

A composite image of space. The left side shows a large, curved portion of the Earth from space, with blue oceans, white clouds, and brown/green landmasses. The right side shows the dark expanse of space filled with stars, and a large, detailed view of the Moon's surface with its craters and maria.

THERMOGRAFIE UND WELTALL

Dr.-Ing. Dirk Kilian

17.09.2021

Thermografie Forum Eugendorf 2021

DR. DIRK KILIAN

- Geb. 1968 in Wiesbaden
- 1987 Abitur und Ausbildung zum Chemisch Technischen Assistenten CTA
 - 1988 Wehrdienst, Sanitätssoldat
 - 1994 Diplomingenieur Physikalische Chemie, TU Darmstadt
 - 1999 Promotion Physikalische Chemie, TU Darmstadt
- Dr. Frische GmbH – Prozessentwicklung Bioöl zu Kunststoffen
 - OPTREX - Projektmanagement LCD-Displays
- KURARAY - Betriebsassistent Produktion Polyvinylalkohol; Technischer Service für PVB in Druckfarben, Beschichtungen und Keramiken; Entwicklungsleitung Elastomere
 - UNIMATEC Geschäftsentwicklung
 - Polymer Technik Elbe Spezialelastomere
 - IMCD Geschäftsentwicklung

MOTIVATION

Basisgedanke

- **Thermografie**
- Beobachtung der Wärmestrahlung = Infrarotstrahlung.
- **Weltall**
- Beobachtung von sichtbarer und nicht sichtbarer Strahlung, incl. der Infrarotstrahlung

Themen

- Einführung
- Spektrum der Strahlung
- Mikrowellen
- Infrarot
- Teleskope
- Bilder und Erkenntnisse
- Kleopatra und Ganymed
- Quellen

EINFÜHRUNG

„Der Beginn ist die Hälfte vom Ganzen“ - Sokrates

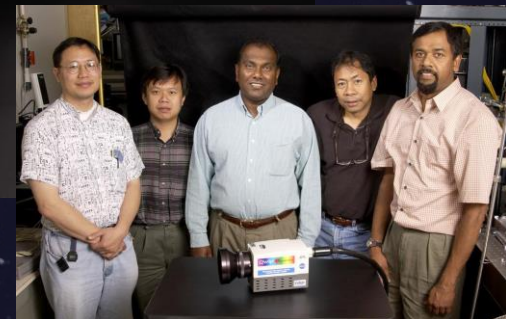
- Grundlagen über die Natur des Lichtes, der elektromagnetischen Strahlung
- Was leuchtet da am Himmel ? Ist da noch mehr ?
 - Der Blick ins Weltall – Sternkarten
- Mikrowellen und Infrarot als Teil des „thermischen Spektrums“
 - Entdeckungen
 - Teleskope
 - Klassiker der Astronomie
 - Asteroiden
 - Ganymed

WHEN SEEING IS NOT BELIEVING

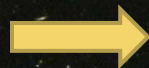
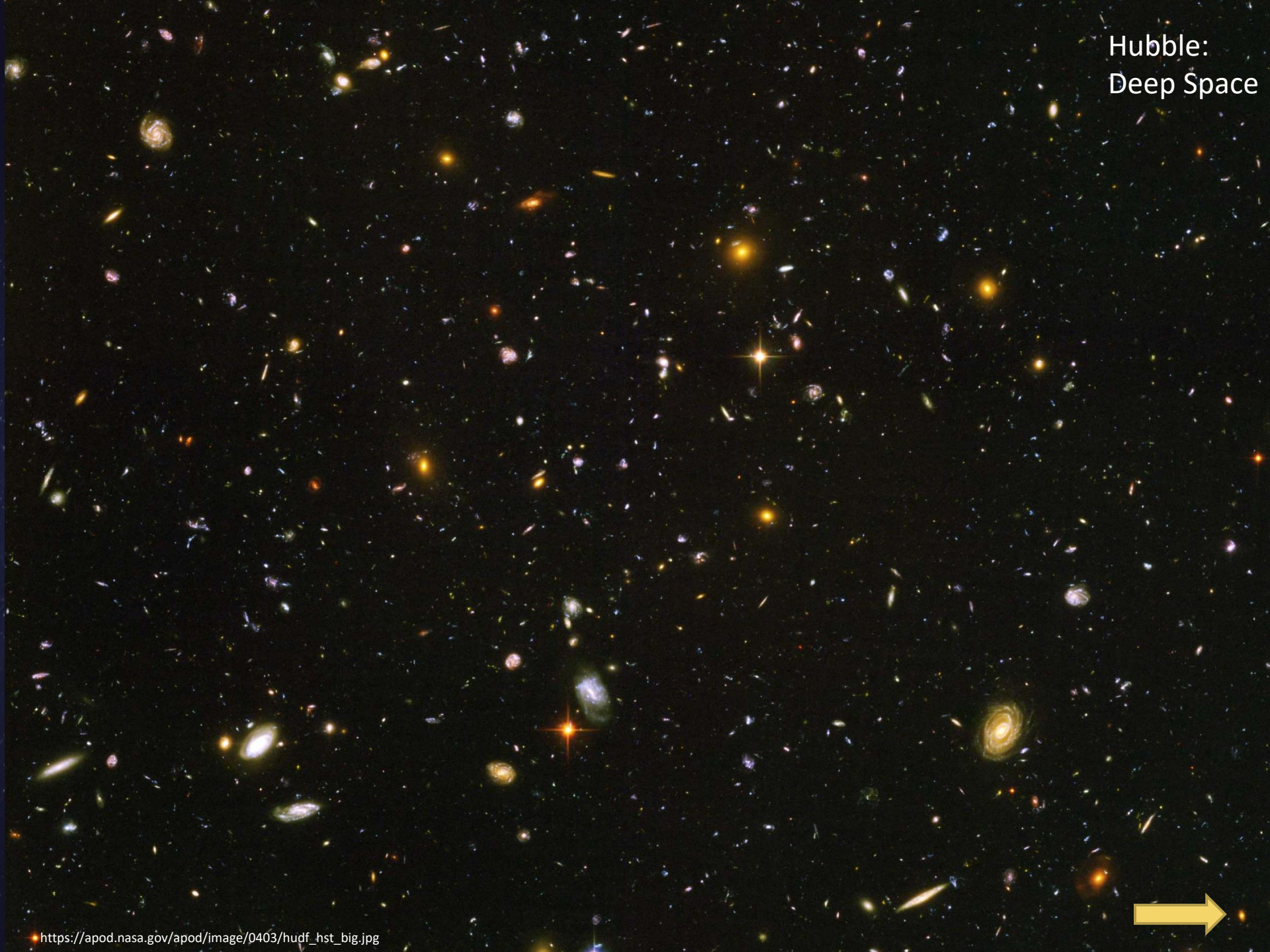
Sep 30, 2002



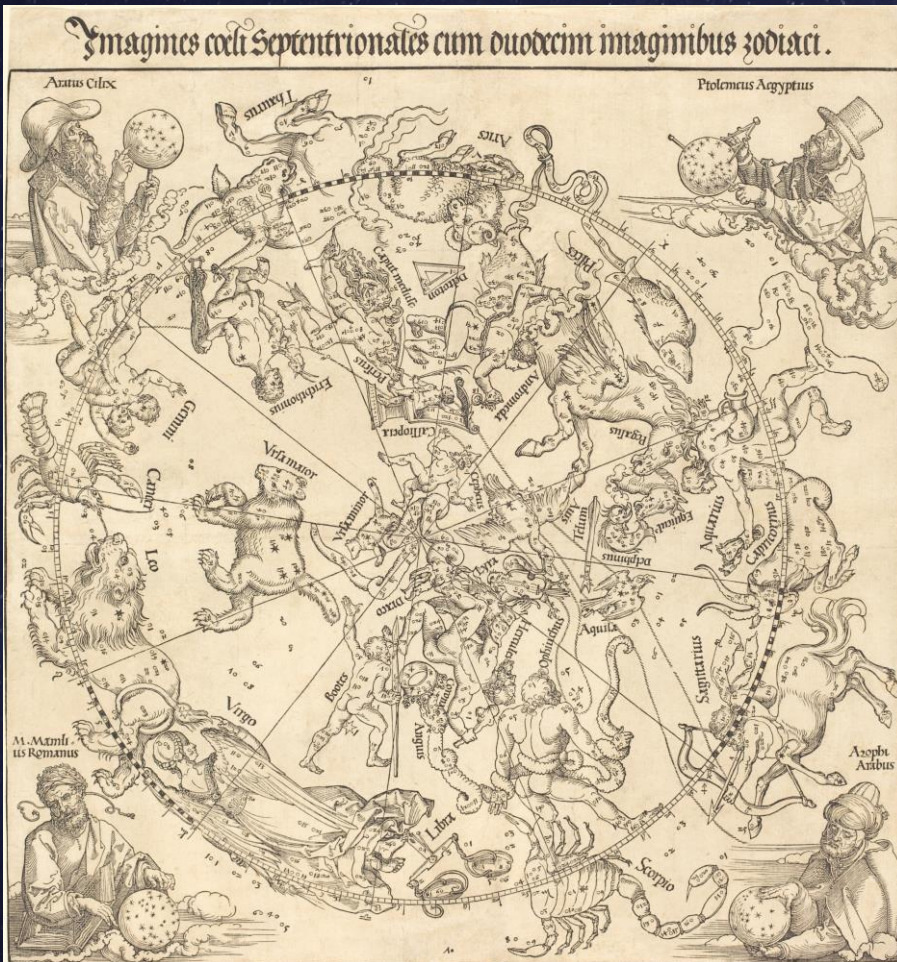
640x512 pxl
8-10 μm
-208°C in 8 min
3 kg
110 V ~



