

Neutronensterne, Quarksterne und Schwarze Löcher

Night of Science

Johann Wolfgang Goethe Universität, Frankfurt am Main

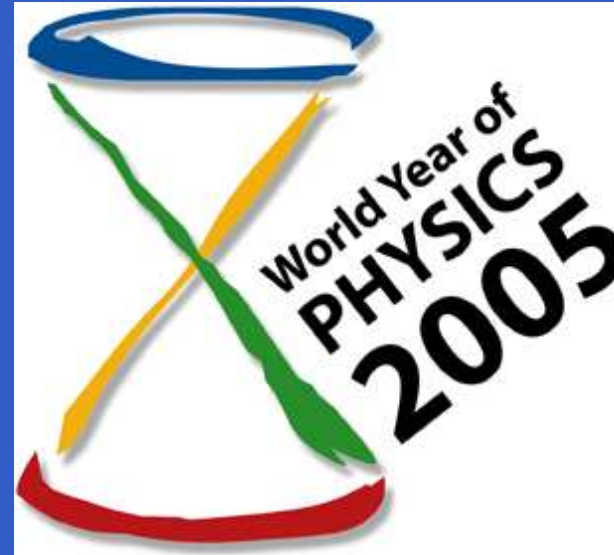
26.–27. Juni 2006

Jürgen Schaffner–Bielich

Institut für Theoretische Physik/Astrophysik



2005: Jahr der Physik und Einstein-Jahr!



- World Year of Physics 2005!
- Einstein Jahr 2005: 50. Todestag, 100. Geburtstag der Relativitätstheorie
- Albert Einstein (1879-1955): Physiker, Pazifist, Humanist, Zionist

Bewegung am kosmischen Tempolimit — Visualisierungen zur Speziellen

Relativitätstheorie: Fast lichtschnelle Fahrradfahrt durch Tübingen

Animation: Ute Kraus und Marc Borchers, Uni Tübingen

Astronomie selbst erleben!

Der vierte deutschlandweite
Astronomietag
16. September 2006

Teilbild: Walterschichtwunder-Elektrozitate Essen

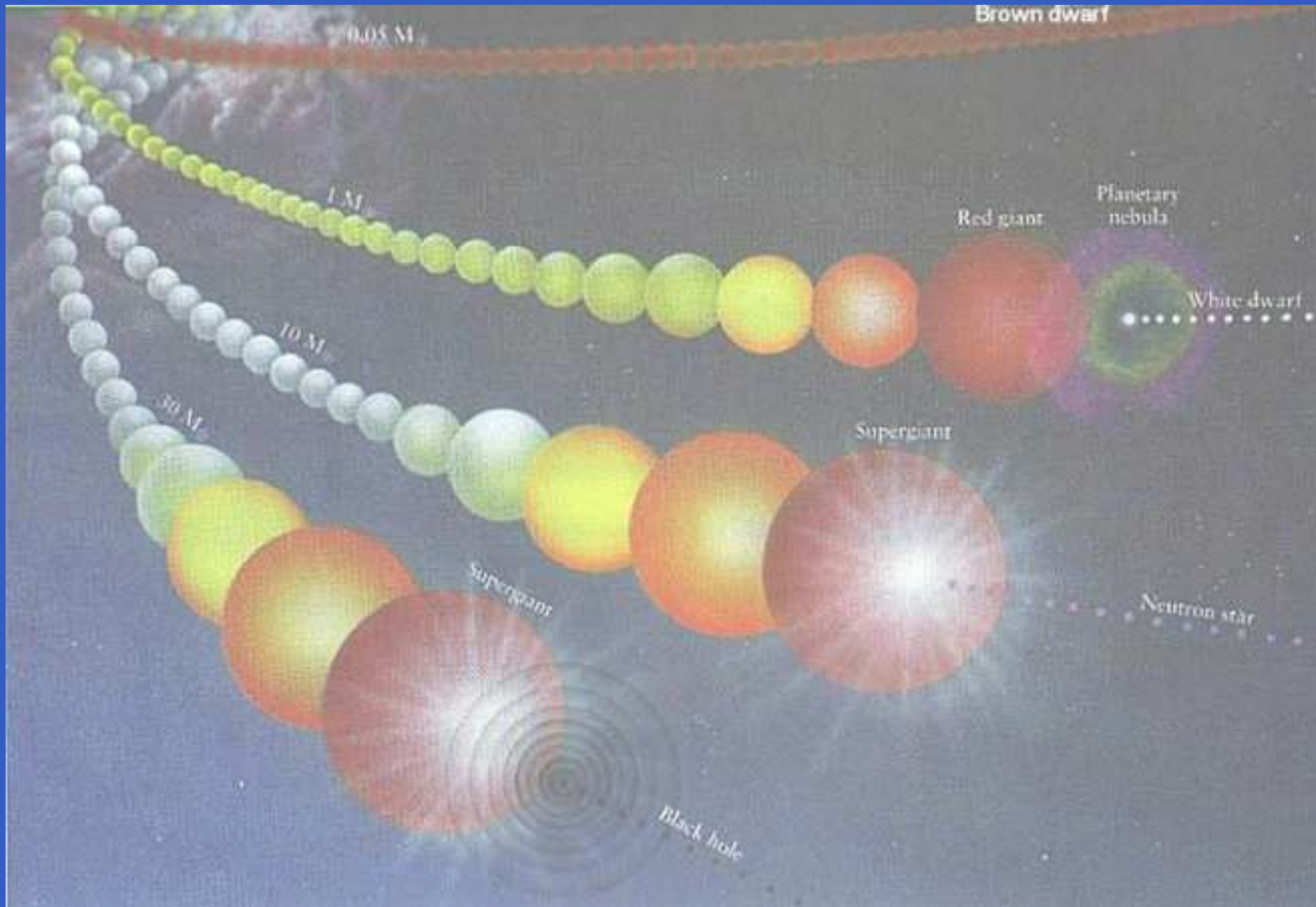
Mit zahlreichen Veranstaltungen von Volksternwarten, Planetarien, engagierten Hobby-Astronomen, astronomischen Vereinen und Institutionen. Lassen Sie sich für das Weltall und die Beobachtung des Himmels begeistern!

www.astronomietaq.de

- Astronomietag (Lange Nacht der Sterne) am 16. September 2006: Bundesweite Veranstaltung zur Astronomie
- Veranstaltungen des Physikalischen Vereins Frankfurt: Himmelsbeobachtungen, Ausstellungen, Multi-Media Vorträge, Astro Quiz, Sternführungen, . . .
- regelmäßig: Astronomie am Freitag, Schul- und Gruppenführungen, Workshops, Seminare (Teleskopkauf, Sternkarten, etc.)
- Robert-Mayer-Str. 2–4, Frankfurt
Internet: www.physikalischer-verein.de

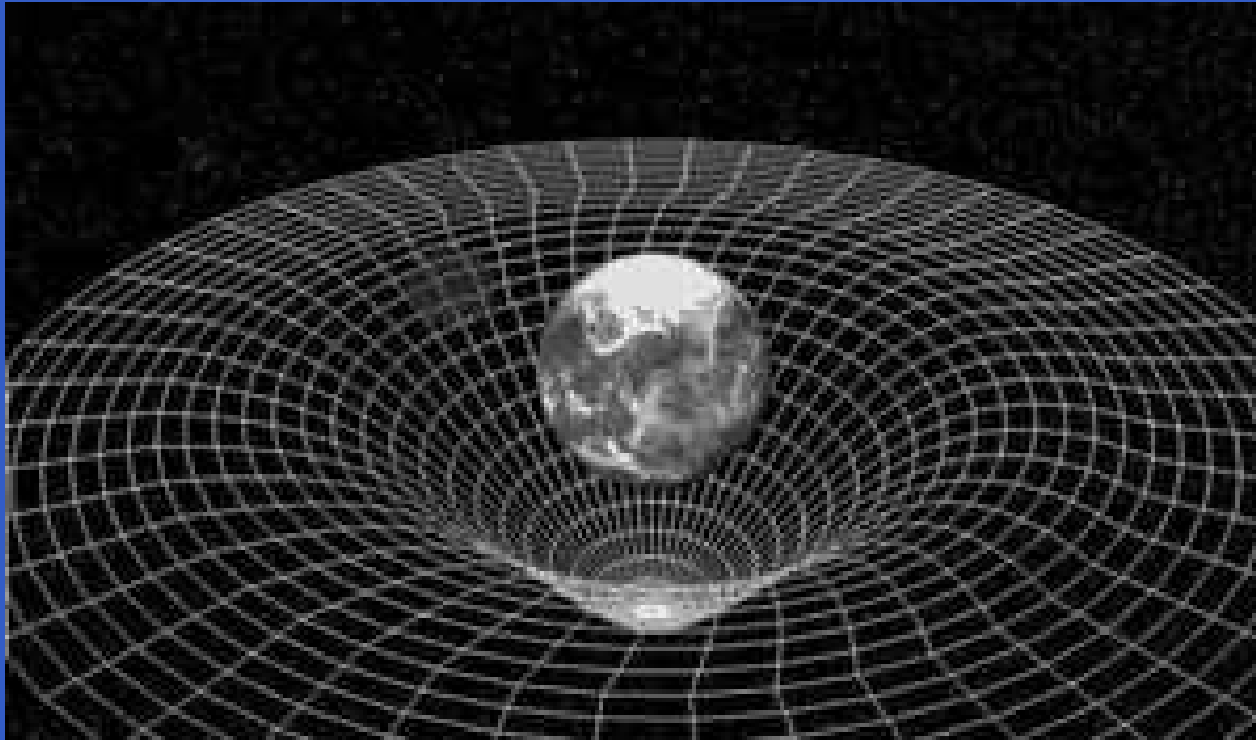


Relativistische Astrophysik: Einsteins "Sterne"

