

Astro 121 – Einführung in die Astronomie

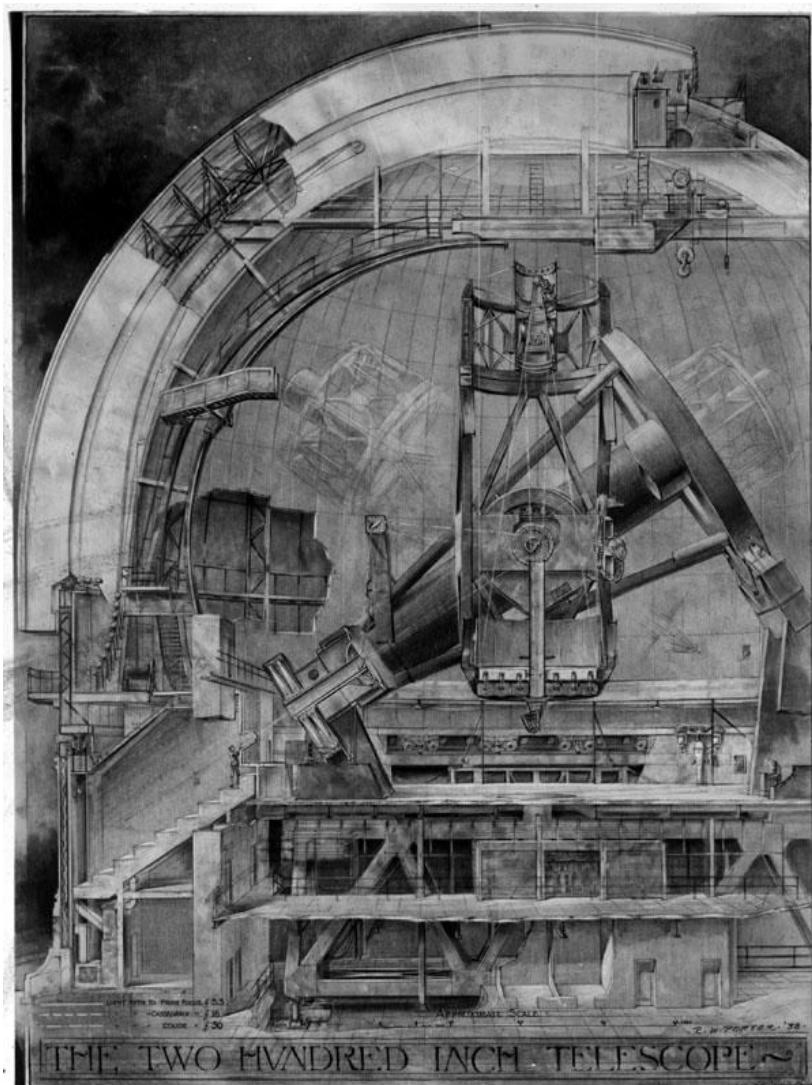
**Adaptive Optik – CCD Detektoren – Gravitationswellen –
Röntgen-, Radio- und Gamma-ray Teleskope**

Dr. Gunther Witzel

Max-Planck-Institut für Radioastronomie

(Folien ausgearbeitet von P.D. Dr. Jürgen Kerp)

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.wertmann.com>

Einer der größten Reflektoren ist das 5-m Hale Teleskop der **Mount Palomar Observatoriums.**

Mit 14.5 to Gewicht ist der Spiegel vergleichsweise leicht gegenüber der Montierung die 530 to wiegt.

Das Hale-Teleskop zeigte die technologischen Grenzen dieses klassischen Teleskopaugbaus auf. Die Kosten skalierten sich mit der Spiegeldurchmesser zu dritten Potenz. Damit ist klar, dass die Spiegelgröße nicht einfach vergrößert werden konnte.

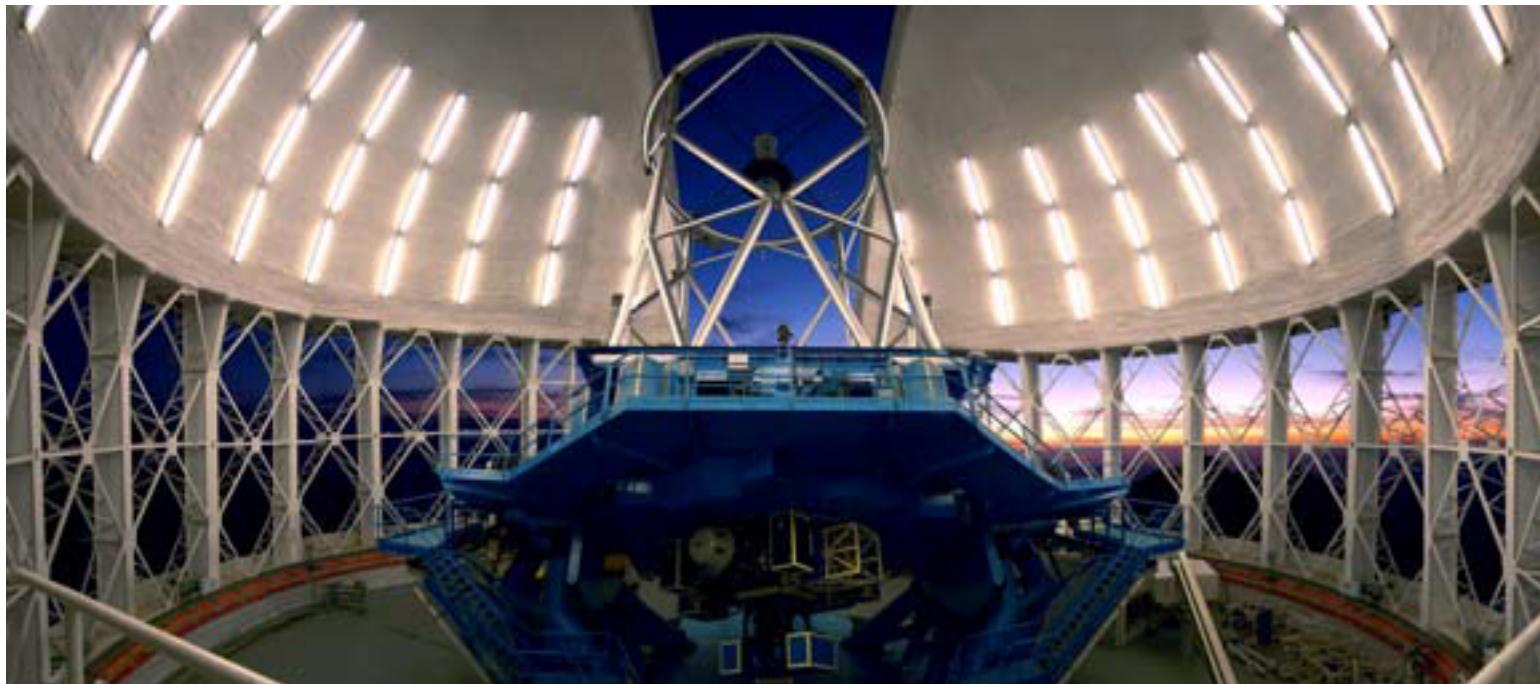
Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.photonics.com>

Um eine parabelförmige Oberfläche zu erzielen mussten 5 to Glas abgeschliffen werden. Der verbleibende Spiegel hat eine beträchtliche Dicke, damit seine Form auch bei großen Neigungen erhalten bleibt. Dies bedingt jedoch, dass seine thermische Zeitkonstante (Anpassung an die Umgebungstemperatur) circa 1. Woche beträgt.

Optische Teleskope: Reflektoren



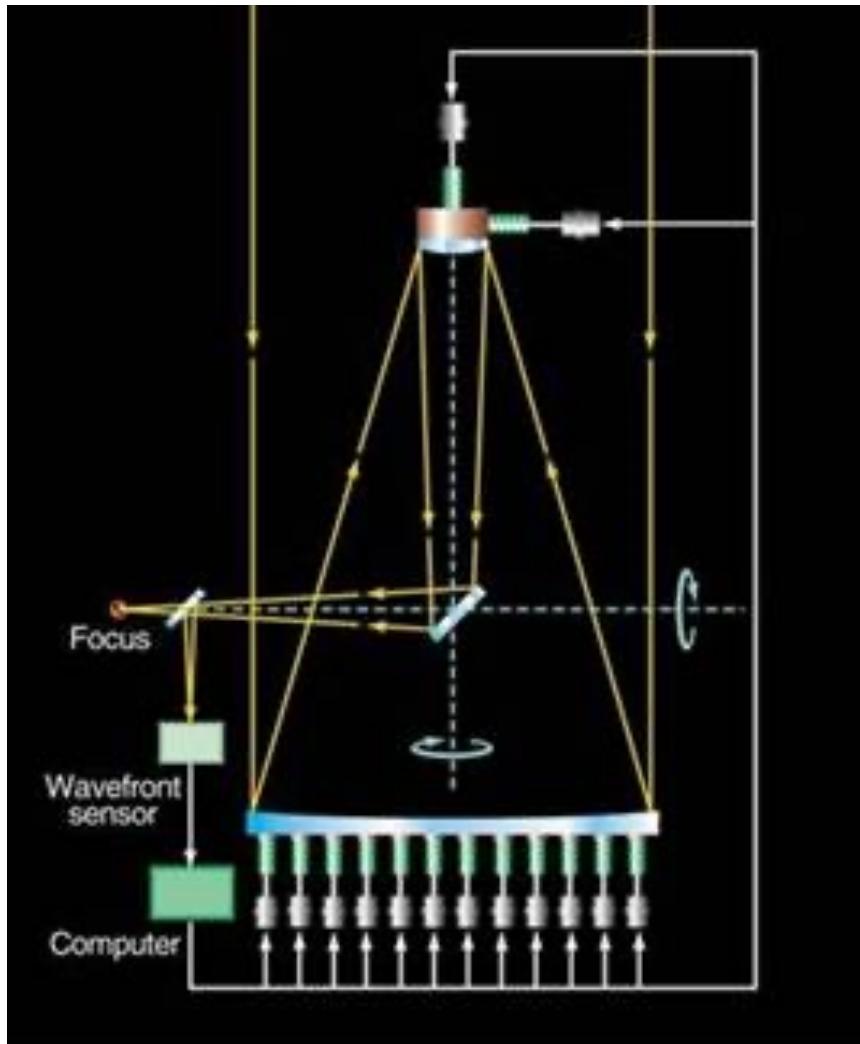
<http://www.gemini.edu>

Optische Teleskope: Reflektoren

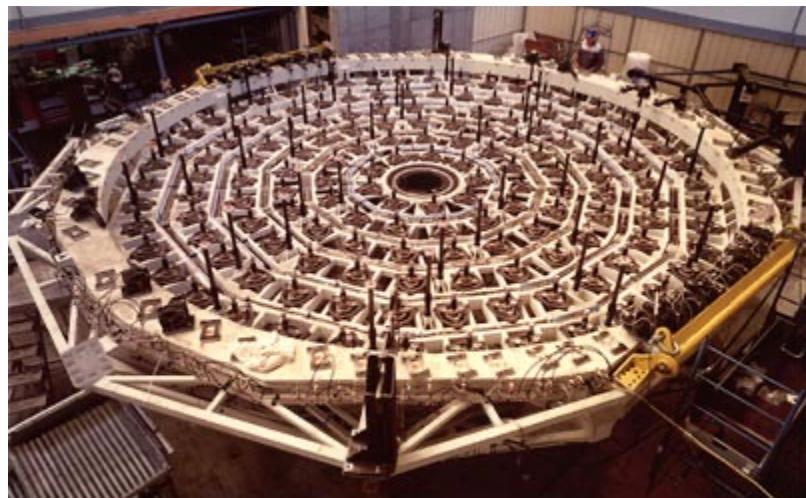


<http://www.ifa.hawaii.edu>

Optische Teleskope: Reflektoren



Heute werden Reflektoren bis zu einem Spiegeldurchmesser von circa 10m aufgebaut. Die Spiegel sind extrem dünn (~ 10 cm) und auf so genannten Aktuatoren gelagert. Diese deforieren den Spiegel in der Form, dass er stets die gewünschte Form eine Paraboloiden hat.



Active Mirror Support

ESO PR Photo 34a/99 (13 August 1999)

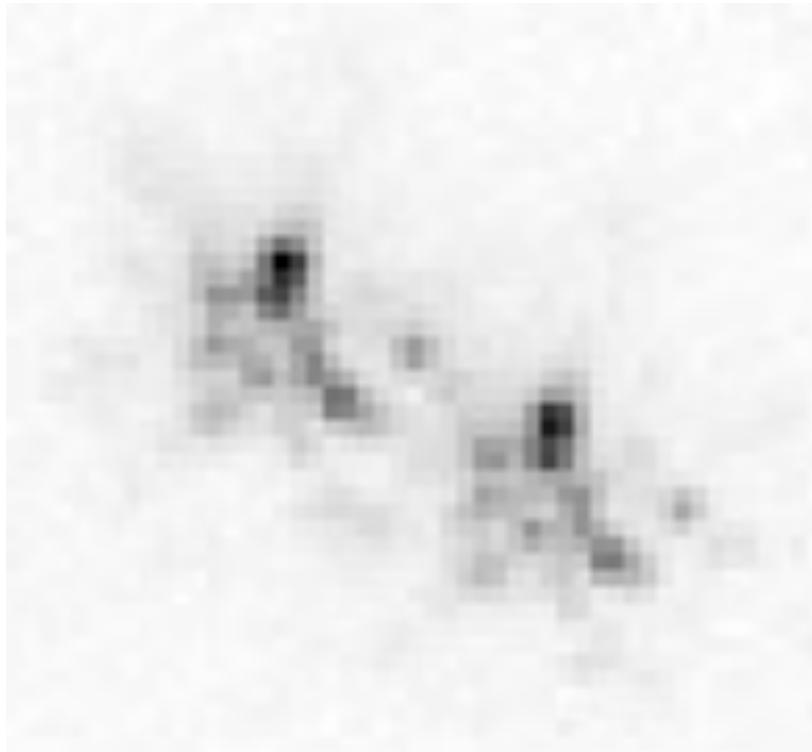
Adaptive Optik

Speckle Interferogramm



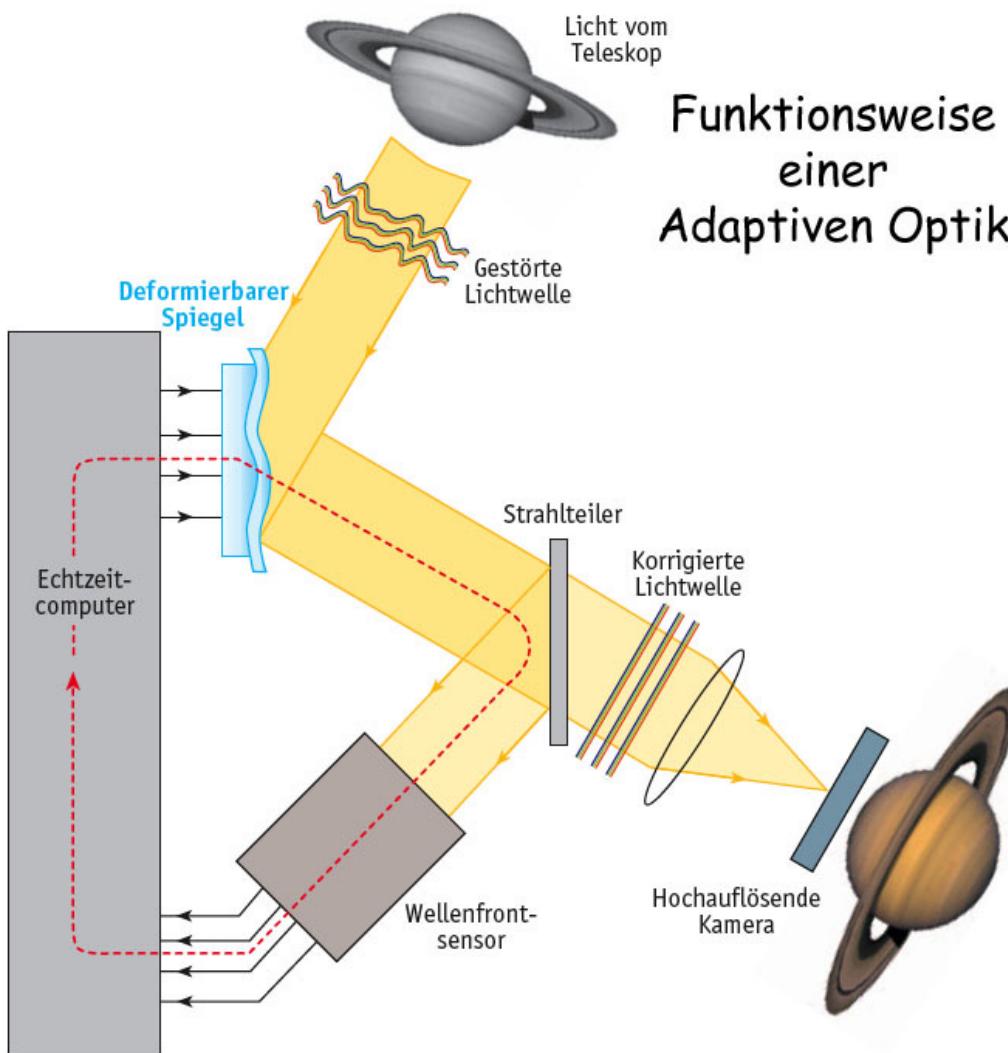
By Bob Tubbs (en:User:Rnt20) - Own work, CC BY-SA 3.0,
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=355249>

Speckle Interferogramm: Isoplanasie



Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=112662>

Adaptive Optik

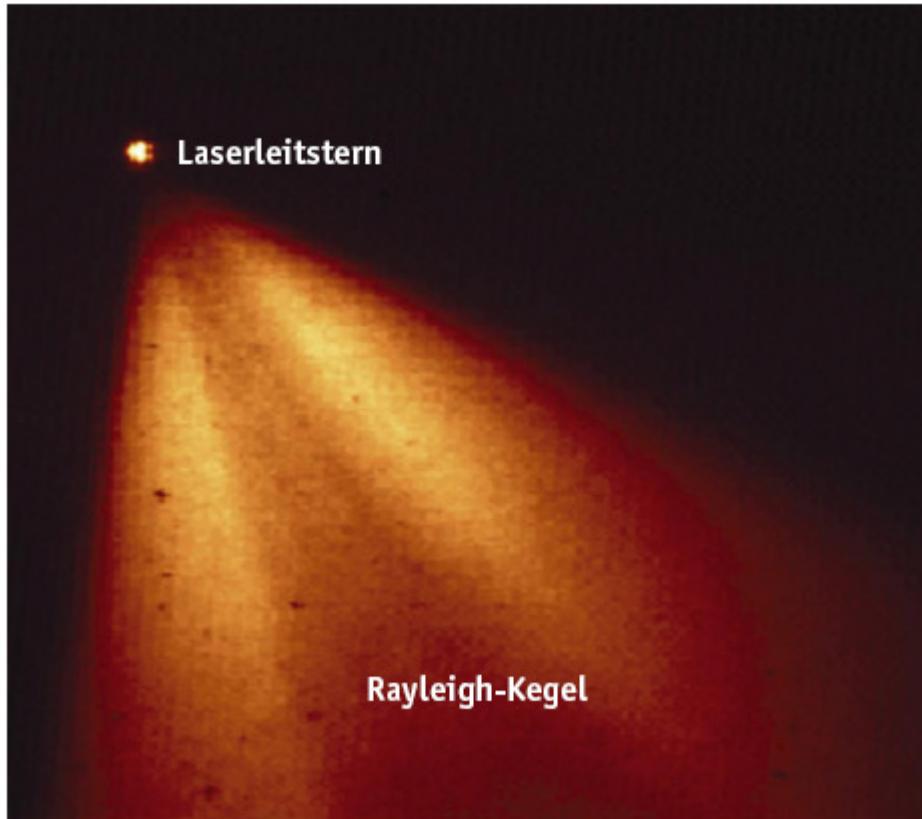


Funktionsweise
einer
Adaptiven Optik

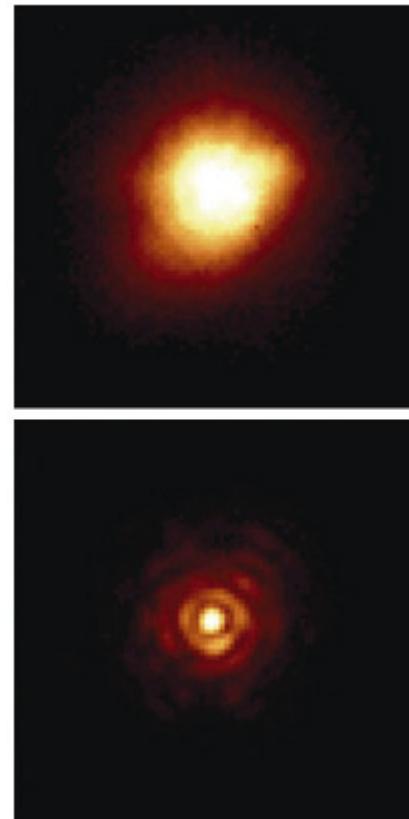
<http://www.mpia.mpg.de/homes/hippler/AOonline>

Die adaptive Optik korrigiert die Deformation der ebenen Wellenfront durch die turbulente Atmosphäre. Die Turbulenz verändert sich aus Zeitskalen von Bruchteilen einer Sekunde im optischen Wellenlängenbereich. Im infraroten Bereich ist die Zeitskala länger. Ein deformierbarer Spiegel kann die Wellenfront korrigieren. Hierbei dienen kleinste Aktuatoren für die Korrektur.