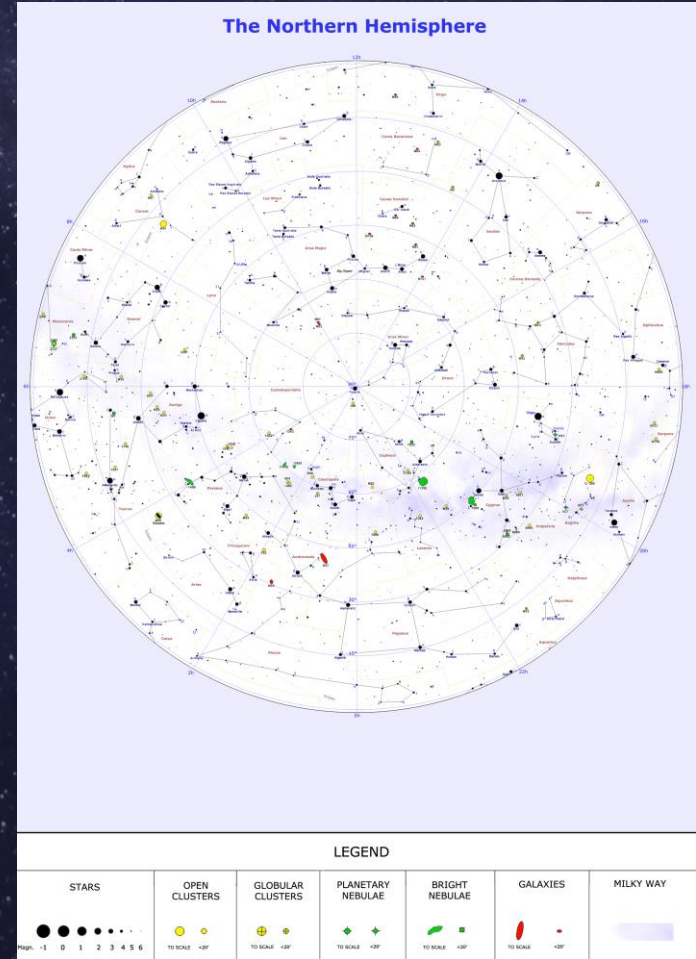
Hubble:
Deep Space



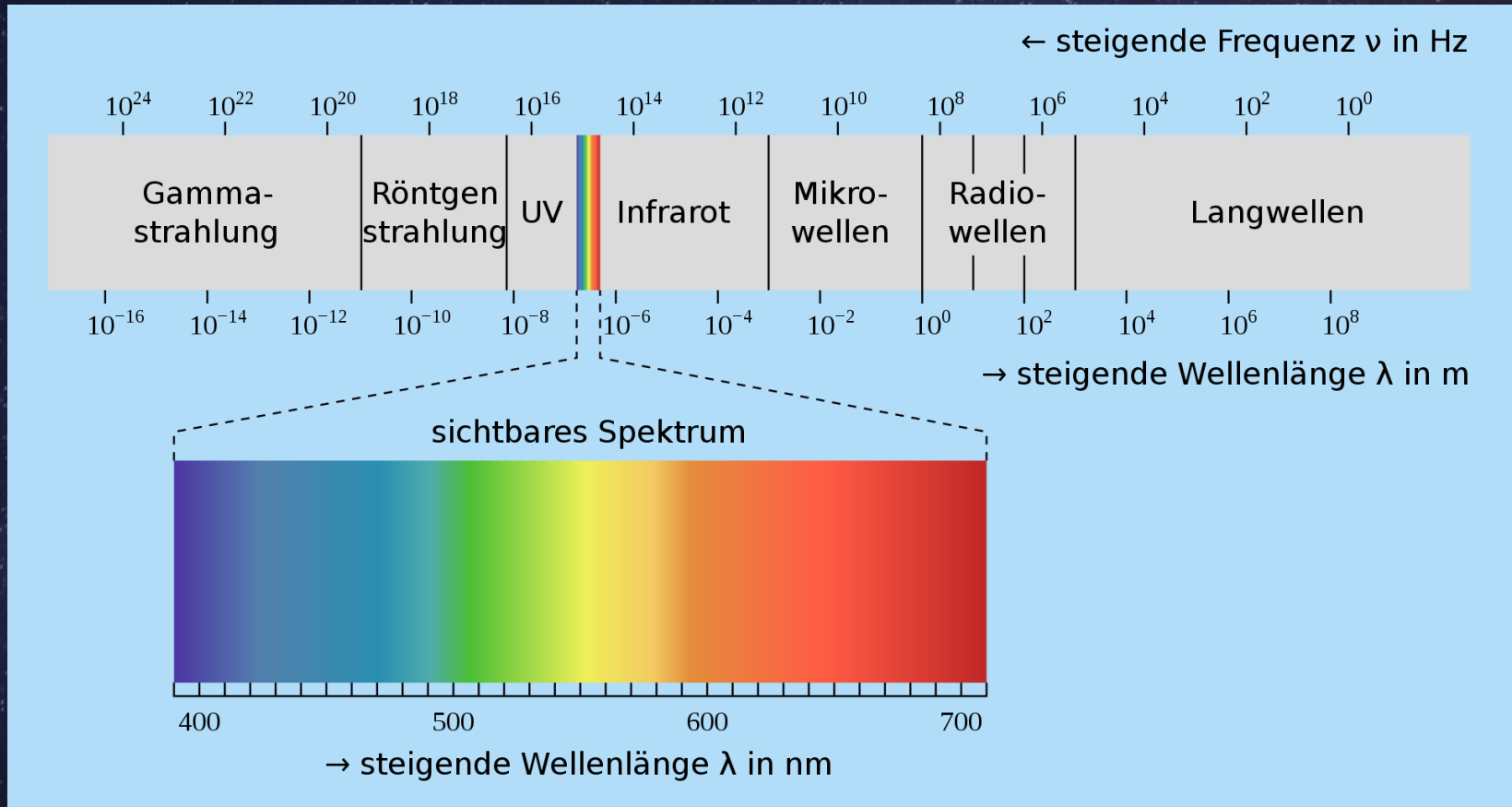
STERNKARTEN



Sternbilder des Nordhimmels, 1515,
Darstellung von Albrecht Dürer



SPEKTRUM DER STRAHLUNG



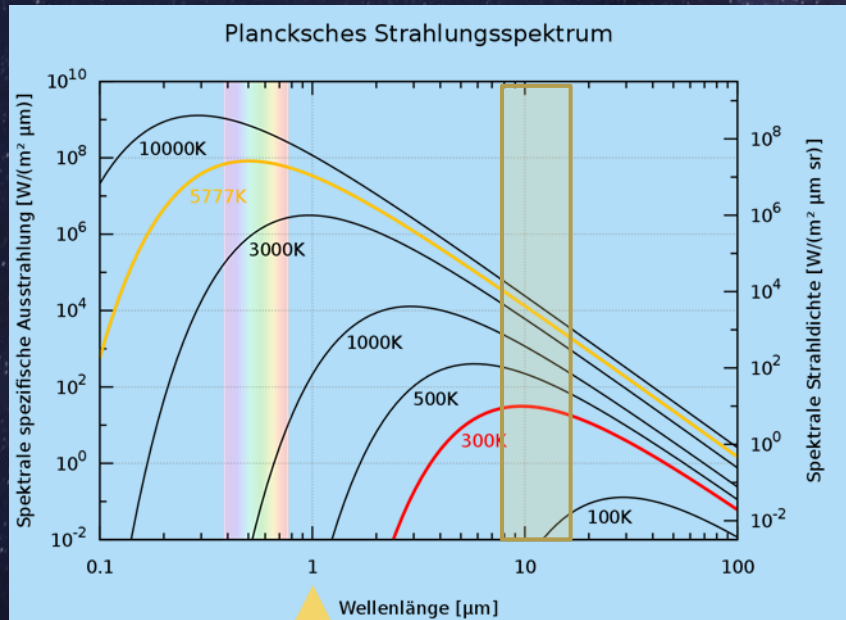
FREQUENZ, WELLENLÄNGE

- Tabelle für Überschlagsrechnungen

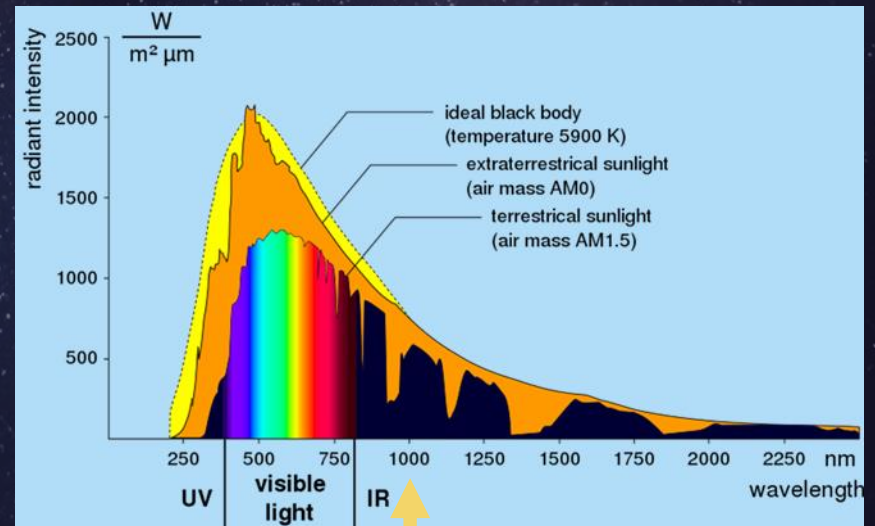
	$\lambda = c / f$	$\sim \nu = 1/\lambda$	
Wellenlänge	Frequenz	Wellenzahl	Anwendung
λ	f	$\sim \nu$	
0,1 nm	3000 PHz	100000000	Gamma Strahlung
1 nm	300 PHz	10000000	UV Spektroskopie
10 nm	30 PHz	1000000	UV Spektroskopie
100 nm	3000 THz	100000	UV Spektroskopie
1 μm	300 THz	10000	Infrarot Spektroskopie
10 μm	30 THz	1000	IR / Tera Hertz Spektroskopie
100 μm	3 THz	100	Mikrowellen Spektroskopie
1 mm	300 GHz	10	Mikrowellen Spektroskopie
1 cm	30 GHz	1	Mikrowellen Spektroskopie
10 cm	3 GHz	0,1	Radar , Mobilfunk (5G =3,4 bis 3,7 GHz), Mikrowelle Haushalt
1 m	300 MHz	0,01	Funk, UKW
10 m	30 MHz	0,001	KW - Radio
100 m	3 MHz	0,0001	KW - Radio
1 km	300 kHz	0,00001	MW -Radio
10 km	30 kHz	0,000001	LW -Radio

SPEKTRUM DER STRAHLUNG

Thermografie



Spektroskopie



1000 nm = 1 μm

FORMELN UND GESETZE

- Sind wunderbar auf der Website der ÖGfT aufgelistet und erklärt



- WIEN'sches Gesetz <-> ($\sim 1/T$)
- PLANK'sches Strahlungsgesetz Verlauf ($\sim e^{-1/T}$)
- STEFAN-BOLTZMANN'sches Gesetz Gesamt ($\sim T^4$)

Das WIEN'sche Verschiebungsgesetz

beschreibt den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der Wellenlänge der maximalen Ausstrahlung.

$$\frac{dM_\lambda(T)}{d\lambda} = 0 \Rightarrow \lambda_{\max} = \frac{b}{T}$$

$b = 2898 \text{ } [\mu\text{m}\cdot\text{K}]$ *Wien'sche Konstante*

Das PLANK'sche Strahlungsgesetz

beschreibt den Zusammenhang zwischen der Temperatur eines Körpers und der spektralen Verteilung der resultierenden Wärmestrahlung.

$$M_\lambda(T) = \frac{2\pi h c^2}{\lambda^5 \left[e^{\left(\frac{hc}{\lambda k T} \right)} - 1 \right]}$$

$M_\lambda =$ spektrale spezifische Ausstrahlung $[\text{W}/\text{m}^2 \mu\text{m}]$