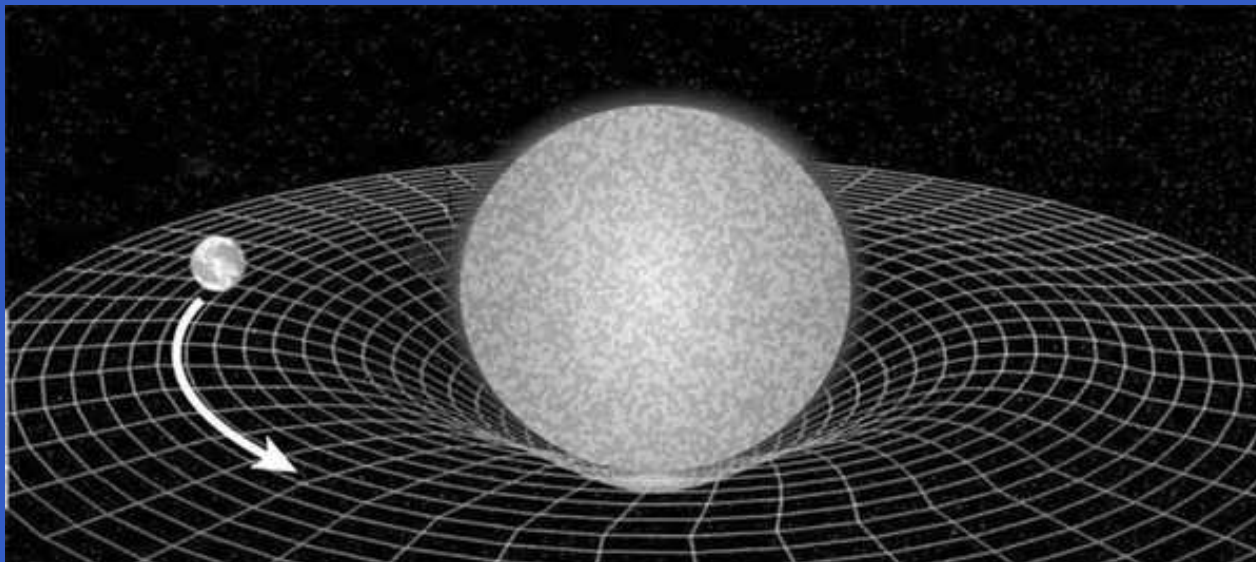


Endstadien der Sternentwicklung: kompakte, relativistische Objekte
(Weiße Zwerge, Neutronensterne, Schwarze Löcher)

Die Allgemeine Relativitätstheorie von Einstein



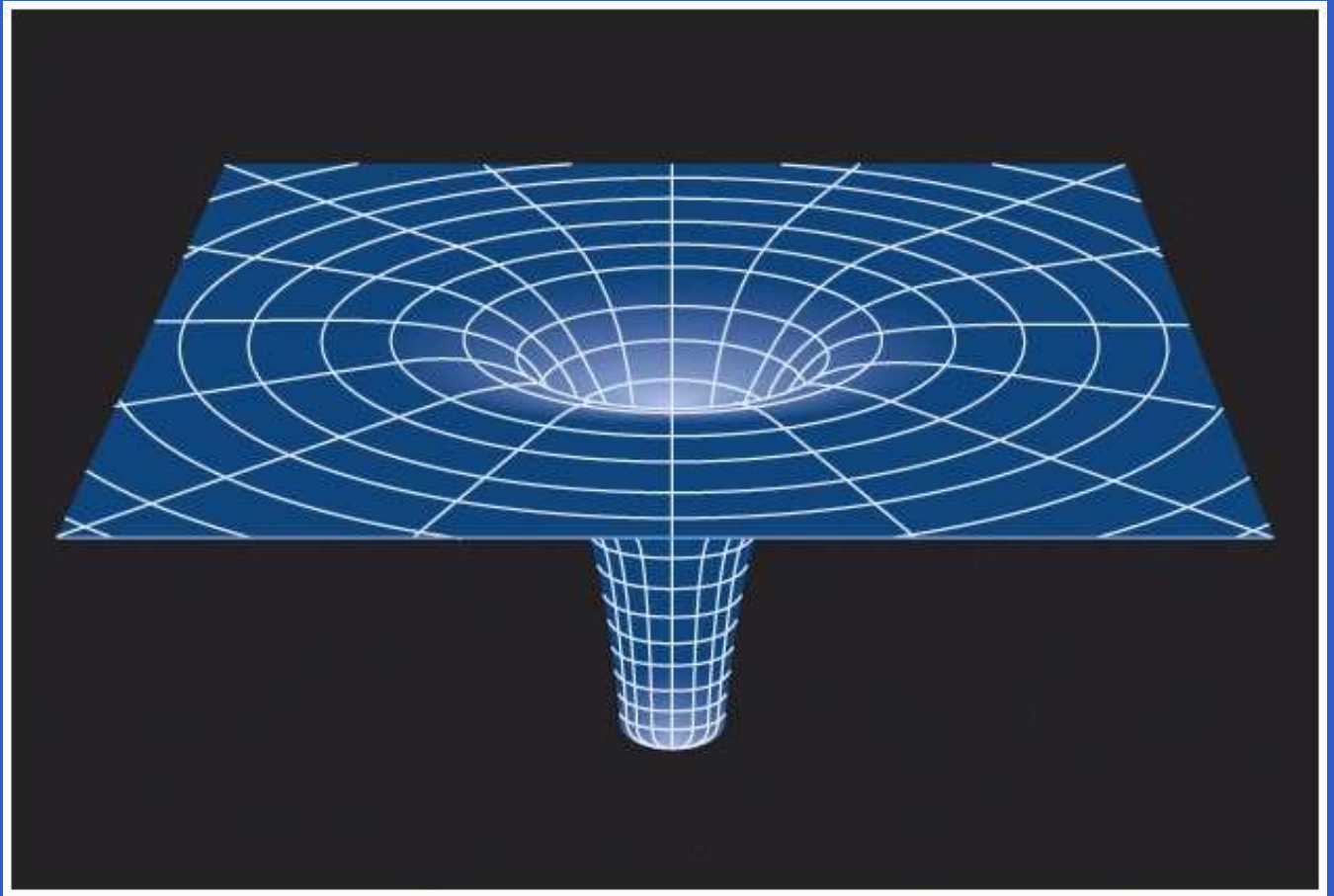
Materie bestimmt die Krümmung des Raumes



Raum bestimmt die Bewegung der Materie

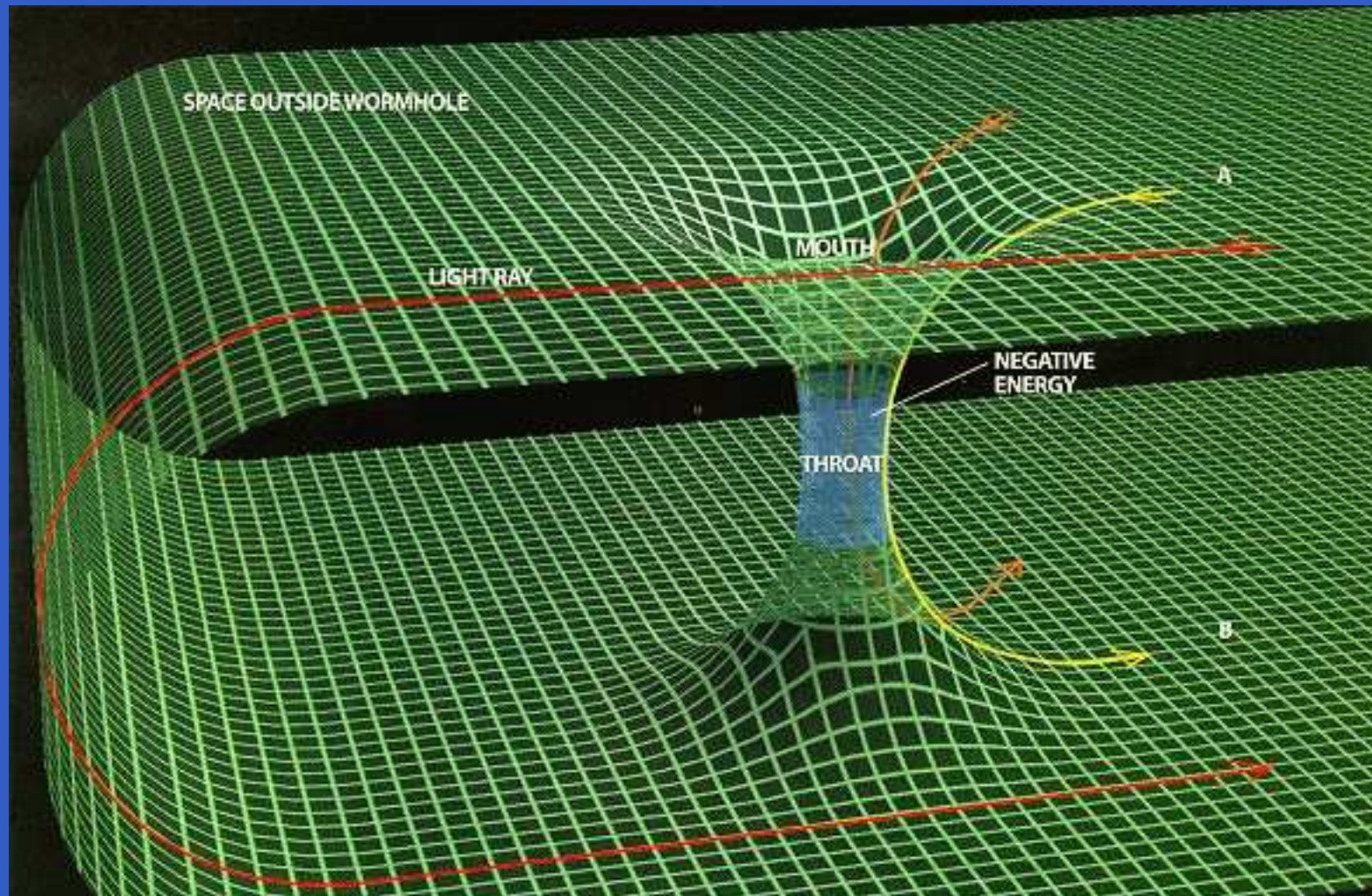
(John Archibald Wheeler)

Schwarze Löcher — Lösung der Einstein Gleichungen



- Erste volle Lösung der Einstein-Gleichungen: Schwarzschild-Lösung
- Karl Schwarzschild (1873-1916), geboren in Frankfurt am Main
- Größe des Schwarzen Loches: Schwarzschild-Radius
- Schwarzschild-Radius der Sonne: 3 km, der Erde: 9 mm!