Adaptive Optik



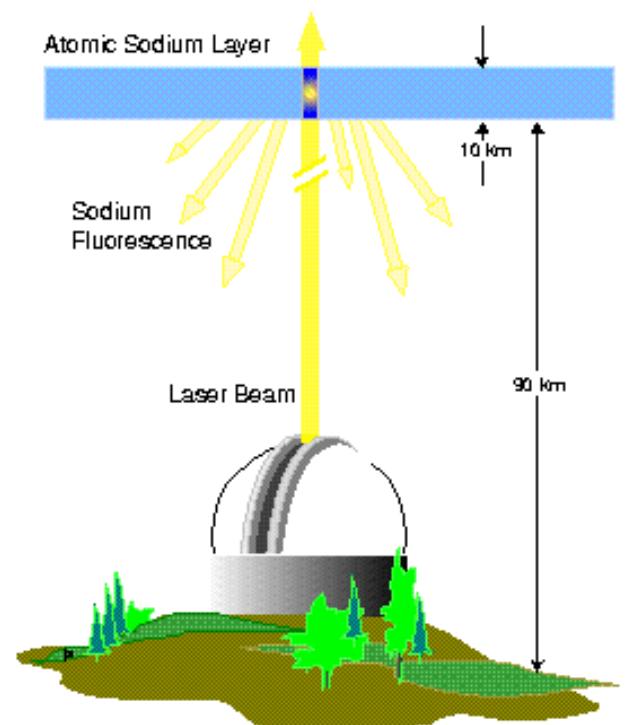
<http://www.mpi-a.mpg.de>



Adaptive Optik

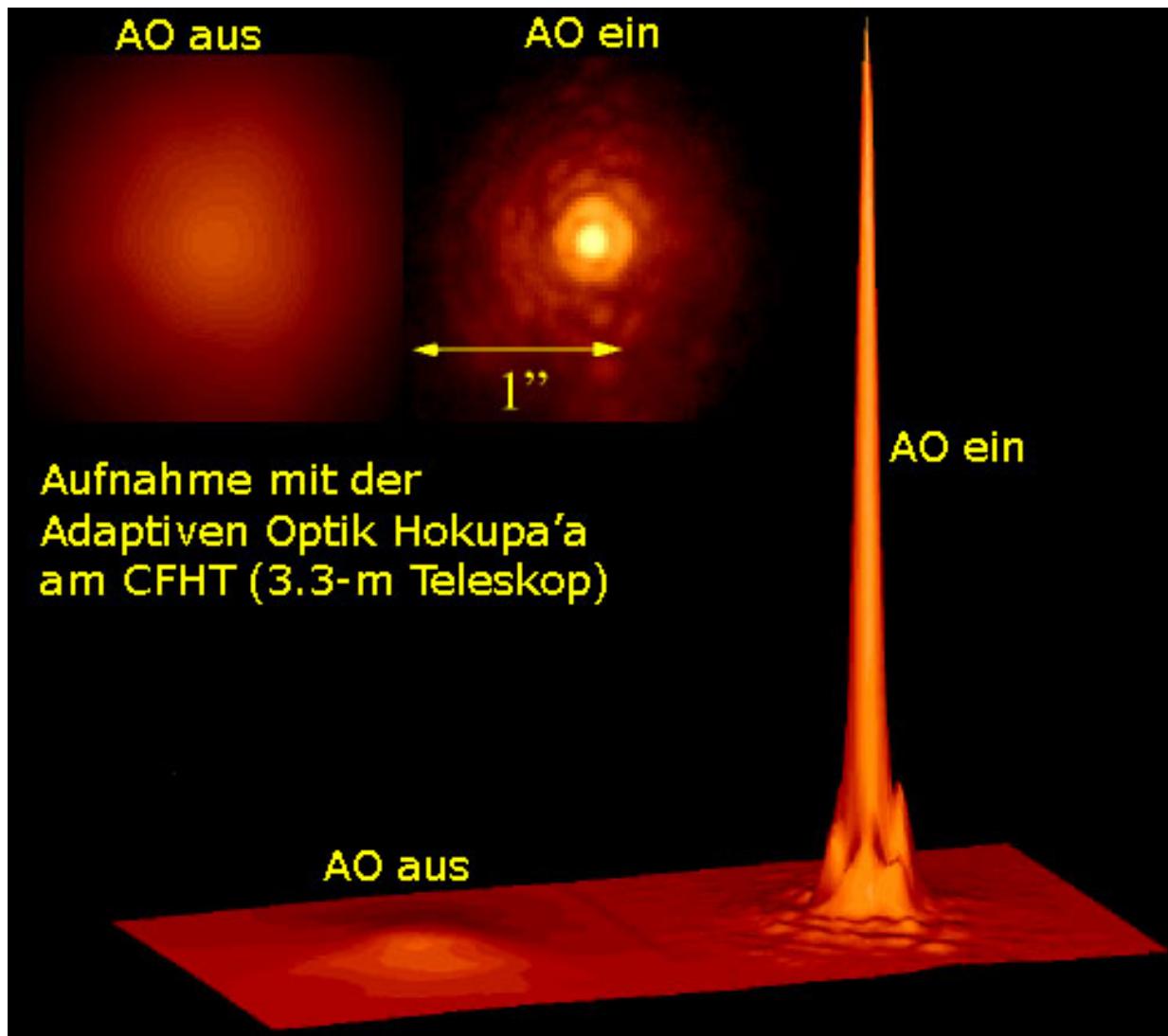


www.blueox.uoregon.edu



www.t4.lanl.gov

Adaptive Optik



<http://www.mpia.mpg.de>

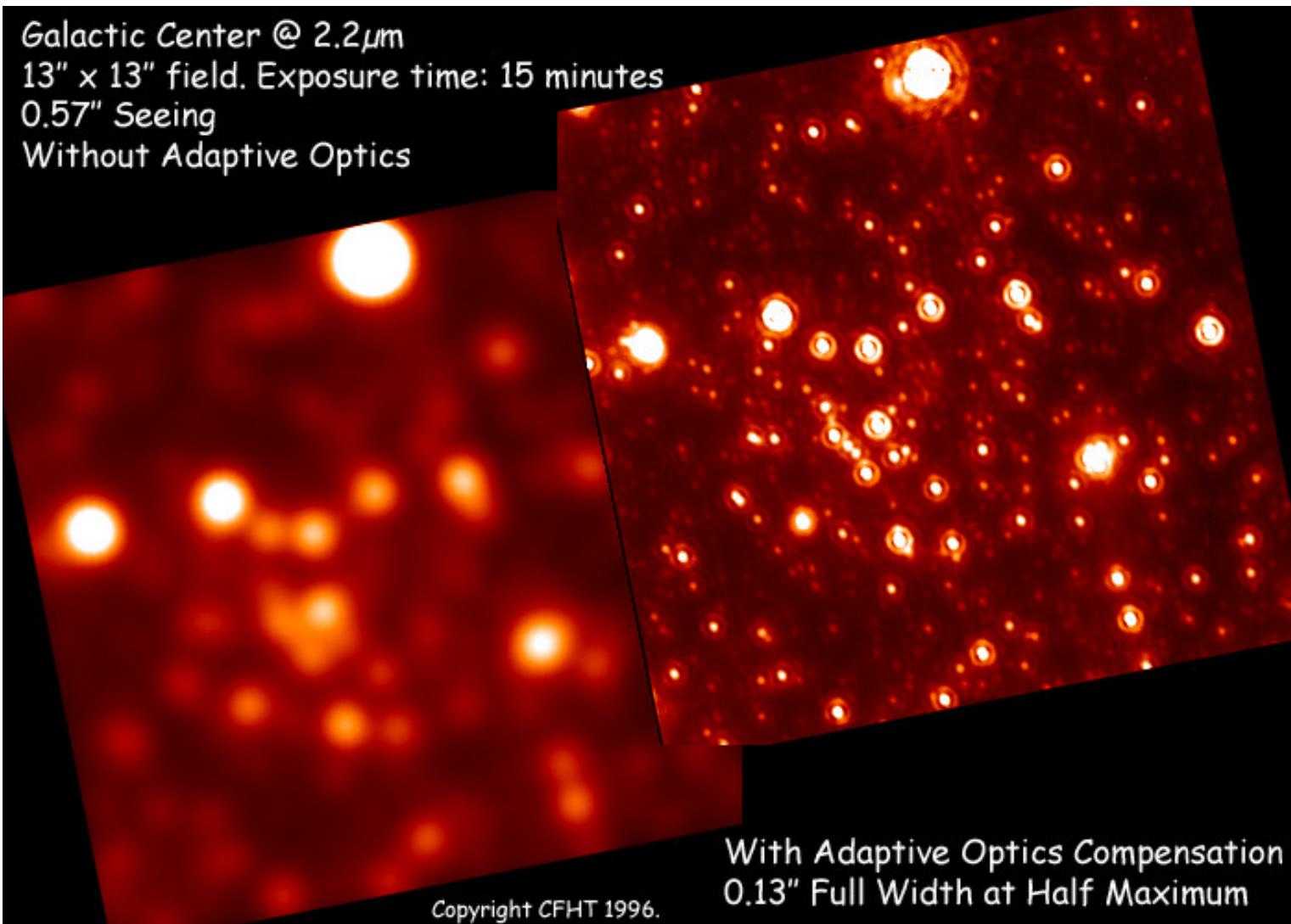
Adaptive Optik

Galactic Center @ $2.2\mu\text{m}$

13" x 13" field. Exposure time: 15 minutes

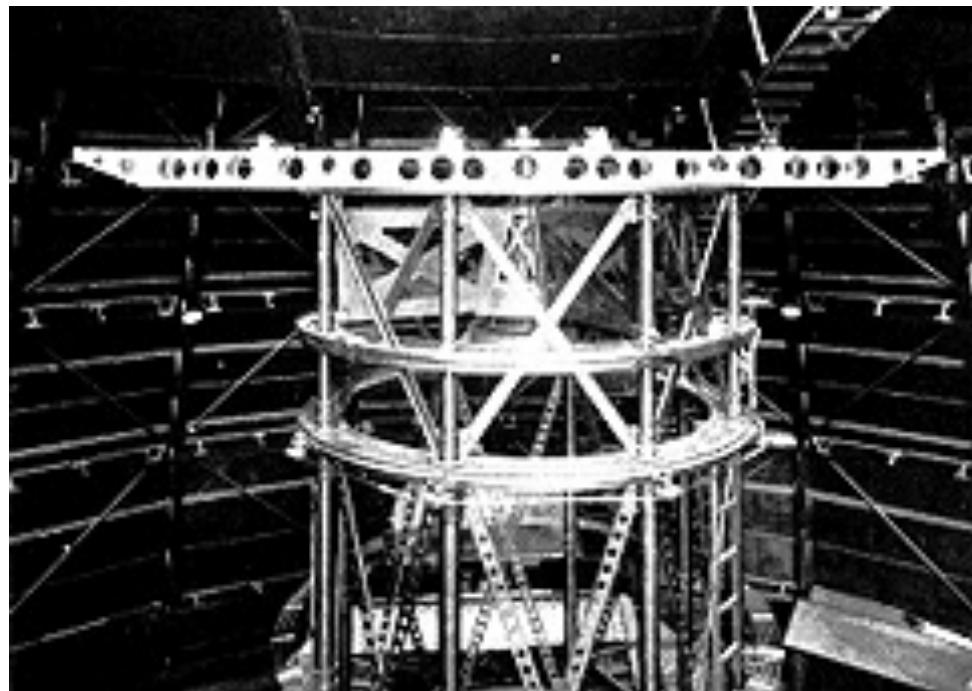
0.57" Seeing

Without Adaptive Optics

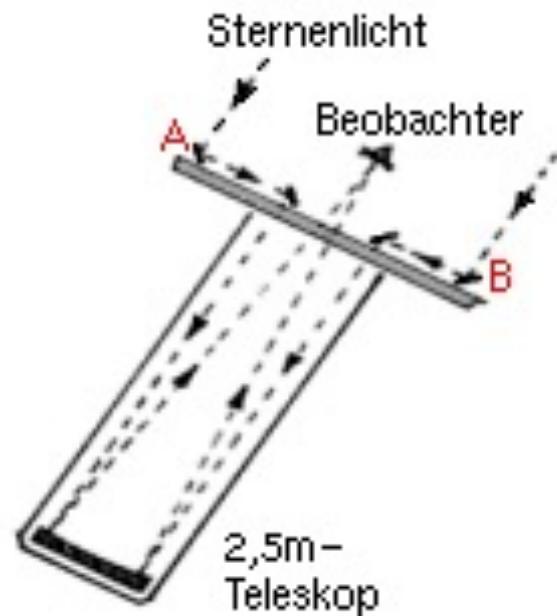


Optische Interferometrie

Optische Teleskope: Interferometer



<http://www.avgoe.de>

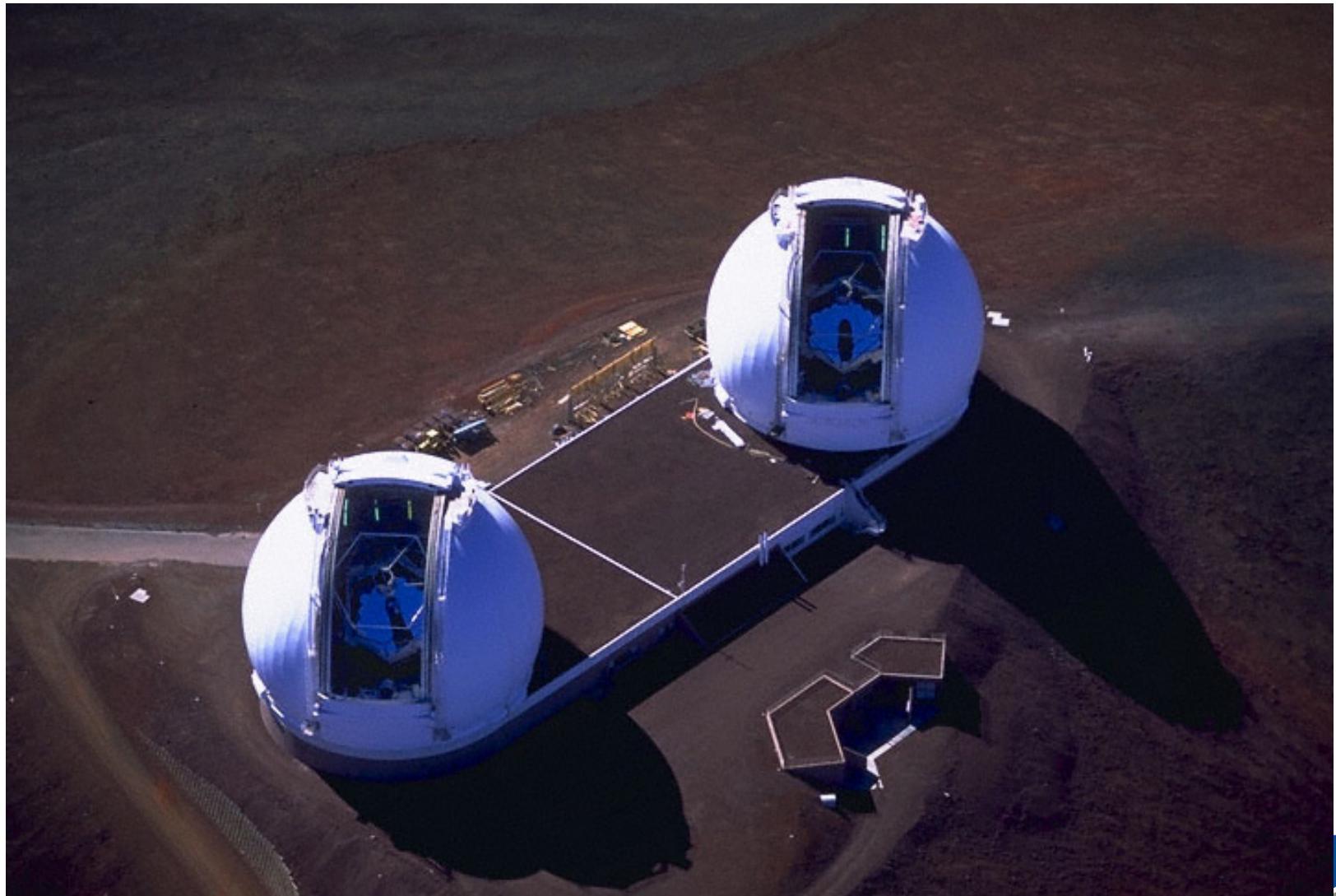


Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.mpg.de>

Optische Teleskope: Reflektoren



<http://www.ifa.hawaii.edu>

UNIVERSITÄT **BONN**

VLTI GRAVITY



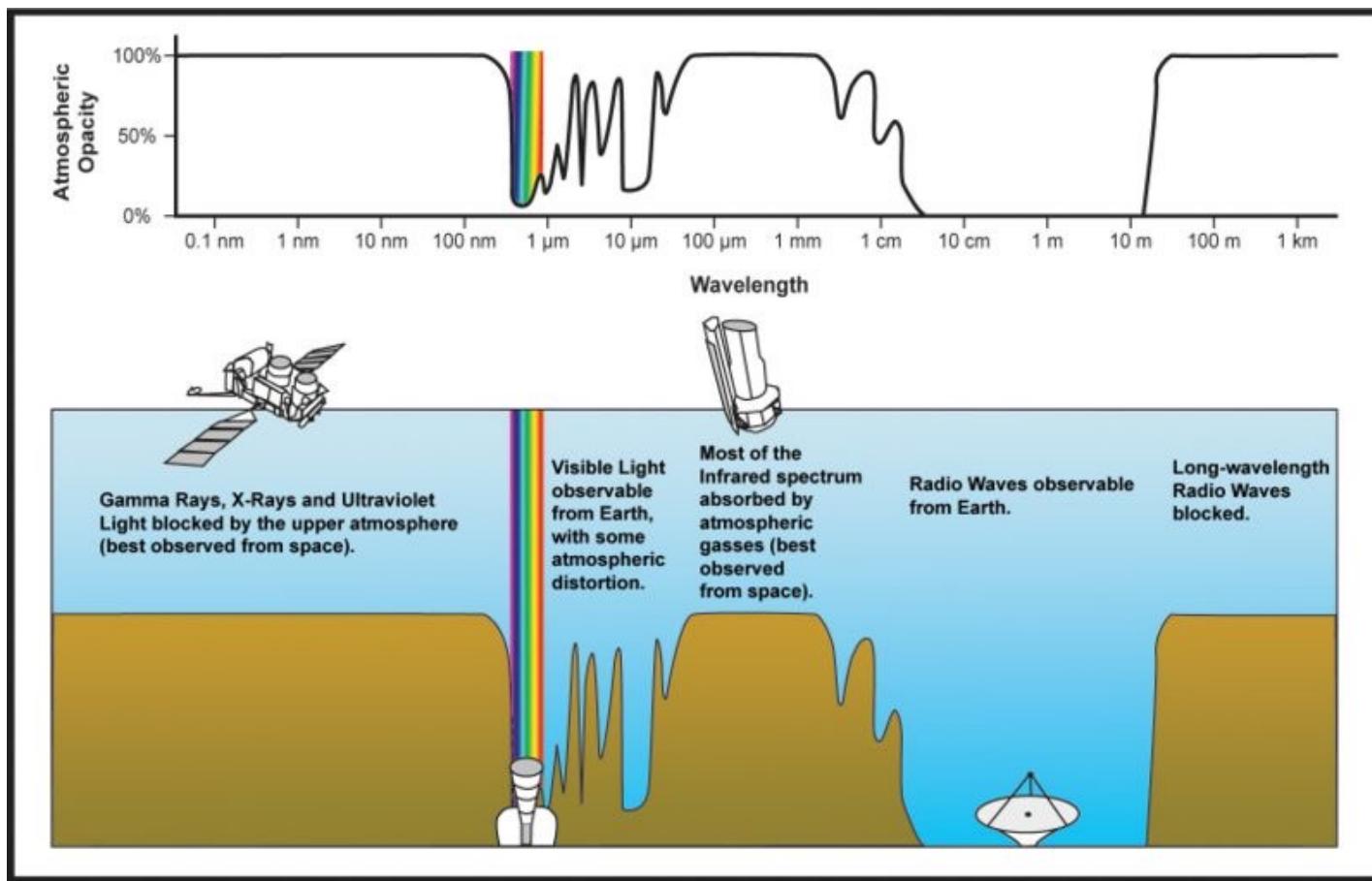
Bild: Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik



Teleskope die andere physikalische Prinzipien nutzen

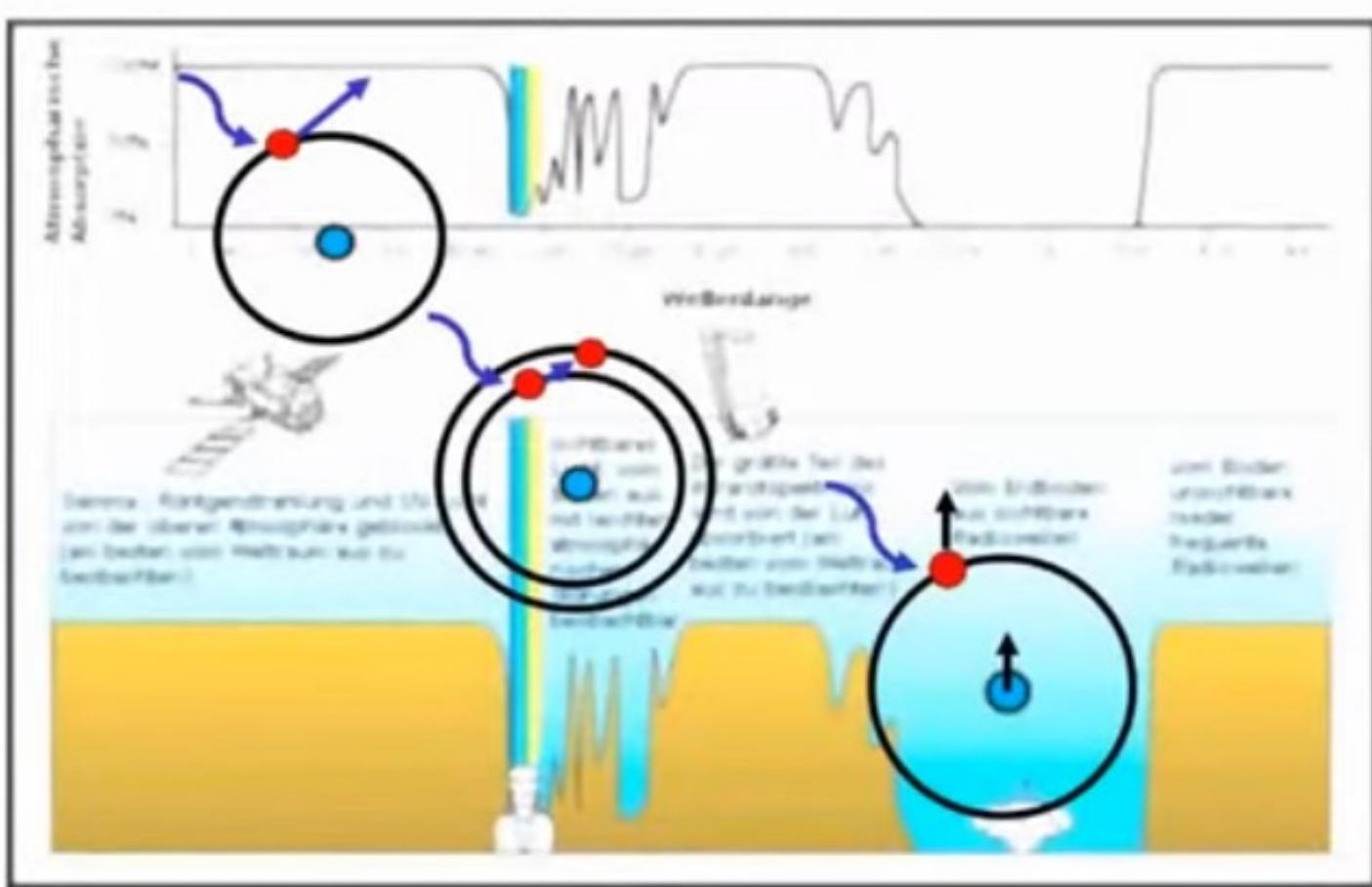
Radioteleskope

Beobachten im Radiobereich



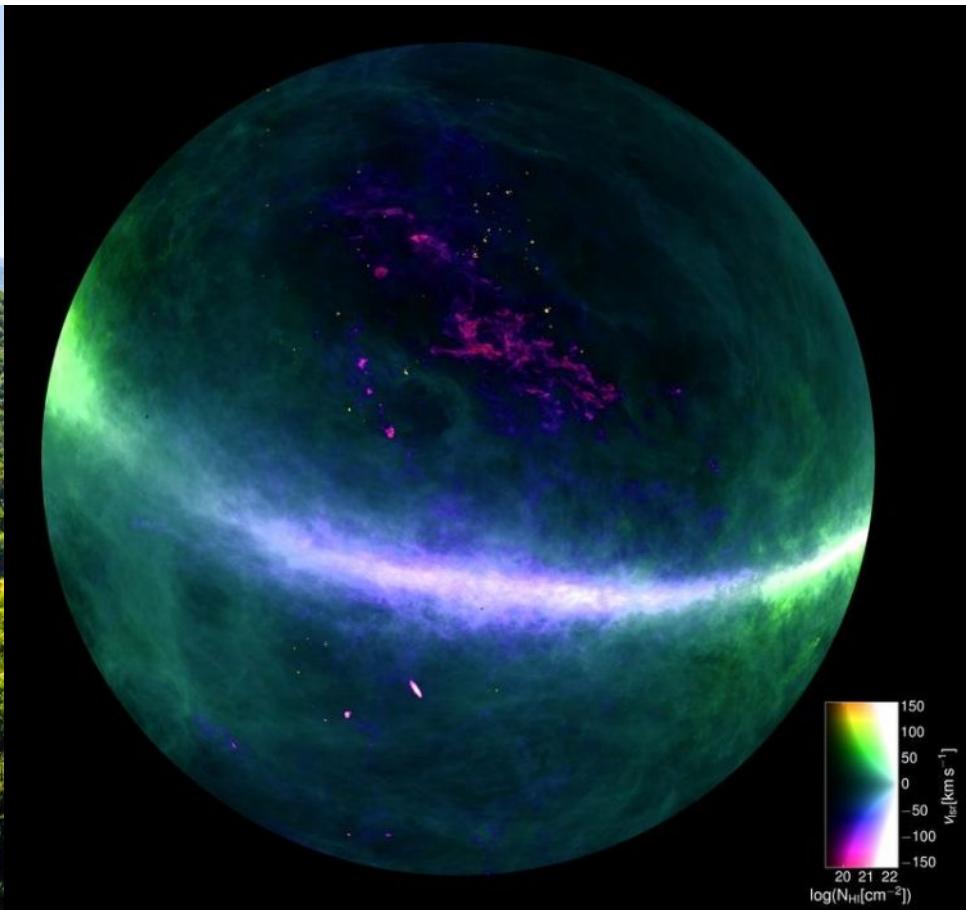
<http://en.wikipedia.org>

Beobachten im Radiobereich



J. Kerp

Der 21cm Himmel



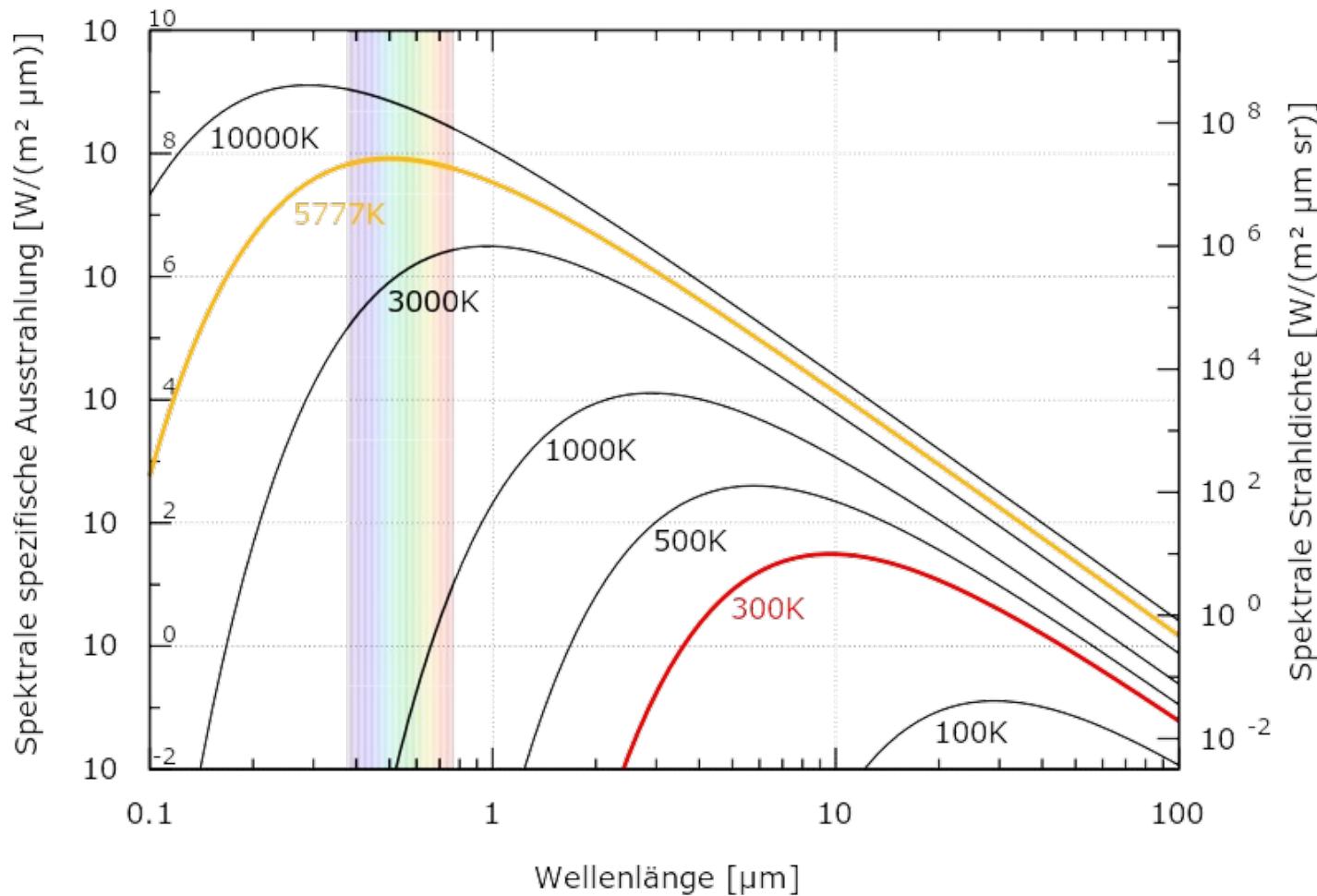
Der Effelsberg-Bonn HI Survey (J.
Kerp)

Thermo-graphie



Thermische Radiostrahlung

Plancksches Strahlungsspektrum



Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum



Record.

Than Year to Identity ..
From Earth's Galaxy.

ITS INTENSITY IS LOW

Only Delicate Receiver Is Able to Register—No Evidence of Interstellar Signaling.

