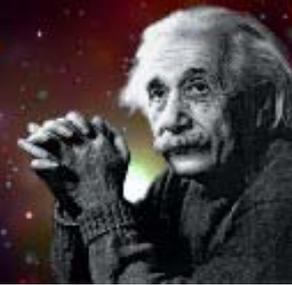
- Universe began unimaginably hot and dense - billions of years ago
- Expanded and cooled
- Predictions:
  - A microwave afterglow light from the Big Bang
  - Specific spectrum (intensity with wavelength)
  - Many other predictions - all predictions since verified

# BEYOND EINSTEIN

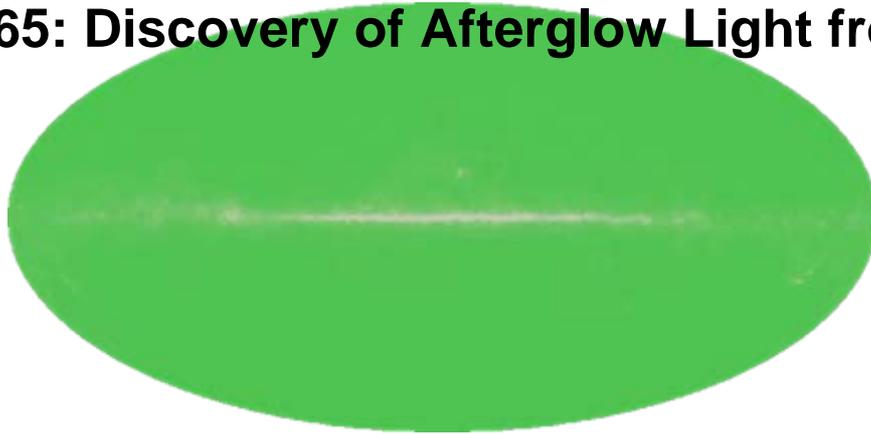
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge of a black hole?*

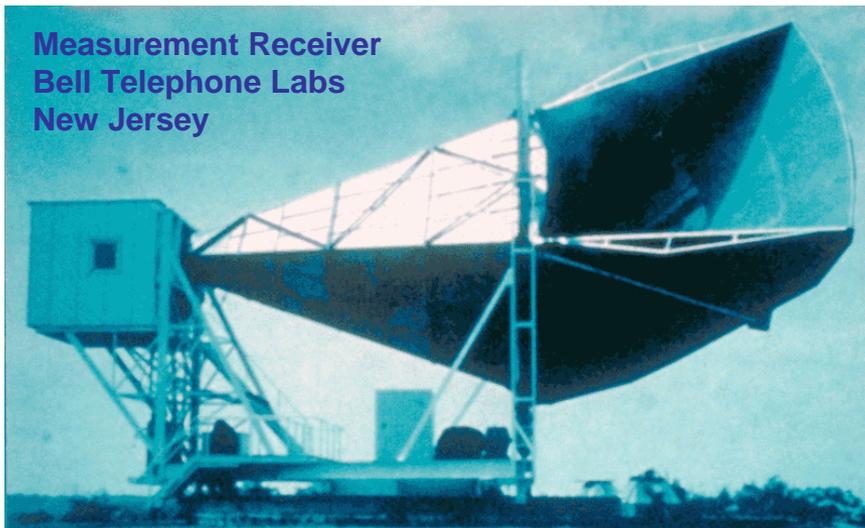
*What is dark energy?*



## 1965: Discovery of Afterglow Light from Big Bang



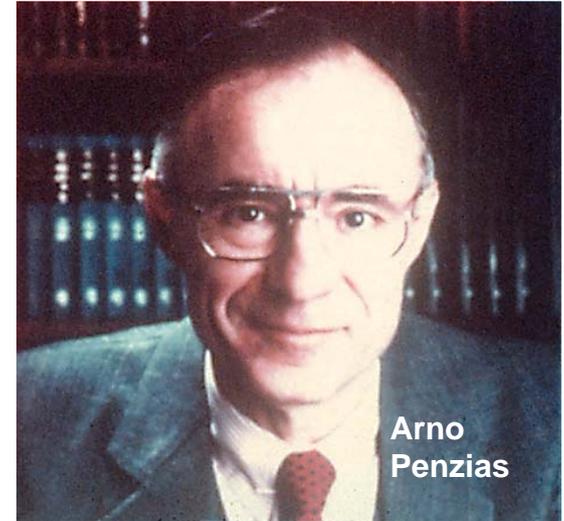
Full sky image, green represents the afterglow



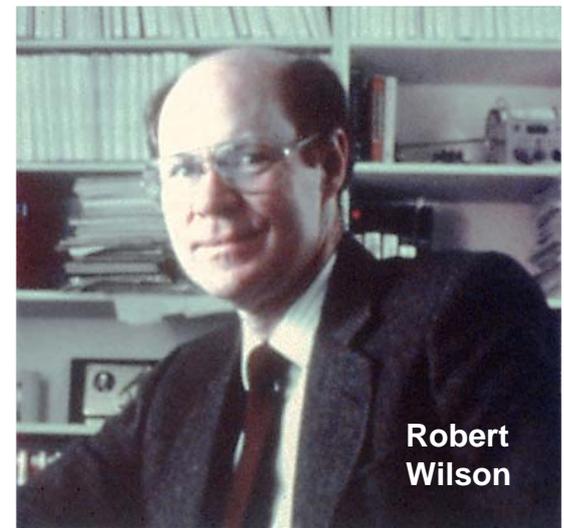
Measurement Receiver  
Bell Telephone Labs  
New Jersey



1978 Nobel Prize  
in Physics



Arno  
Penzias



Robert  
Wilson



# WMAP

What's new on LAMBDA!