Extremes Schwarzes Loch: Wurmloch

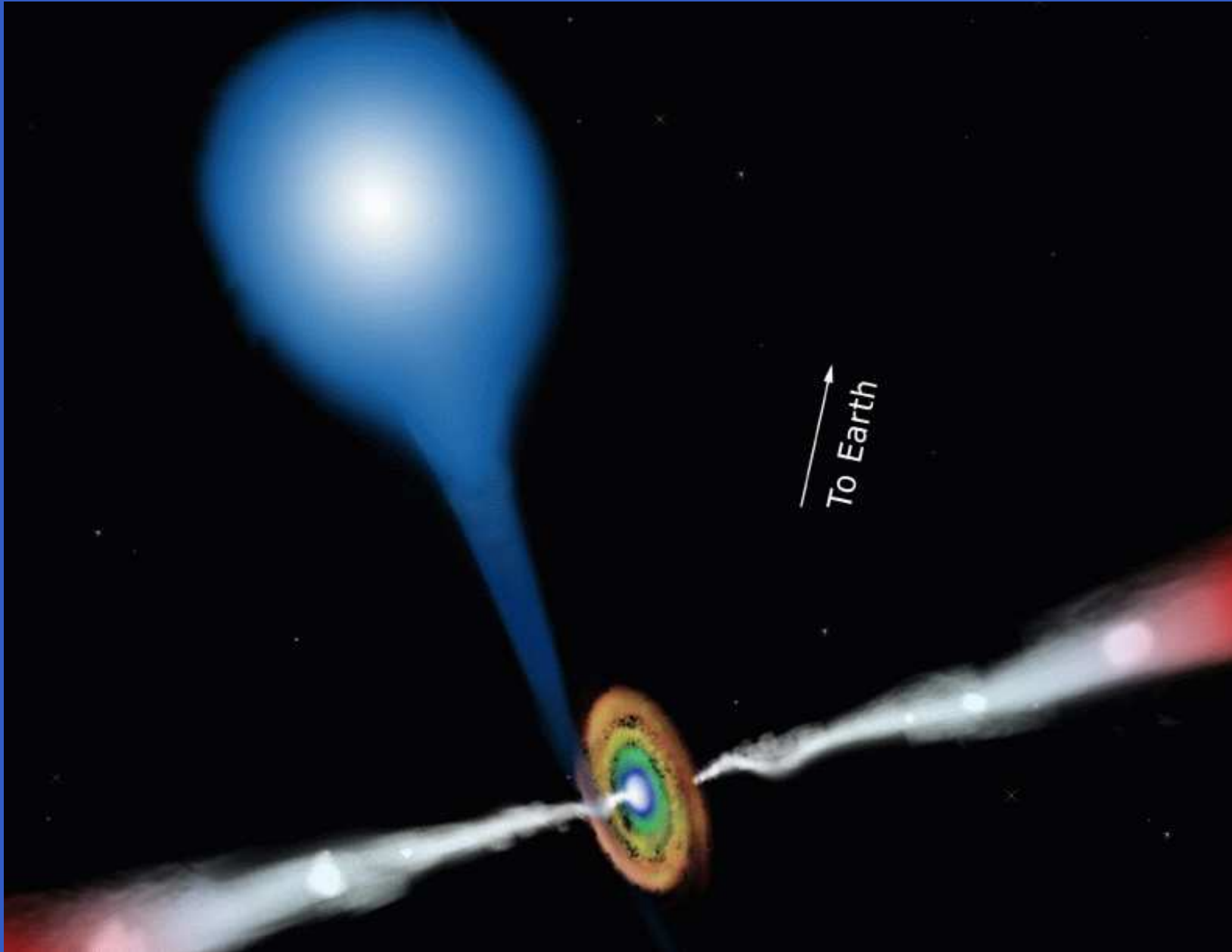


- Wurmloch verbindet verschiedene Raumzeit-Punkte
- Reisen mit Überlichtgeschwindigkeit: Warp-Antrieb von Raumschiff Enterprise! (benötigt jedoch negative Energie)

Fall in ein Schwarzes Loch

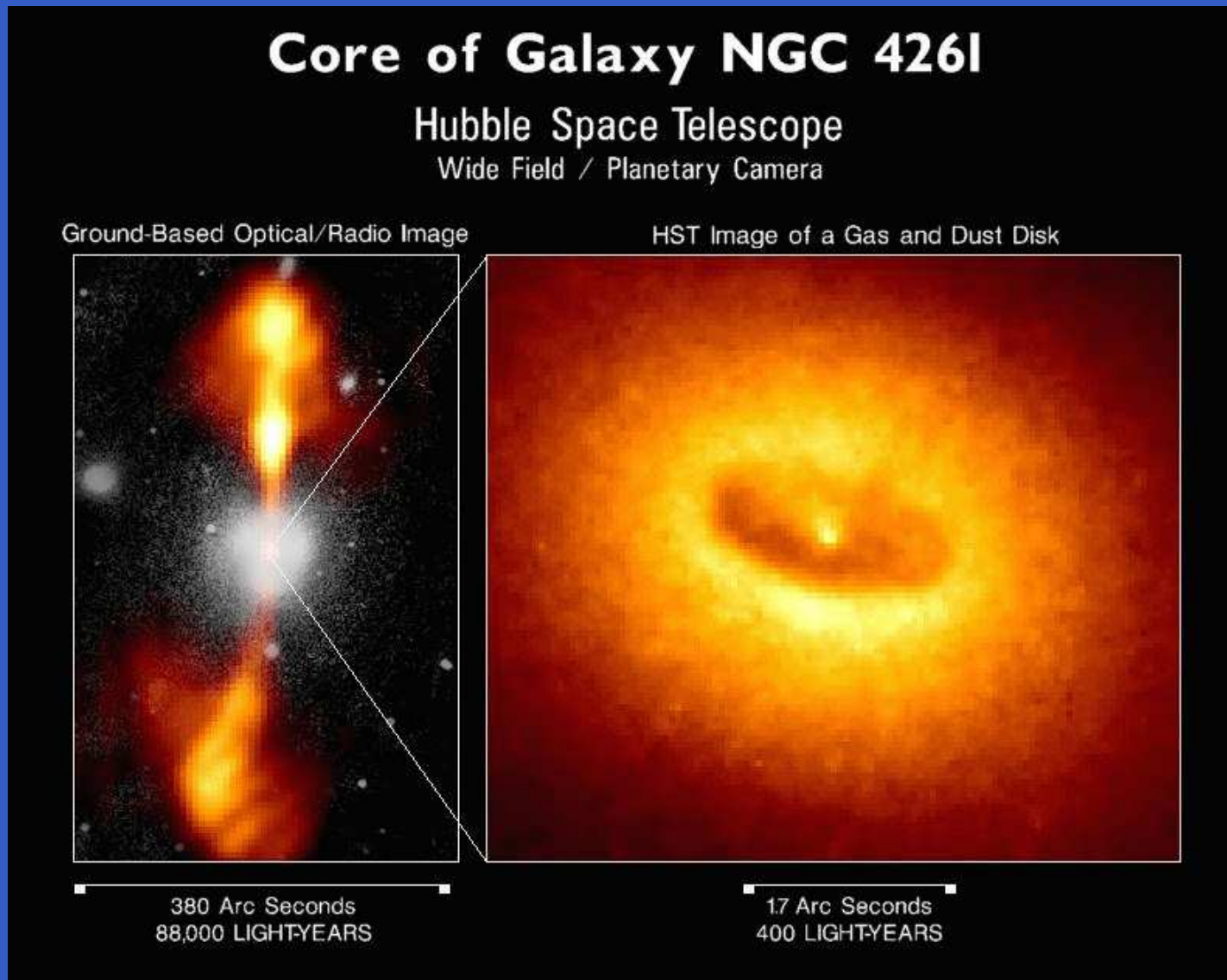
- Astronaut fällt in ein supermassives Schwarzes Loch mit einer Million Sonnenmassen, Startpunkt: zehn Schwarzschild-Radien
- Achtung: Schwarzes Loch mit einer Sonnenmasse zerreißt Astronaut weit vor dem Horizont durch Gezeitenkräfte!
- Bilder verzerren sich durch die Schwerkraftablenkung
- nichts besonderes passiert beim Durchqueren des Horizonts, aber es gibt dann kein zurück mehr!
- Fallzeit: acht Minuten bis zum Horizont, sieben Sekunden bis zur Singularität!
- Beobachter von außen: Astronaut fällt immer langsamer, Licht wird rotverschoben, erreicht scheinbar nie den Horizont (optische Täuschung!)

Schwarze Löcher sind nicht alleine!