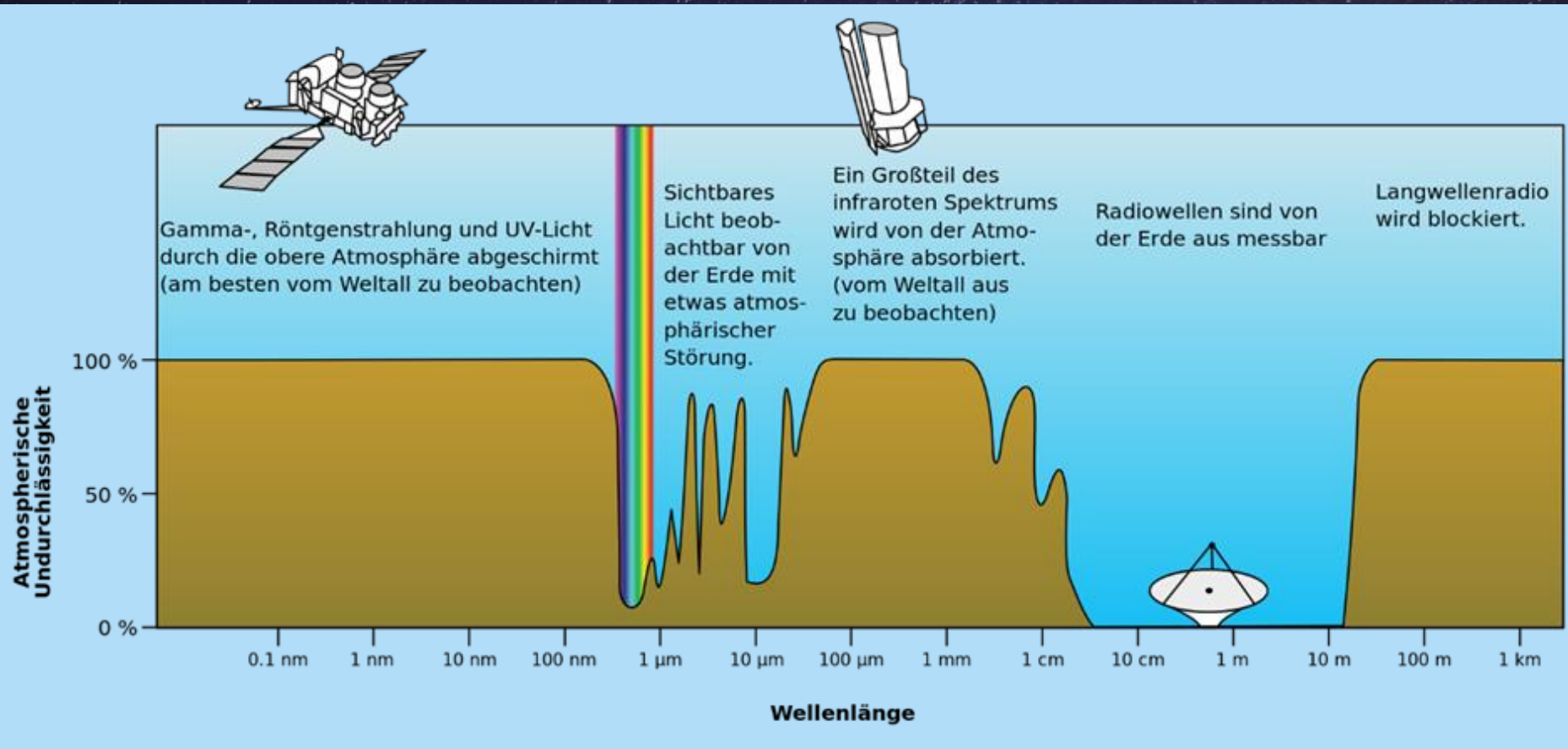
Das STEFAN - BOLTZMANN'sche Gesamtstrahlungsgesetz

beschreibt die Abhängigkeit der Gesamtstrahlungsintensität eines schwarzen Strahlers von seiner Temperatur

$$\int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} M_\lambda(T) d\lambda = E_{\text{ges}} = \sigma \cdot T^4$$

$\sigma = 5.67051 \cdot 10^{-8} [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}^4)]$ *Stefan-Boltzmann Konstante*

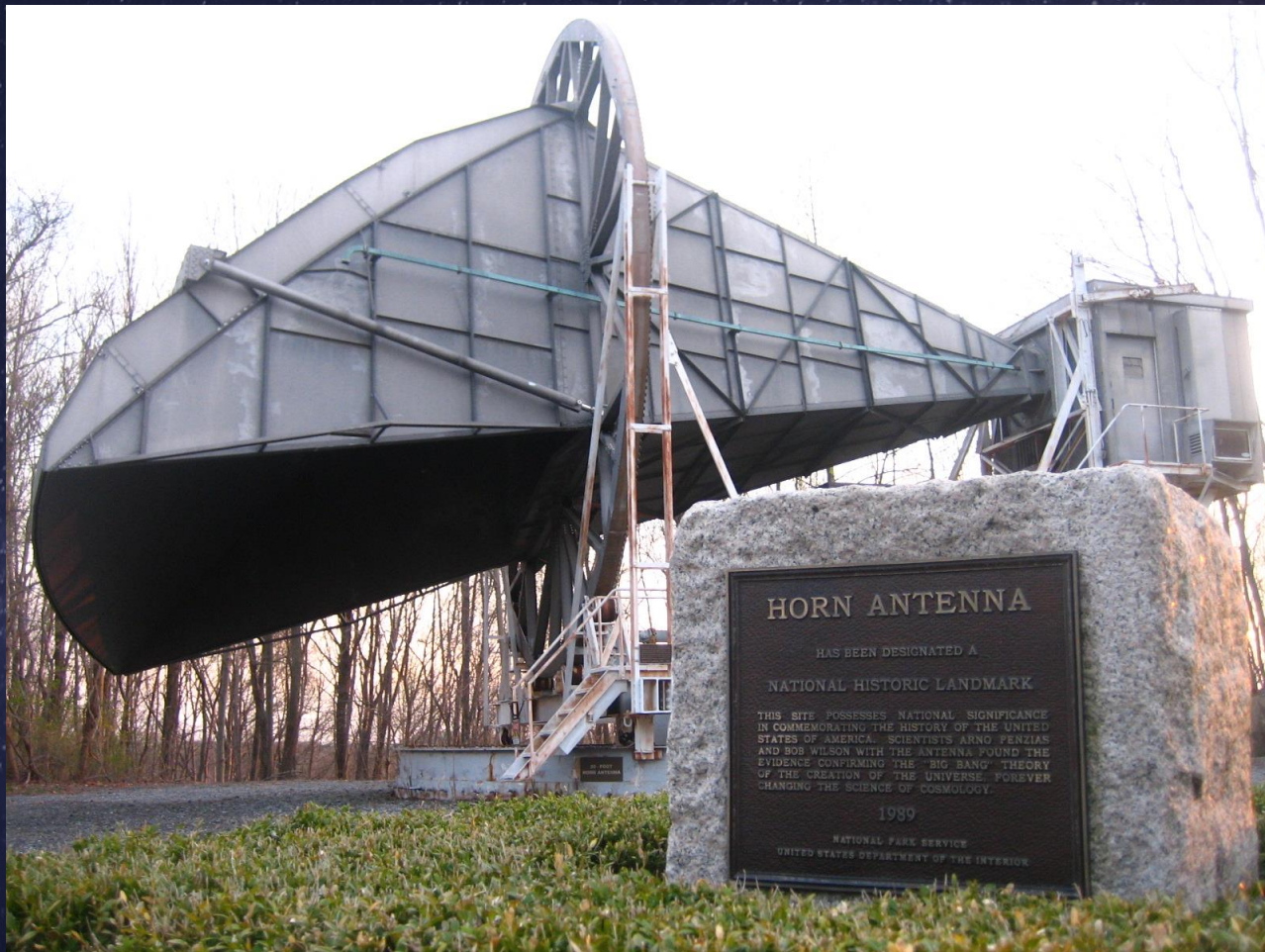
SPEKTRUM DER STRAHLUNG



MIKROWELLEN STRAHLUNG

- Mikrowellen liegen im Bereich des elektromagnetischen Spektrums von 1 bis 300 GHz , respektive Wellenlängen von 30 cm bis 1 mm
- Wellen können reflektiert oder gebrochen werden oder interferieren.
- Von Metallen und elektrischen Leitern werden sie reflektiert und nur wenig absorbiert
- Glas, Kunststoffe oder Keramiken sind für Mikrowellen gleichermaßen durchlässig und können zur Bündelung in Linsen eingesetzt werden.
- Der Frequenzbereich ist den Dipol- und Multipol- Schwingungen zugeordnet und eignet sich daher zu deren Anregung.
- Zur Verdeutlichung: Die Erwärmung von Wasser im Mikrowellenherd beruht nicht auf der Absorption einer bestimmten Resonanzfrequenz, sondern auf der Ausrichtung der Wassermoleküle, die dem eingestrahlten Wechselfeld folgen. Dabei entsteht ein dielektrischer Verlust, der als Wärme frei (dissipiert) wird.
- In der Atmosphäre breiten sich Mikrowellen gradlinig bis zu 50 km aus und werden von Feuchtigkeit oder bei hohen Frequenzen von anderen Gasen absorbiert.
- Als „Lichtquellen“ dienen Hohlraumresonatoren, Klystron, Magnetron, Gunndioden, Wanderfeldröhren, Backward-Wave Oszillatoren.
- Mikrowellensensoren arbeiten nach dem DOPPLER-Prinzip oder „kapazitiv“ (Messung der Permittivität).
- Hauptsächlich dienen Mikrowellensensoren als Bewegungsmelder für Türöffner oder Alarmanlagen. Andere Anwendungsgebiete sind z.B. der Einsatz als Füllstandsanzeiger in Behältern und Silos. Spezielle Mikrowellensensoren dienen auch zur zerstörungsfreien **Feuchtemessungen**.

MIKROWELLEN ANTENNE



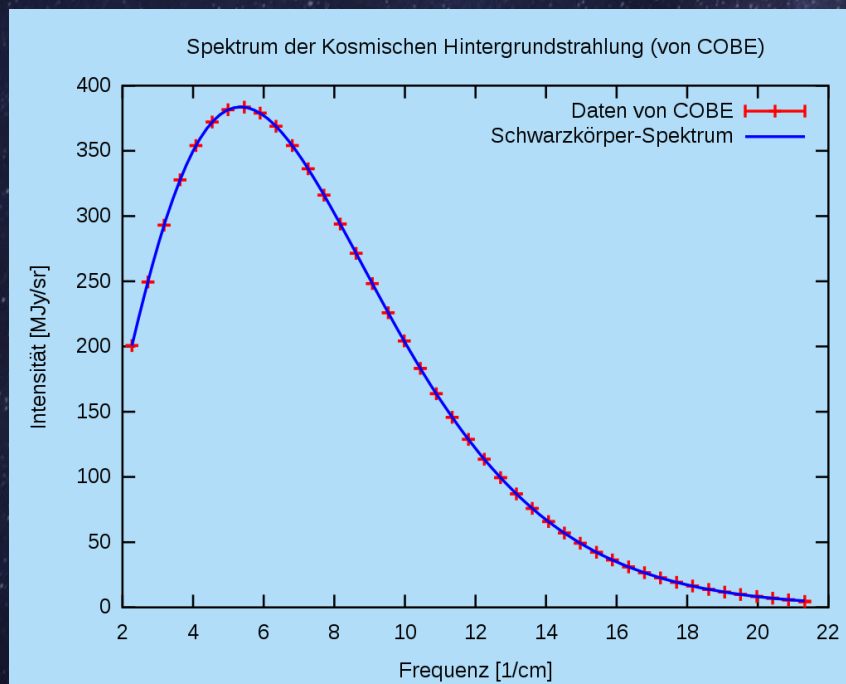
Hornstrahler-Antenne der „Bell Labs“ in Holmdel, New Jersey (USA), wo 1964 die vorhergesagte Mikrowellenstrahlung als Störsignal empfangen wurde