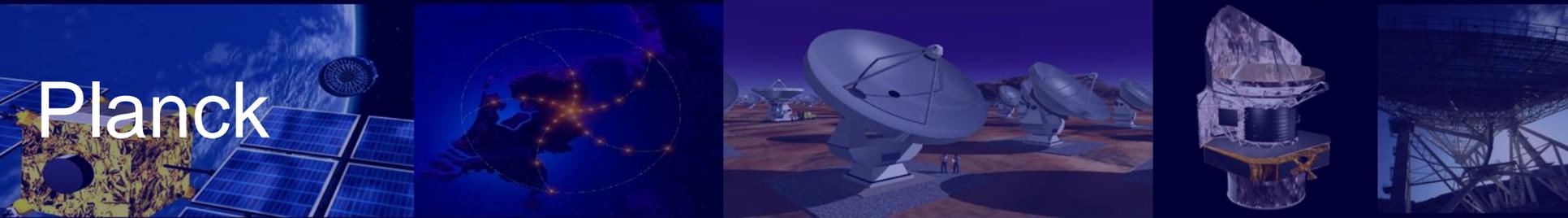
Suborbital

COBE

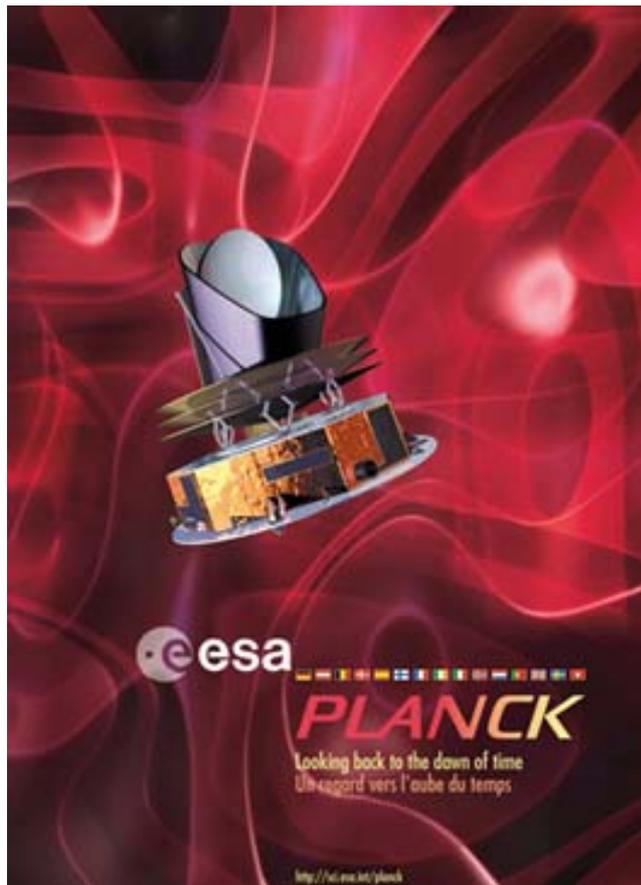
IRAS

WMAP

SWAS

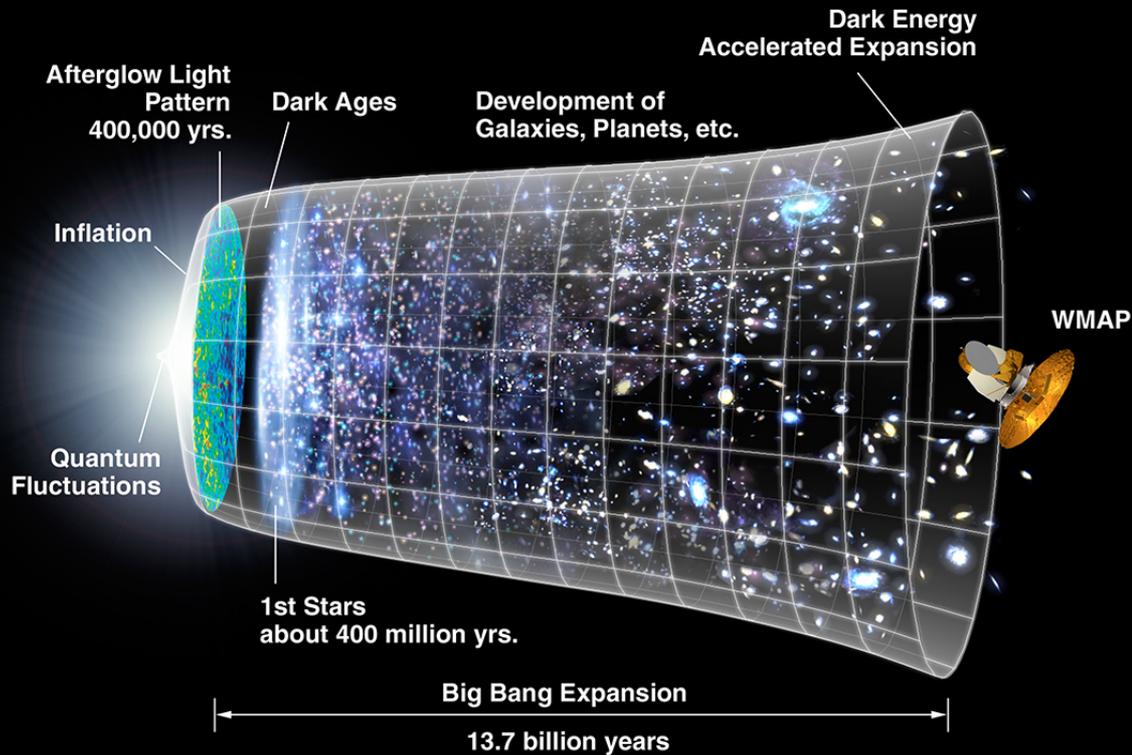


# Planck



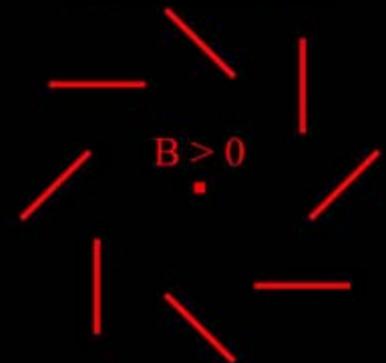
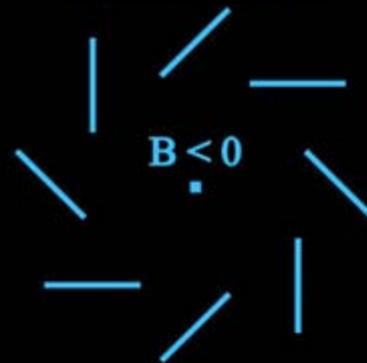
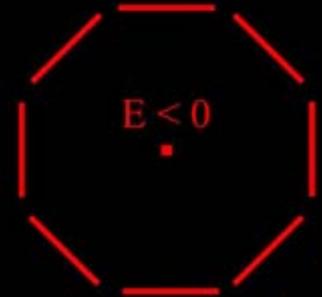
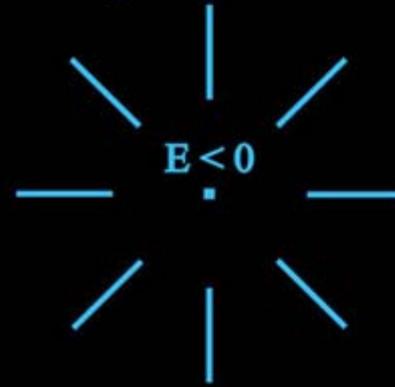
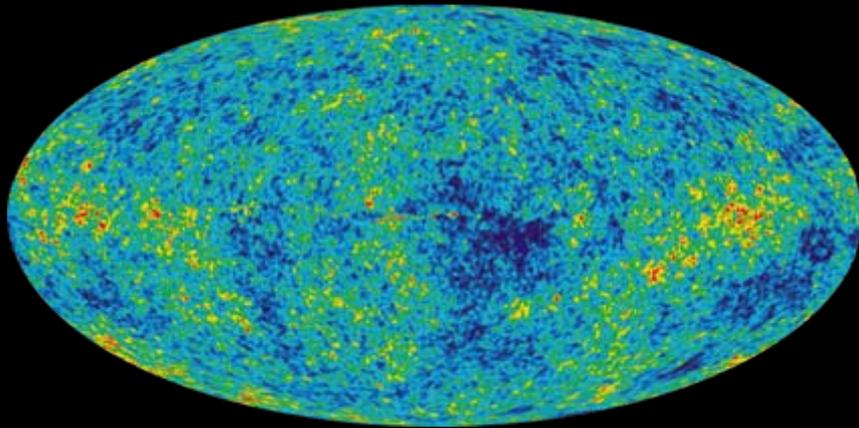
- Planck, oder Planck Surveyor, wird mit Herschel Ende Juli 2008 gestartet
- Kartierung der kosmischen Hintergrundstrahlung bei Frequenzen zw. 25 und 1000 GHz: Test der Urknall-Theorie, kosmologische Fragestellungen
- Räumliche Auflösung: 5'
- Hauptspiegel von 1.75x1.5 m
- Laufzeit: 21 Monate
- 95% des Himmels werden beobachtet werden
- Könnte geeignet sein, die String-Theorie zu überprüfen
- Temperaturunterschiede von einem Millionstel Grad sollen gemessen werden

# Mikrowellen: kosmische Hintergrundstrahlung



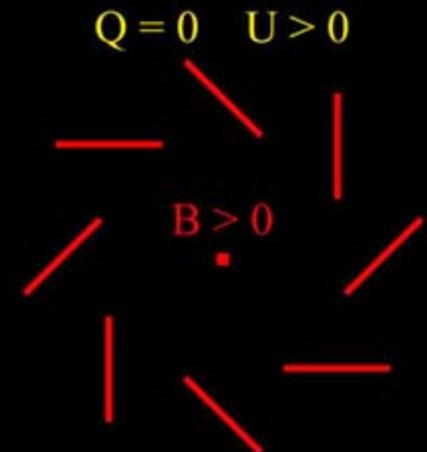
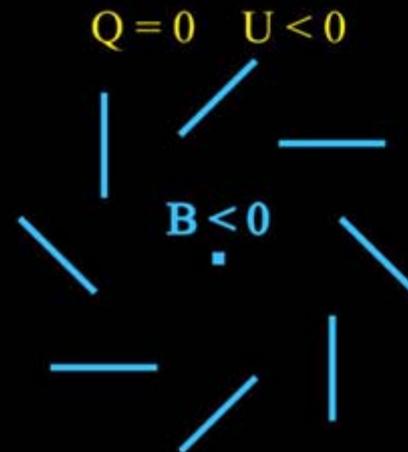
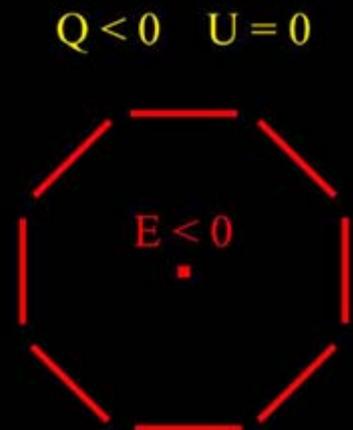
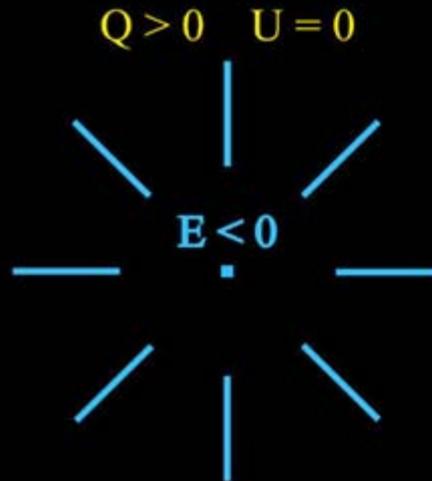
# The Einstein Inflation Probe: Mission Concept Study

---

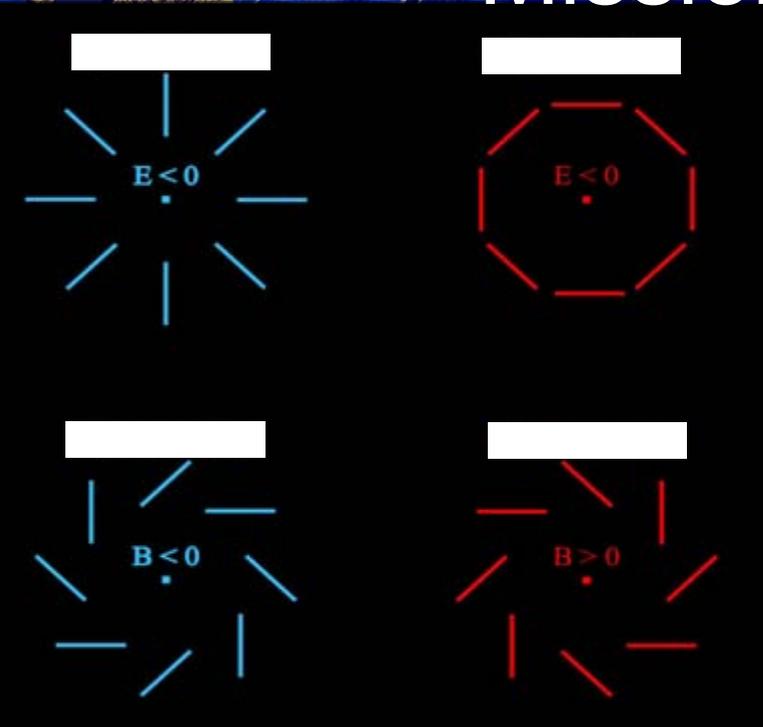


# E mode & B mode Polarization

- Polarization decomposable into E mode (gradient) and B mode (curl) components.
- Tensor fluctuations produce both E and B mode components.
- Scalar fluctuations produce only E mode component (except for transformation by gravitational lensing).
- B modes directly probe gravity waves.



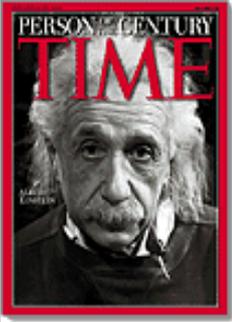
# The Einstein Inflation Probe: Mission Concept Study



- 2 Polarisationsmoden des CMB-Signals: E und B-Modus
- E-Modus: Reionisation, Universum füllt sich mit Sternen: die ersten Sterne ionisieren die Wasserstoff-Atome, befreien die Elektronen von den Protonen; diese Elektronen streuen und polarisieren das Nachleuchten des Big Bang; aus den WMAP-Daten und der Polarisation läßt sich bestimmen, daß die Reionisation 400 Mio Jahre nach dem Big Bang begann: die genaueste Messung bis heute
- B-Modus: Inflations-Epoche; B-Modus wurde mit WMAP noch nicht gesehen; in einigen Jahren möglich: noch nicht genügend Daten vorhanden
- nötige Empfindlichkeit 20-100-fach der Empfindlichkeit von Planck (Frequenz; kalte Optik)

# 1916: Einstein Shows How Gravity Works

---



ALBERT EINSTEIN

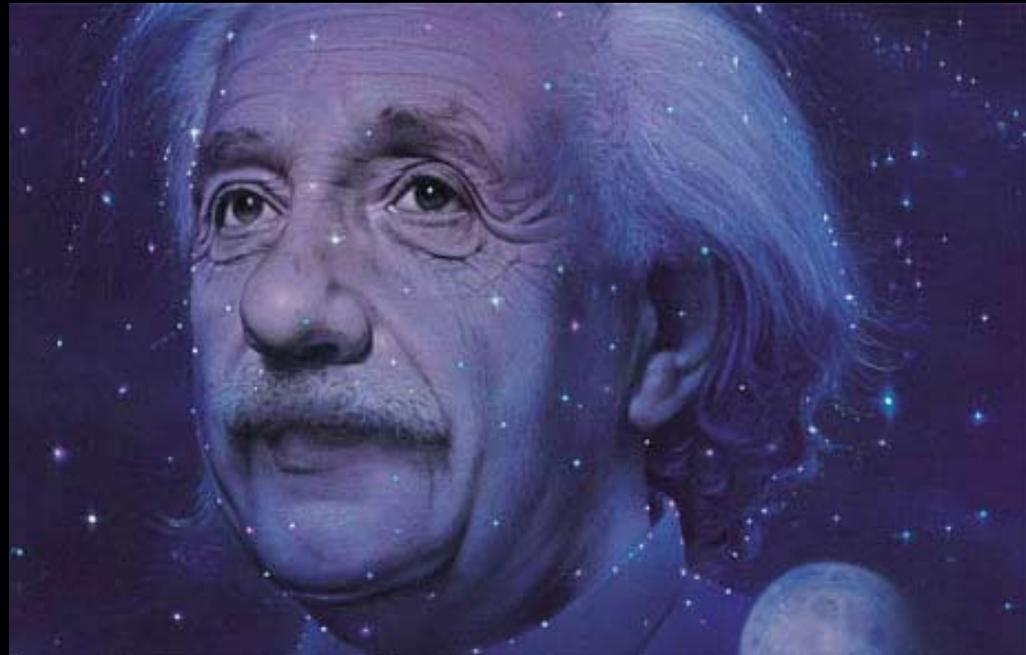
TIME MAGAZINE  
"PERSON OF THE  
CENTURY"

"Einstein's equations didn't have a solution that described a universe that was unchanging in time. ... he fudged the equations by adding a term called the cosmological constant... The repulsive effect of the cosmological constant would balance the attractive effect of matter and allow for a universe that lasts for all time."

---Stephen Hawking

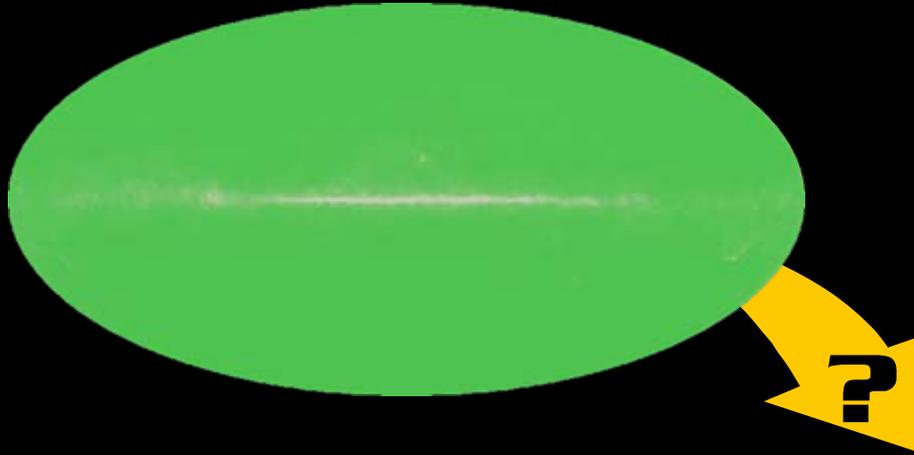
Einstein applied the General Theory of Relativity to the Universe as a whole:

- Future collapse or expand forever
- Static Universe (Einstein's requirement)



# The Evolution of the Universe

Early universe remarkably uniform,  
Current universe is not...



HOW DID  
THIS HAPPEN?