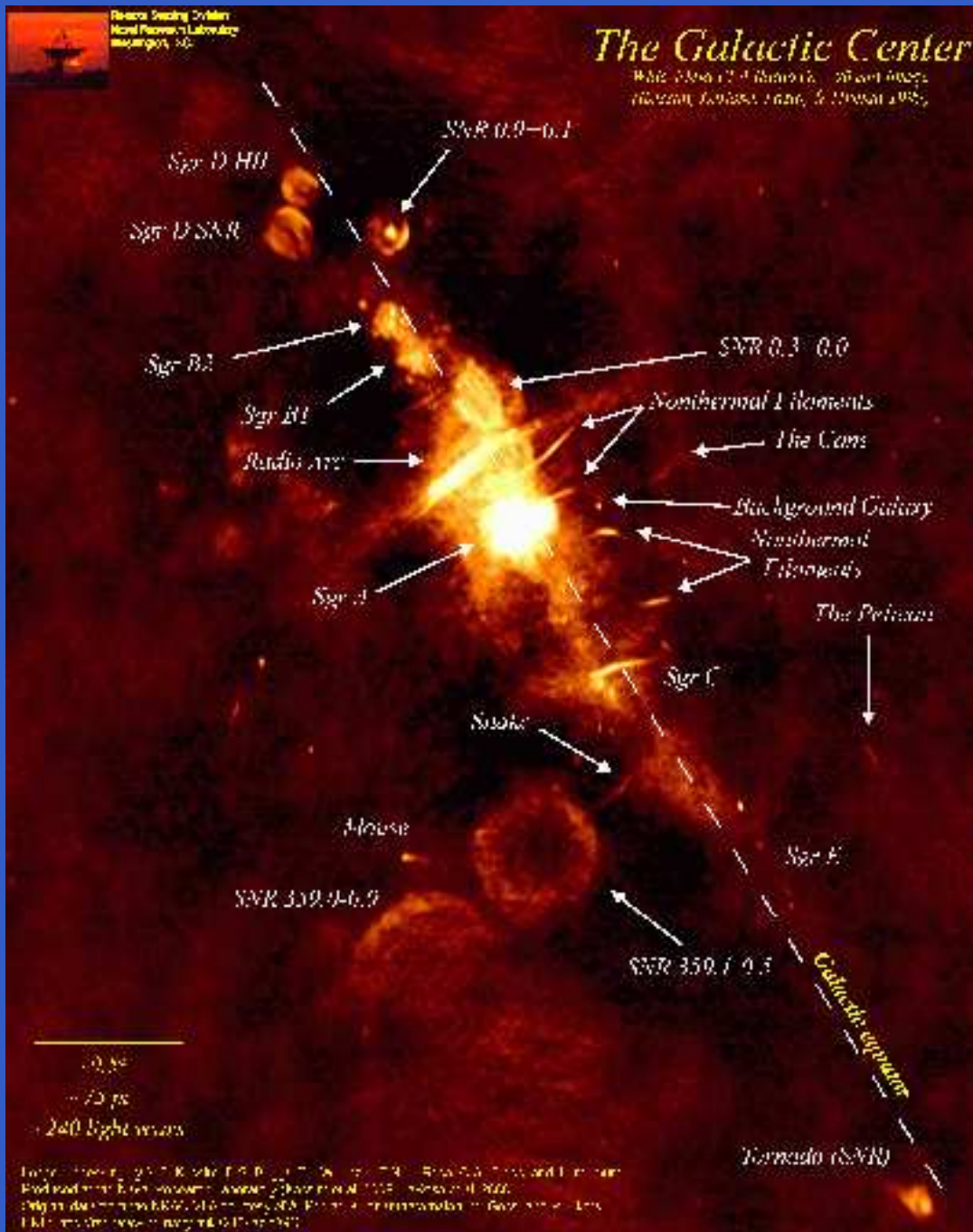
SS433: Schwarzes Loch mit einem Stern: Jets!

Wo sind die Schwarzen Löcher?



Hubble Space Telescope: Schwarzes Loch im Zentrum der Galaxie NGC4261

Das Schwarze Loch der Milchstraße



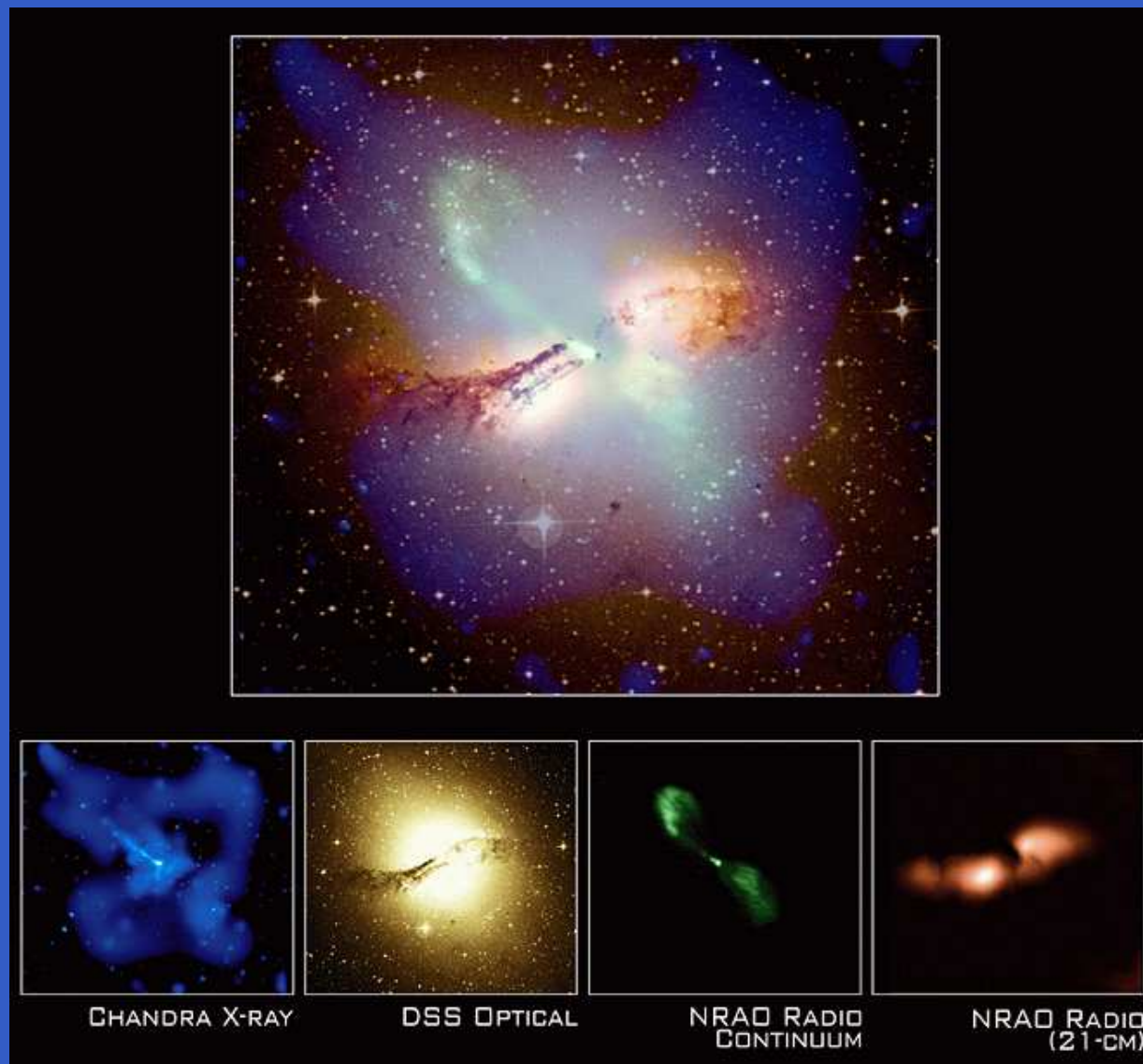
- Schwarzes Loch im Zentrum unserer Galaxie: Sgr A*
- 3 Millionen Sonnenmassen!
- Radius: 3 Millionen km
- nur etwa viermal größer als unsere Sonne

Aktive Galaxien



- sternefressende supermassive Schwarze Löcher im Zentrum von Galaxien
- Schwarze Löcher haben viele Namen: Aktive Galaktische Kerne (AGN), Seyfert-Galaxien, Radio-Galaxien, Blazare, Quasare oder Quasistellare Objekte (QSO), . . . Animation eines sternefressenden Schwarzen Loches (Animation: ESA)

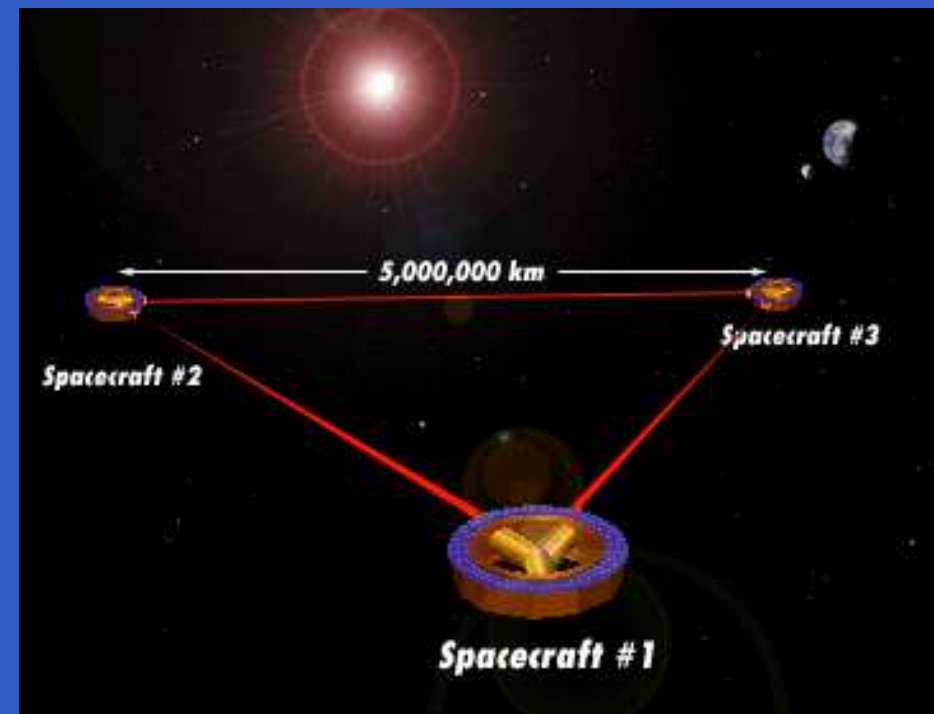
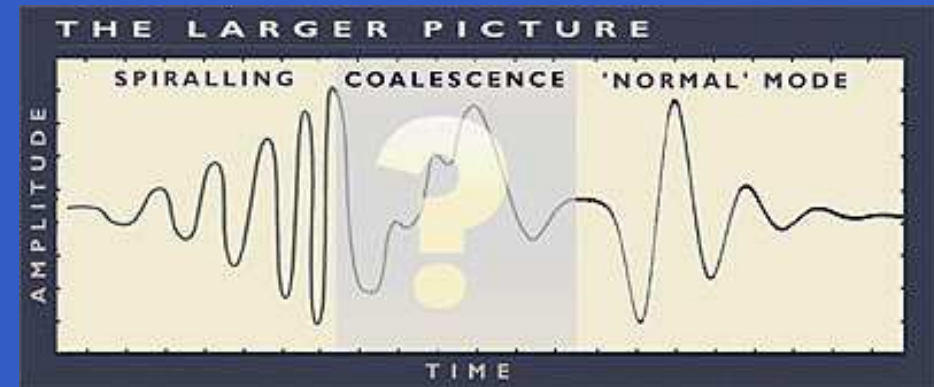
Beobachtung von Schwarzen Löcher in allen Farben