DIE ENTDECKUNG



Kosmische Hintergrundstrahlung

2,75 K oder - 270°C

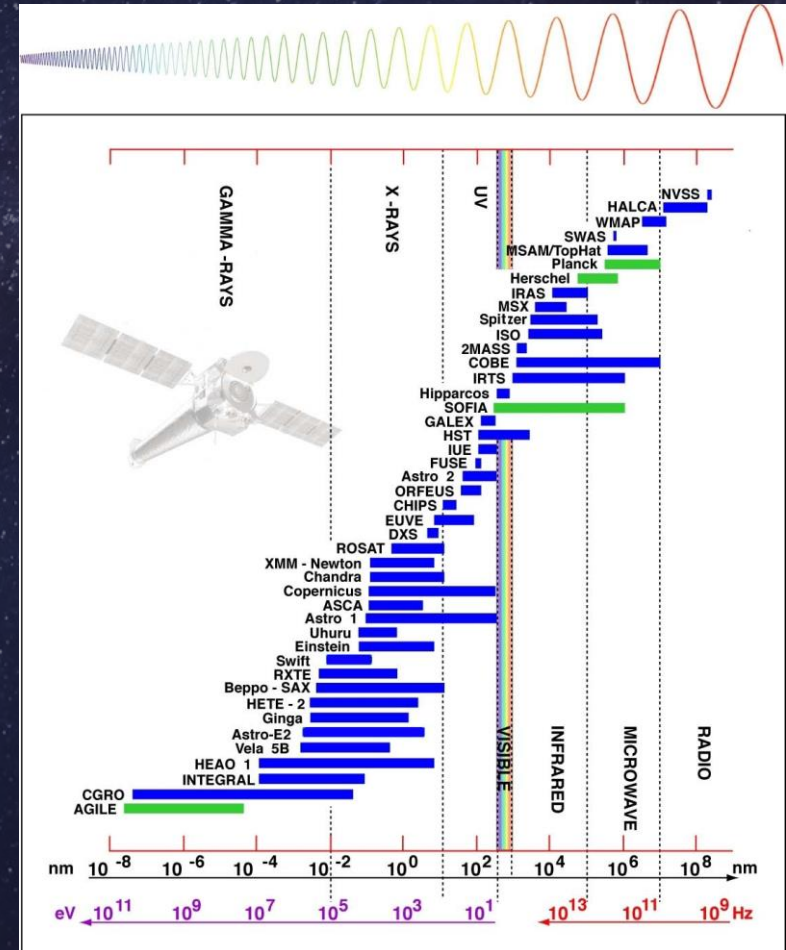


- Die Hintergrundstrahlung wurde 1933 von Erich Regener vorhergesagt.
- Die Entdeckung 1964 durch Arno Penzias und Robert Woodrow Wilson beim Test einer neuen empfindlichen Antenne für Experimente mit künstlichen Erdsatelliten war zufällig und wurde 1978 durch den Physiknobelpreis belohnt.

WELTRAUMTELESKOPE

Ein Weltraumteleskop ist ein Teleskop, das sich außerhalb der störenden Erdatmosphäre im Weltraum befindet. Vorteile des Weltraums für Teleskope sind fehlende Luftunruhe und Zugang zu von der Atmosphäre verschluckten Bereichen elektromagnetischer Strahlung wie Gammastrahlung, Röntgenstrahlung und Infrarotstrahlung. Zudem ermöglicht der Weltraum sehr lange Basislinien zum Beispiel in der Radiointerferometrie (siehe z. B. HALCA) oder für die Suche nach Gravitationswellen (siehe LISA).

Meist befinden sich Weltraumteleskope in der Umlaufbahn um die Erde, aber zukünftige Teleskope sollen zunehmend an den Lagrange-Punkten der Erdumlaufbahn positioniert werden. Bereits heute befindet sich SOHO am inneren Lagrange punkt L1, von dem aus die Sonne ununterbrochen beobachtet werden kann. Die Sonde zur Erforschung der kosmischen Hintergrundstrahlung WMAP kreiste um den äußeren Lagrange punkt L2, an dem die gleichzeitige Abschirmung störender Strahlung von Erde und Sonne einfacher ist.



WELTRAUMTELESKOP

Hubble

Start 24. April 1990, 12:33 UTC

- Das Hubble-Weltraumteleskop (englisch Hubble Space Telescope, kurz HST) ist ein Weltraumteleskop, das von der NASA und der ESA gemeinsam entwickelt wurde und das nach dem Astronomen Edwin Hubble benannt ist. Es arbeitet im Bereich des elektromagnetischen Spektrums vom Infrarotbereich über das sichtbare Licht bis in den Ultraviolettbereich. Der Spiegeldurchmesser beträgt 2,4 Meter.
- [<https://de.wikipedia.org/wiki/Hubble-Weltraumteleskop>]

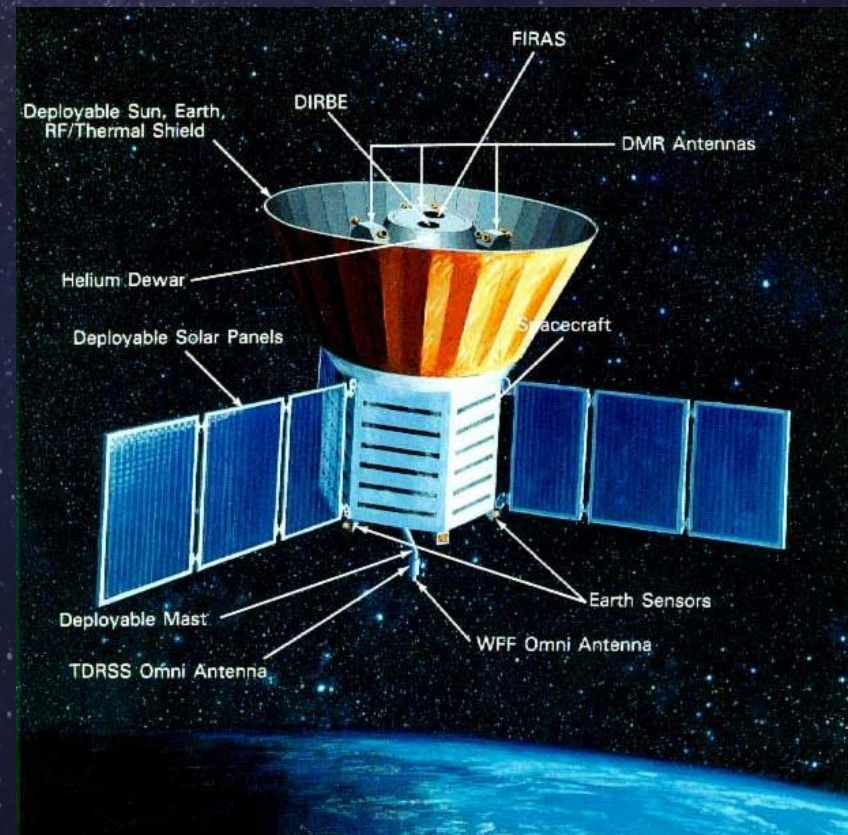


WELTRAUMTELESKOP

COBE / DIRBE

- Der Cosmic Background Explorer (COBE) ist ein Satellit der NASA, der von 1989 bis 1993 revolutionäre Ergebnisse der Messung der kosmischen Hintergrundstrahlung lieferte. Der Satellit befindet sich noch im Orbit, er umkreist die Erde in ca. 900 km Höhe auf einer polaren Umlaufbahn.
- Das Diffuse Infrarot Background Experiment (DIRBE) war ein Experiment auf der COBE-Mission der NASA, um den diffusen Infrarothimmel zu vermessen. Die Messungen wurden mit einem Spiegelteleskop mit einer Öffnung von 19 cm Durchmesser durchgeführt. Ziel war es, Helligkeitskarten des Universums in zehn Frequenzbändern vom nahen bis zum fernen Infrarot (1,25 bis 240 Mikrometer) zu erhalten. Außerdem wurde die lineare Polarisation bei 1,25, 2,2 und 3,5 Mikrometern gemessen. Während der Mission konnte das Instrument jeden Tag die Hälfte der Himmelskugel abtasten.
- [https://en.wikipedia.org/wiki/Diffuse_Infrared_Background_Experiment]

Start: 18. November 1989,
14:34 UTC

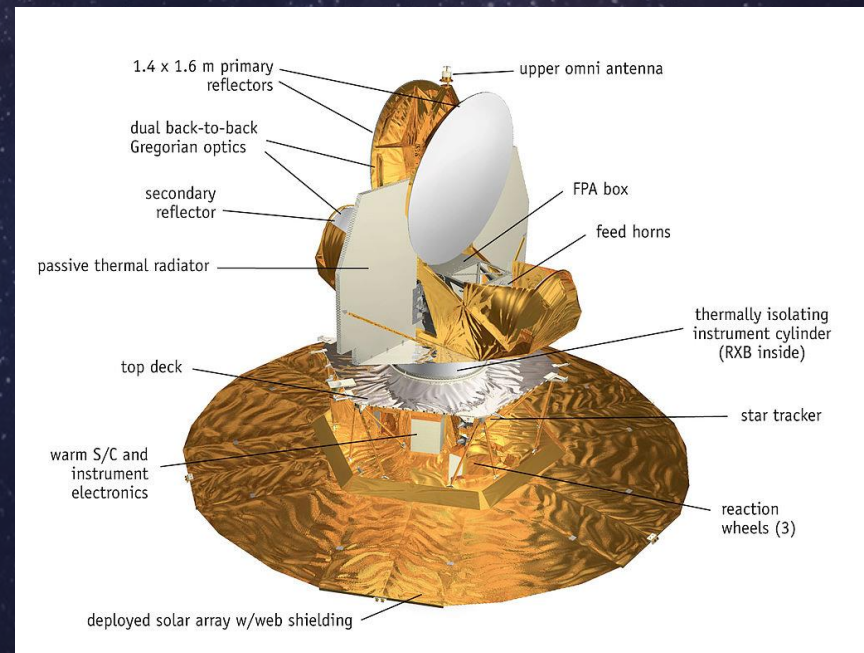


WELTRAUMTELESKOP

WMAP

- Wilkinson Microwave Anisotropy Probe (WMAP, früher MAP, auch Explorer 80) ist eine 2001 gestartete US-amerikanische Raumsonde, die bis 2010 in Betrieb war.
- „MAP“ steht als Abkürzung für „Microwave Anisotropy Probe“ und dient zur Erforschung von Unregelmäßigkeiten in der kosmischen Hintergrundstrahlung. Von dieser Strahlung sollte eine Karte angefertigt werden, daher passt auch die Abkürzung „MAP“ (zu dt.: Karte). Im Dezember 2002 wurde die Sonde in „WMAP“ umbenannt, wobei das „W“ für den Physiker David Todd Wilkinson (1935–2002), einen der Entdecker bzw. Erforscher der kosmischen Hintergrundstrahlung steht.