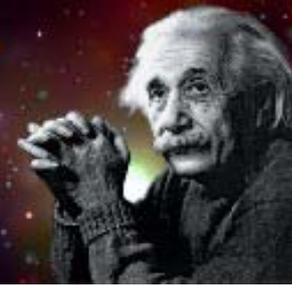
Inflation?... Cyclic model?... (Beyond Einstein)

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

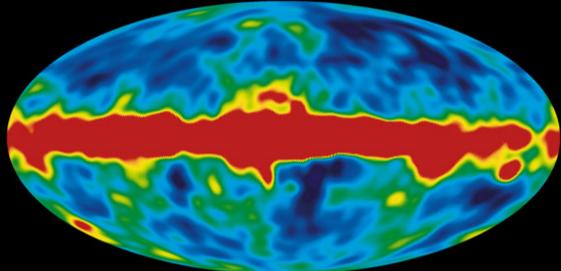
*What is dark energy?*



- **Inflation Probe:**
- Das B Modus Signal in der CMB Polarisation wird durch Gravitationswellen produziert, die aus der Zeit der Inflation übriggeblieben sind. Dieses Signal ist einzig auf der  $10^{16}$  GeV-Skala -- 12 Größenordnungen vom LHC.
- Mißt direkt die Energieskala der Inflation und testet das Fluktuationsspektrum, auch alternative Szenarien (zyklisches Universum).
- CMB Polarisation wichtig zur Untersuchung kosmologischer Prozesse: läßt einen die Entkopplunsepoche bestimmen, Ionisierungsgeschichte, kosmologische Parameter

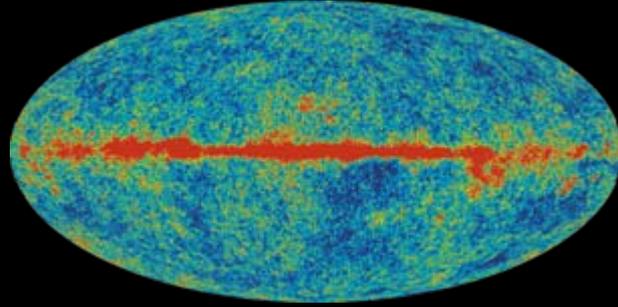
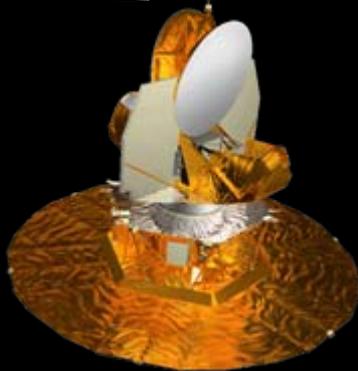
# Sensitivity Advances

COBE  
1989



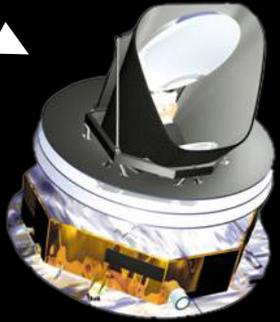
×60

WMAP  
2001



>×20

Planck  
~2007



×??

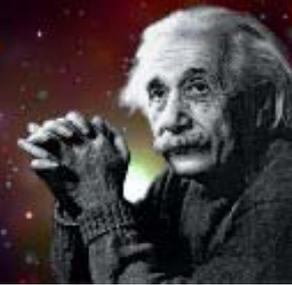
Inflation Probe

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- **Inflation Probe:**
- Nur im Weltraum kann man die Stabilität und Signalstärke erreichen, um große Skalen zu untersuchen ( $>1^\circ$ )...
- 100-fache Empfindlichkeit von WMAP benötigt
- Graviationswellen resultieren aus der Inflationsphase: 1 Trillionstel einer Sekunde, CMB kommt 380 000 Jahre später; die Graviationswellen kommen aus der Inflationären Exansion des Kosmos; aus der Kollision von Klumpen; aus der turbulenten Mischung von Materie und Strahlung; wird auch rotverschoben sein, aber um 24 Größenordnungen; breites Spektrum zw. 1 Hz und 1 GHz

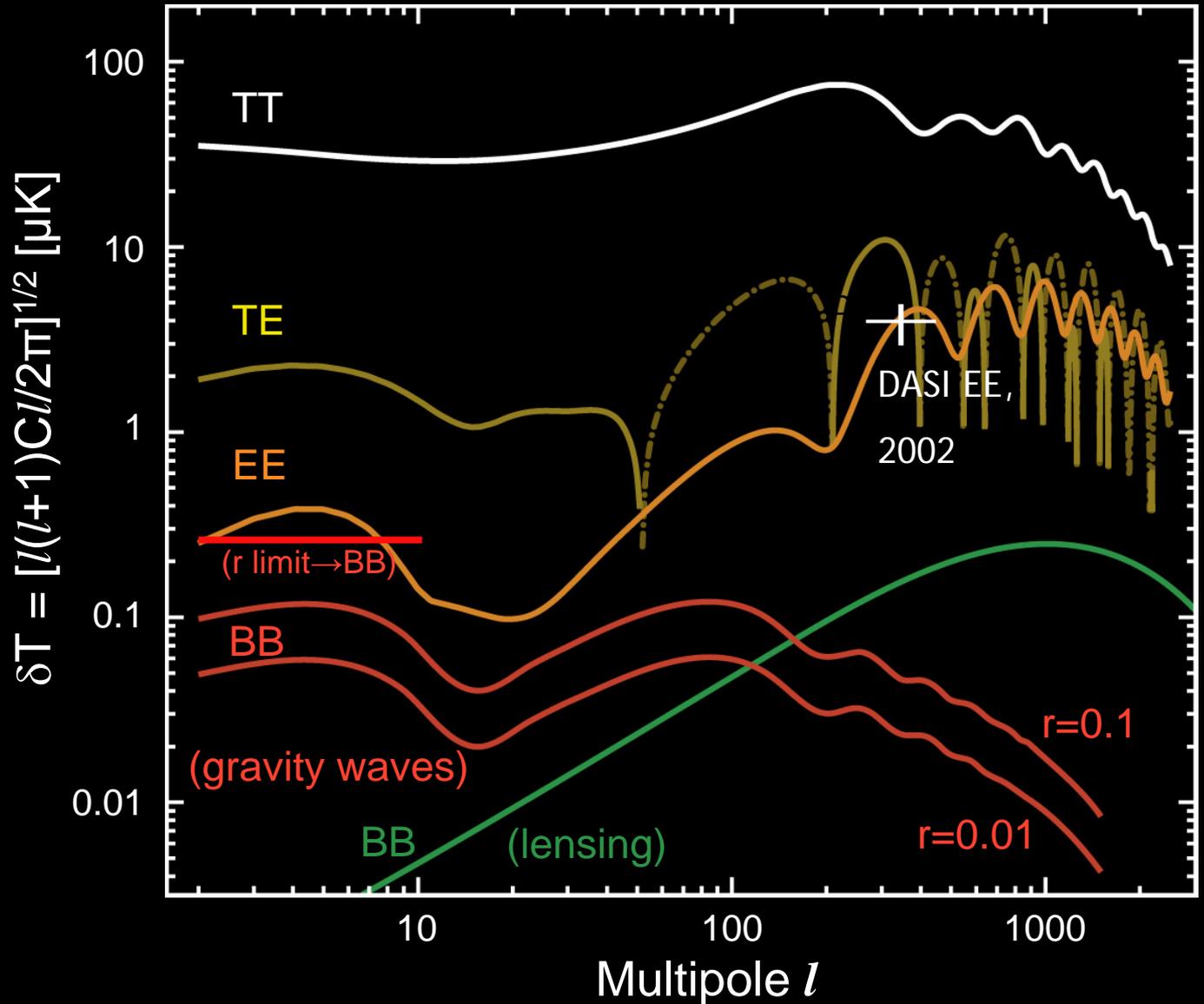
# CMB Polarization

TT - temperature  
from scalar and  
tensor modes

TE - temperature  $\times$   
polarization  
covariance

EE - "gradient"  
polarization from  
scalar & tensor  
modes

BB - "curl"  
polarization from  
tensor modes  
(*only*)

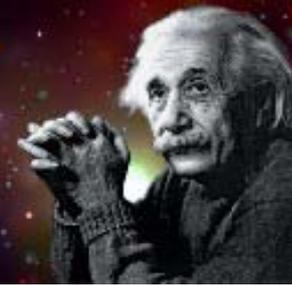


# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

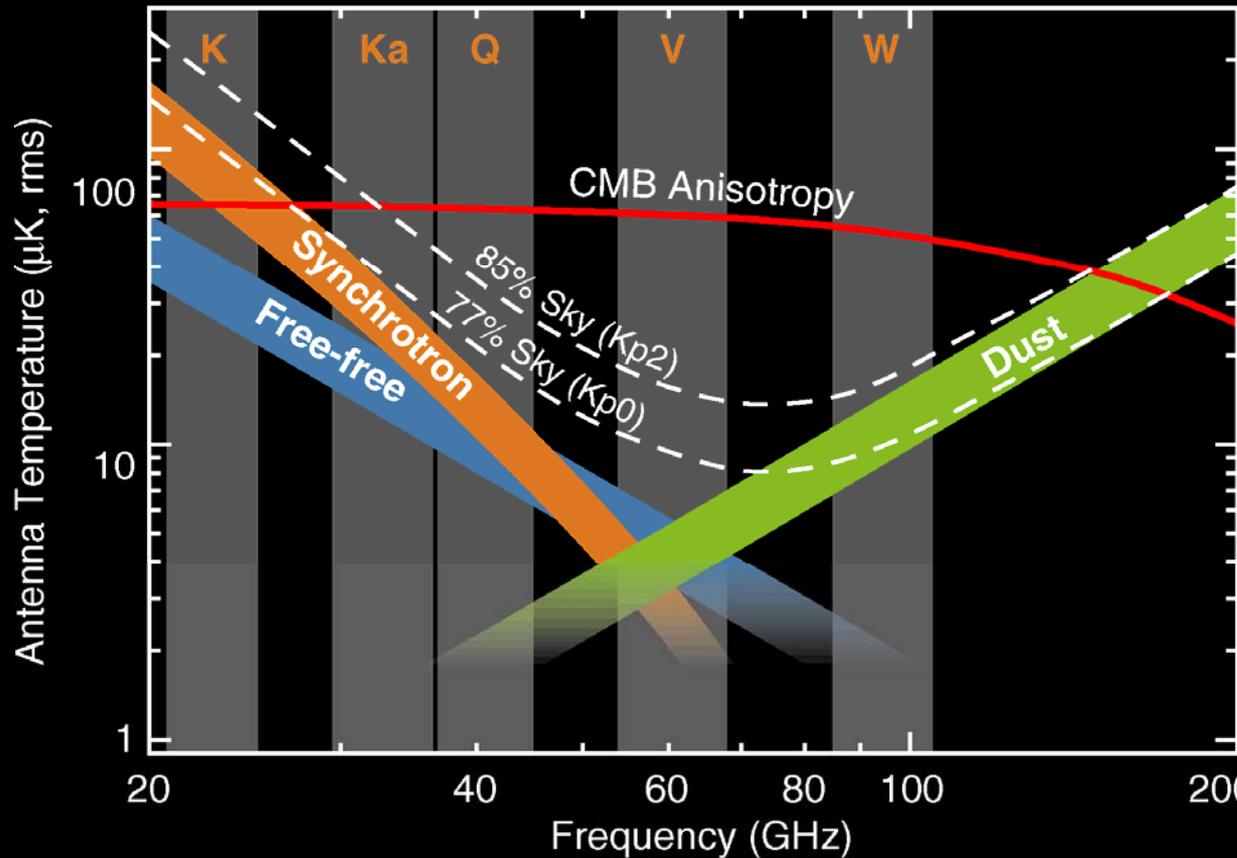
*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