Discovery of mysterious radio waves which appear to come from the centre of the Milky Way galaxy was announced yesterday by the Bell Telephone Laboratories. The discovery was made during research studies on static by Karl G. Jansky of the radio research department at Holmdel, N. J., and was described by him in a paper delivered before the International Scientific Radio Union in Washington.

The galactic radio waves, Mr. Jansky said, differ from the cosmic rays and also from the phenomenon of cosmic radiation, described last week before the American Philosophical Society at Philadelphia by

E. M. Slipher, director of Observatory at Flag-

receiver and the source.

A preliminary report, published in the Proceedings of the Institute of Radio Engineers last December described studies which showed the presence of three separate groups of static: Static from local thunderstorms, static from distant thunderstorms, and a "steady hiss type static of unknown origin." Further studies this year determined the unknown origin of this third type to be from the direction of the centre of the Milky Way, the earth's own home galaxy.

Direction of Arrival Fixed.

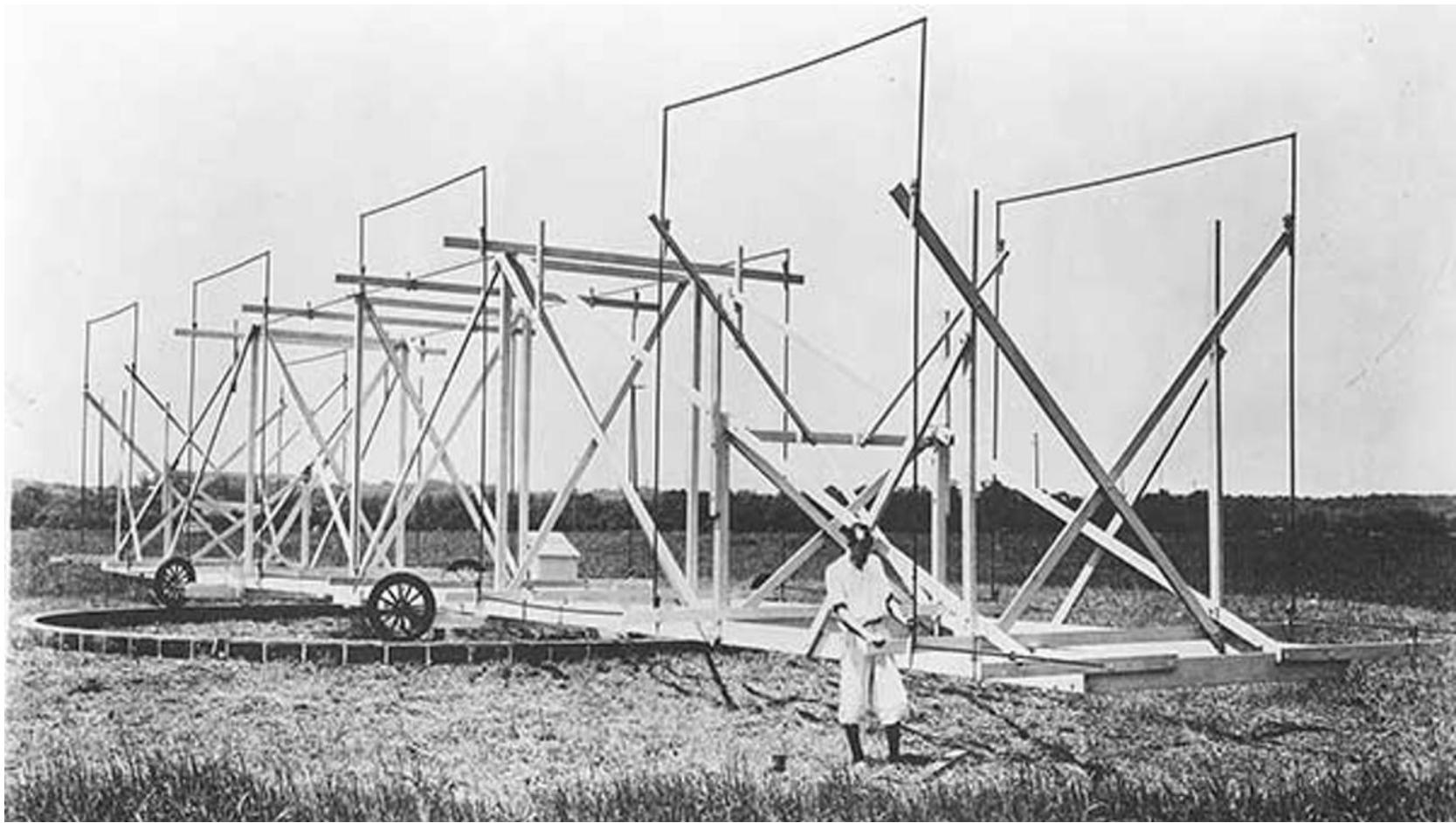
The direction from which these waves arrive, the announcement asserts, has been determined by investigations carried on over a considerable period. Measurements of the horizontal component of the waves were taken on several days of each month for an entire year, and by an analysis of these readings at the end of the year their direction of arrival was disclosed.

"The position indicated," it was explained, "is very near to the point where the plane in which the earth revolves around the sun crosses the centre of the Milky Way, and also to that point toward which the solar system is moving

respect to the other stars."