Start: 30. Juni 2001, 19:46 UTC

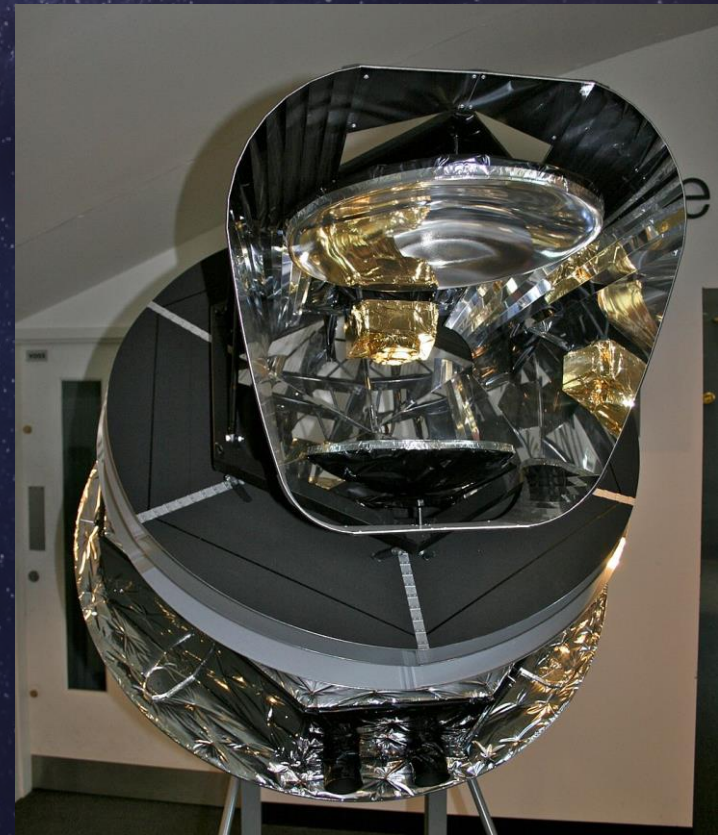


WELTRAUMTELESKOP

Planck

- Planck (auch Planck Surveyor genannt) war ein Mikrowellen-Weltraumteleskop der ESA zur Erforschung der kosmischen Hintergrundstrahlung. Das 1921 kg schwere Planck-Teleskop[1] wurde zusammen mit dem Infrarotteleskop Herschel durch eine Ariane 5 ECA in den Weltraum gebracht. Der Start erfolgte nach mehrmaliger Verschiebung am 14. Mai 2009 um 13:12 Uhr UTC vom Centre Spatial Guyanais bei Kourou.[2] Nach dem Brennschluss der Oberstufe wurden der Planck-Satellit um 13:40 UTC wenige Minuten nach dem Herschel-Teleskop auf einer hochelliptischen Erdumlaufbahn zwischen 270 und 1.197.080 km Höhe, die $5,99^\circ$ zum Äquator geneigt ist, ausgesetzt. Von dieser Umlaufbahn aus erreichte der Satellit nach mehreren Bahnmanövern seine Lissajous-Bahn um den Lagrange-Punkt L2 des Erde-Sonne-Systems.

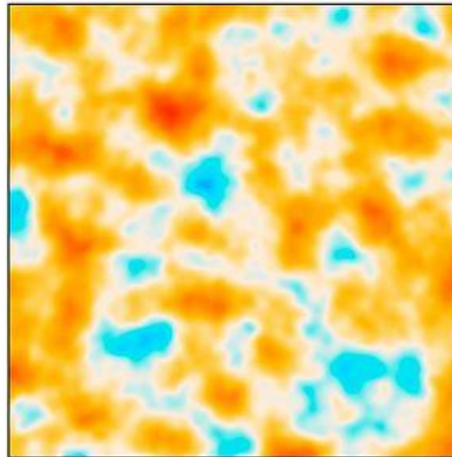
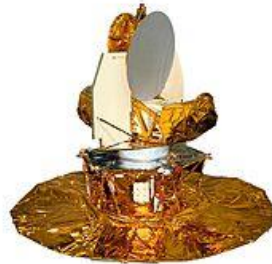
Start: 14. Mai 2009, 13:12 UTC



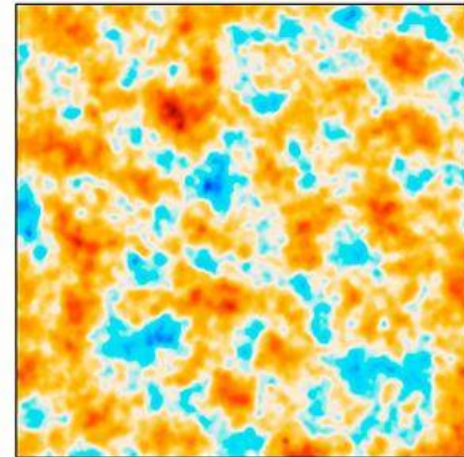
ERKENNTNISSE DER MW STRAHLUNG



COBE



WMAP

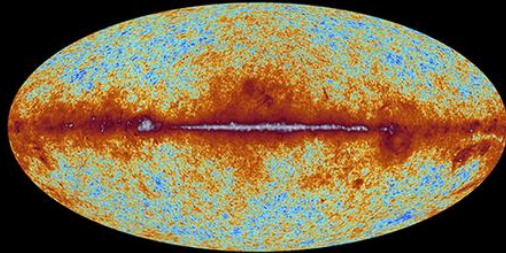


Planck

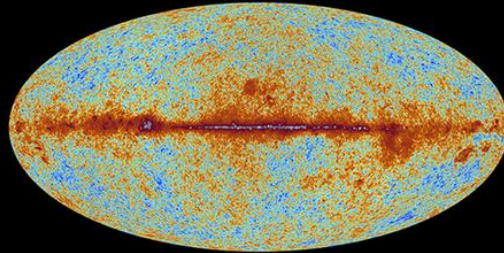


planck

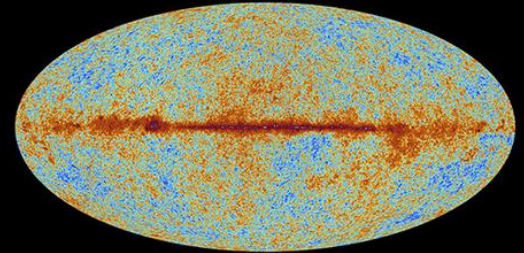
The sky as seen by Planck



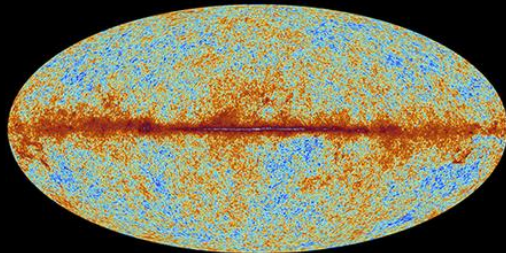
30 GHz



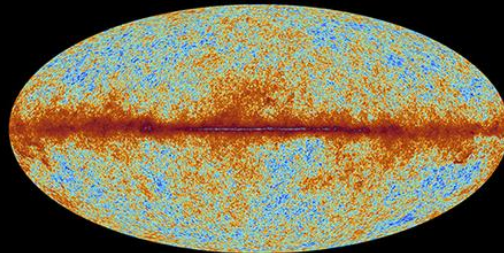
44 GHz



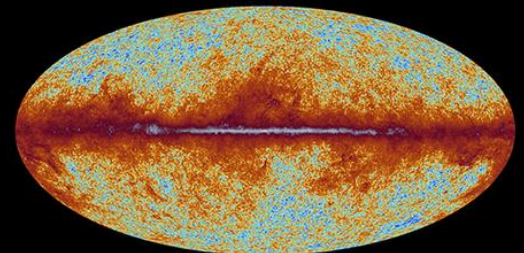
70 GHz



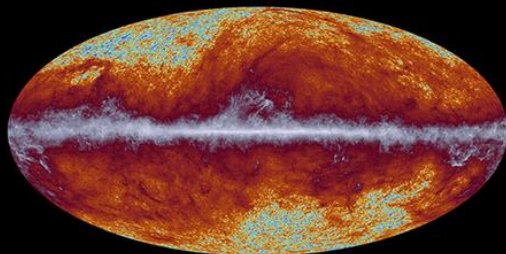
100 GHz



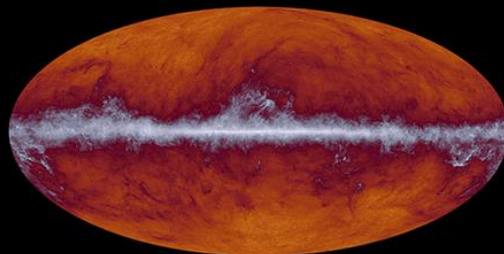
143 GHz



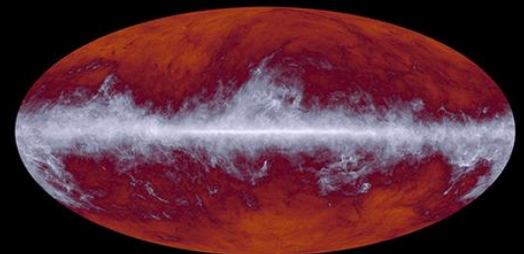
217 GHz



353 GHz

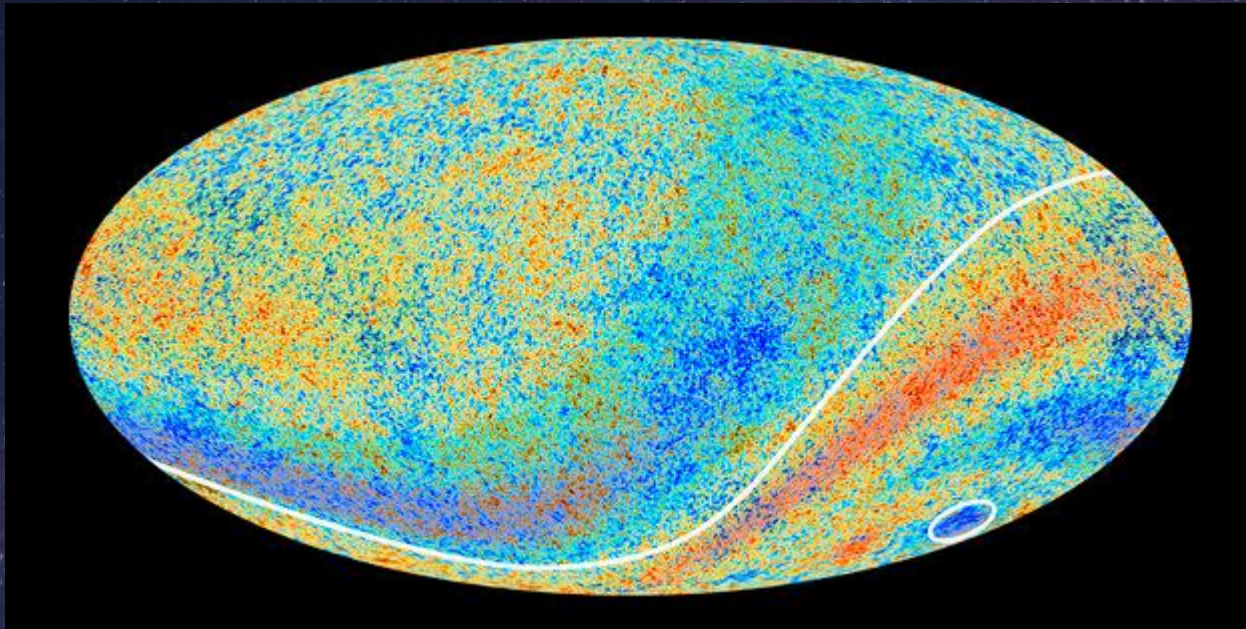


545 GHz



857 GHz

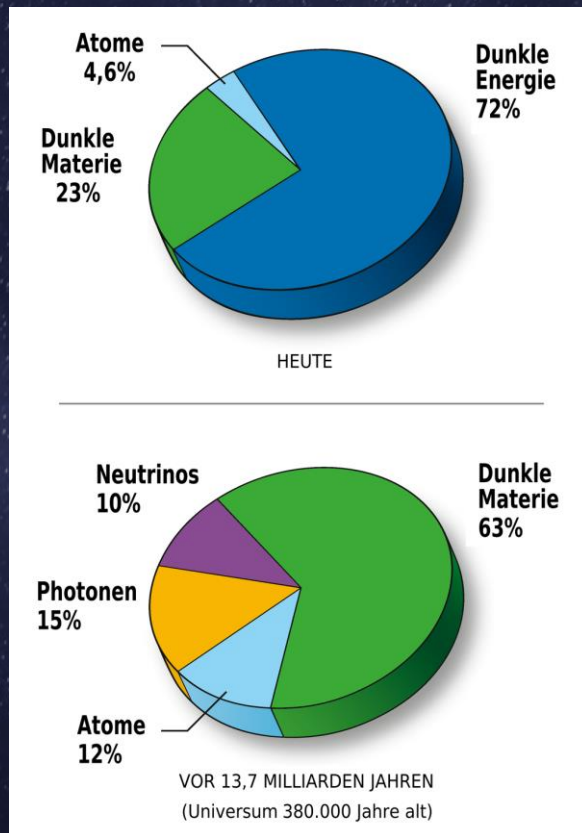
ASYMMETRIEN IN DER KOSMISCHEN HINTERGRUNDSTRAHLUNG