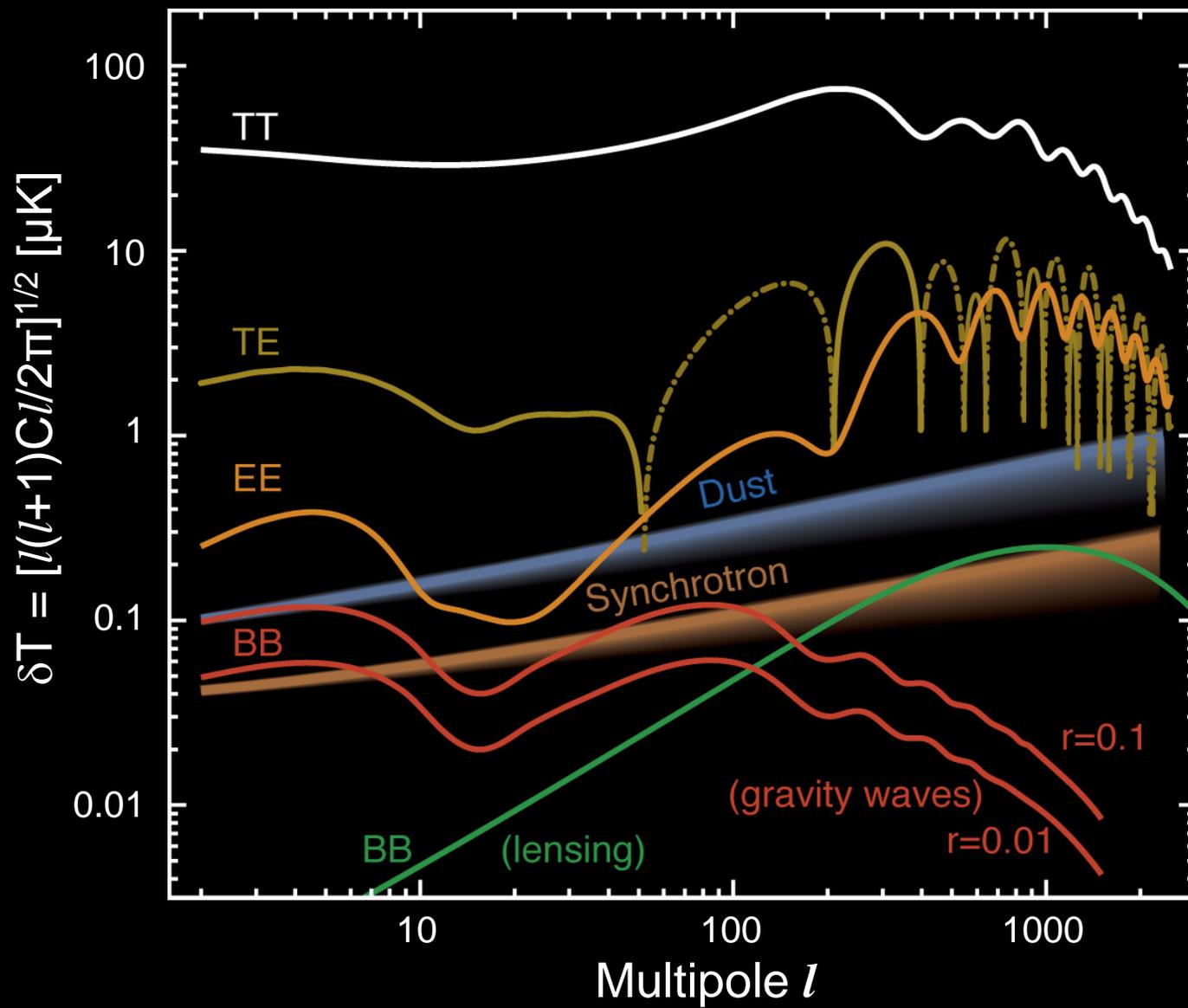
- **Inflation Probe / Vordergrund-Emission:**
- Die polarisierte Vordergrundemission stammt aus unserer Galaxie, kaum bekannt aber vermutlich stärker oder vergleichbar dem Gravitationswellensignal des Himmels.
- Vordergrund Emission hat sowohl E als auch B Modus Symmetrie.
- Mehrere Frequenzen sind notwendig, um CMB-Emission von der galaktischen Vordergrundemission zu unterscheiden. Modellierung und Subtraktion dieser Vordergrundemission ist notwendig
- Gravitationslinsen verwandeln den E Modus in B Modus ...
- Wird die "Linsenverunreinigung" nicht korrigiert, so wird das Detektionslimit herabgesetzt

# Temperature Foreground Spectra



- WMAP foreground estimates from 1<sup>st</sup> year temperature data (WMAP observing bands shown in grey)
- CMB dominates foregrounds over most of the sky
- Free-free emission is unpolarized
- Key question: what is polarization fraction of foregrounds relative to B-mode CMB?
- WMAP and other polarization data will be very helpful in guiding our study of foregrounds.

# Projected Galactic Foreground (Dust/Synch)

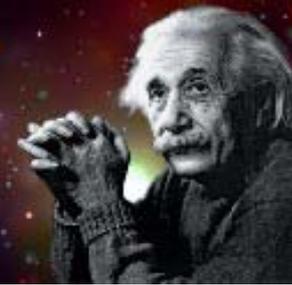


# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*

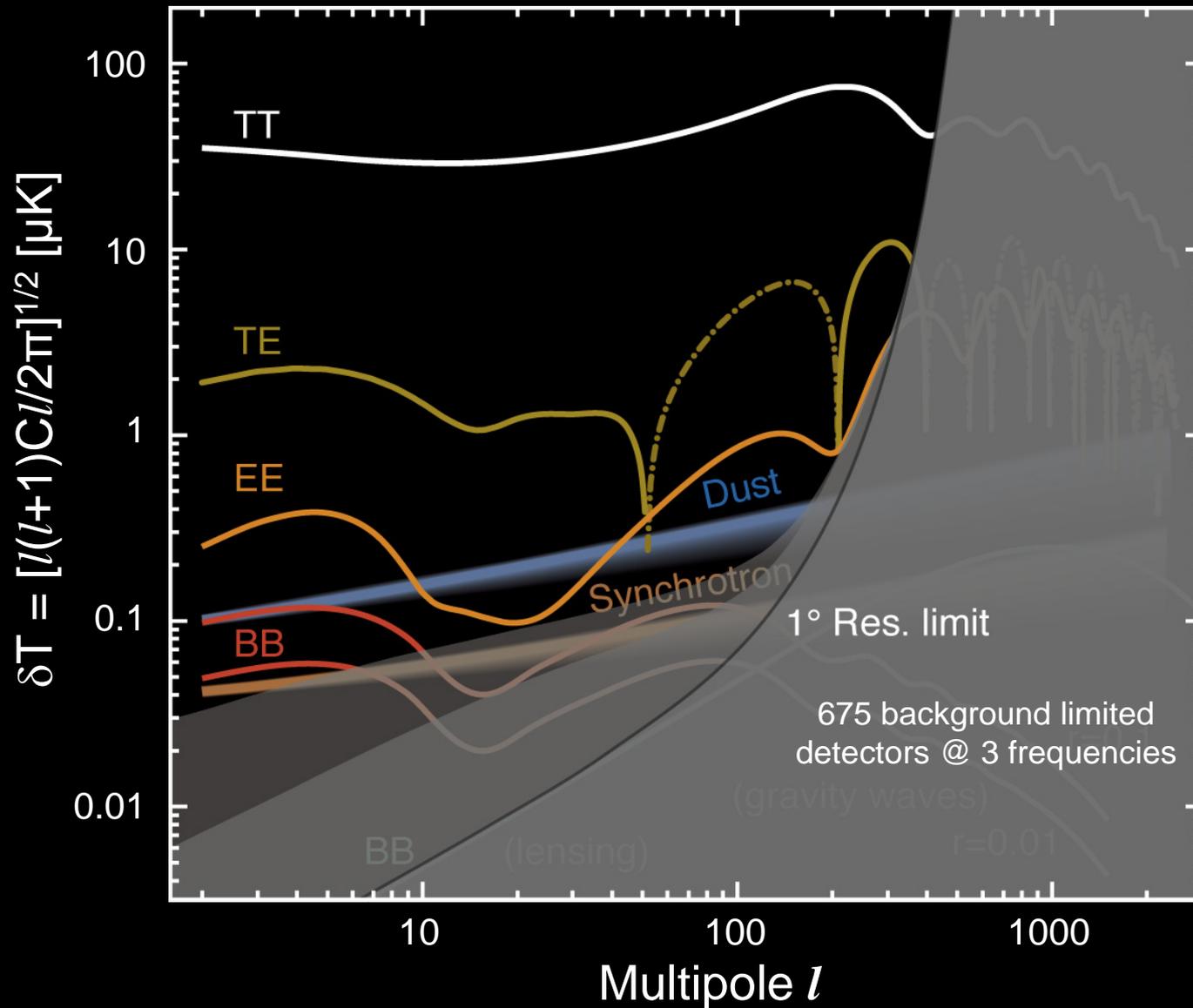


- **Inflation Probe / weitere Probleme, die Auflösung:**

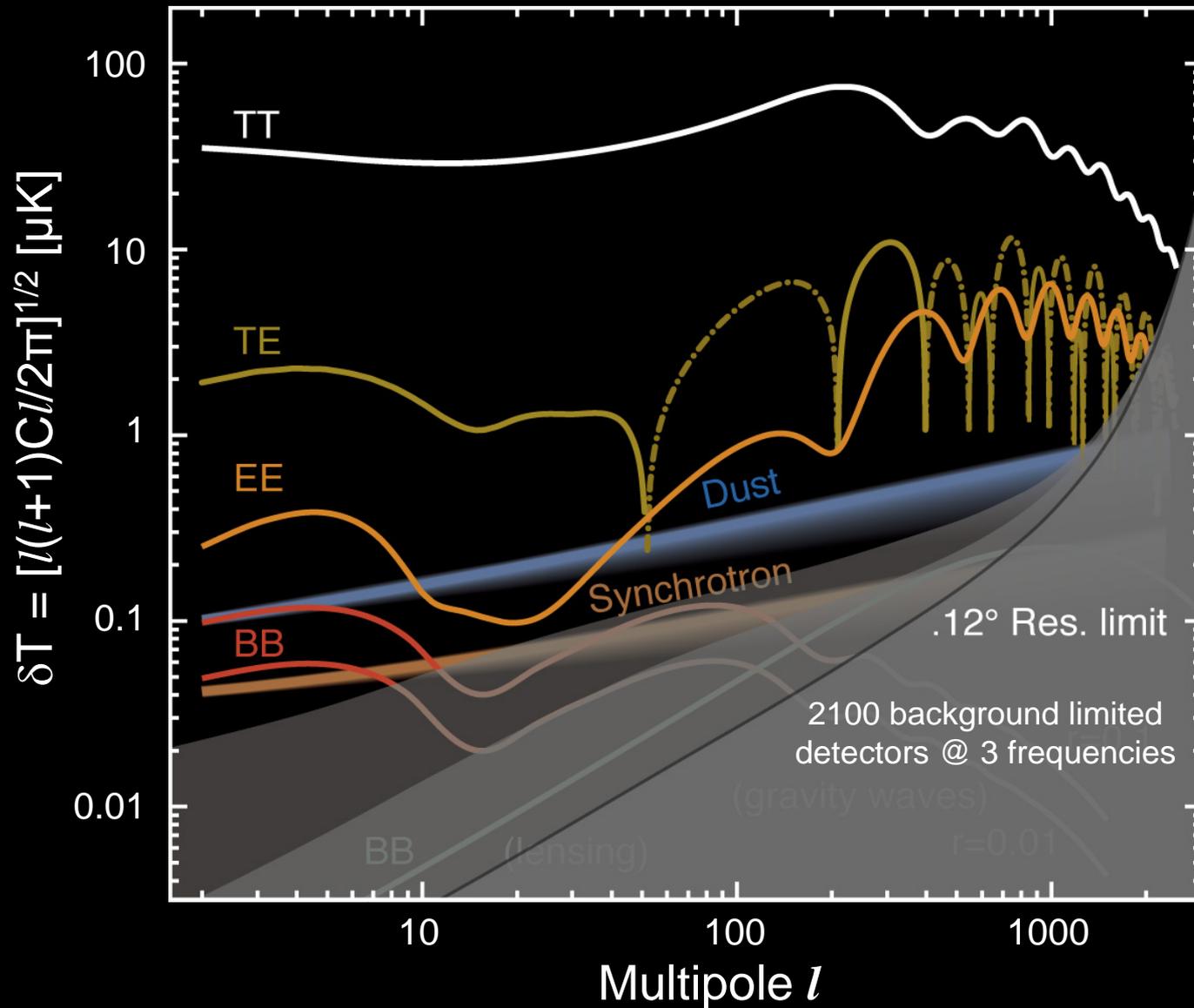
Auflösung ist eines der wichtigsten Themen für  
Vorstudien:

- Bessere Auflösung erlaubt bessere Abgrenzung gegenüber Linseneffekten
- Macht die Mission sofort wesentlich teurer!
- Große Optik und Thermische Einflüsse, Trägerrakete und Möglichkeiten, Kosten, Datentransfer