Karl Guthe Jansky 1932

Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum



Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum

Grote Reber



NRAO/AUI/NSF



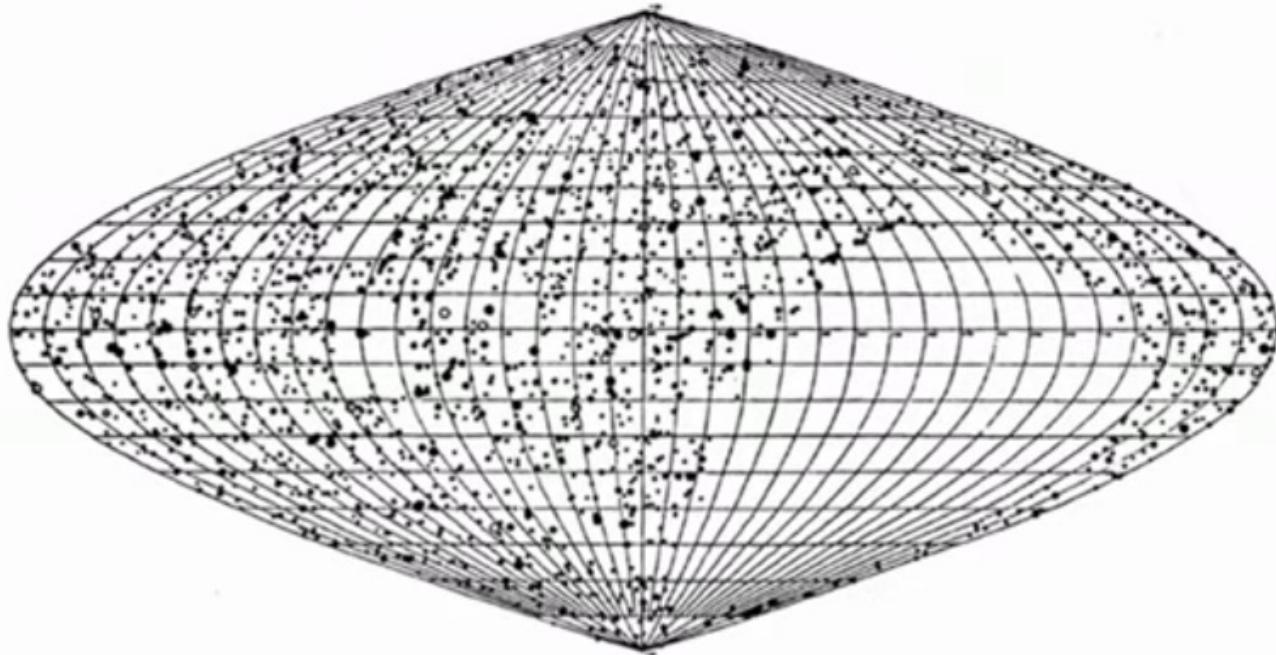
Grote Reber's map of the radio sky showing radiation concentrated along the plane of the Milky Way with a large maximum (11 units) in Sagittarius (the center of our galaxy) and smaller maxima in Cygnus (3 units) and Cassiopeia (2 units). The map was made in 1944 at a wavelength of 1.9 meters.

Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum



Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum

2nd Cambridge
Radio Survey



195

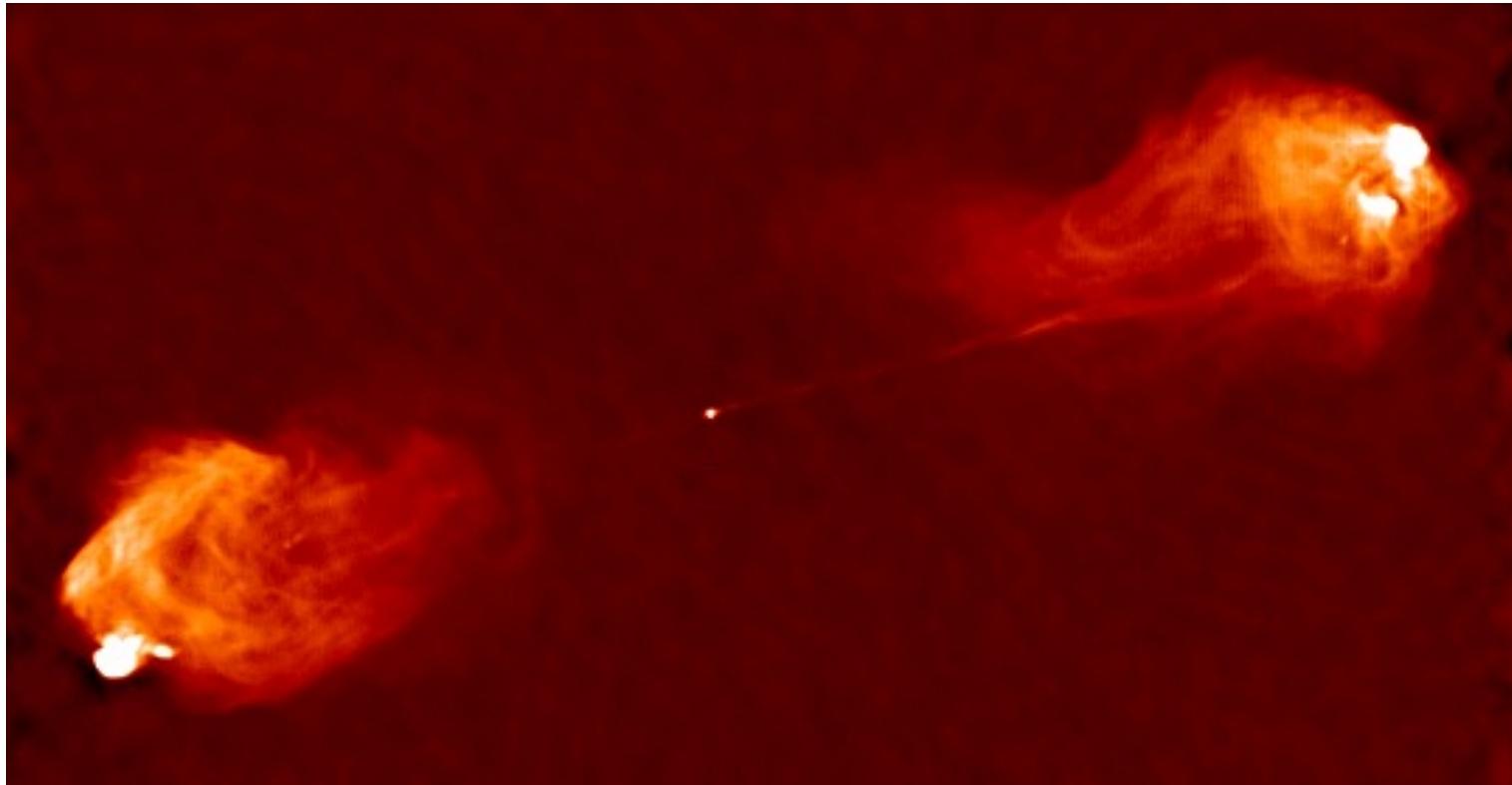
5

Doch wir empfangen Radiowellen aus dem Universum



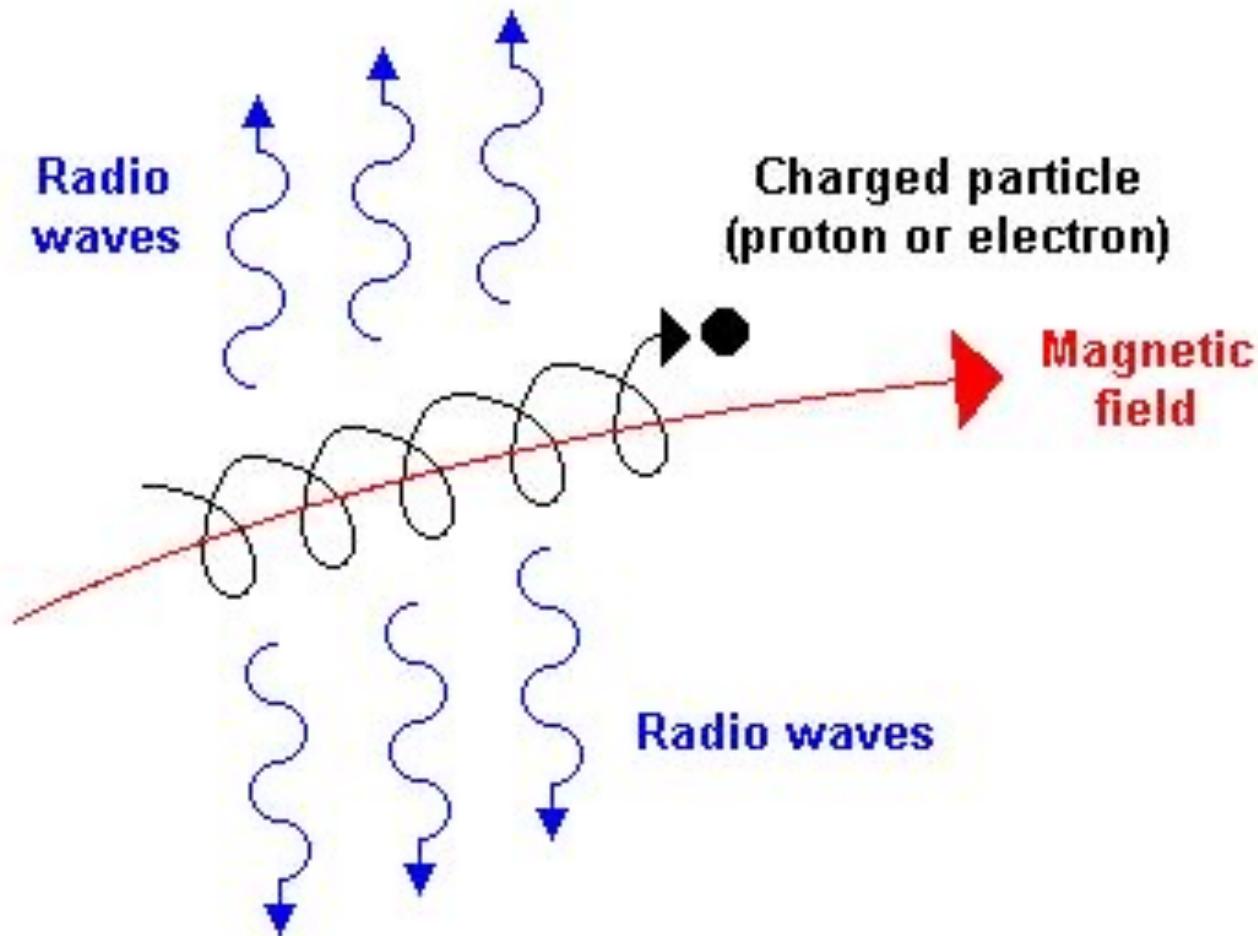
ESO/L. Calçada

Cygnus A - Radiojet



The jets of Cygnus A (3C 405), 4.8 GHz VLA map courtesy of C. Carilli

Synchrotronstrahlung



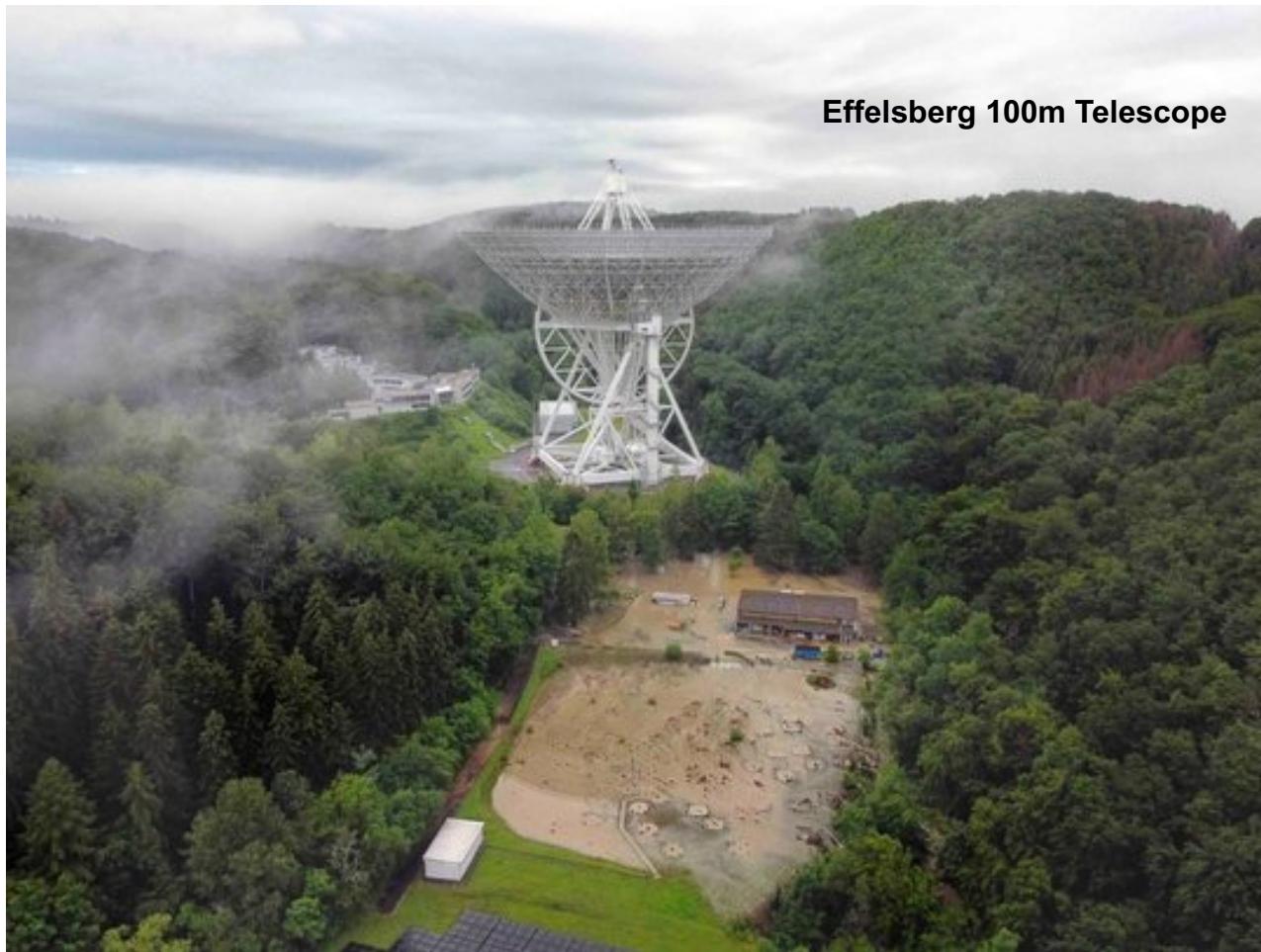
nrumiano

Effelsberg Telescope



2021: 50 year anniversary





Effelsberg 100m Telescope

Credit: Norbert Tacken/MPIfR

APEX



IRAM 30m, Pico Veleta



NOEMA



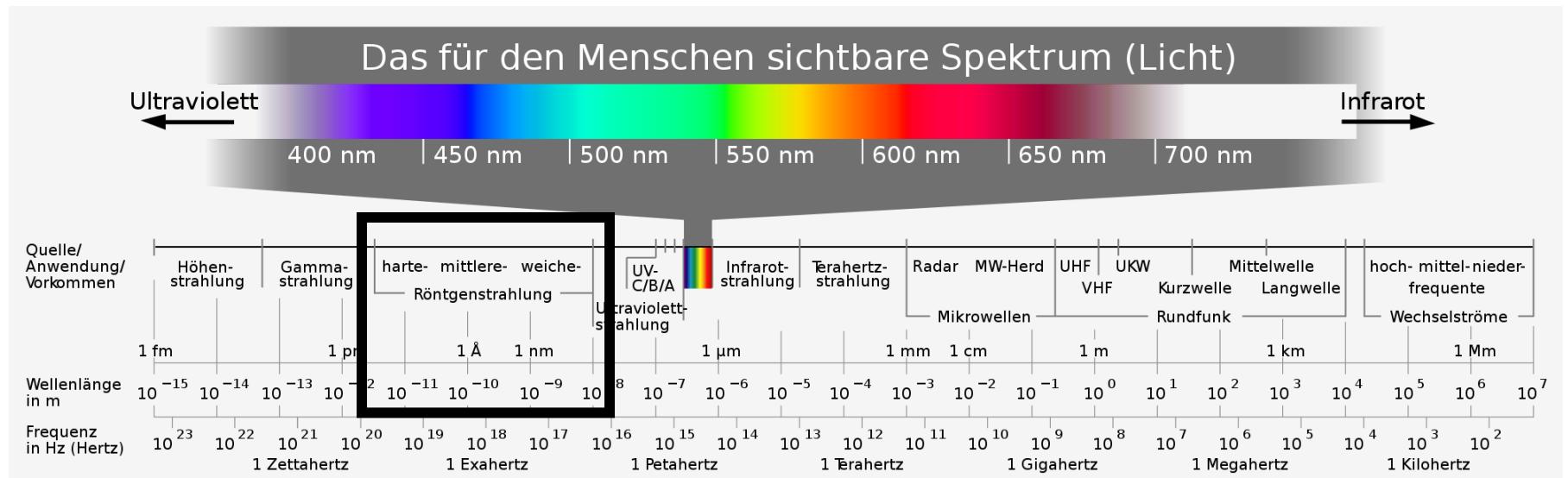
The game changer for the image quality of the EHT: The Atacama Large Millimeter Array in Chile