Aufnahmen vom Röntgen– bis Radiowellenbereich des Schwarzen Loches der Galaxie Centaurus A

Gravitationswellen: dem Universum zuhören

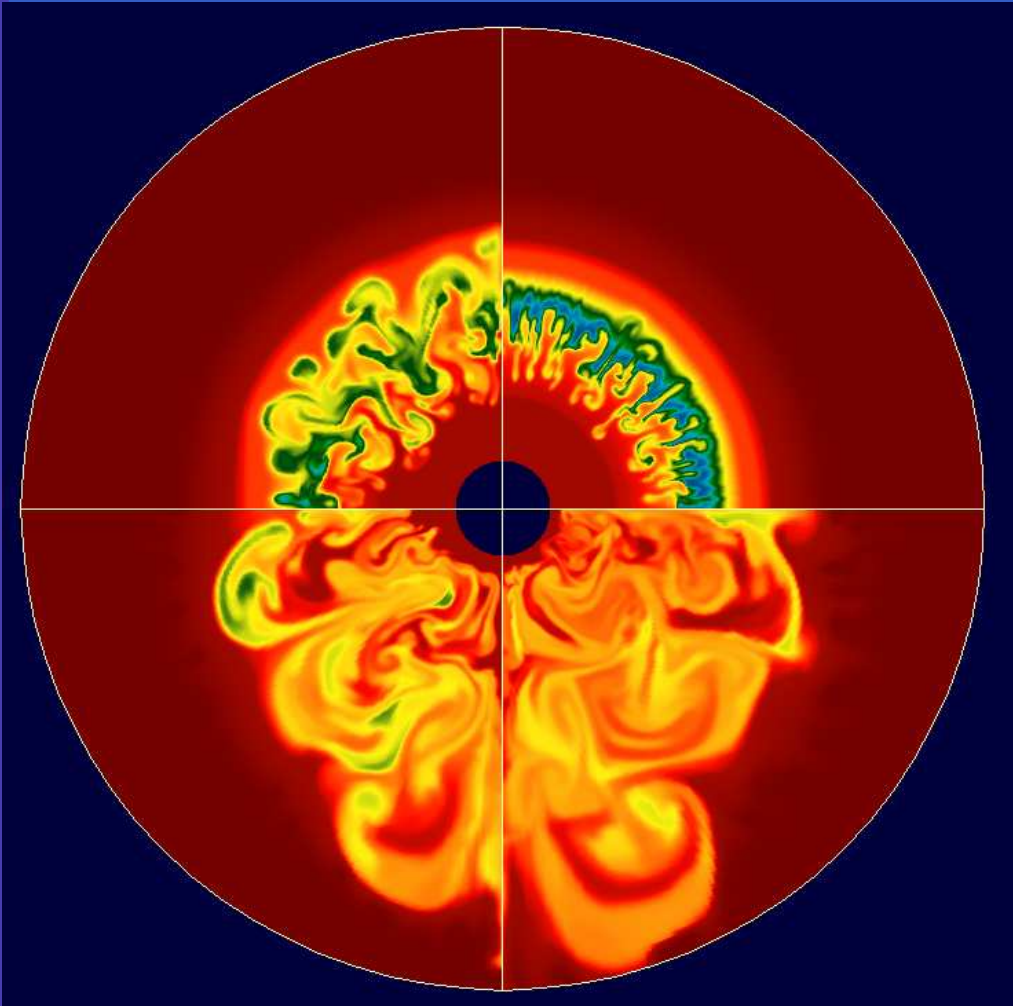
- von Kollisionen von Schwarzen Löchern
- von Supernova-Explosionen
- vom Kollaps eines Neutronensternes zu einem Schwarzen Loch
- von ineinander spiralisierenden Neutronensternen
- von deformierten Pulsaren
- Messung über Gravitationswellen-Detektoren wie GEO600 (Hannover), LIGO (USA), LISA (im All)



Simulation einer Neutronensternkollision (Simulation: Philip Gressman (Washington University),

Visualisierung: Werner Benger (Albert-Einstein-Institut, Potsdam))

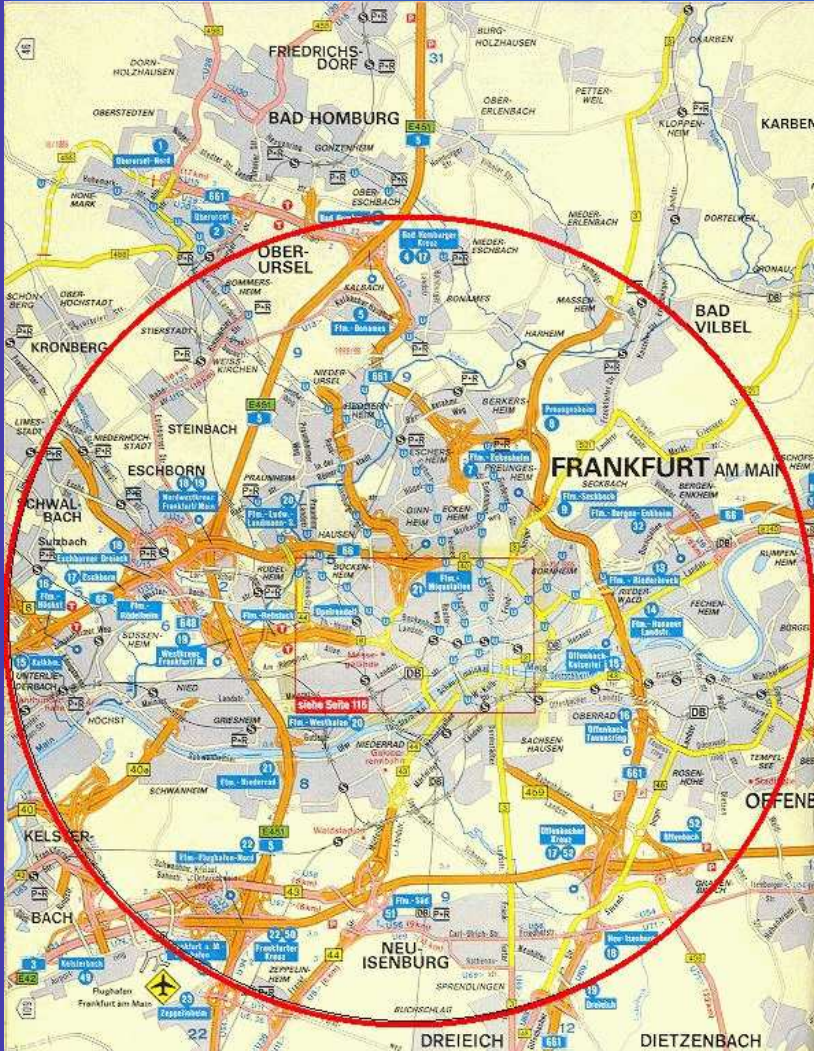
Supernova-Explosionen



- Sonnen mit mehr als 8 Sonnenmassen enden in einer Supernova Explosion
- Supernova von AD 1054 war für drei Wochen am helllichten Tage sichtbar!
- Supernovae strahlen mehrere tausendmal heller als eine gesamte Galaxie!
- letzte nähere Supernova-Explosion in den letzten 400 Jahren: SN1987A
- [Animation](#) einer Supernova-Explosion (Chandra, NASA)