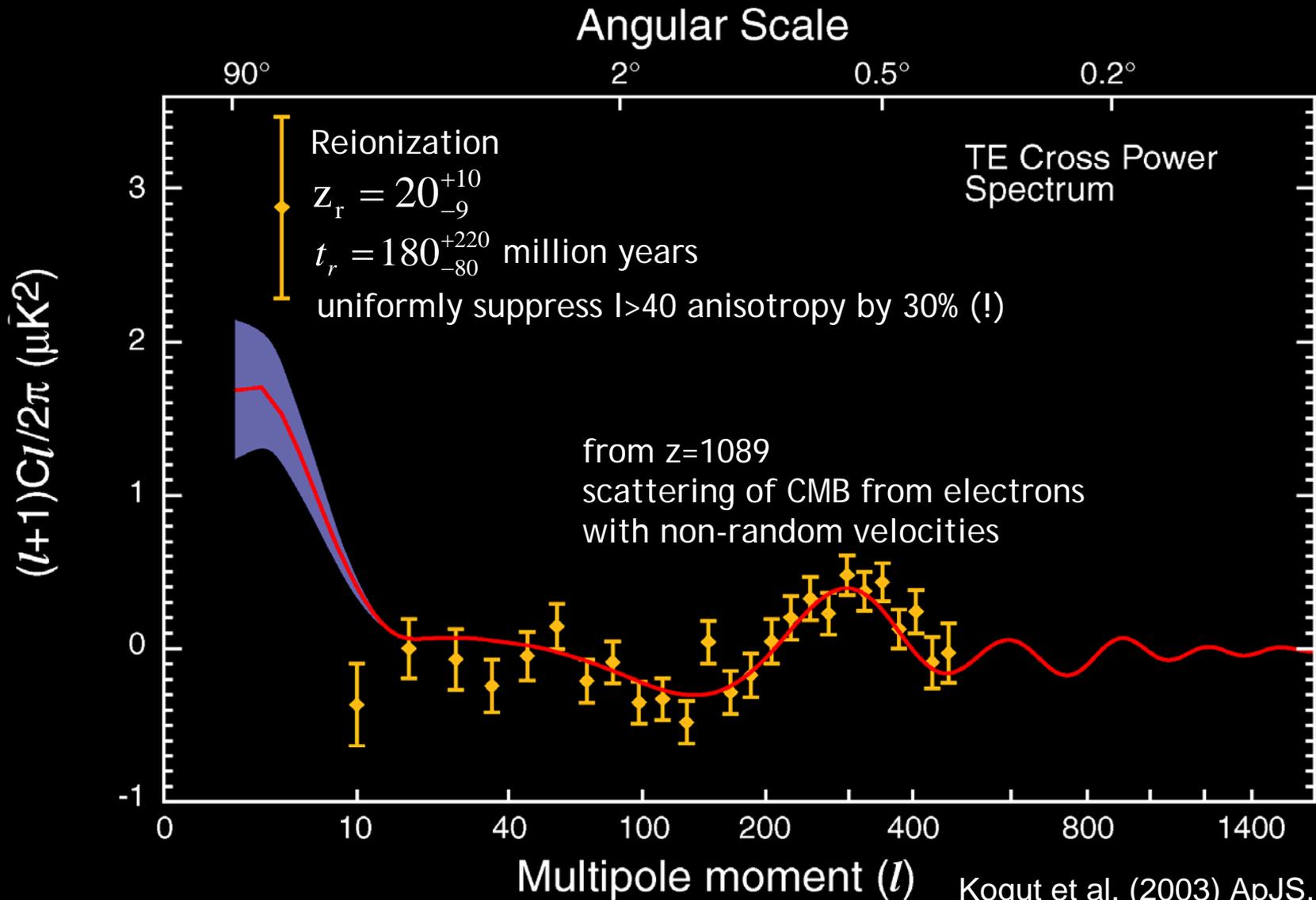
# Noise Floor for "Strawman I"



# Noise Floor for "Strawman II"



# Temp x E-Polarization Power Spectrum



Kogut et al. (2003) ApJS, 148, 161

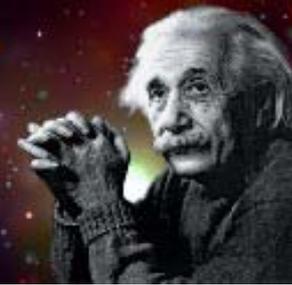
Bennett et al. (2003) ApJS, 148, 1

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

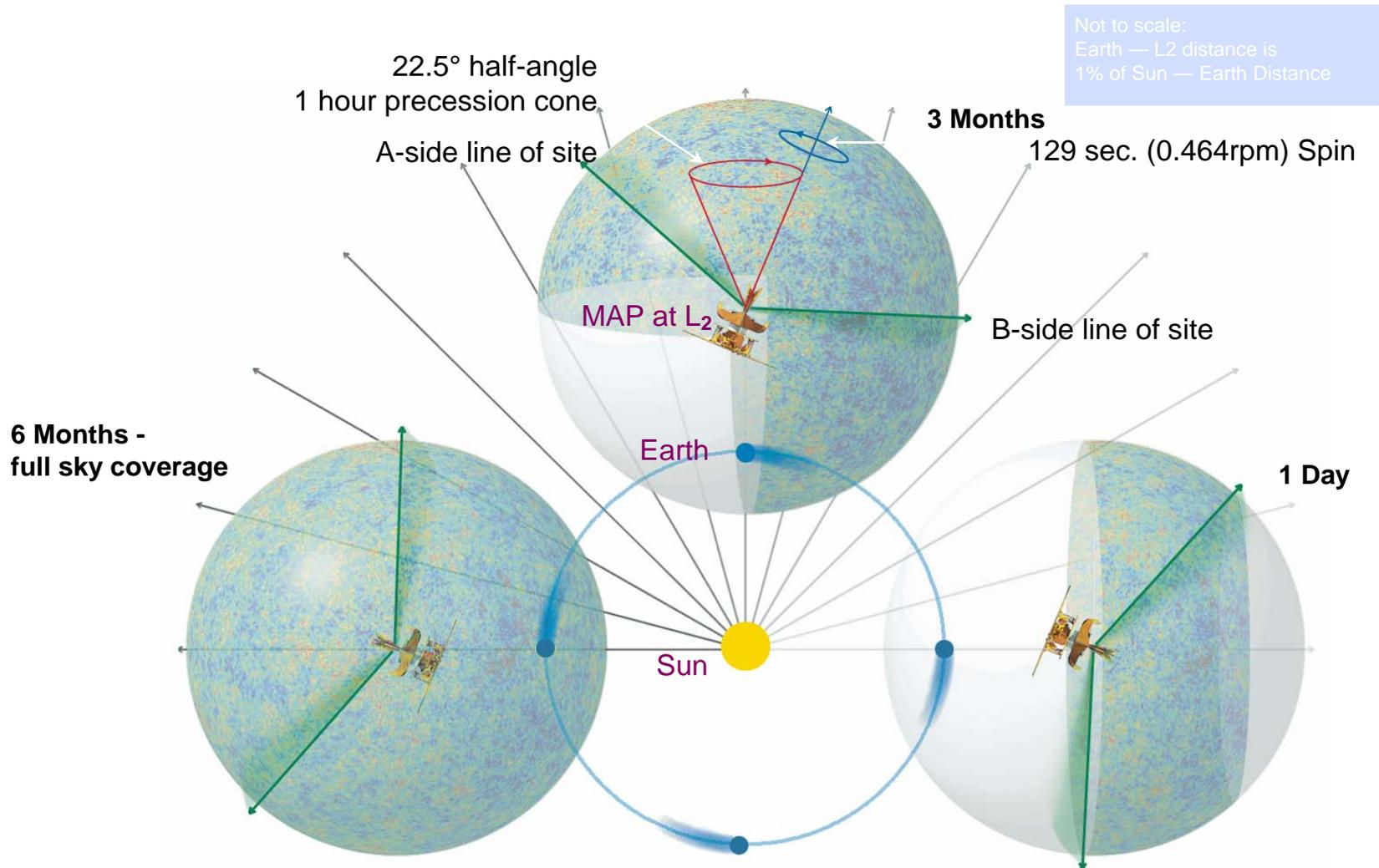
*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- **Inflation Probe / Ziele:**
- **$z=20$  Reionisation:**  
Streuung von CMB an freien Elektronen
- **$z=1089$  Entkopplung:**  
scattering of CMB from electrons with non-random velocities  
polarization correlates with temperature map  
1<sup>st</sup> detected by DASI, now have power spectrum

# Himmelsüberdeckung



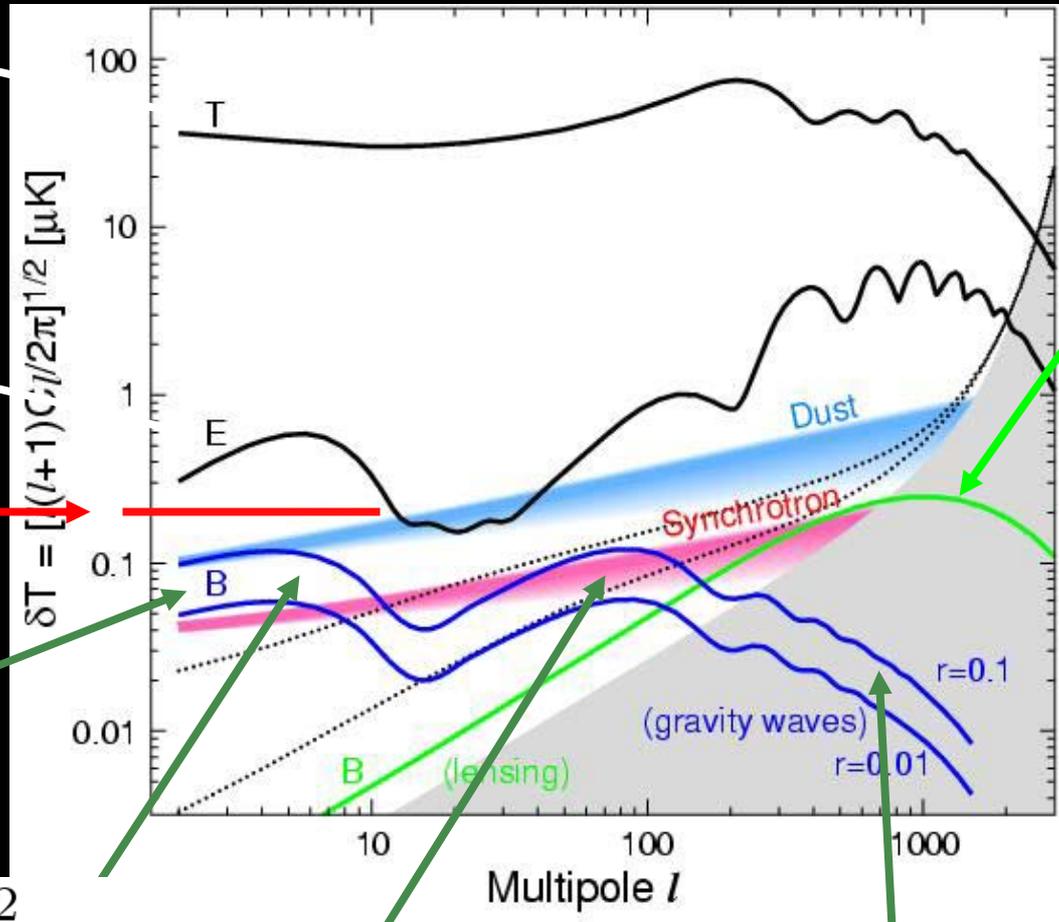
# Lay of the Land

Temperature (T)  
from scalar and  
tensor fluctuations

E polarization  
from scalars and  
tensors

Current limit on  
tensors

B polarization from  
tensors (gravity  
waves) *only*



B modes  
from  
lensing of  
E modes.

$$\delta T_l^B \propto r^{1/2} \propto E_{infla}^2$$

Reionization peak  
( $z=20$ )

Recombination peak  
( $z=1089$ )

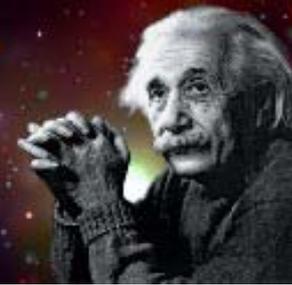
Gravity waves decay  
inside the horizon.