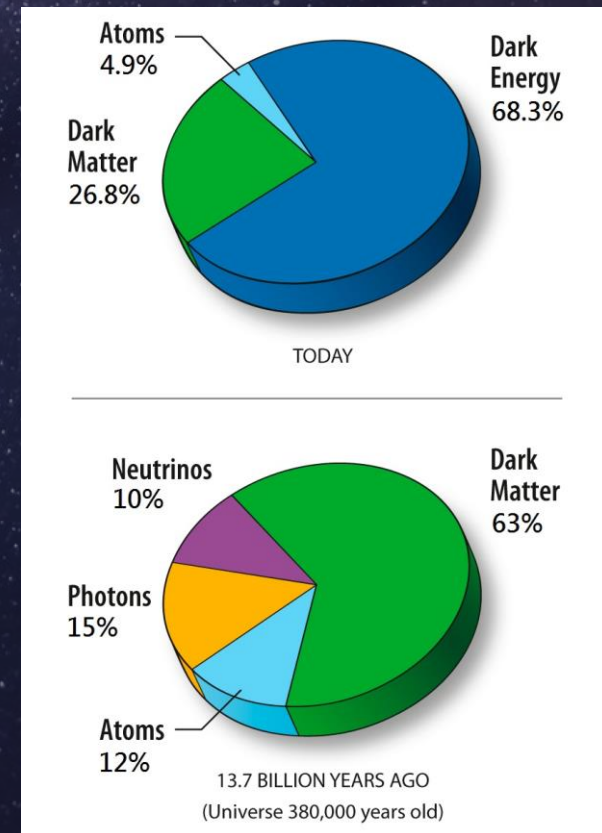
Diese Darstellung verdeutlicht die beobachtete Asymmetrie in der kosmischen Hintergrundstrahlung. Rechts der eingezeichneten Linie scheint der Himmel etwas wärmer zu sein, links davon etwas kälter. Im rechten, unteren Bereich der Karte zeigt eine weiße Ellipse den Ort des „kalten Flecks“ an, der den Wissenschaftlern ebenso Rätsel aufgibt.

ERKENNTNISSE DER MW STRAHLUNG

Vor Planck, nach WMAP



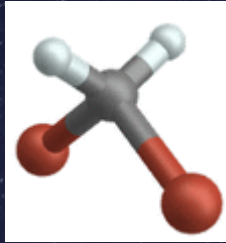
Nach PLANCK



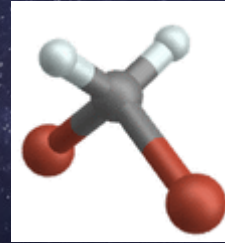
INFRAROT - IR STRAHLUNG

- Im IR Bereich des elektromagnetischen Spektrums findet man Schwingungen und Rotationen von Molekülen und kann diese eindeutig identifizieren
- Meist wird die Methode nur qualitativ eingesetzt
- Die International Commission on Illumination (CIE) und DIN schlagen die Einteilung in drei Bänder vor: IR-A, IR-B und IR-C. Die Festlegung mit den Bezeichnungen NIR, MIR und FIR folgt der ISO 20473.
- Die Lichtquelle ist eine Keramik, der sogenannte NERNST Stift oder Globar
- Zur Messung eignen sich thermische Detektoren, wie Thermoelemente oder Bolometer. In der Fotografie werden Halbleiterdetektoren, Pyroelektrische Sensoren (PIR) oder Thermosäulen verwendet.

INFRAROT - SCHWINGUNGEN

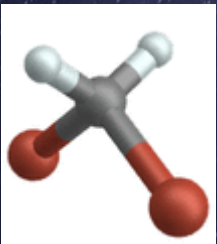


Symmetrische Streckschwingung
(engl. symmetrical stretching)

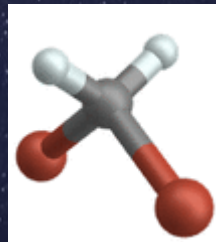


Antisymmetrische Streckschwingung
(engl. antisymmetrical stretching)

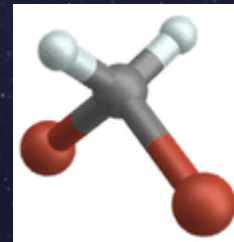
- <https://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotspektroskopie>



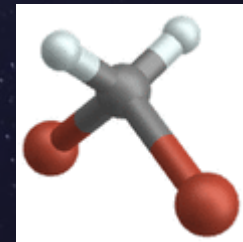
Biegeschwingung
(engl. scissoring
oder bending)



Schaukelschwingung
(engl. rocking)

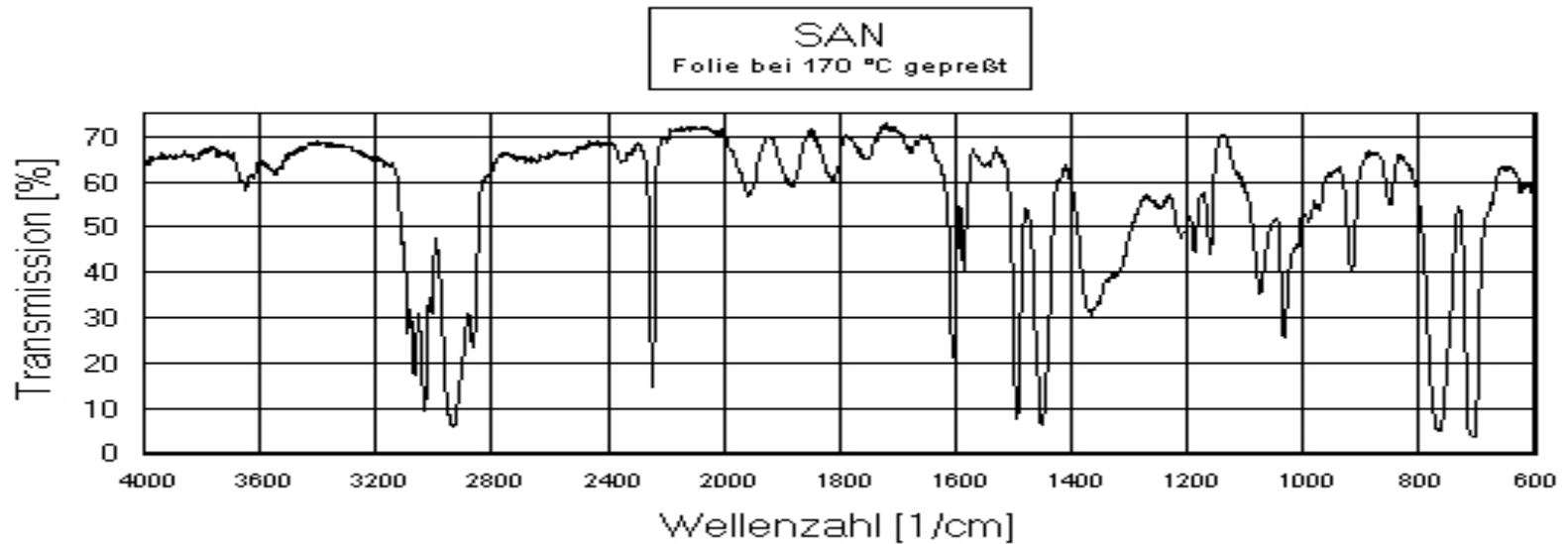


Wippschwingung
(engl. wagging)



Drehschwingung
(engl. twisting oder torsing)

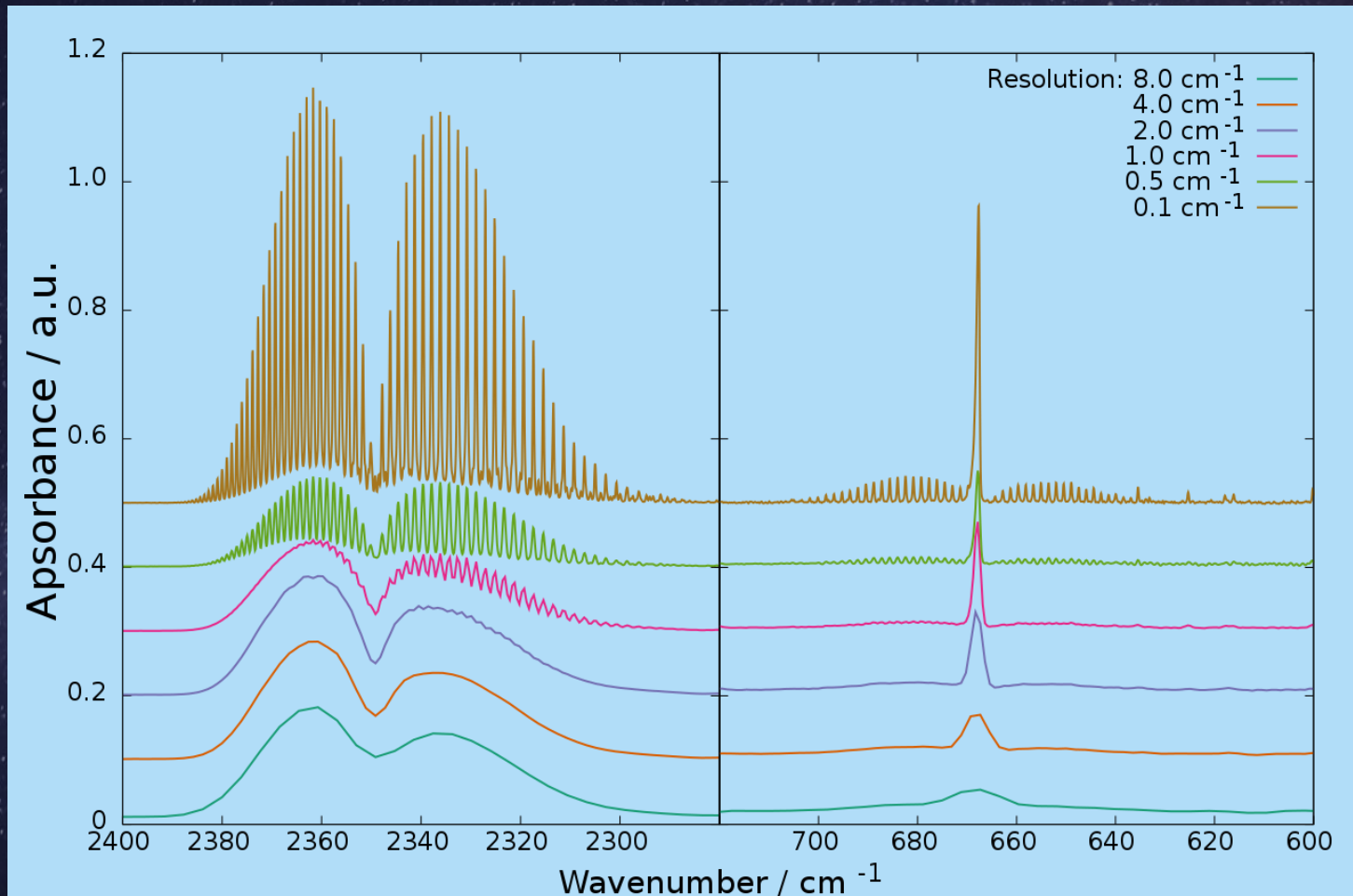
IR SPEKTREN



Schwingungsdaten von wichtigen Atomgruppen^[3]