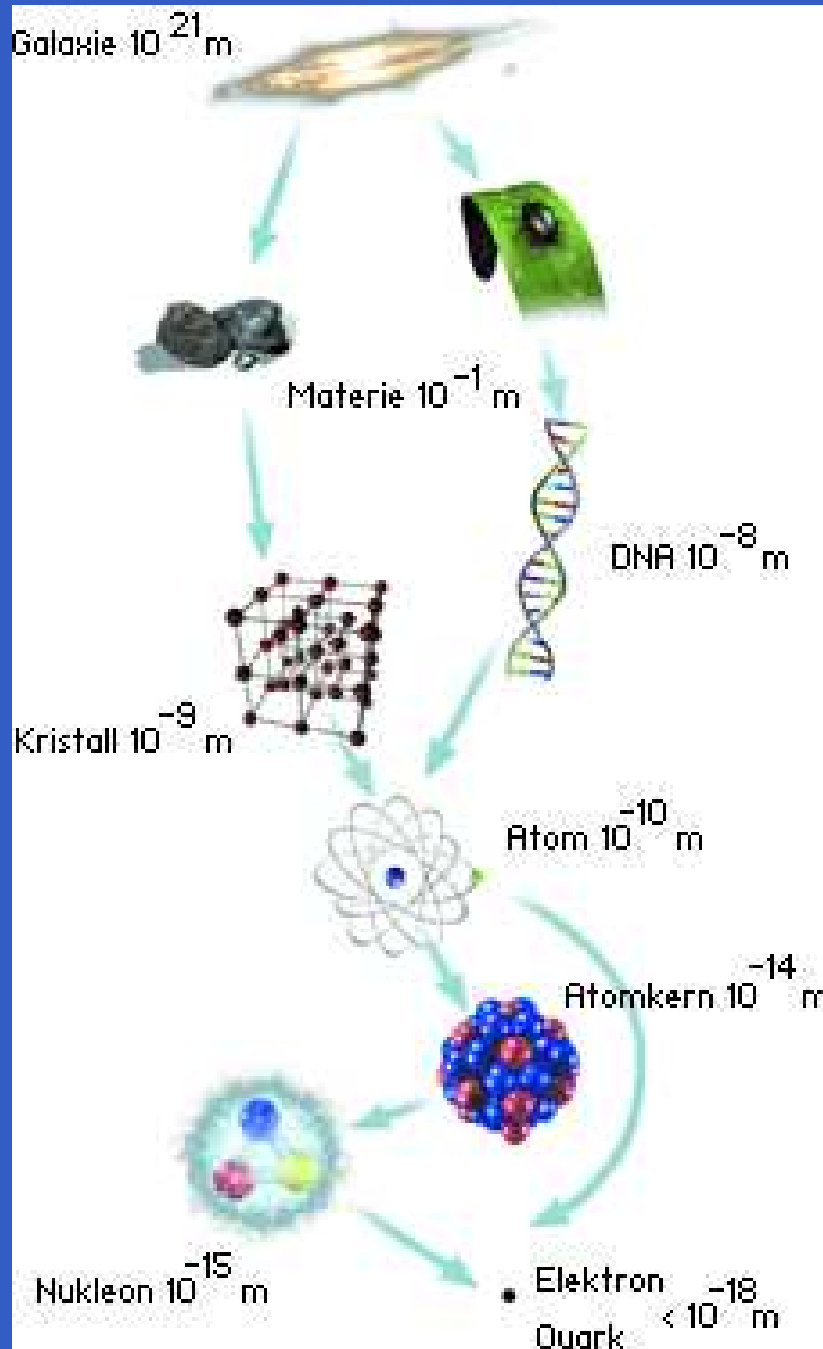
Urmaterie im All — Neutronensterne!

Was sind Neutronensterne?



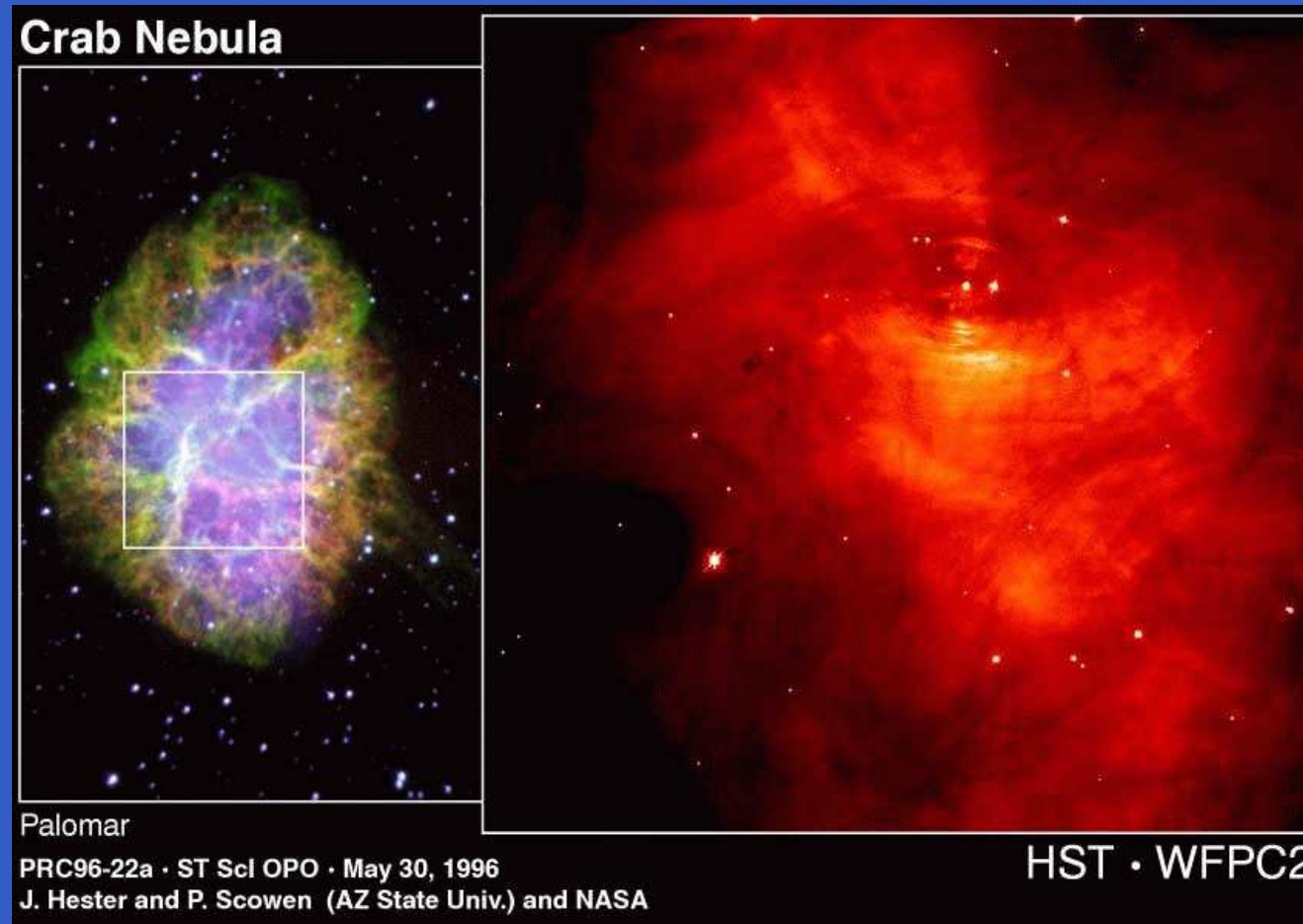
- kompakte Sterne aus Neutronen und Quarks!
- mit einem Radius von etwa 10 km
- nicht viel größer als Frankfurt!
- besitzen eine Masse vom 1-2 fachen der Sonnenmasse
- bestehen aus dem dichtesten Material im Universum, das wir kennen!
- ein Teelöffel Neutronensternmaterie auf der Erde wiegt soviel wie die gesamte Menschheit!

Aufbau der Materie



- Galaxien: Durchmesser von 100,000 Lichtjahren
- Materie: 10 cm
- Festkörper und DNA: bis zu einem milliardstel Meter
- Atome: 1/10 milliardstel Meter
- Atomkern: 10 milliardstel Meter
- Nukleon: 1 milliardstel Meter
- Elementarteilchen Quarks und Elektronen: weniger als 1 trillionstel Meter
- fast 40 Größenordnungen umfassend!

Wo sind die Neutronensterne?



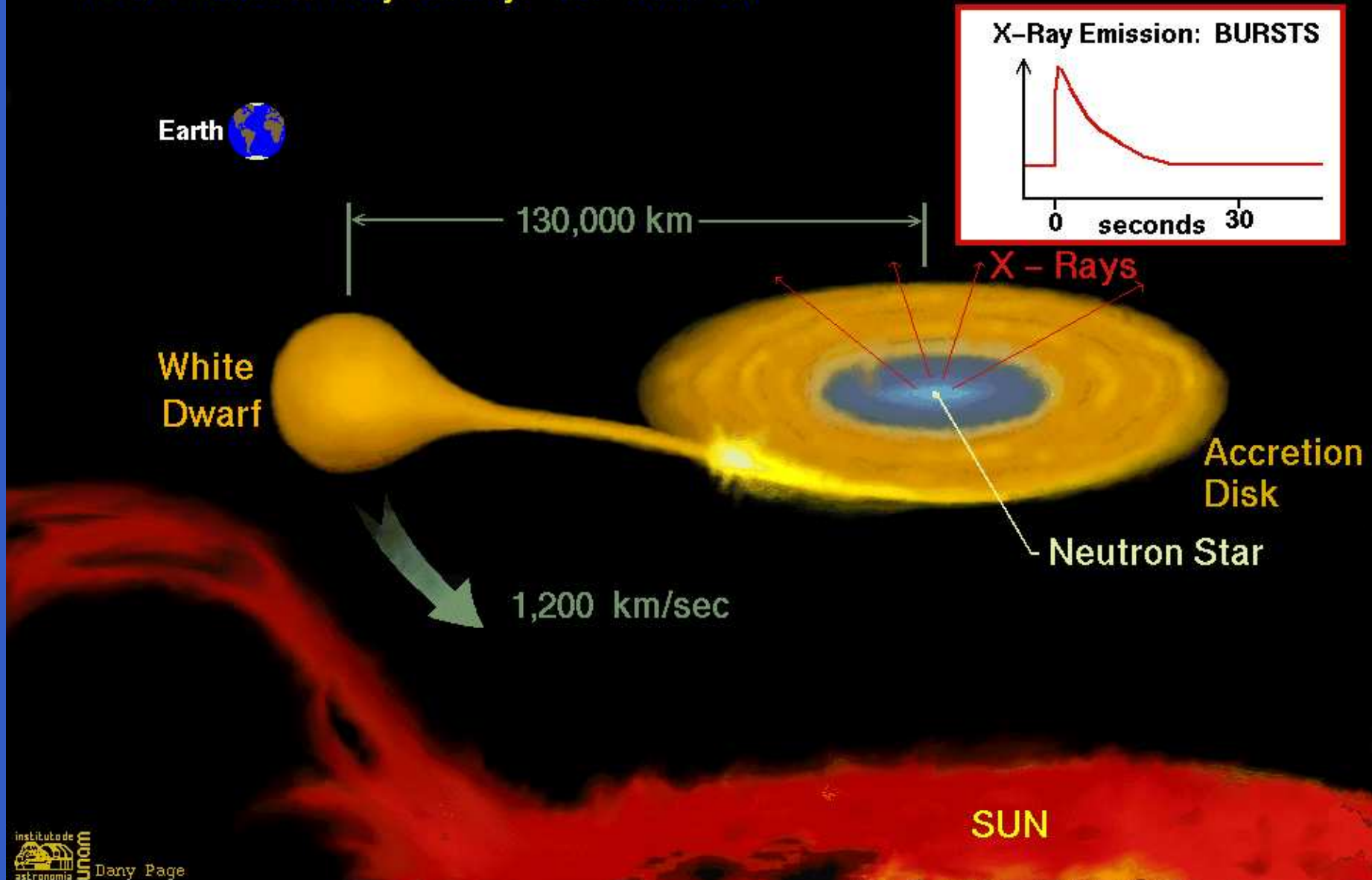
- Krebsnebel im Sternbild Stier: Supernova-Rest der Explosion von AD 1054
- enthält eine pulsierende Radioquelle — einen Pulsar
- Pulsare sind rotierende Neutronensterne!
- Neutronensterne sind Supernova-Reste!