# BEYOND EINSTEIN

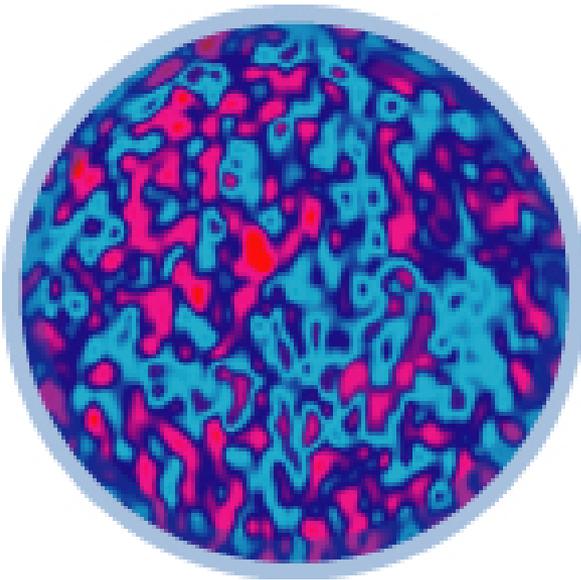
*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*

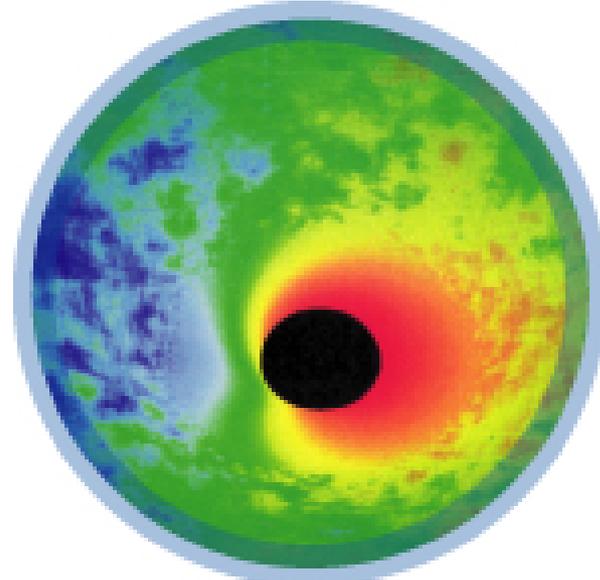


## Big Bang Observer



**Direct detection of  
gravitational waves  
from Big Bang**

## Black Hole Imager



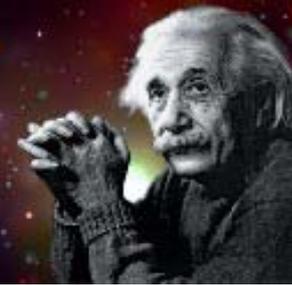
**Resolved image of  
the Event Horizon**

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



- **Big Bang Observer:**

Laser Interferometrie:

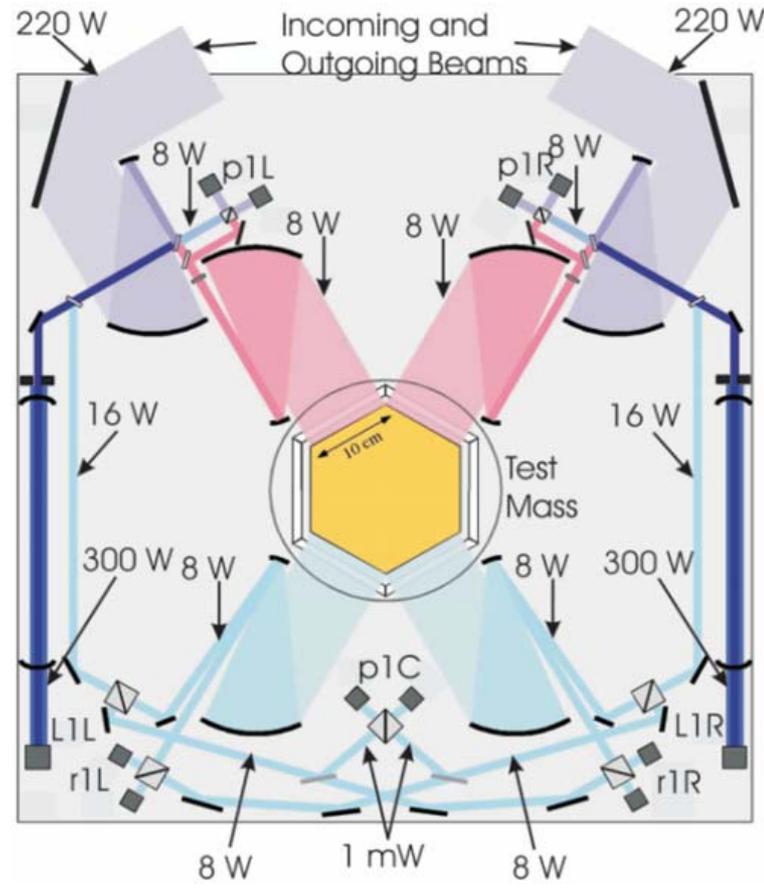
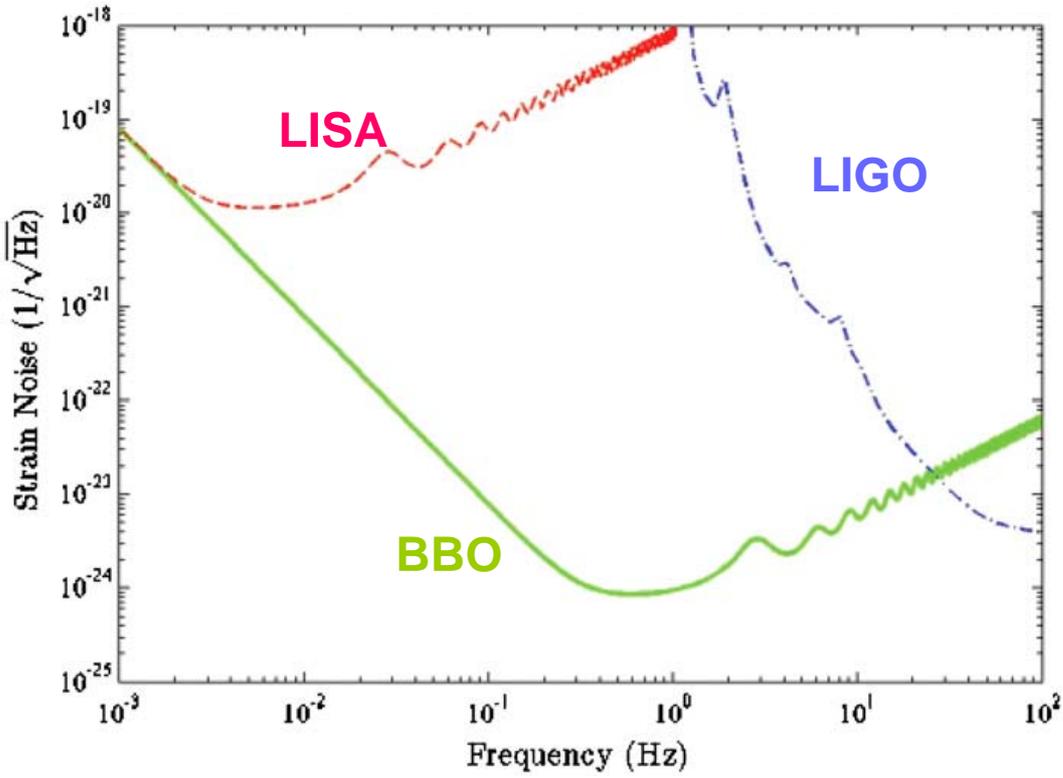
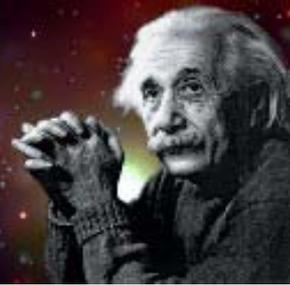
- BBO als Einstein Mission soll stochastische Gravitationswellen aus dem frühen Universum detektieren
- Außerdem: das letzte Jahr für Binäre Kompakte Körper (Neutronensterne und stellare SL) bis zu  $z < 8$ ; Verschmelzungen mittlerer SL bei jeder Rotverschiebung; schnell rotierende Typ I Supernovae; Pulsare
- 3 spacecrafts, jeweils 50 000 km entfernt; final: 3 dieser Konstellationen, im 120 Grad Winkel
- Jeweils: 2 x 300 Watt-LASER, 355 nm

# BEYOND EINSTEIN

What powered the Big Bang?

What happens at the edge of a black hole?

What is dark energy?



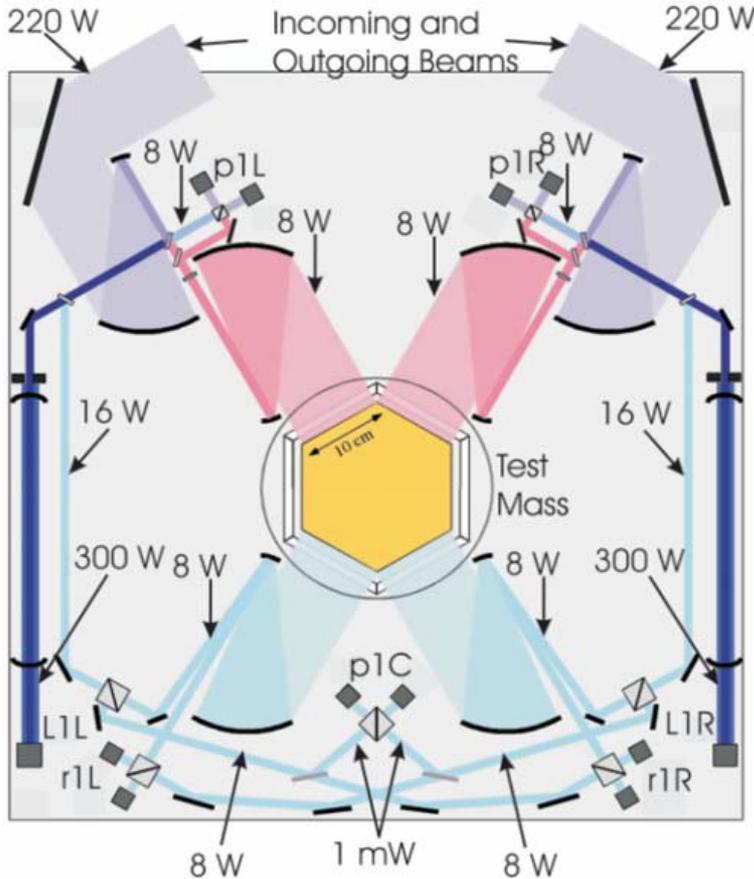
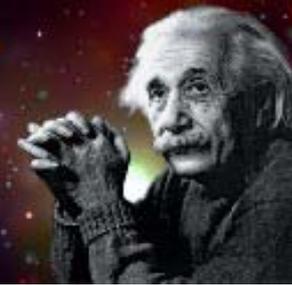
**LASER und Photodioden**

# BEYOND EINSTEIN

What powered the Big Bang?

What happens at the edge of a black hole?

What is dark energy?