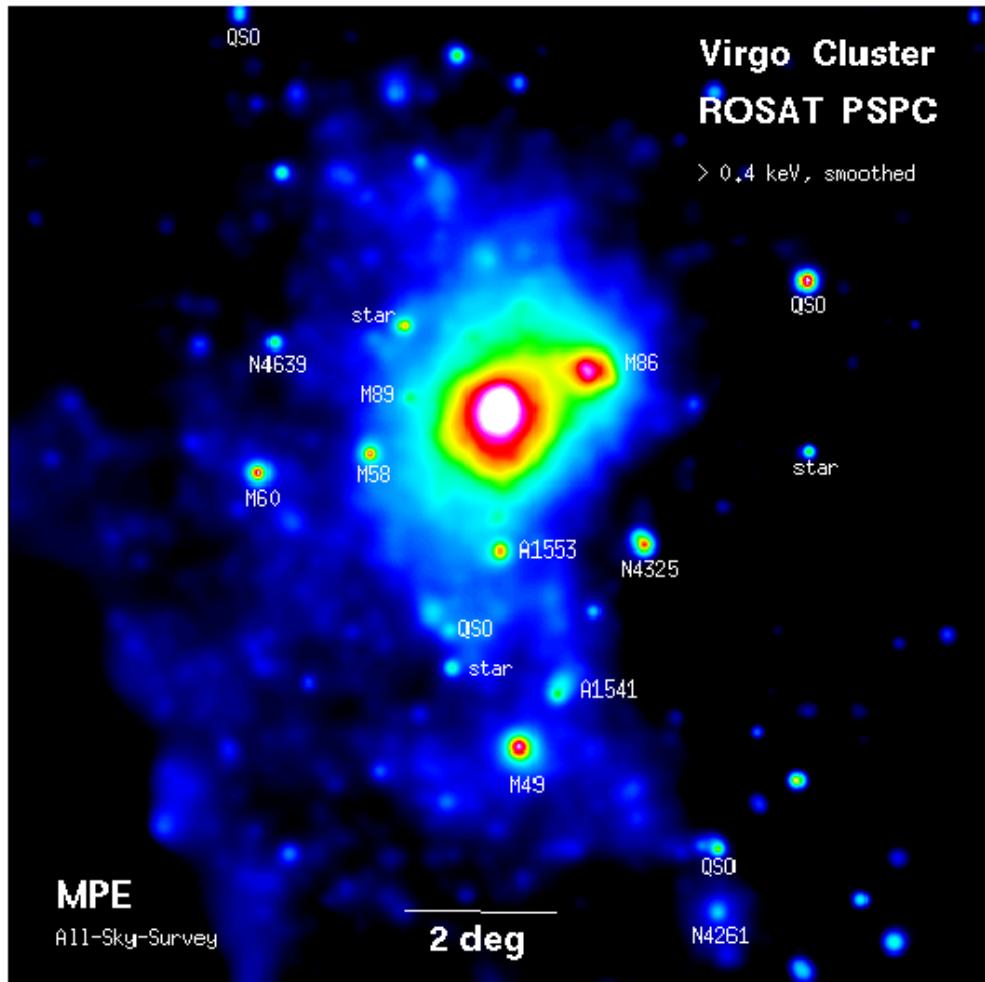
National Geographic

Röntgenstrahlung

Röntgenbereich



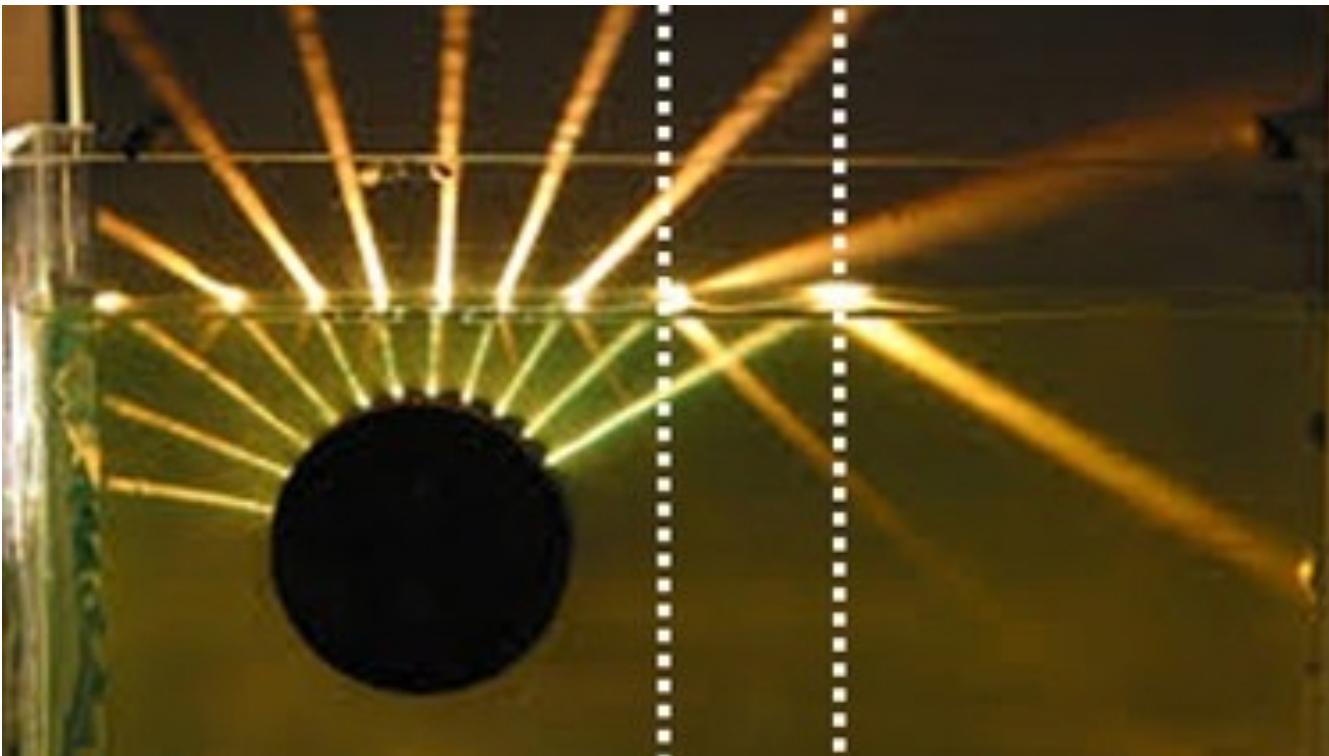
Röntgenteleskope



<http://www.mpe.mpg.de>

Der Röntgenbereich umfasst die sehr energetischen Photonen von 0.1 bis 30 keV. Diese Energien entsprechen Temperaturen von mehreren Millionen Grad Kelvin. Im Röntgenbereich ist der größte Anteil der baryonischen Materie nachweisbar. Beispielhaft besitzen alle Galaxienhaufen mehr Materie in Form des heißen Röntgengases als in Form von Galaxien. Die Röntgenstrahlung leuchtet das gravitative Potential der Dunklen Materie aus.

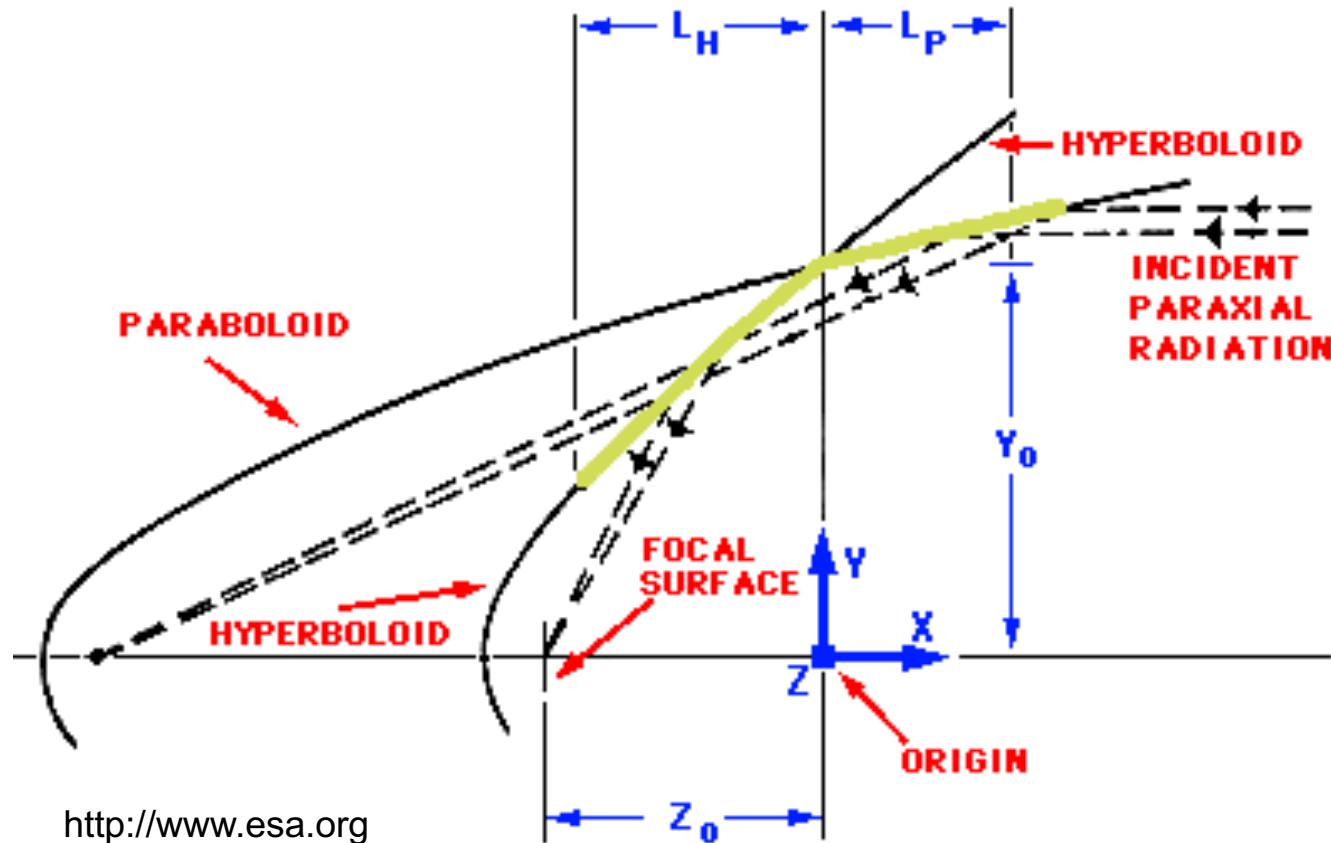
Röntgenteleskope: Totalreflexion



<http://de.wikipedia.org>

Die Photonen des Röntgenbereichs durchdringen klassische Spiegel und Linsen, daher können sie nur fokussiert werden, wenn wir die **Totalreflexion** nutzen. Dabei tritt in einem bestimmten Winkel kein Übergang in ein optisch dünneres Medium auf, sondern eine vollständige Reflexion der Strahlung.

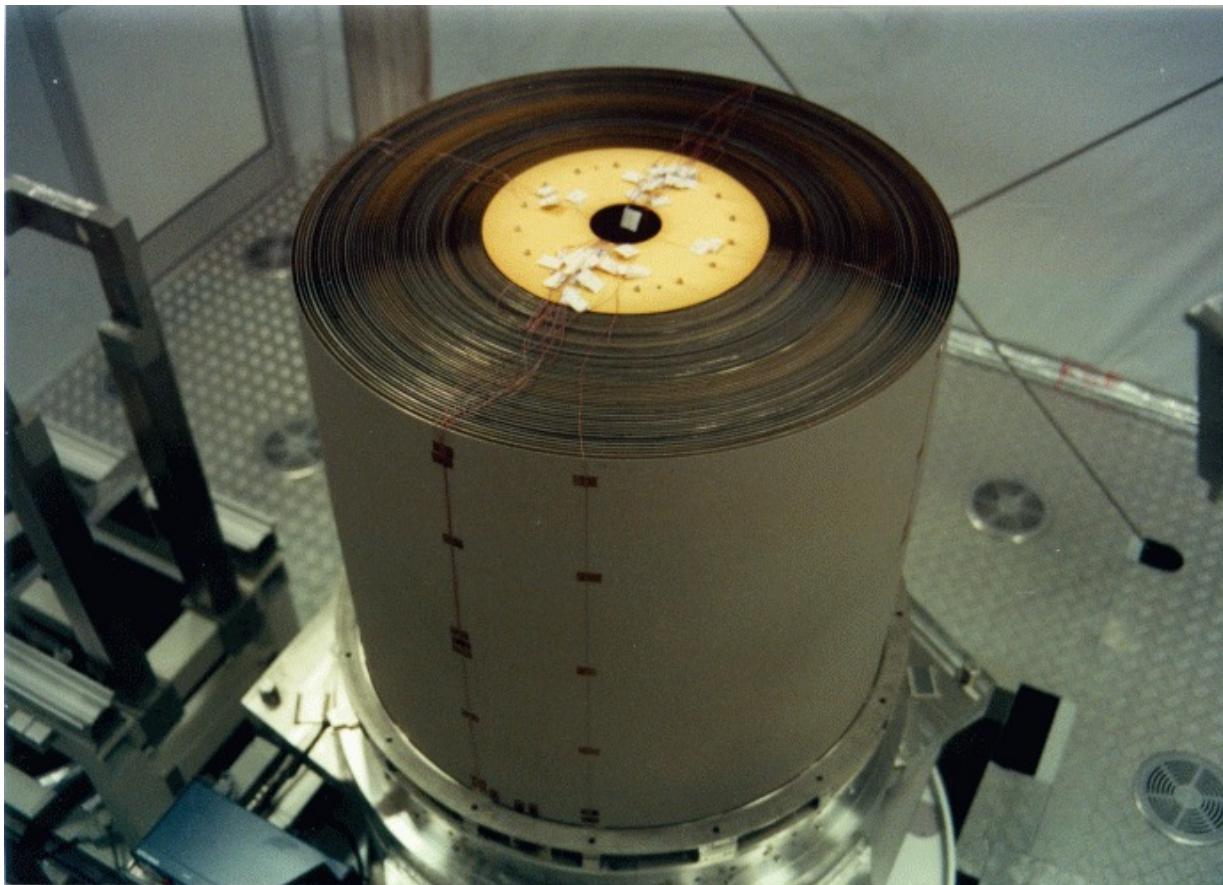
Röntgenteleskope: Wolter Typ-2 Spiegel



<http://www.esa.org>

Das **Wolter Spiegelsystem** nutzt die Totalreflexion und lenkt die Photonen mittels eines hyperbolischen Spiegels um etwa 1° ab. Dann reduziert ein parabolisches Spiegelsystem die Brennweite nochmals.

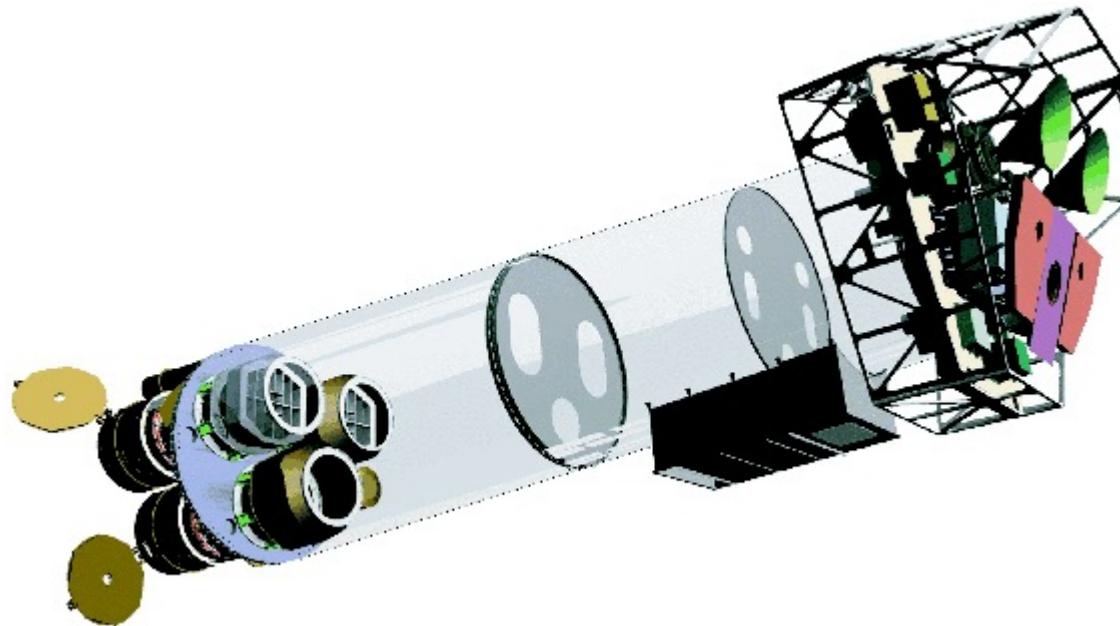
Röntgenteleskope



<http://heasarc.gsfc.nasa.gov>

Die Größe eines Röntgenteleskops bzw. seine sammelnde Oberfläche ist bestimmt durch die Anzahl der ineinander geschachtelten Spiegel. Die Güte der Abbildung ist bestimmt durch die Rauhigkeit der Oberfläche und der Zentrierung der Spiegel auf die optische Achse.

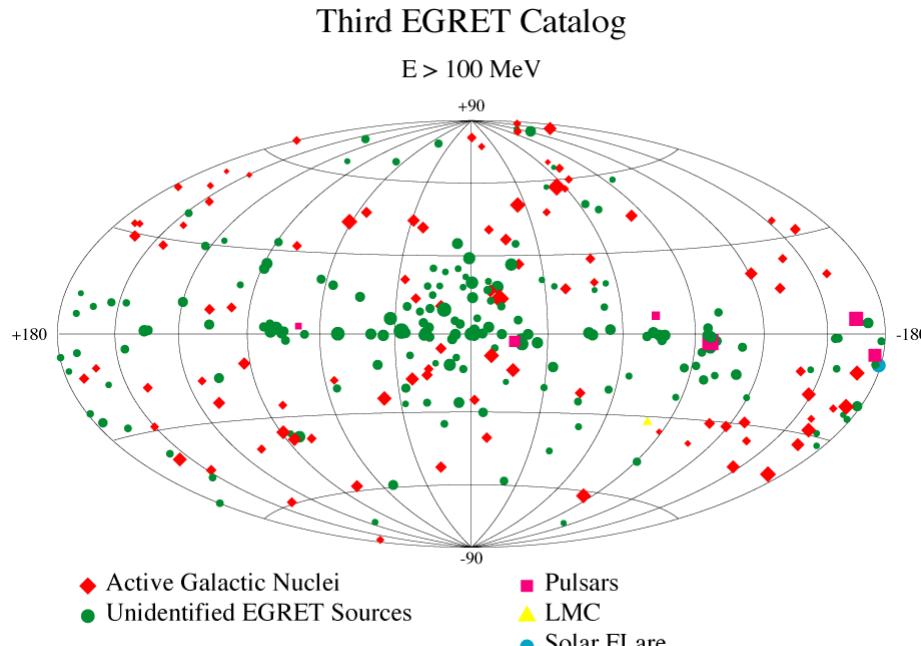
Röntgenteleskope



<http://www.esa.org>

Das **XMM-Newton Röntgenteleskop** ist das größte Observatorium im Röntgenbereich. Es wird von der ESA seit 1999 betrieben und besteht aus drei großen Spiegelsystemen. Parallel können fünf verschiedenen Beobachtungstechniken bei der Beobachtung eines Objektes verwendet werden.

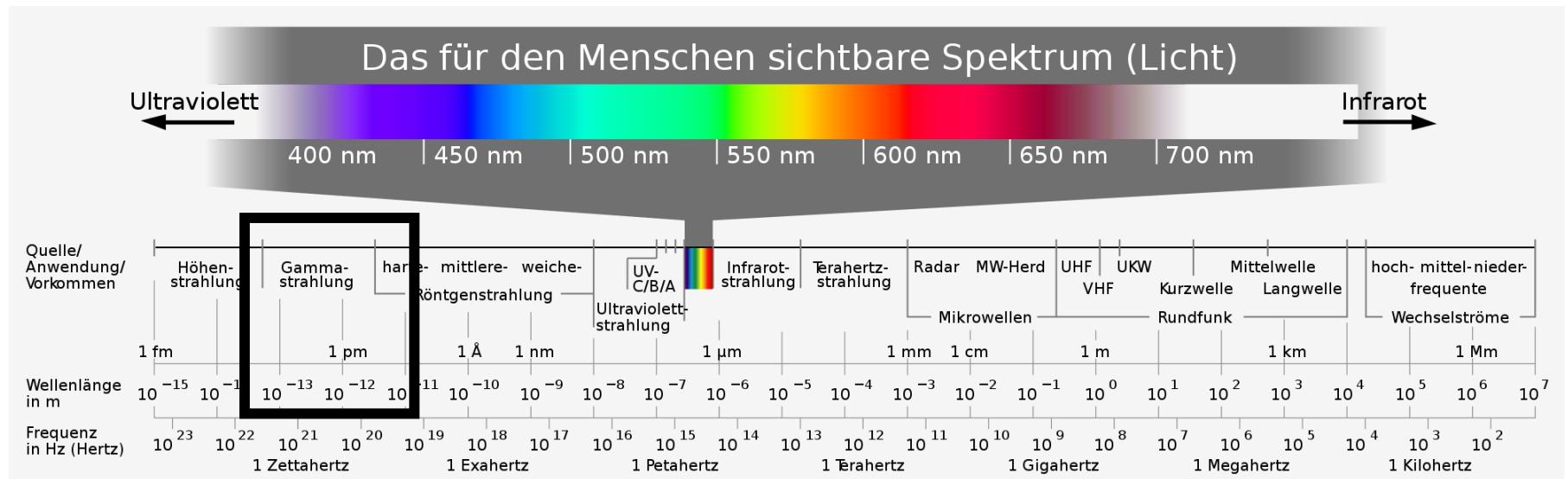
Gamma-Teleskope



<http://heasarc.gsfc.nasa.gov>

Es existieren zahlreiche Quellen am Himmel die extrem energiereiche Photonen emittieren. Diese Photonen sind sehr selten und daher ist unser Wissen noch gering. Jedoch ist diese energiereiche Strahlung von erheblicher wissenschaftlicher Bedeutung, da Photonen unbeeinflusst von magnetischen Feldern von ihrem Entstehungsort bis zum Teleskop gelangen.