Töne von Pulsaren

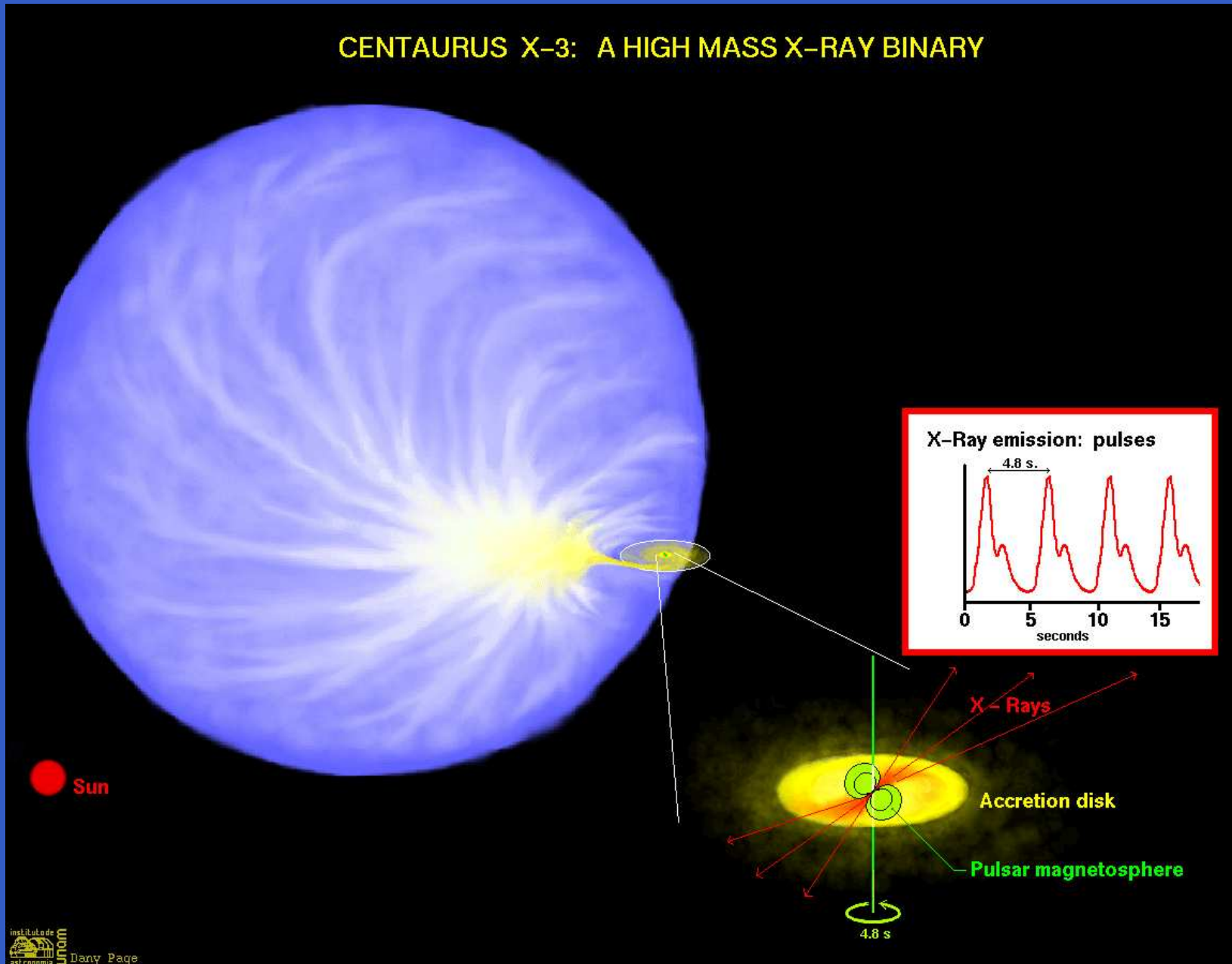
- PSR B0329+54: typischer Pulsar mit einer Periode von 0.7145519 s (1.4 Pulse pro Sekunde)
- PSR B0833-45 (Vela Pulsar): in Vela Supernova Überrest, Periode von 89 ms (11 Pulse pro Sekunde)
- PSR B0531+21 (Krebs Pulsar): jüngster bekannter Pulsar, im Krebsnebel, Periode: 33 ms (30 Pulse pro Sekunde)
- PSR J0437-4715: kürzlich entdeckter Pulsar, pulsiert mit einer Periode von 5.7 ms (174 mal pro Sekunde)
- PSR B1937+21: schnellster bekannter Pulsar mit einer Periode von 1.56 ms (642 Pulse pro Sekunde)

Neutronensterne sind nicht alleine ...