LASER und Photodioden

- 300 Watt werden aufgespalten:
  - 16 Watt Strahl: lokale Aufgaben (frei fallende Testmassen die eine Versetzung aufgrund der Gravitationswellen detektieren helfen sollen)
  - 8 Watt: für Interferenz mit dem einkommenden Strahl
  - 220 Watt: wird zu einer anderen spacecraft geschickt



Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

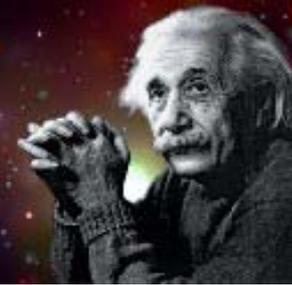
**Update: Neue Teleskope  
„Beyond Einstein“  
Dark Energy Mission  
SNAP**

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge  
of a black hole?*

*What is dark energy?*



Black Hole Finder



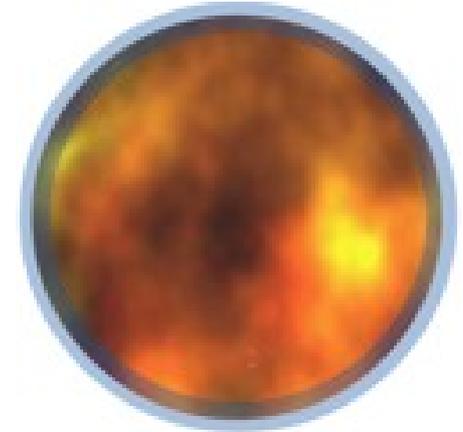
Census of  
hidden  
Black Holes

Dark Energy



Measure  
expansion  
history

Inflation



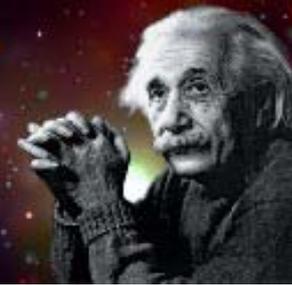
Polarization  
of CMB

# BEYOND EINSTEIN

*What powered the Big Bang?*

*What happens at the edge of a black hole?*

*What is dark energy?*



- Joint Dark Energy Mission (JDEM)
- SNAP: **S**uper**N**ova **A**cceleration **P**robe:
  - Die Expansion des Universums messen
  - Natur der Dunklen Energie bestimmen
  - Start vor 2020

Dark Energy



Measure expansion history

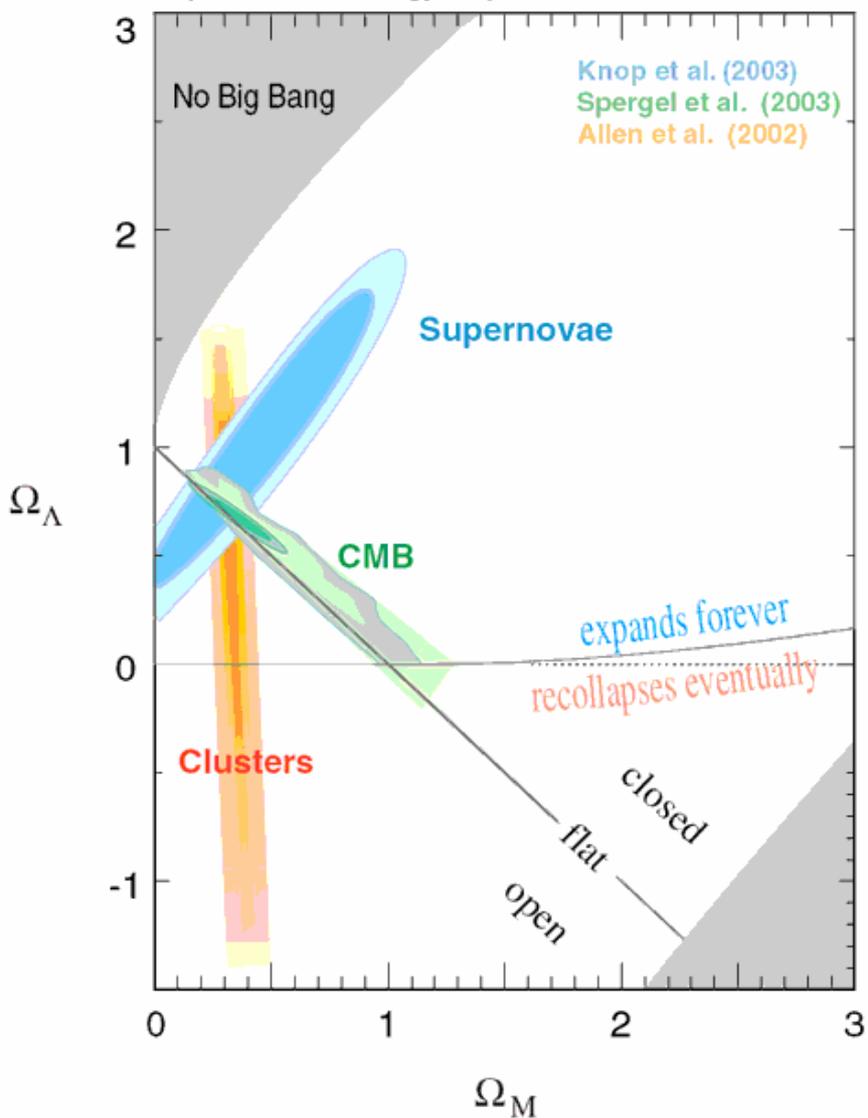
- JDEM:
  - Advanced Dark Energy Physics Telescope (ADEPT)
  - SuperNova/Acceleration Probe-Lensing (SNAP)
  - Dark Energy Space Telescope (Destiny)

# SNAP

Supernova Acceleration Probe



Supernova Cosmology Project



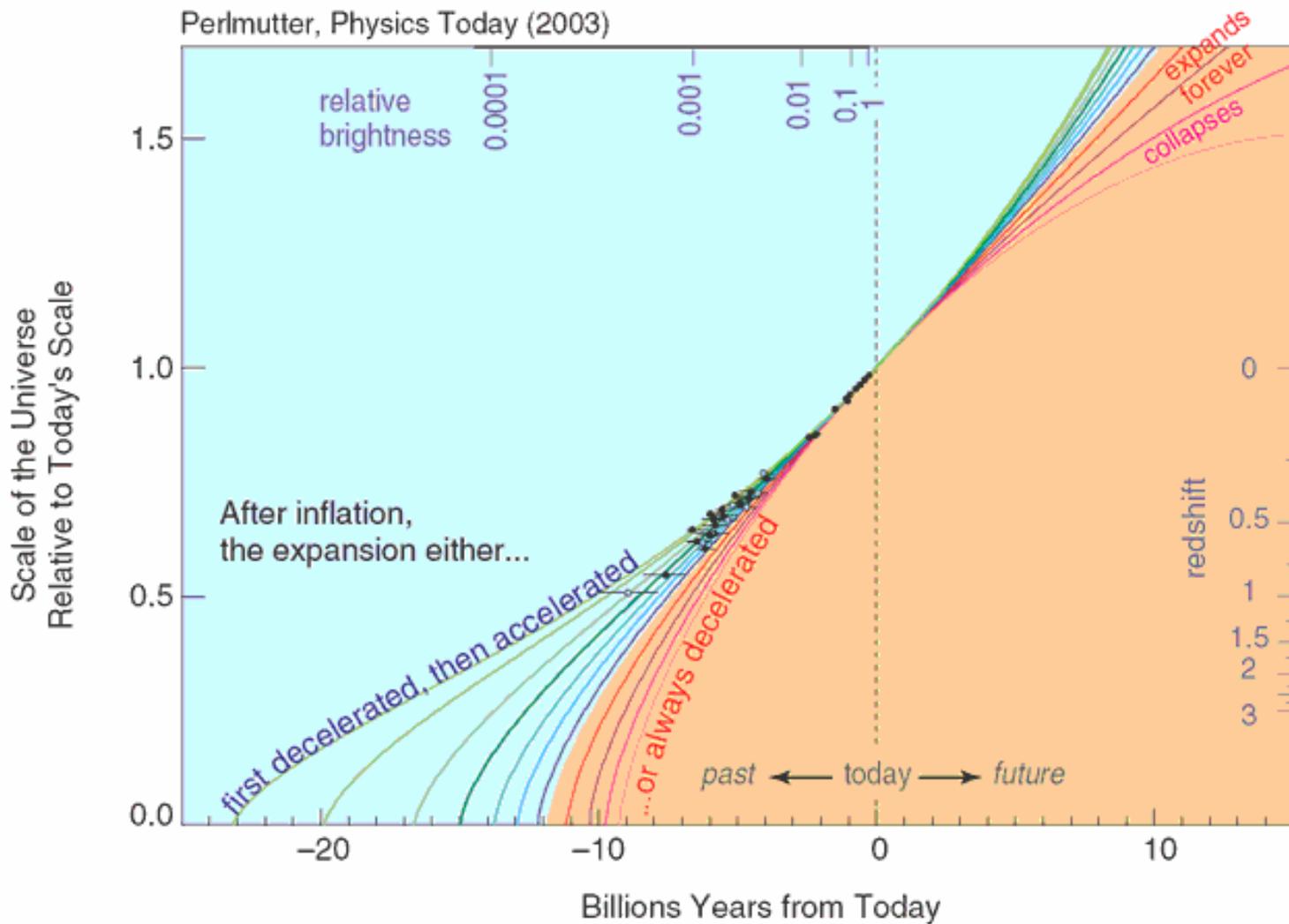
# SNAP

Supernova Acceleration Probe



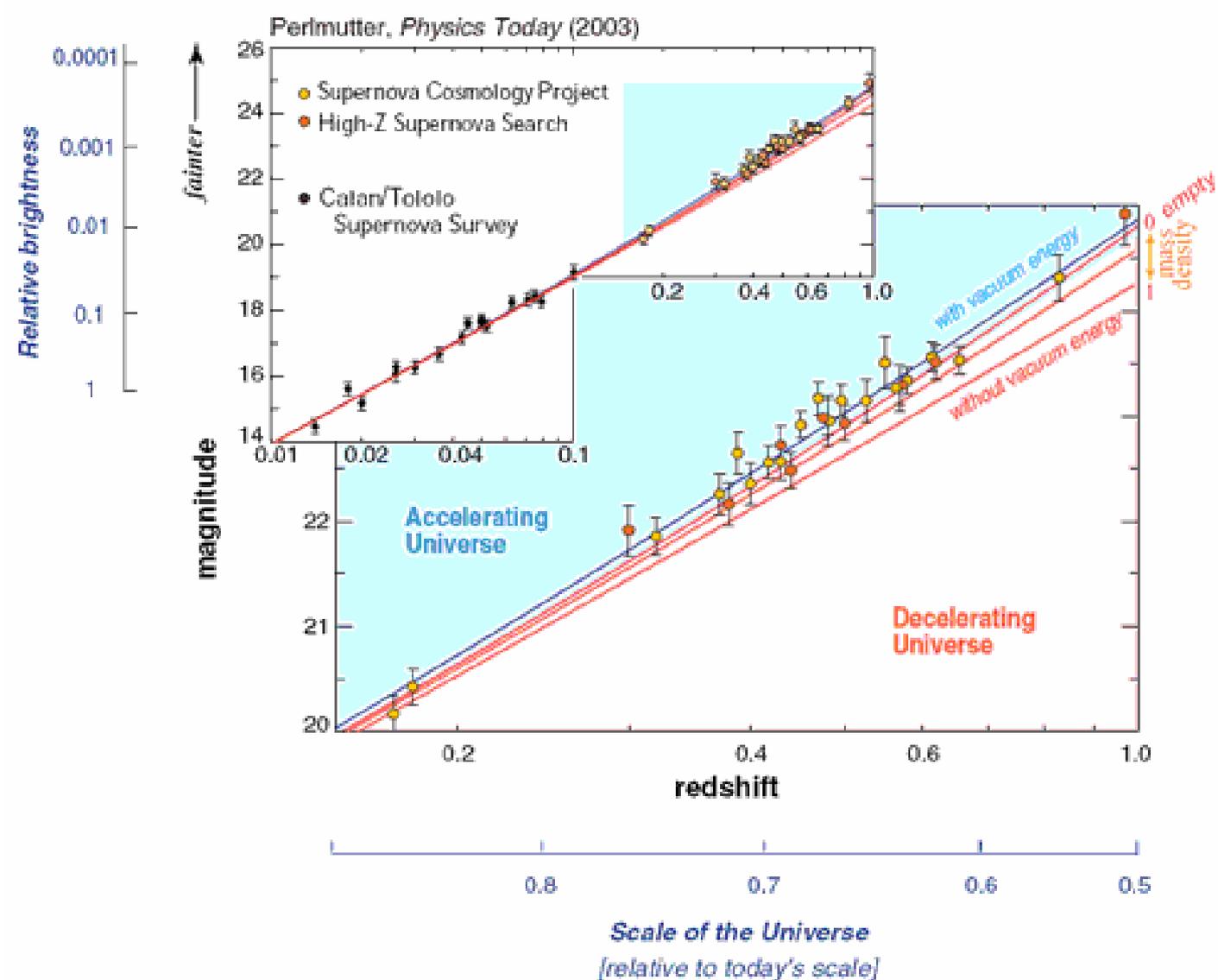
## Expansion History of the Universe

Perlmutter, Physics Today (2003)