Gamma-ray Bereich

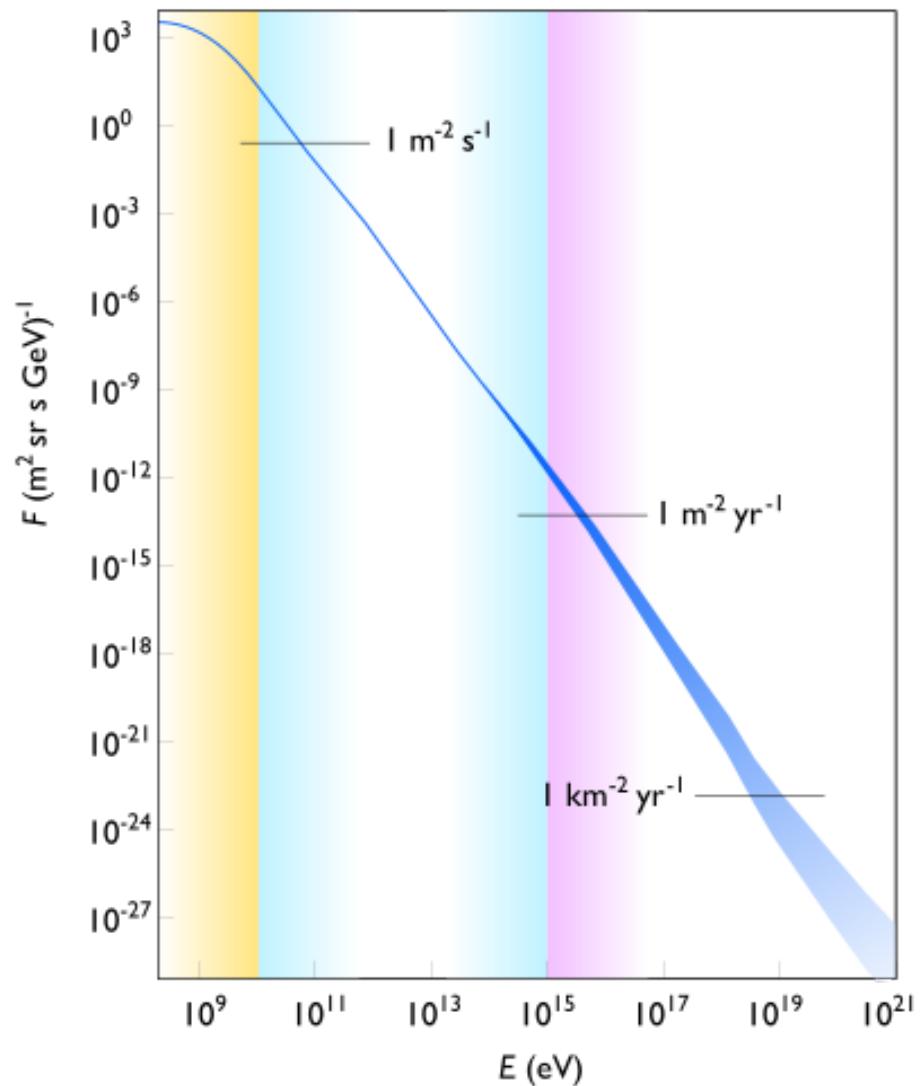


Gamma-ray Teleskope

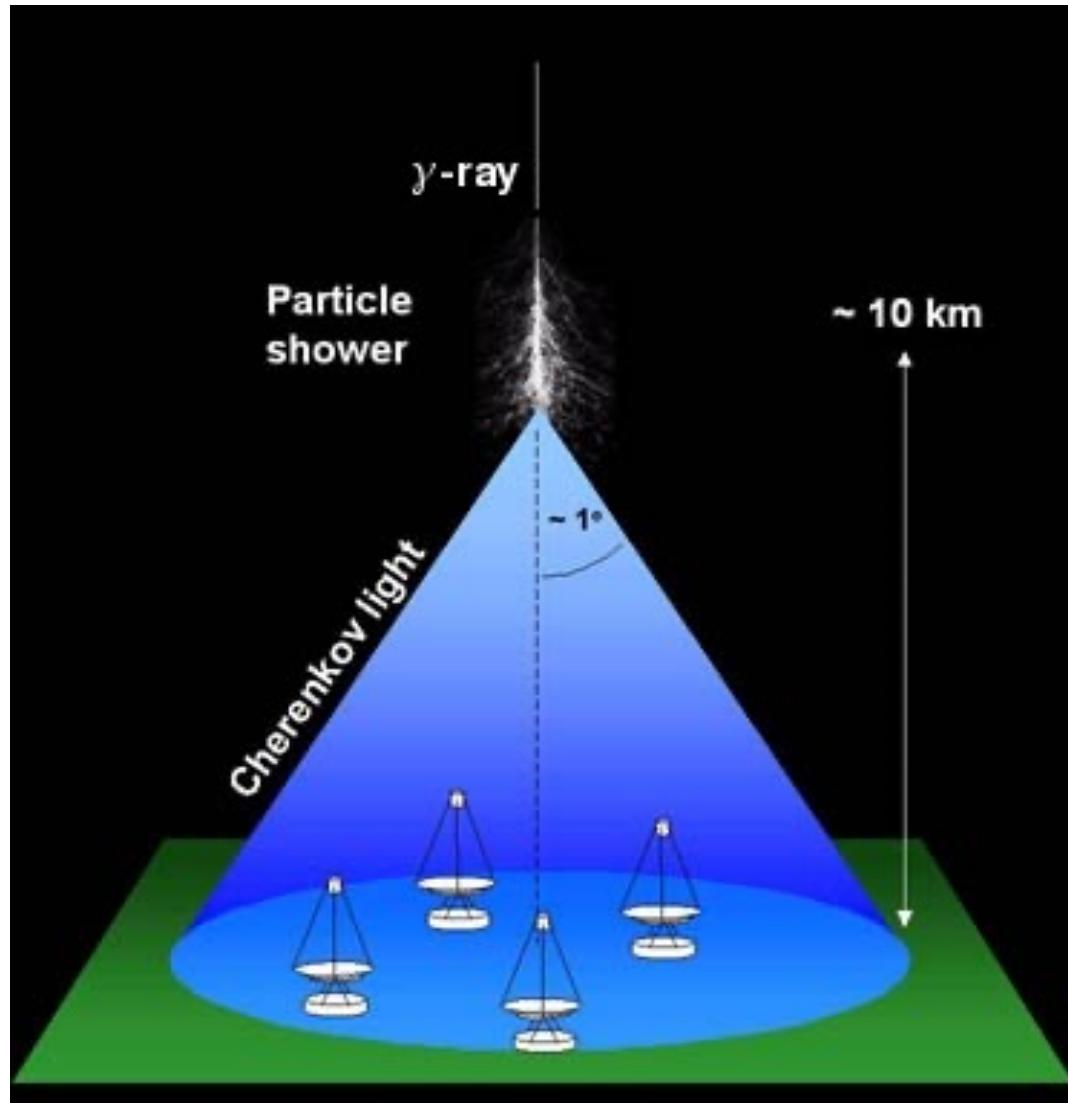


Hochenergiestrahlung

- Kosmische Strahlung erreicht uns in Form von hochenergetischen Protonen und Heliumkerne.
- Im Jahr 1991 erreichte uns ein Teilchen mit 10^{20} eV, $40 \cdot 10^6$ mal energiereicher als alle Beschleuniger



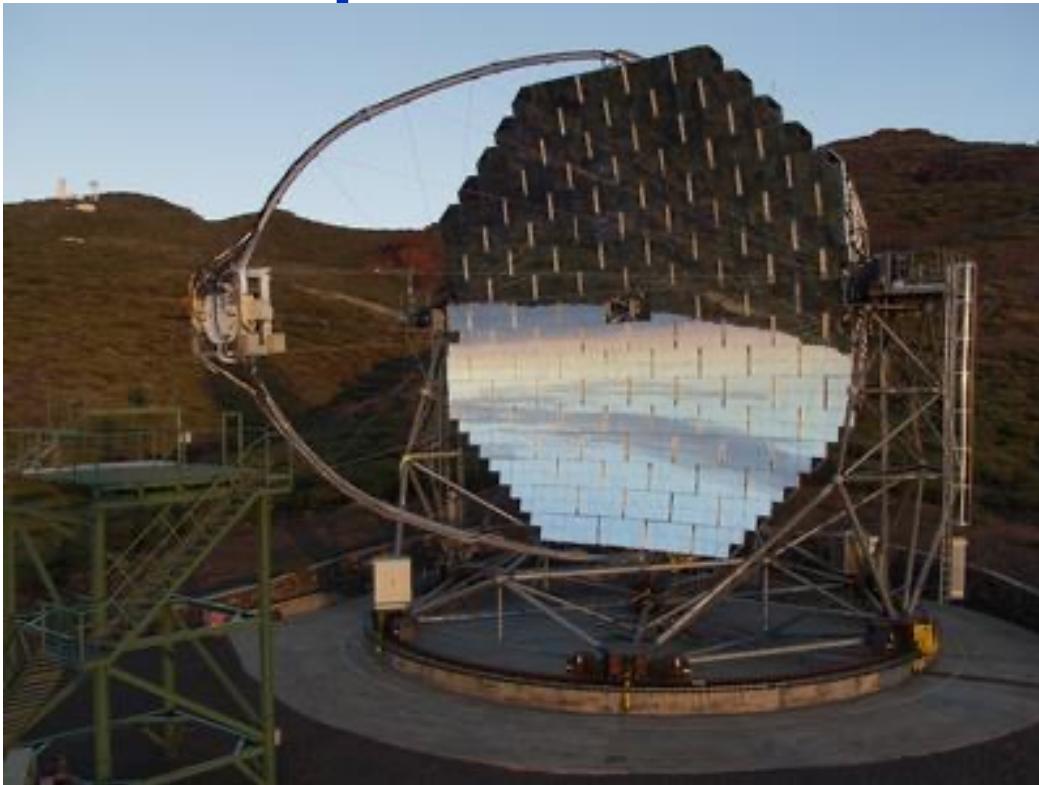
Gamma-Teleskope



<http://www.mpi-hd.mpg.de>

Höchstenergetische Teilchen (100 TeV) gelangen nicht bis auf den Erdboden. In der Erdatmosphären wechselwirken sie mit den Atomen und Molekülen und erzeugen sekundäre Teilchen. Dieser Partikelschauer erzeugt **Cherenkov-Strahlung** die dadurch entsteht, dass die geladenen Teilchen sich schneller als die Lichtgeschwindigkeit im Medium bewegen. Diese Cherenkov-Strahlung lässt sich mit Teleskopen beobachten.

Gamma-Teleskope



<http://wwwmagic.mppmu.mpg.de>

Das 17m Teleskop MAGIC. Es wird genutzt um die Cherenkov Strahlung der sekundären Teilchen zu detektieren. Diese Teleskop wird in Verbindung mit einem weiteren Instrument verwendet, jedoch nicht um die Signale zu korrelieren sondern die Richtung des Signals zu bestimmen.

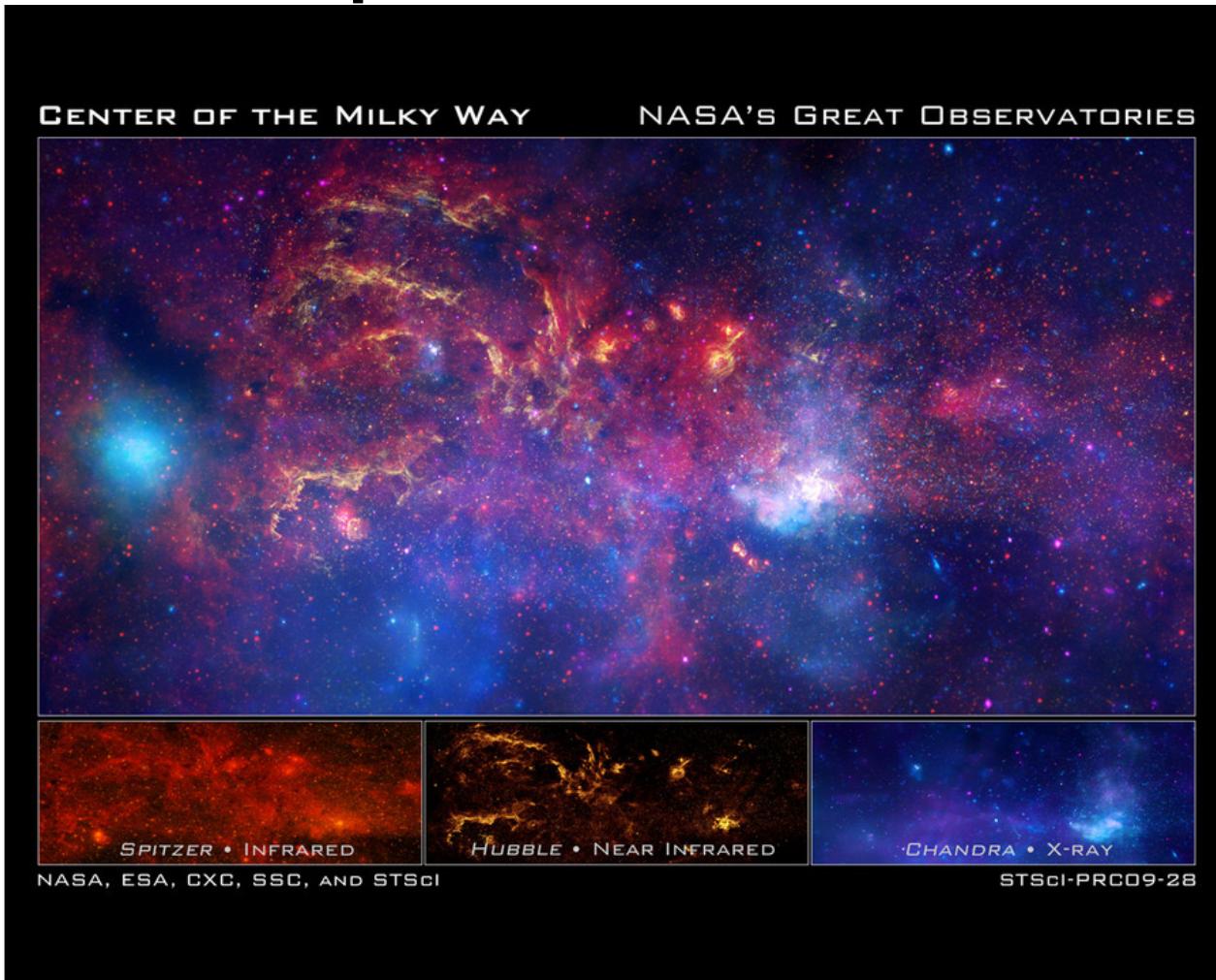
Gamma-Teleskope



<http://wwwmagic.mppmu.mpg.de>

Im Fall der Cherenkov-Strahlung ist die Winkelauflösung des Teleskops im Vergleich zu seiner sammelnden Oberfläche von untergeordneter Bedeutung. Ebenso ist der Anspruch an die Winkelauflösung des Detektors gering. Hoch jedoch werden Sensitivität und zeitliche Auflösung bewertet. Daher kommen bei MAGIC Photomultiplier zum Einsatz, die im Gegensatz zu CCDs kein Signal proportional zu Energie des Photons erzeugen, dafür aber extrem empfindlich sind.