Bezeichnung nach Mecke/ Atomgruppe	Wellenzahlbereich in cm^{-1}	Bemerkung
$\nu(-\text{C}-\text{H}_x)$	2850–3200	ν = Streckschwingung; $x = 1 \dots 3$, Anzahl der gebundenen Wasserstoffatome
$\delta(-\text{C}-\text{H}_x)$	1400	δ = Deformationsschwingung; $x = 1 \dots 3$, Anzahl der gebundenen Wasserstoffatome
$-\text{C}=\text{C}$	1650	
$-\text{C}\equiv\text{C}$	2200–2500	
$\nu(-\text{OH})$	3200–3600	In Verbindung mit Wasserstoffbrückenbindungen häufig Banden über einen großen Spektralbereich, beispielsweise bei flüssigem Wasser
$\nu(-\text{OH})$	2500–3000	in Carboxygruppen
$-\text{C}=\text{O}$	1700	
$\nu(-\text{C}\equiv\text{N})$	2200–2260	Valenzschwingung, z. B. in ABS oder SAN (s. Bild)
$\nu(-\text{NH})$	3100–3500	
$-\text{NO}_2$	1500	
$-\text{C}-\text{X}$	< 1500	wobei X für ein Halogen steht
$\nu_{\text{as}}(\text{O}=\text{C}=\text{O})$	2349	Kohlendioxid.

IR ROTATIONS-SCHWINGUNGSSPEKTREN



Rotations-Schwingungs-Spektrum von gasförmigem Kohlenstoffdioxid bei Raumtemperatur gemessen mit unterschiedlichen Auflösungen.

IR ASTRONOMIE

DIRBE 25, 60, 100 μm Composite



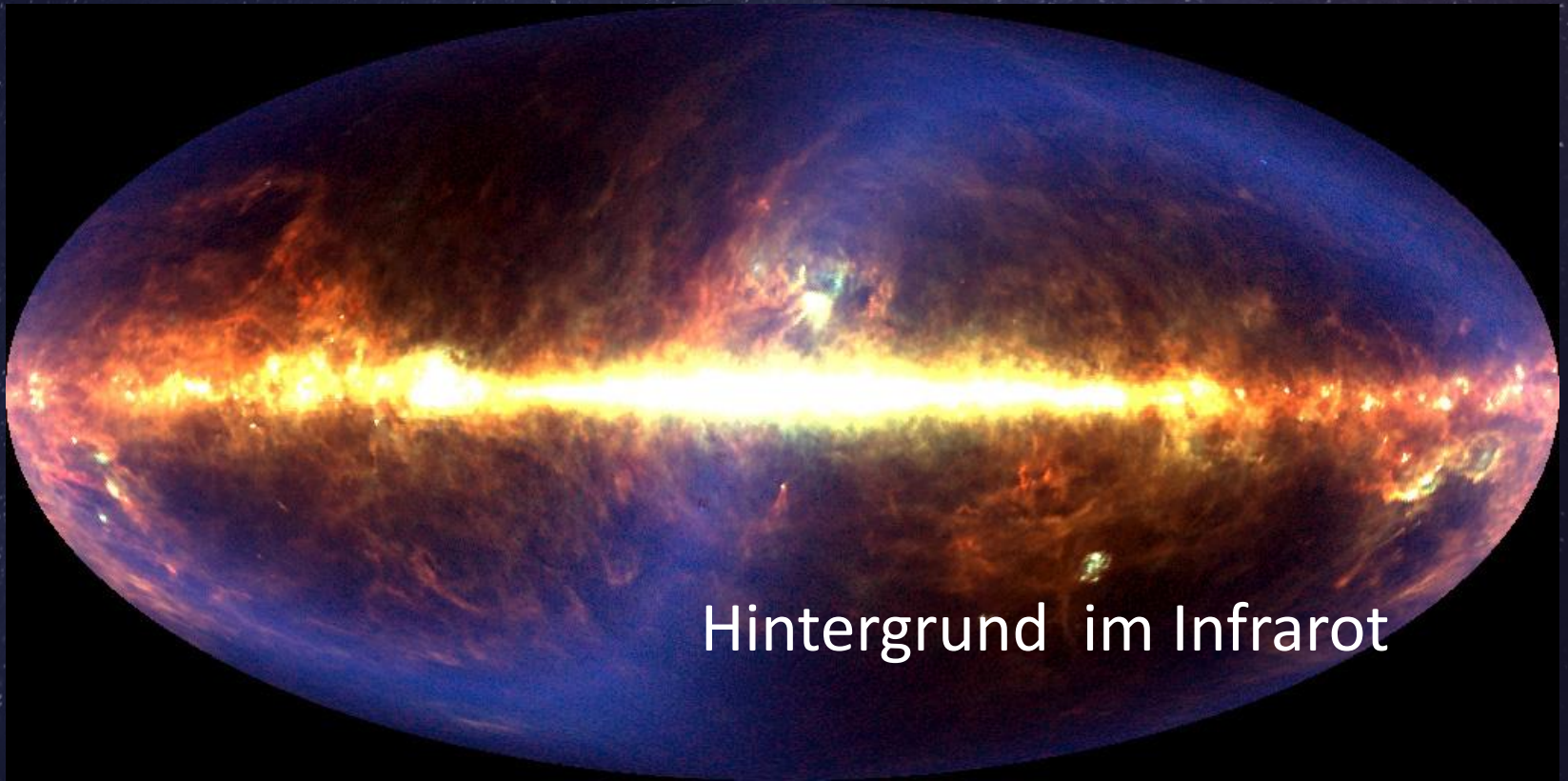
Hintergrund im Infrarot

IR ASTRONOMIE



Milchstrasse im Infrarot

IR ASTRONOMIE

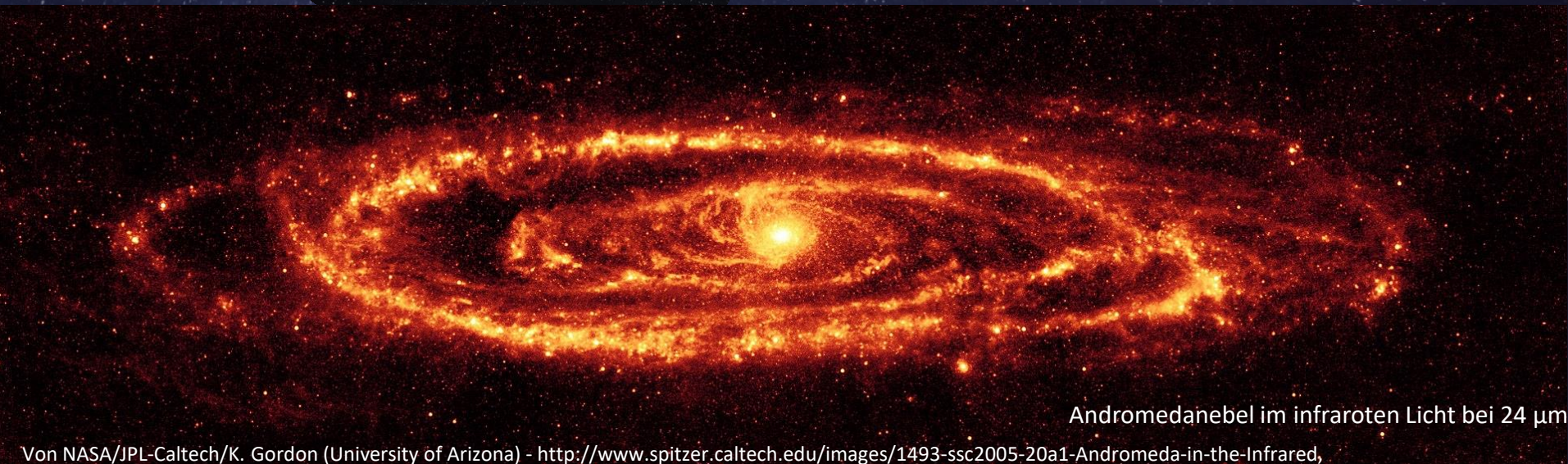


Hintergrund im Infrarot

IR ASTRONOMIE

M31 Andromedagalaxie

<https://apod.nasa.gov/apod/ap181217.html>



Andromedanebel im infraroten Licht bei 24 μm

M51

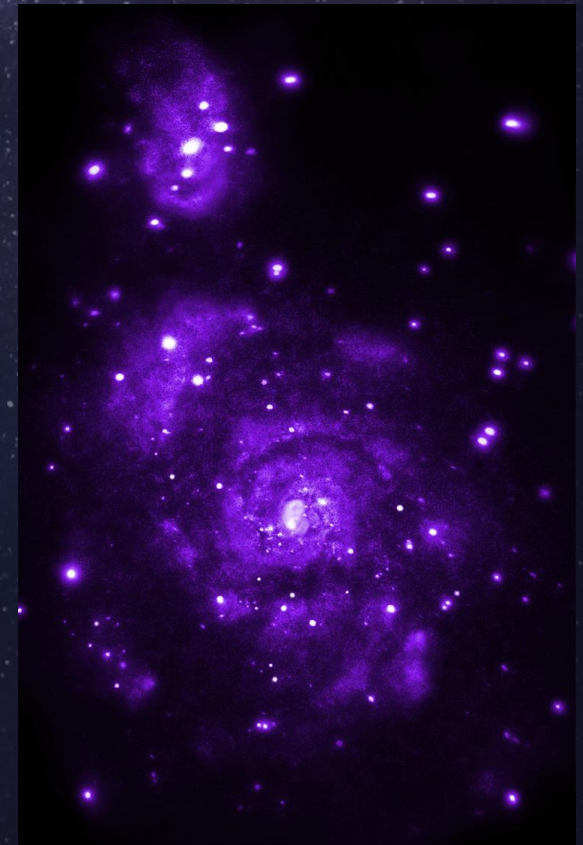
... Whirlpool genannte Galaxie M51 offenbart eine deutlich ausgeprägte Spiralstruktur. Aufnahmen im Röntgenbereich enthüllen mehr als 400 Röntgenquellen