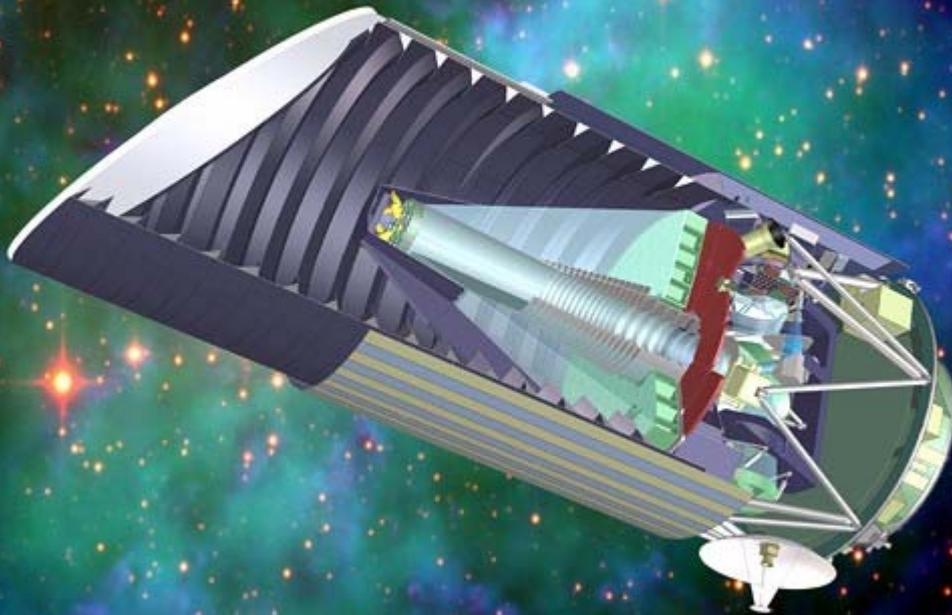
# SNAP

Supernova Acceleration Probe



# SNAP

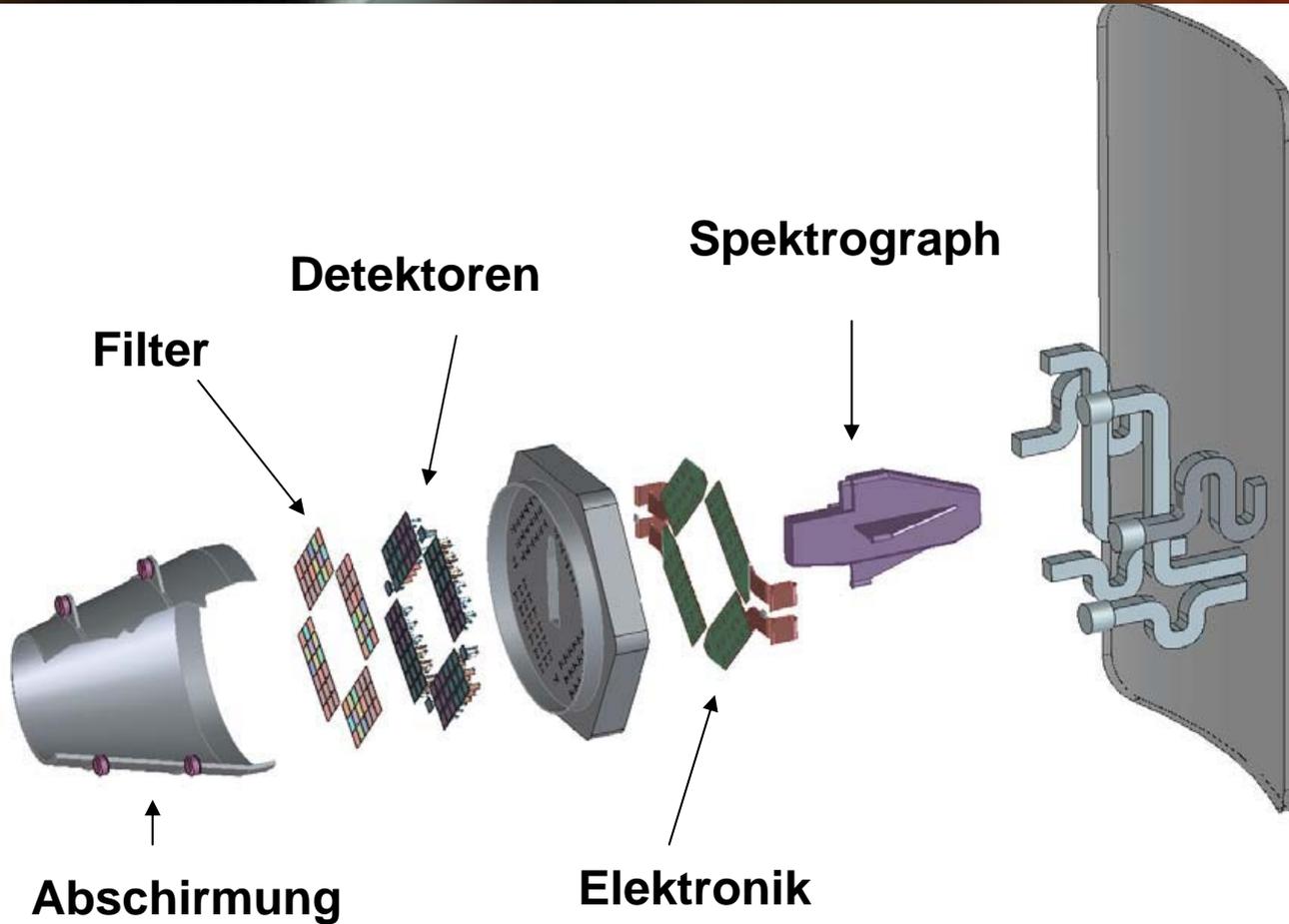
Supernova Acceleration Probe



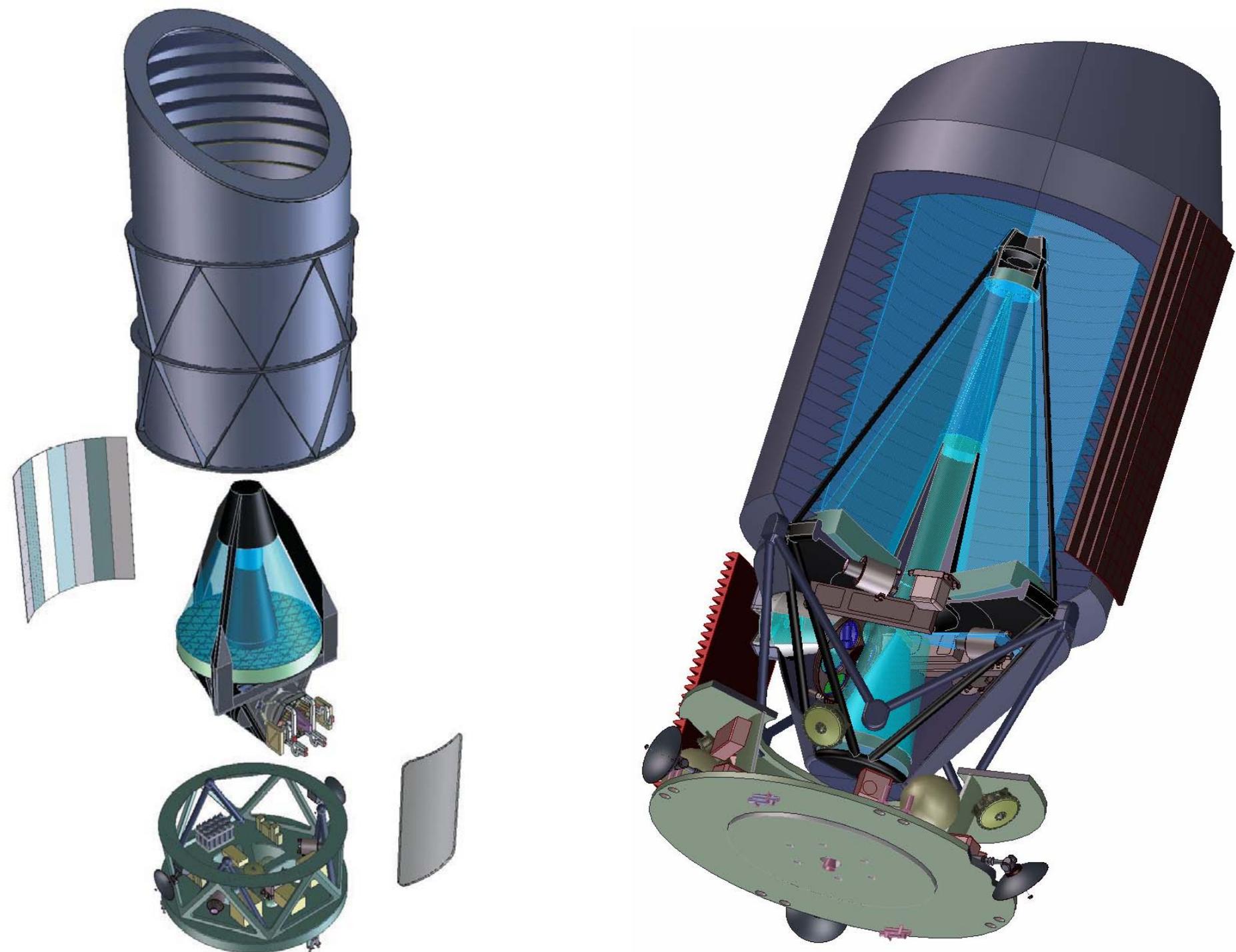
- Mehr Supernovae finden
- Über größere Distanzen (bis Rotverschiebung:2)
- Bessere Kontrolle über Unsicherheiten: Staub, Zusammensetzung der Sterne

# SNAP

Supernova Acceleration Probe



- 2 m Teleskop, großes Gesichtsfeld: 600x Hubble
- Mehr als 2000 Supernovae sollen gemessen werden; Gravitationslinsen; tiefer Survey

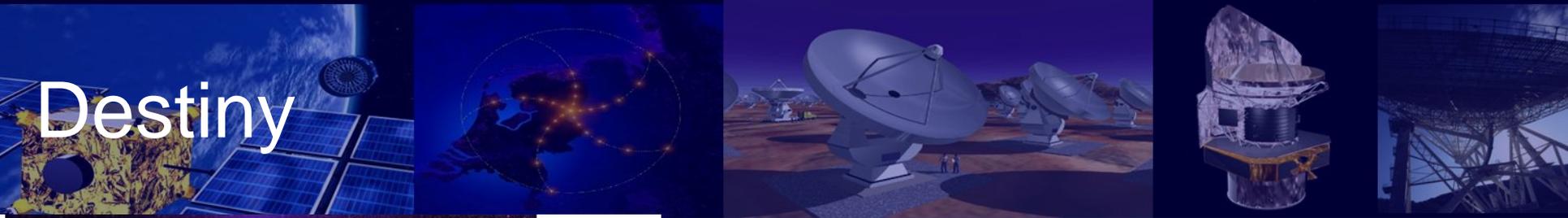




Multifrequenz-Beobachtungen  
in der Astronomie, Teil II  
Wintersemester 2007/8

**Update: Neue Teleskope  
„Beyond Einstein“  
Dark Energy Mission  
Destiny**

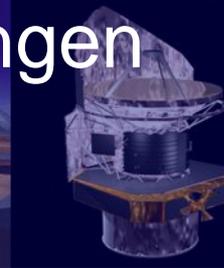
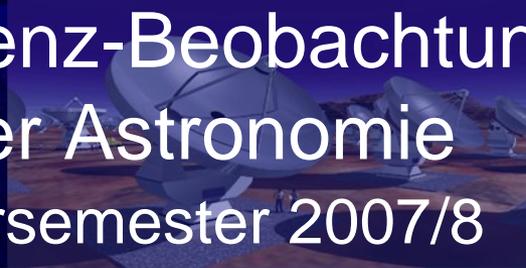
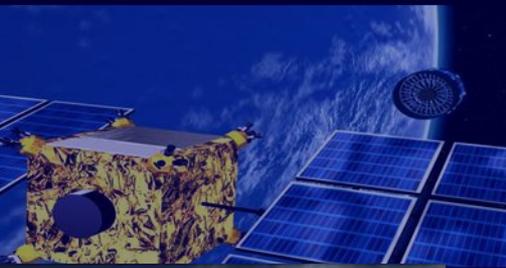
# Destiny



- Destiny: The Dark Energy Space Telescope
- Mehr als 3000 Supernovae um die Expansionsgeschichte des Universums zu bestimmen
- Danach: 1000 Quadratgrad des Himmels im Nahinfraroten um die Entwicklung der großräumigen Verteilung von Materie nach dem Urknall zu studieren
- 10fache Empfindlichkeit verglichen mit Bodenstationen
- Einfach, billig, statistische Präzision
- Simultane Spektren von allen Objekten im Feld

# Multifrequenz-Beobachtungen in der Astronomie

Wintersemester 2007/8



## Themen & Daten

- 19.10.: Überblick
- 02.11.: Erste Ergebnisse der Durchmusterungen
- 16.11.: Hochenergie-Astronomie
- 30.11.: Update: Neue Teleskope
- **14.12.: Dunkles (Materie & Energie)**



- 11.01: Multifrequenzkampagnen
- 25.01.: Mikrowellenhintergrund
- 08.02.: Virtuelle Observatorien