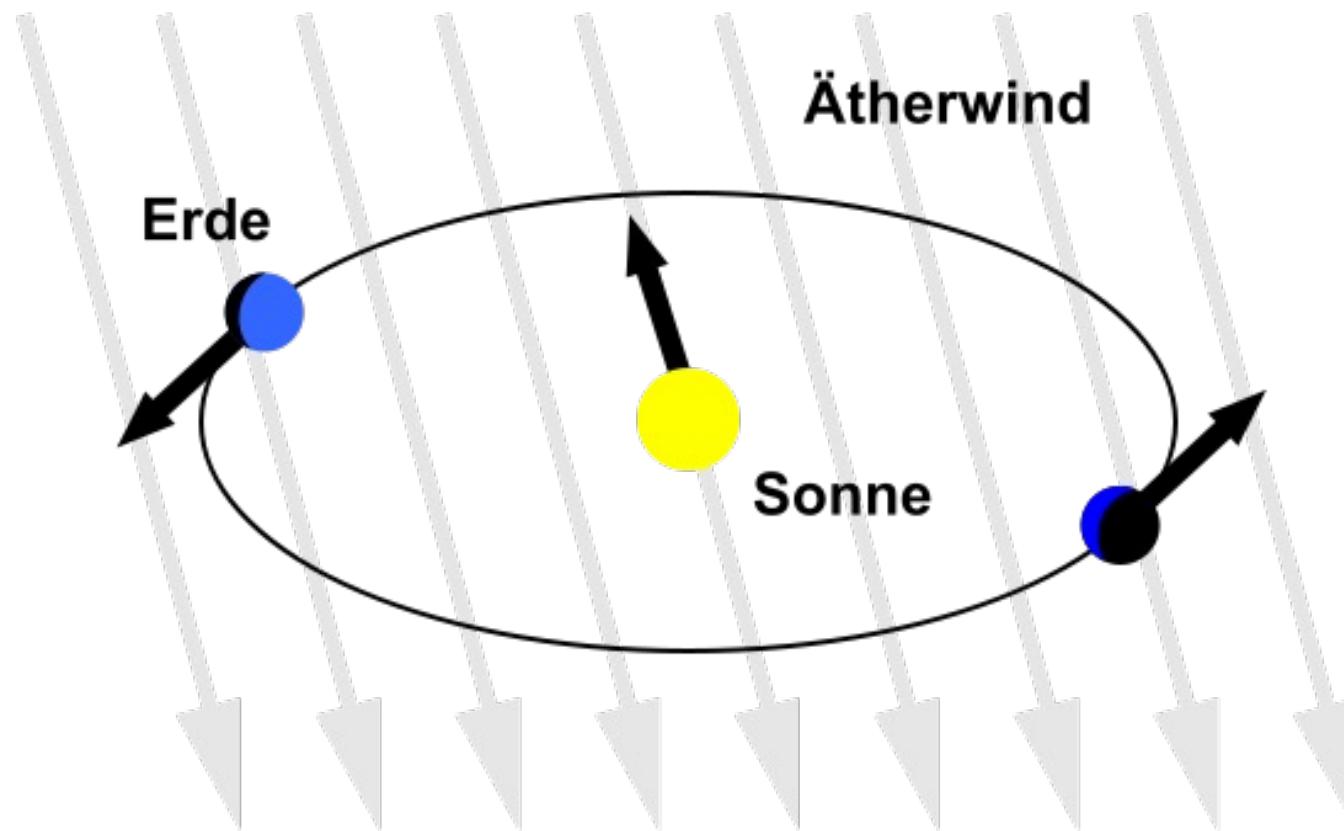
Hubble + Spitzer + Chandra



universität**bonn**

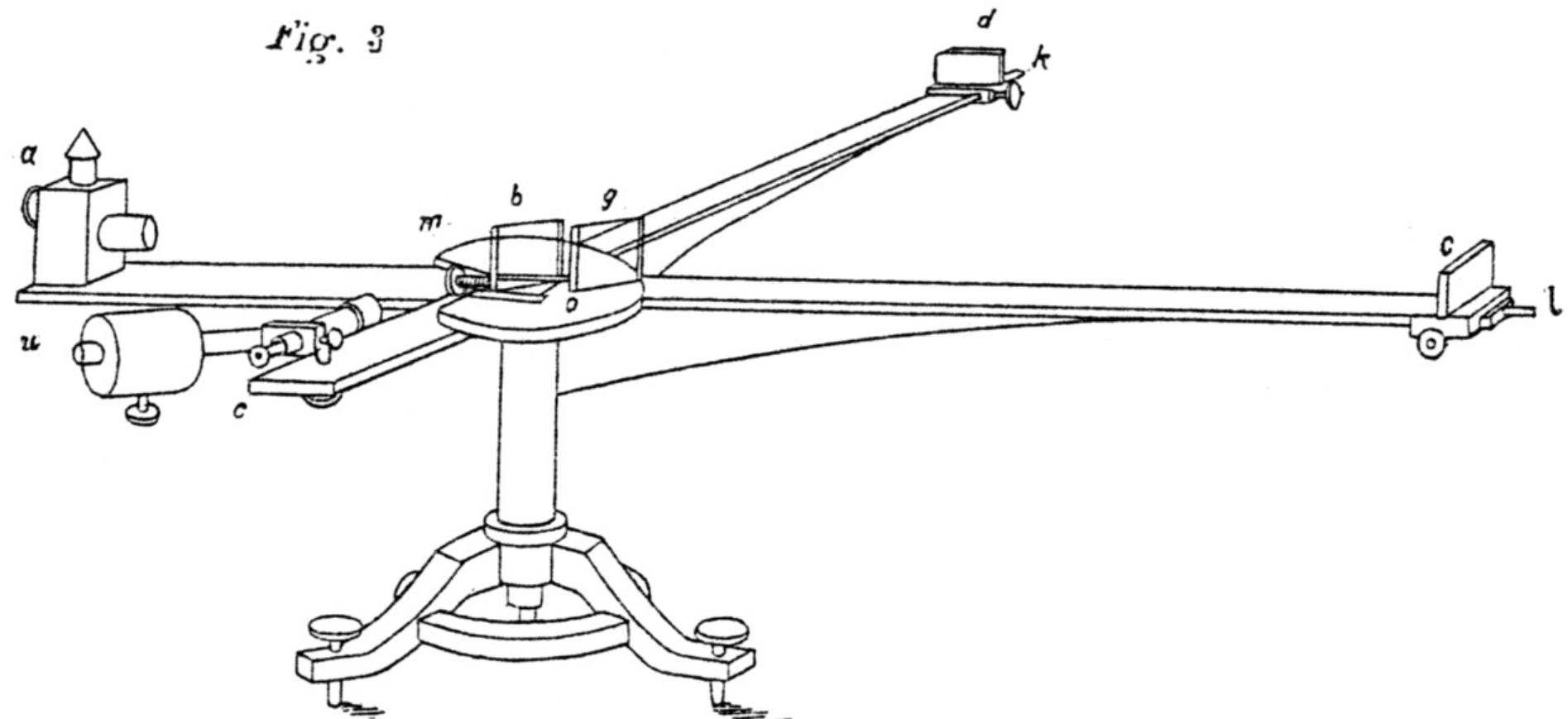
Gravitationswellen

Michelson-Morley Experiment 1887

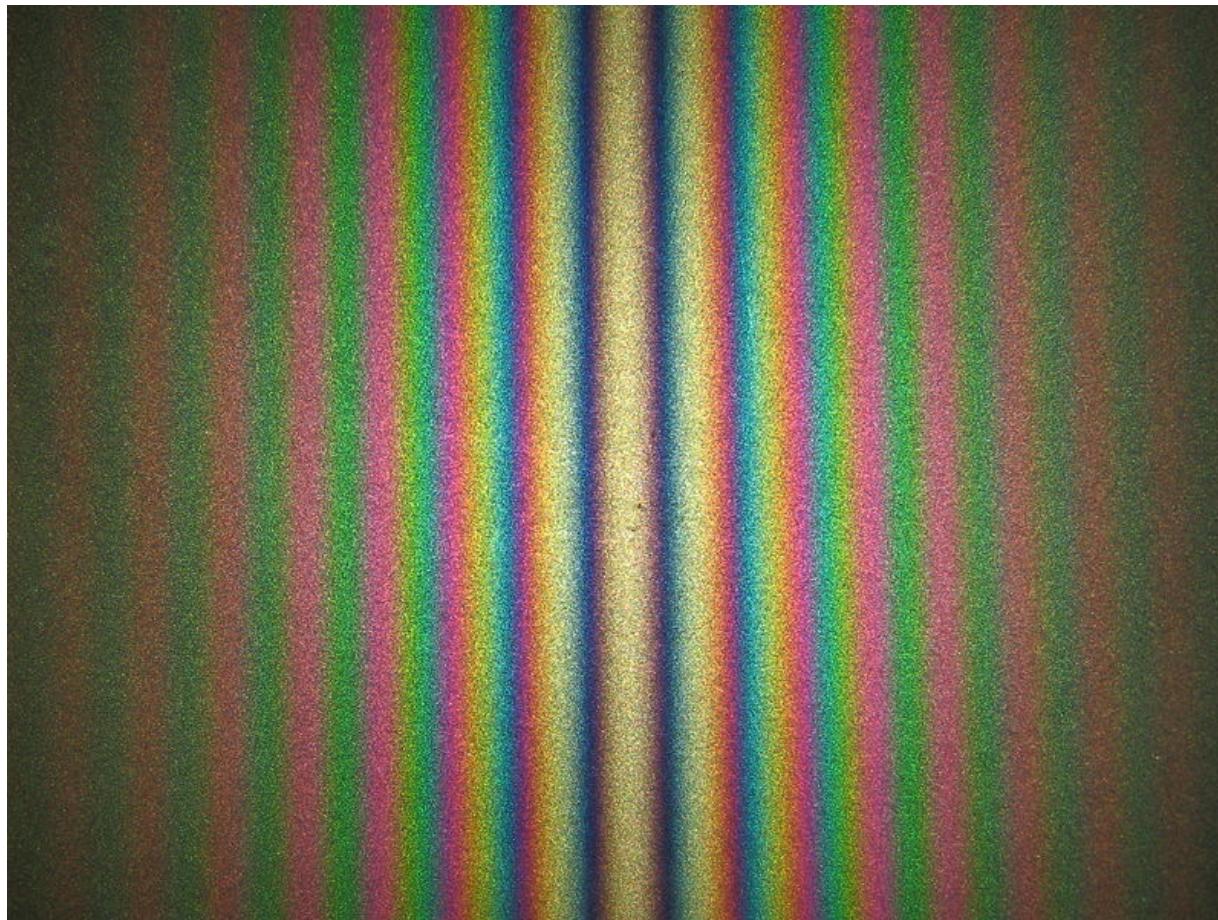


Michelson-Morley Experiment 1887

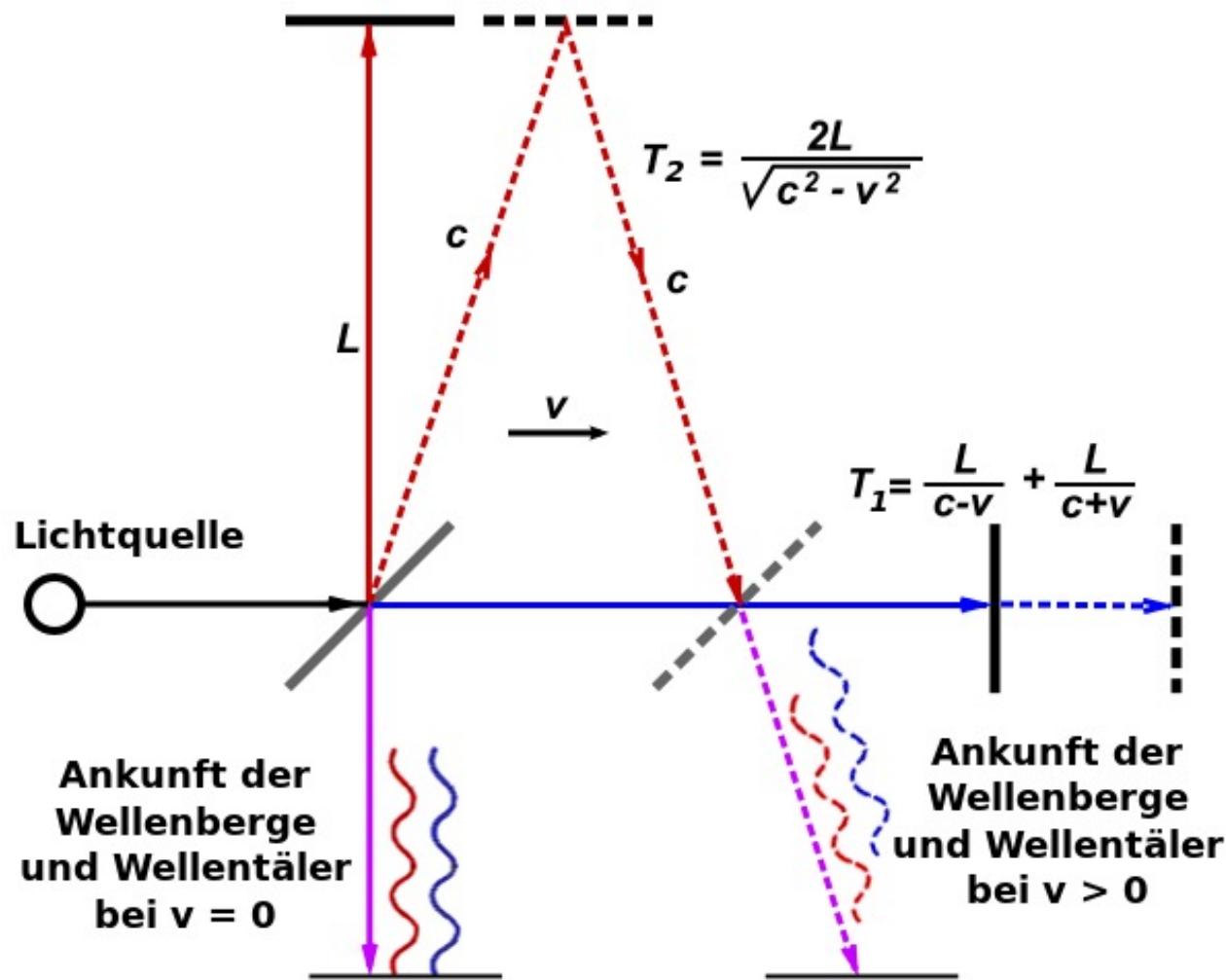
Fig. 3

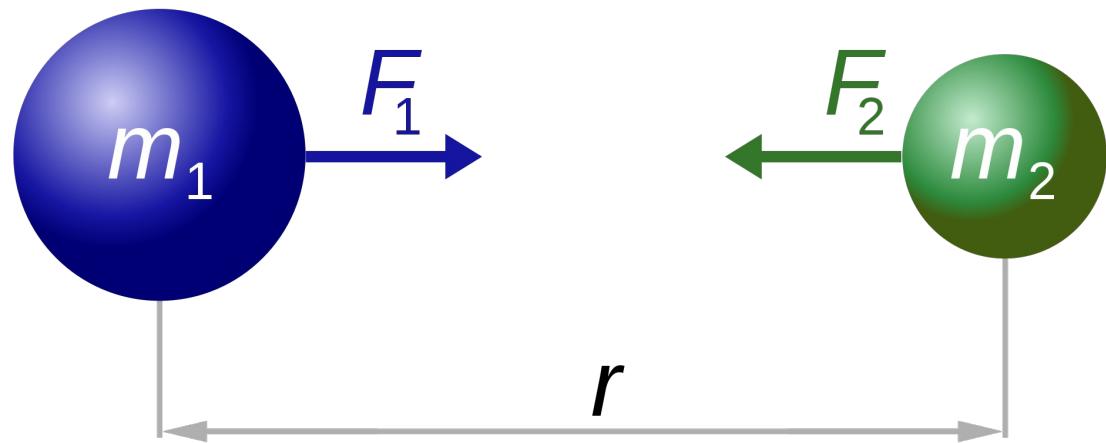


Michelson-Morley Experiment 1887



Michelson-Morley Experiment 1887

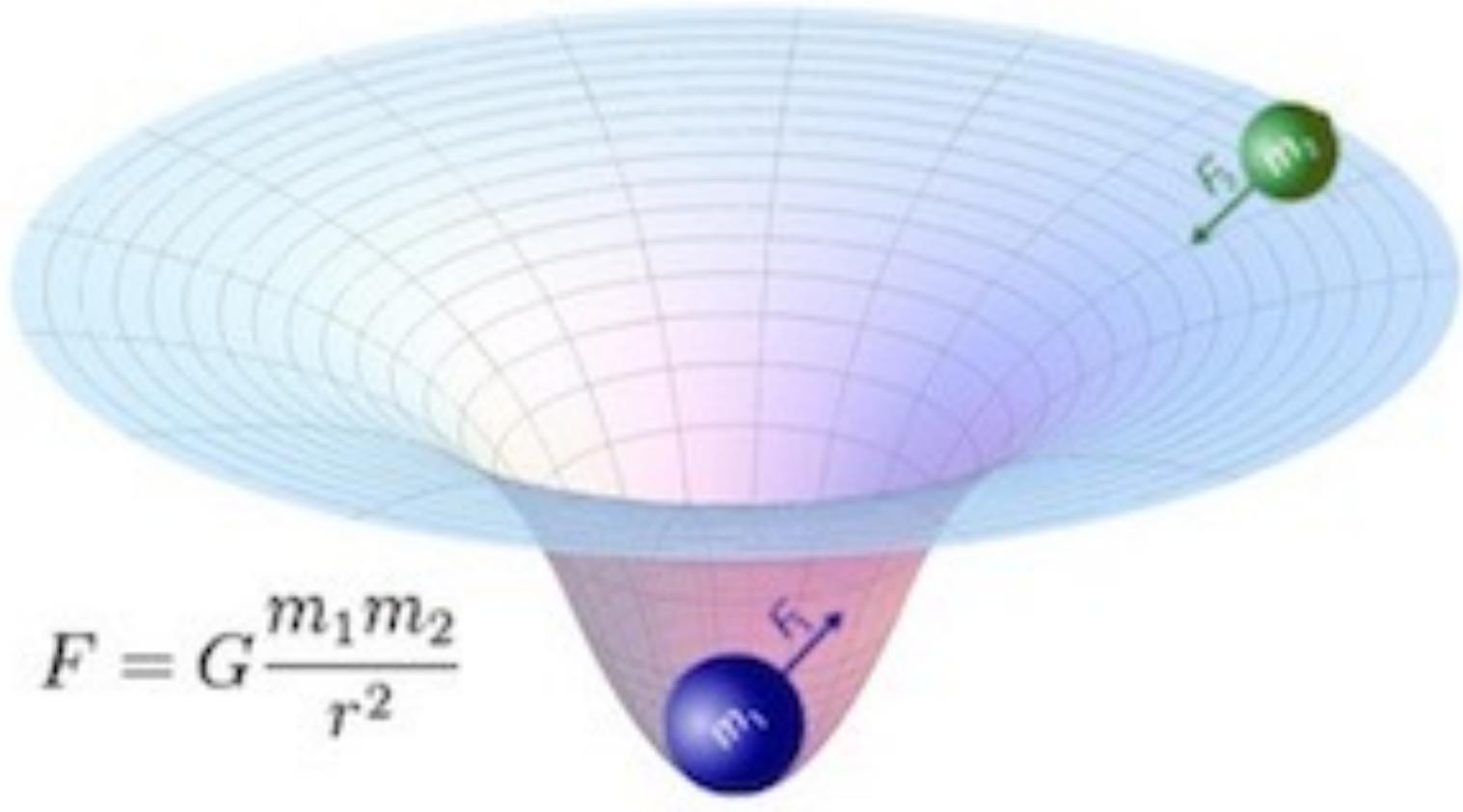


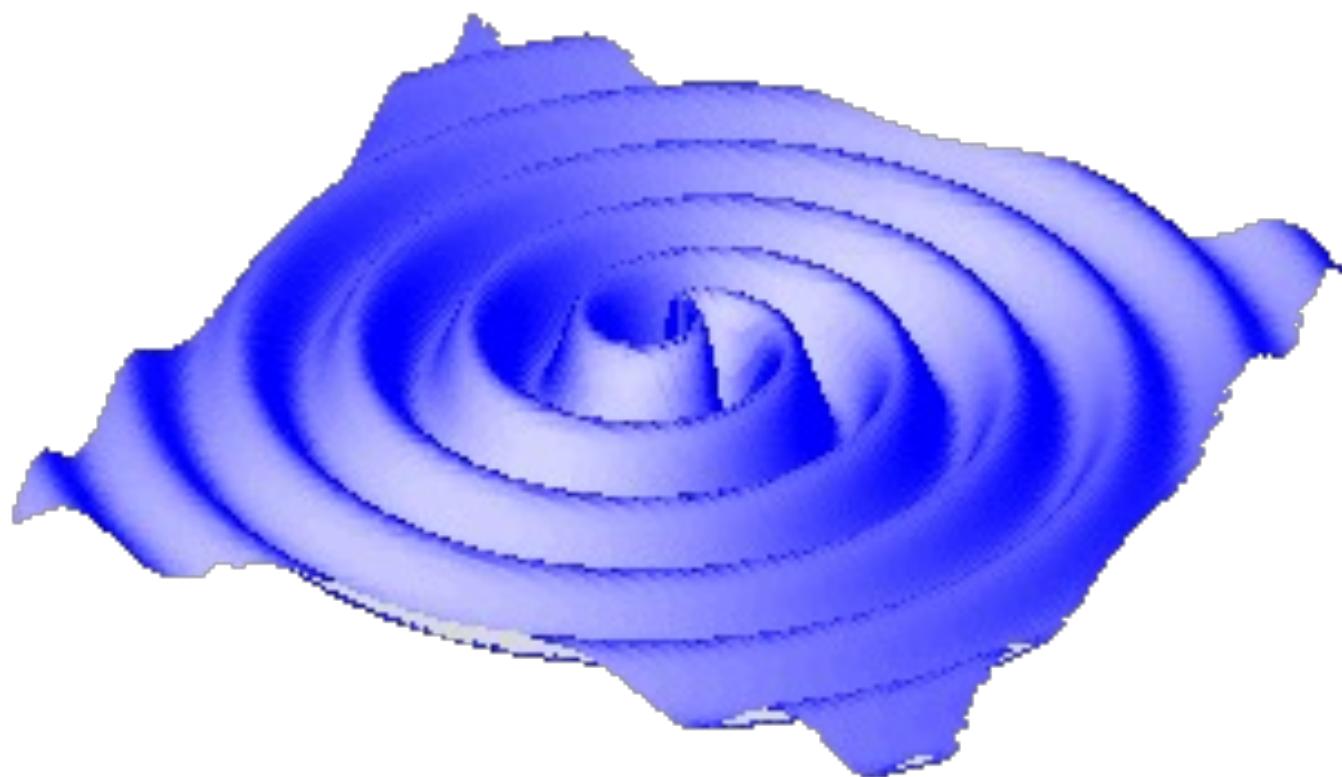


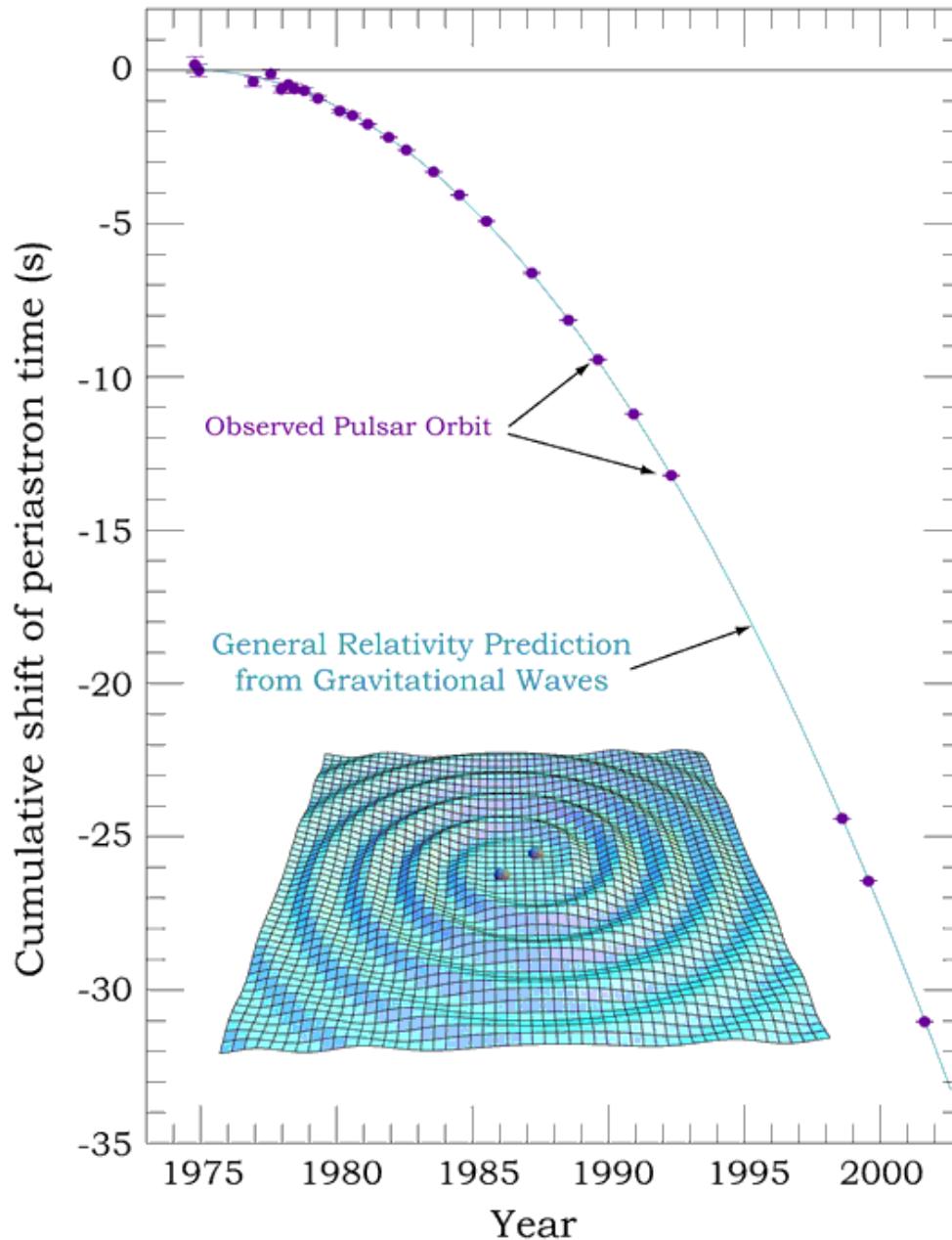
$$F_1 = F_2 = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2}$$