Hubble: sichtbares Licht

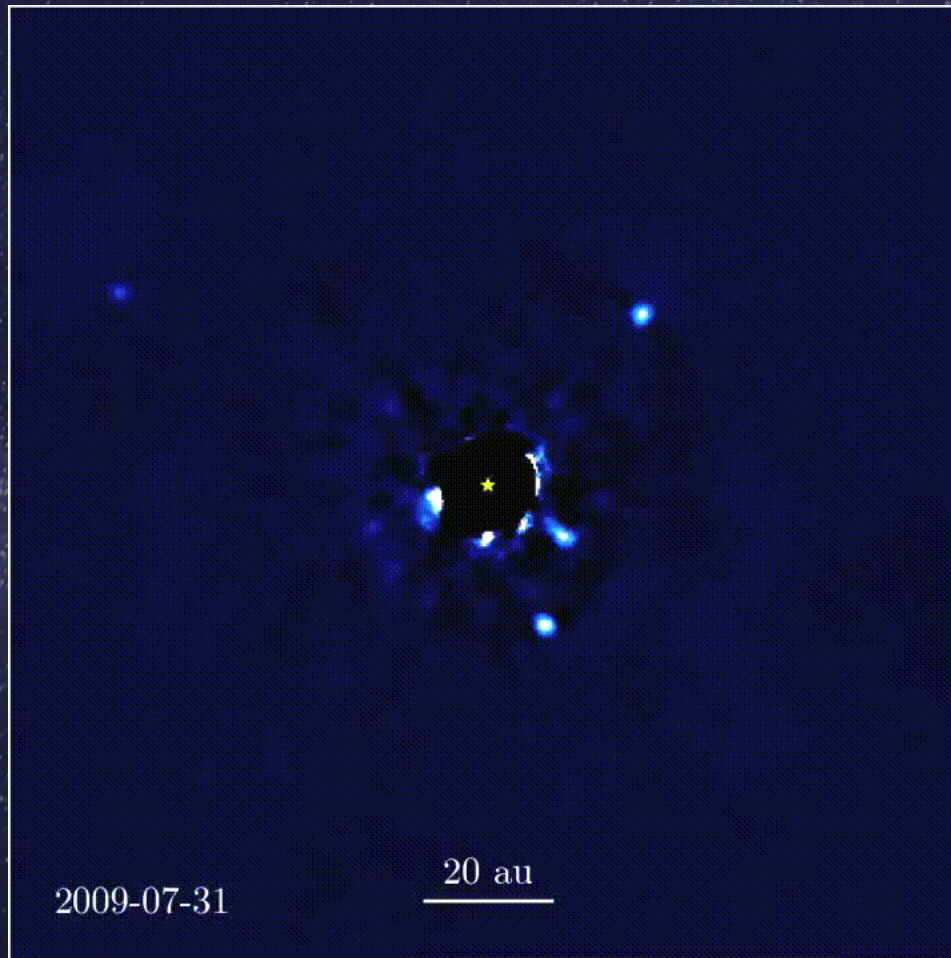


Chandra: Röntgen



Kombination

EXOPLANETEN



System des Sterns
HR 8799 (Mitte,
hinter kreisförmiger
Abdeckung) mit den
Planeten HR 8799b
(links oben), HR
8799c (rechts oben),
HR 8799d (rechts
unten), HR 8799e
(Mitte rechts)
aufgenommen vom
Keck-Observatorium

EUROPÄISCHE SÜDSTERNWARTE

Das Very Large Telescope (VLT) der ESO auf dem Paranal. Das VLT ist das weltweit fortschrittlichste bodengebundene astronomische Observatorium: Die vier 8,2-Meter-Hauptteleskope, vier 1,8-Meter-Hilfsteleskope und das VLT Survey Telescope (VST) und dem 4,1-Meter-Visible Und Infrarot-Survey-Telescope for Astronomy (VISTA) erlaubt hochauflösende Bilder selbst weit entfernter Himmelskörper

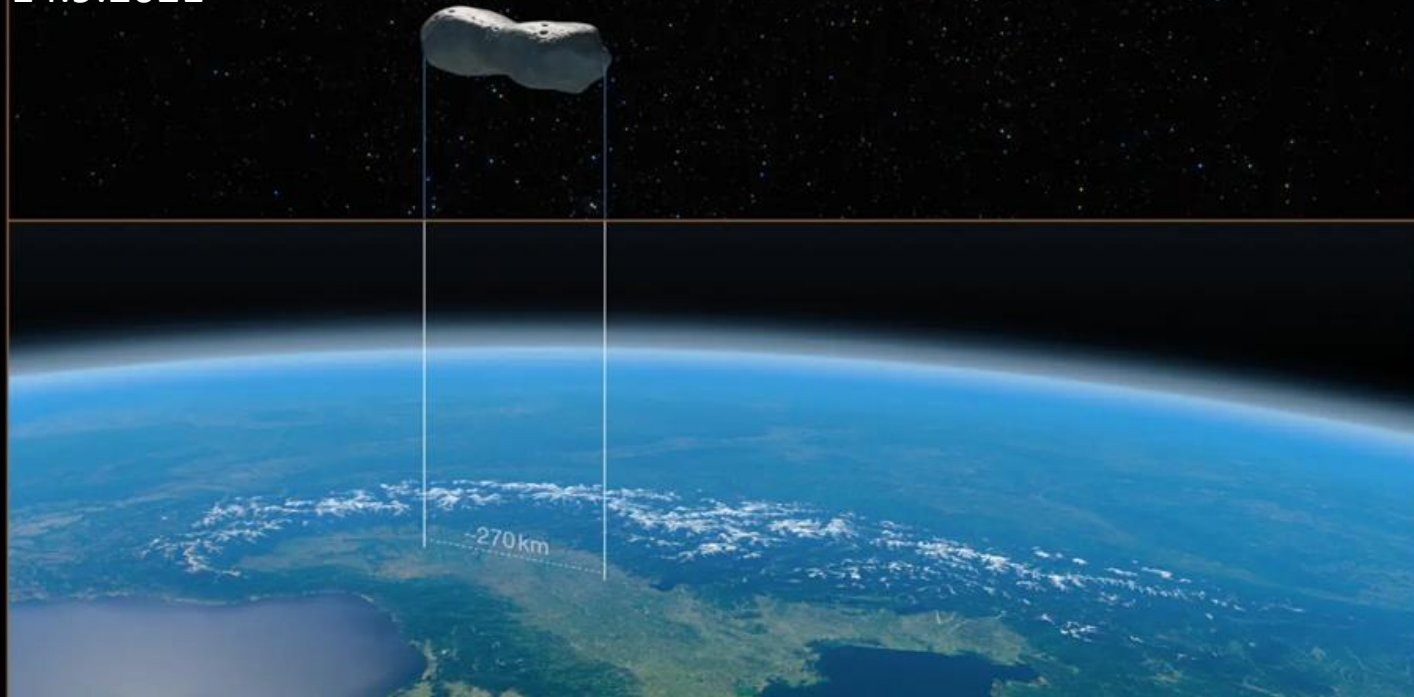




Astronomen können mit Unterstützung des Laserleitsternsystems von Yepun, einem der vier Hauptteleskope am Very Large Telescope (VLT), das Zentrum der Milchstraße in den Fokus nehmen.

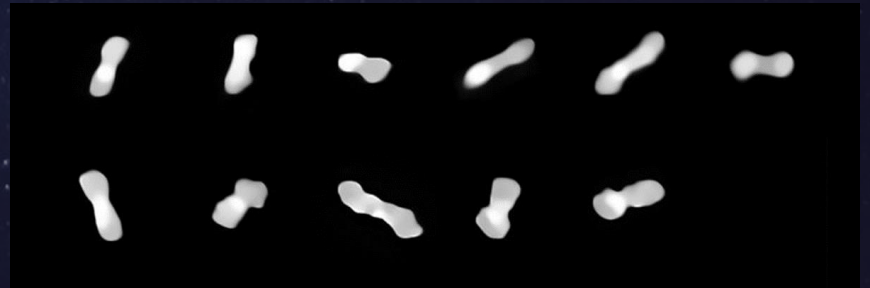
ASTEROID KLEOPATRA

14.9.2021



IR Aufnahmen, die mit dem SPERE Instrument am VLT in den Jahren 2017 – 2019 entstanden, wurden nun in einem 3D Model zusammengefügt

Der außergewöhnliche Asteroid Kleopatra ist 270 km lang, geformt wie ein Hundeknochen und hat zwei Monde.



GANYMED

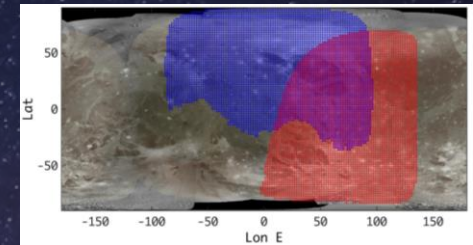
NASA's Juno Celebrates 10 Years With New Infrared View of Moon Ganymede

Aug 5, 2021



This infrared view of Jupiter's icy moon Ganymede was obtained by the Jovian Infrared Auroral Mapper (JIRAM) instrument aboard NASA's Juno spacecraft during its July 20th, 2021, flyby.
Credits: NASA/JPL-Caltech/SwRI/ASI/INAF/JIRAM

https://eyes.nasa.gov/apps/orrery/#/sc_juno?time=2020-11-08T00:46:34



Fakten

- Das Wissenschaftsteam der NASA-Raumsonde Juno hat eine neue Infrarotkarte des Jupiter-Mond Ganymed aus den kombinierten Daten von drei Vorbeiflügen erstellt.
- Das Jovian Infrared Auroral Mapper (JIRAM)-Instrument der Raumsonde, „sieht“ die im für das menschliche Auge nicht sichtbaren Infrarotlicht Informationen über die eisige Hülle von Ganymed und die Zusammensetzung des Ozeans aus flüssigem Wasser darunter.
- Ganymed ist einer der 79 Monde des Jupiter und größer als der Planet Merkur.
- Er ist der größte Mond in unserem Sonnensystem und darüber hinaus der einzige Mond mit einem eigenen Magnetfeld
- Da er keine Atmosphäre (Gashülle) besitzt, gibt es keine Polarlichter. Das Magnetfeld sorgt für einen Schutz der Äquatorregion und ein verstärktes Bombardement mit Ionen an den Polkappen.

ZUSAMMENFASSUNG

- Grundlagenverständnis
- Verknüpfungen zwischen Thermografie und der Weltraumforschung
 - Einblicke in ältere und neuere Erkenntnisse
 - Denkanstöße :
 - Wo kommen wir her ?
Wo sind wir ?
Wo gehen wir hin?



Vielen Dank !

QUELLEN

[] Präsentationsvorlage- Microsoft Office

[Formeln] <https://www.thermografie.co.at/expertenwissen-normen/ir-theorie1>

[Spektrum]

Atmospheric_electromagnetic_opacity.svg: NASA (original); SVG by Mysid.derivative work: Matt (talk) - Atmospheric_electromagnetic_opacity.svg, Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7174120>

[] <https://www.nasa.gov/feature/jpl/nasa-s-juno-celebrates-10-years-with-new-infrared-view-of-moon-ganymede>

Achten Sie darauf, dass Sie gedruckte und elektronische Quellen in alphabetischer Reihenfolge einschließen.

[] Teh sky by Planck https://www.weltderphysik.de/typo3temp/assets/_processed_/f/a/csm_20140803_Planck_all-sky_frequency_maps-esa_495fadba1.jpg

[] <https://www.weltderphysik.de/gebiet/universum/news/2013/planck-daten-der-kosmischen-hintergrundstrahlung-bestaetigen-bisherige-modelle/>

[] https://www.weltderphysik.de/uploads/tx_wdpmedia/20130321_planckasym_ESA.png

[] Mikrowellensensoren : <http://www.energie-portal.net/lexikon-m-o/mikrowellensensoren/>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Mikrowellen-Messverfahren>

[] Infrarotspektroskopie <https://de.wikipedia.org/wiki/Infrarotspektroskopie>

[] Weltraumteleskope <https://physik.cosmos-indirekt.de/Physik-Schule/Weltraumteleskop>

[] Kleopatra, ESO Südsternwarte : <https://www.ingenieur.de/technik/fachbereiche/raumfahrt/asteroid-kleopatra-sorgt-fuer-ueberraschende-weltraum-entdeckung/>

[] M51 <https://www.spektrum.de/news/das-universum-im-roentgenlicht/1744028>