Krümmung der Raumzeit

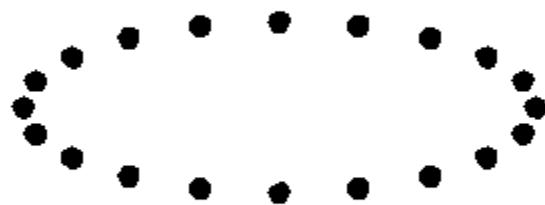
Krümmung der Raumzeit



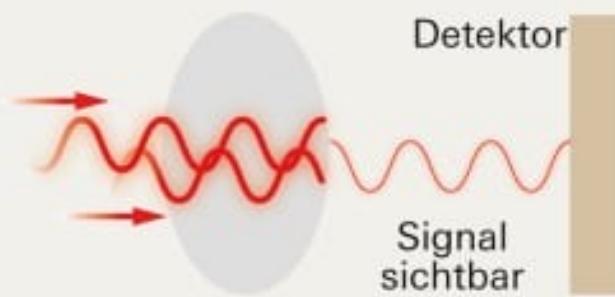
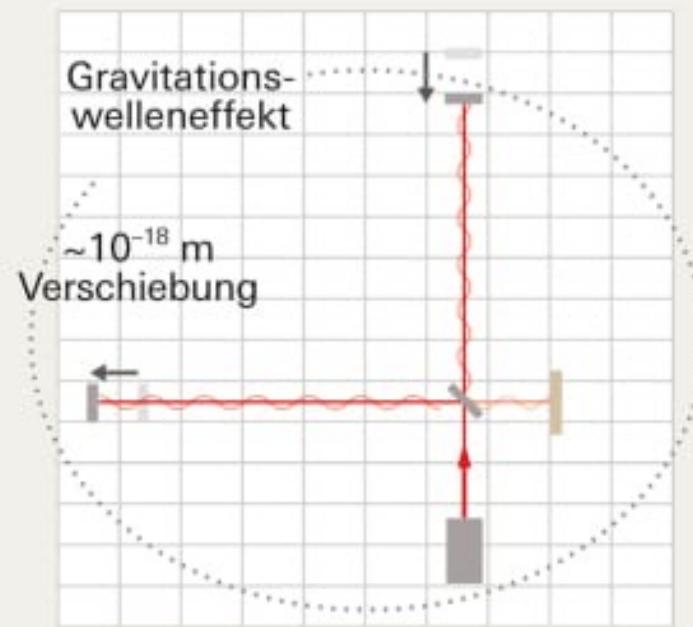
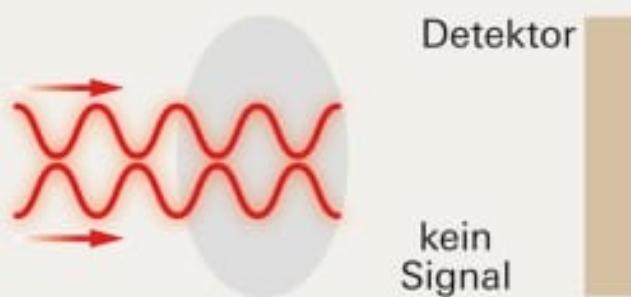




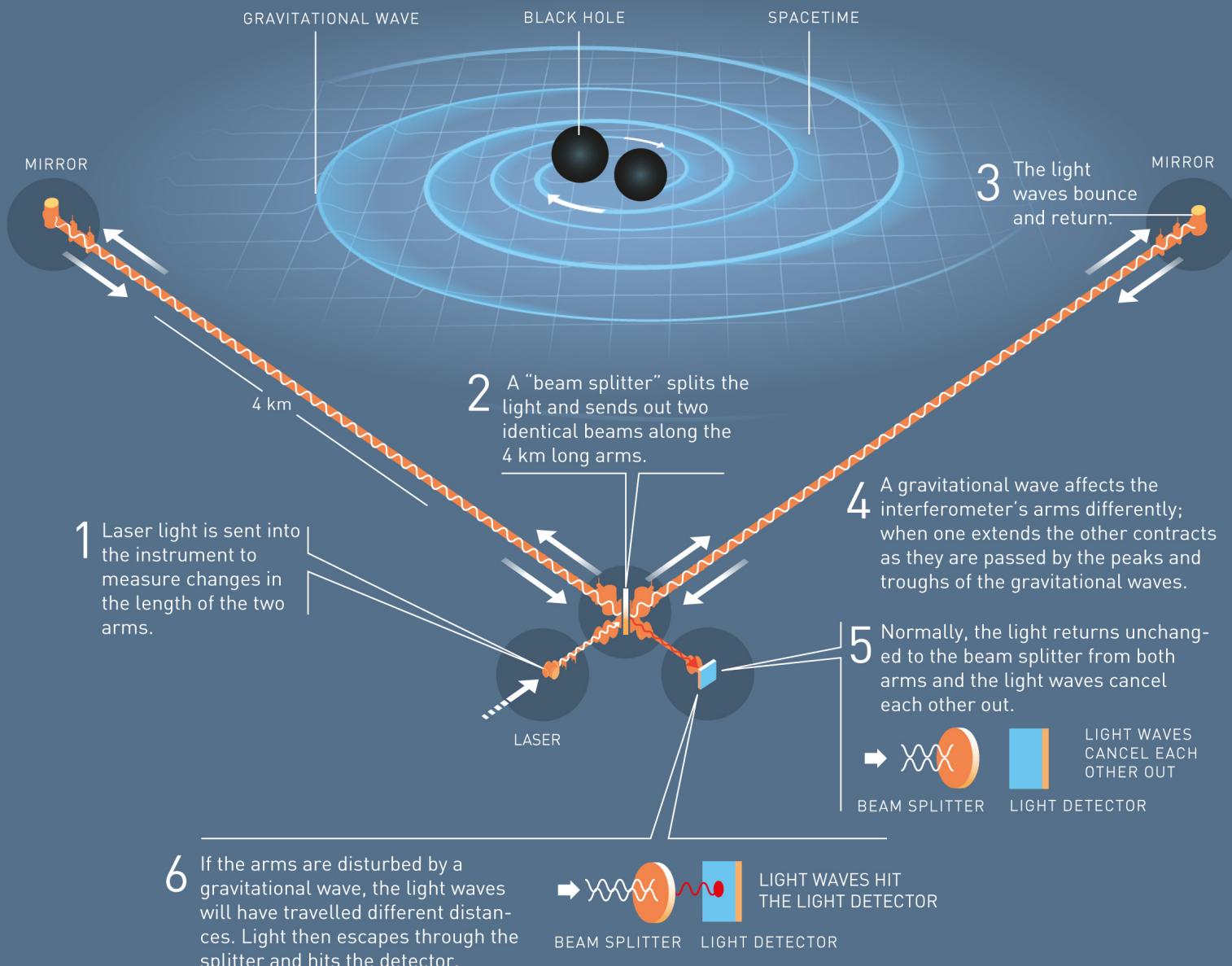
Gravitationswellen deformieren periodisch die Raum-Zeit



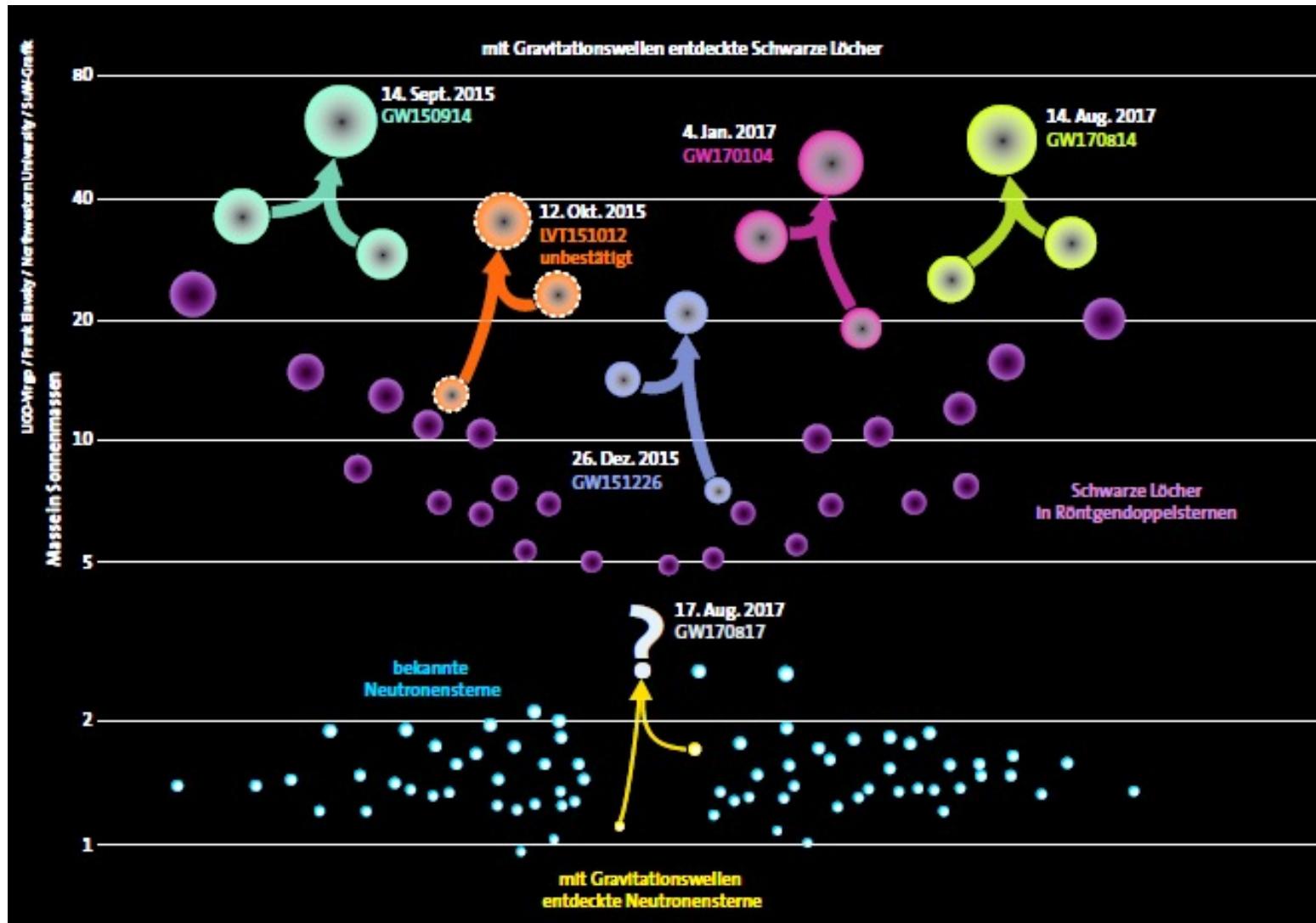
Kon- und Destruktive Interferenz



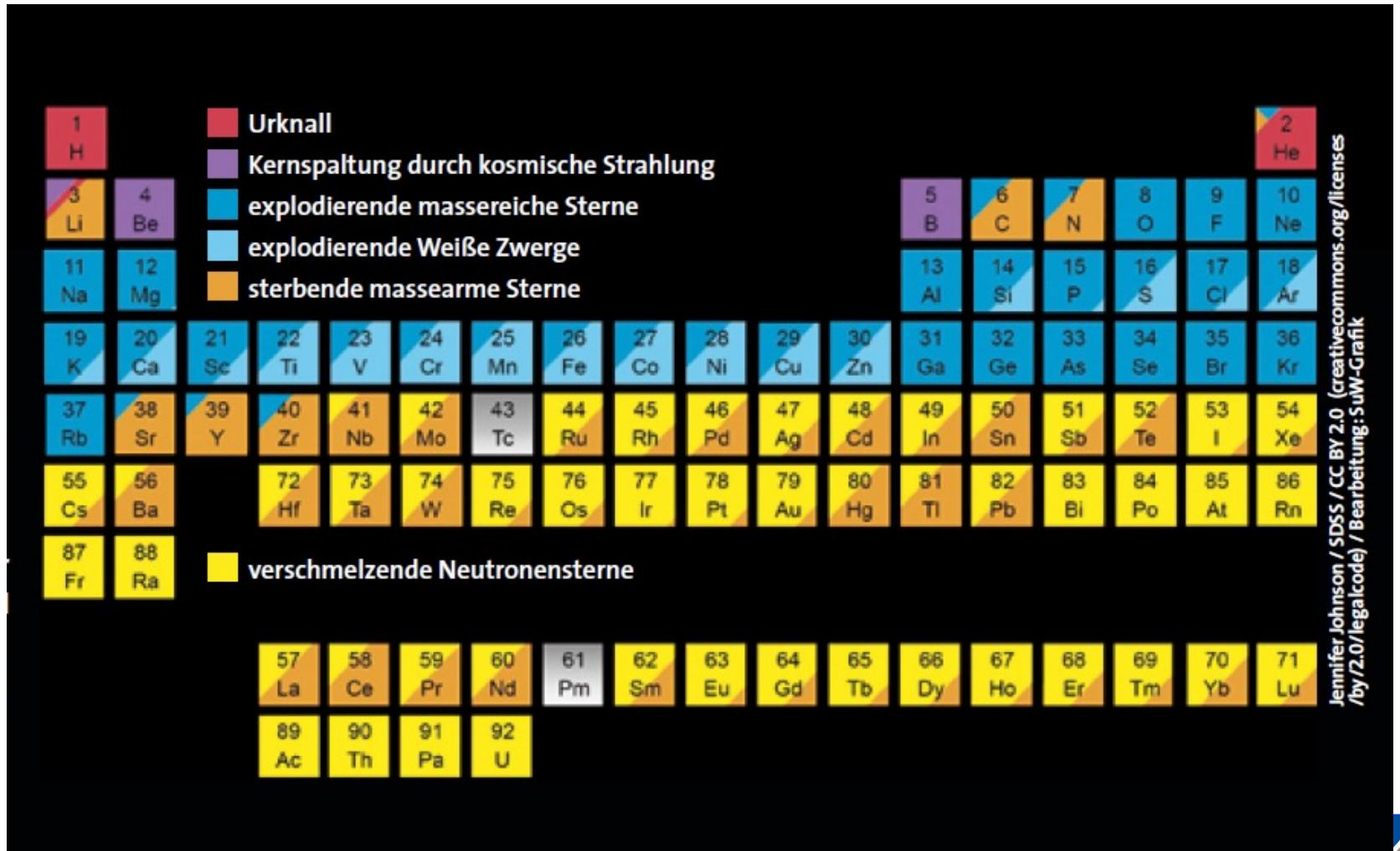
LIGO – A GIGANTIC INTERFEROMETER



Gravitationswellen Detektionen



Elemente der Neutronensternverschmelzung



The Gravitational Wave Spectrum