A Low Mass X-Ray Binary: 4U 1820-30

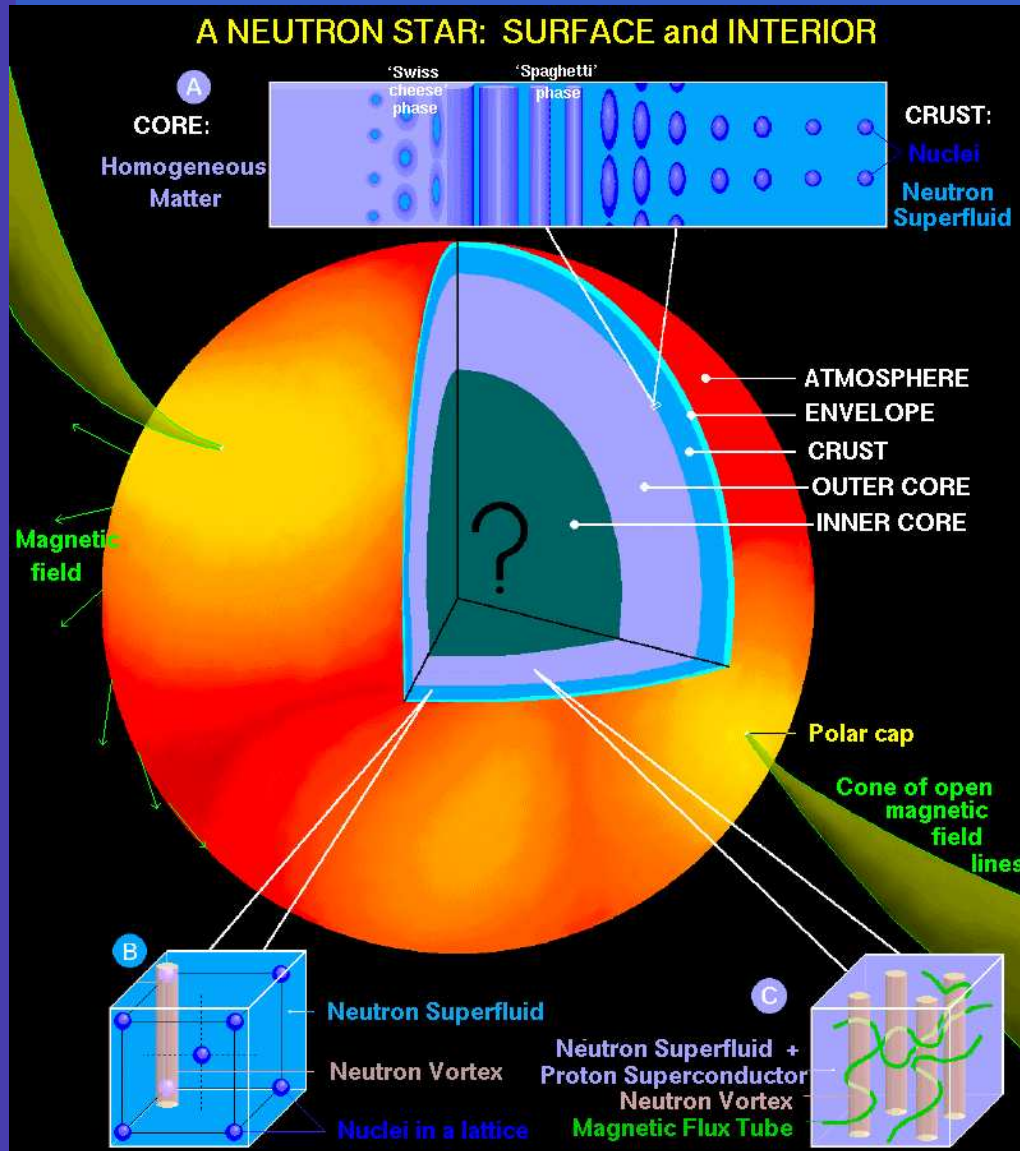


Röntgenblitze von Neutronensternen



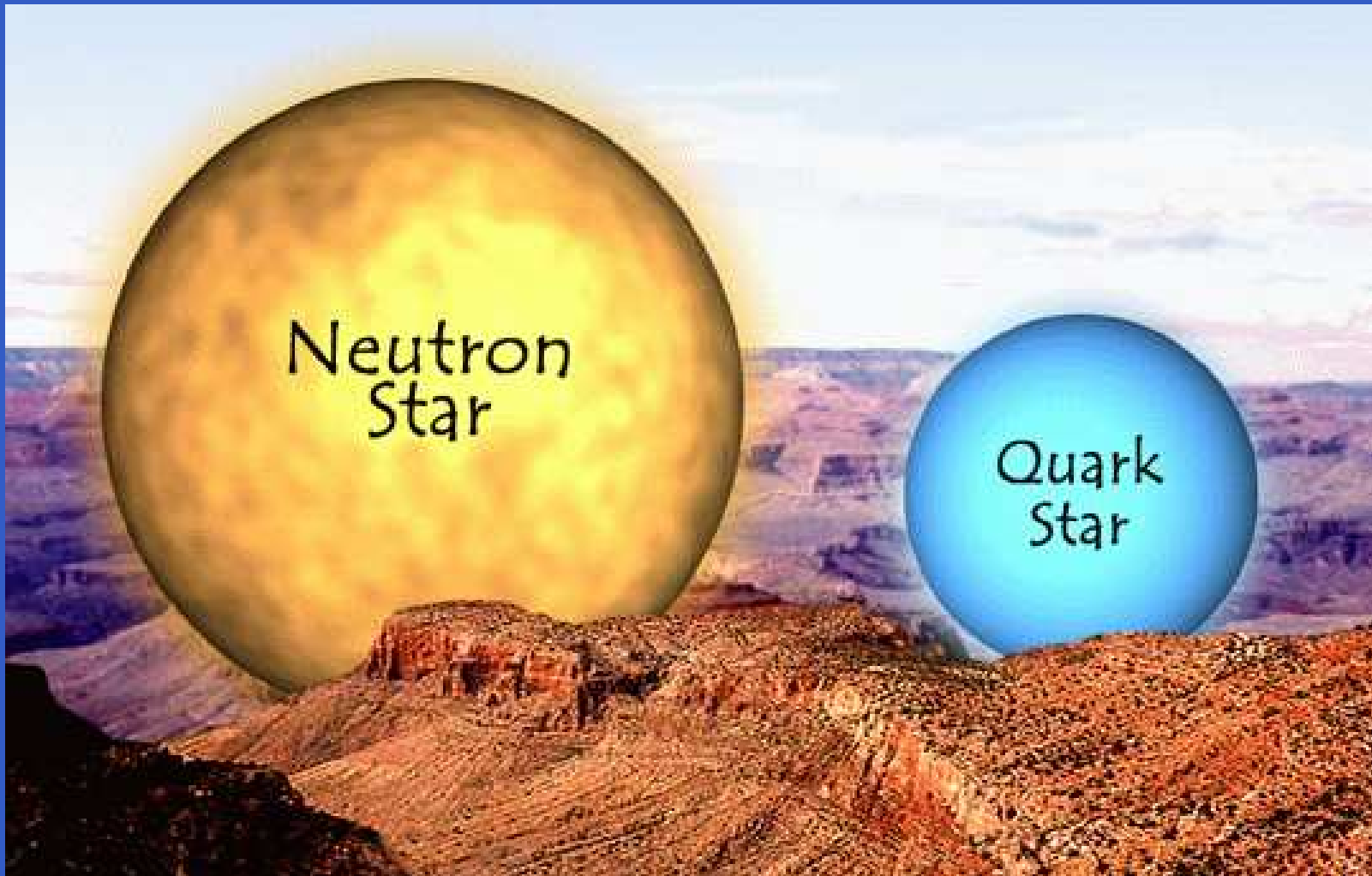
Neutronenstern mit einem Blauen Riesen

Reise ins Innere eines Neutronensternes



- Rand: Kruste aus Elektronen und (neutronenreichen) Atomkernen
- 1 km Tiefe: frei Neutronen bilden eine suprafluide Phase
- geometrische Strukturen: Blasen, Fäden, Scheiben, Löcher
- Pasta in der Kruste: Fleischbällchen, Spaghetti, Lasagne, Anti-Spaghetti und Schweizer Käse!
- 2 km Tiefe: alle Atomkerne aufgelöst, reine Flüssigkeit aus Neutronen
- mehr als 2km Tiefe: exotische seltsame Materie, Quarks!!!

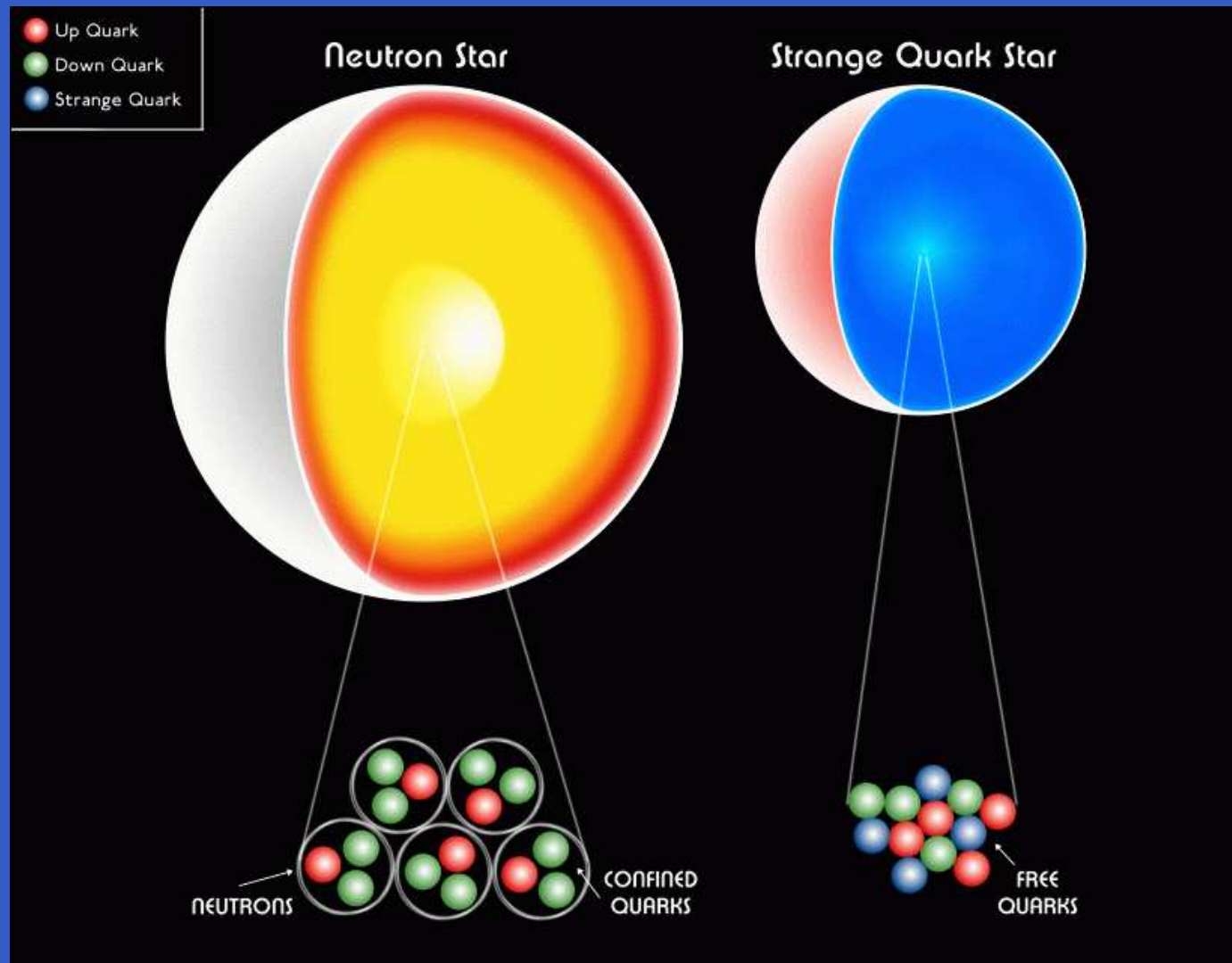
Ein Quark Stern? (NASA Pressemitteilung 2002)



NASA Pressemitteilung 02-082:

„Kosmische Röntgenstrahlen enthüllen Beweise für eine neue Form von Materie“
— ein Quark Stern?

Ein Quark Stern? (NASA Pressemitteilung 2002)

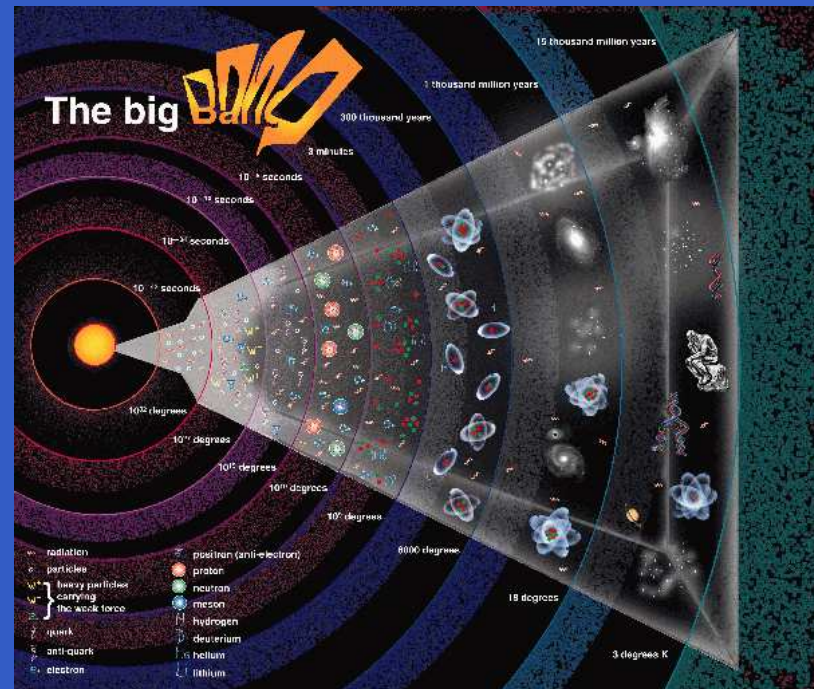


Neutronenstern: aus Kernteilchen (Neutronen, die aus Quarks bestehen)

Quarkstern: aus Quarks (Neutronen sind aufgelöst!)

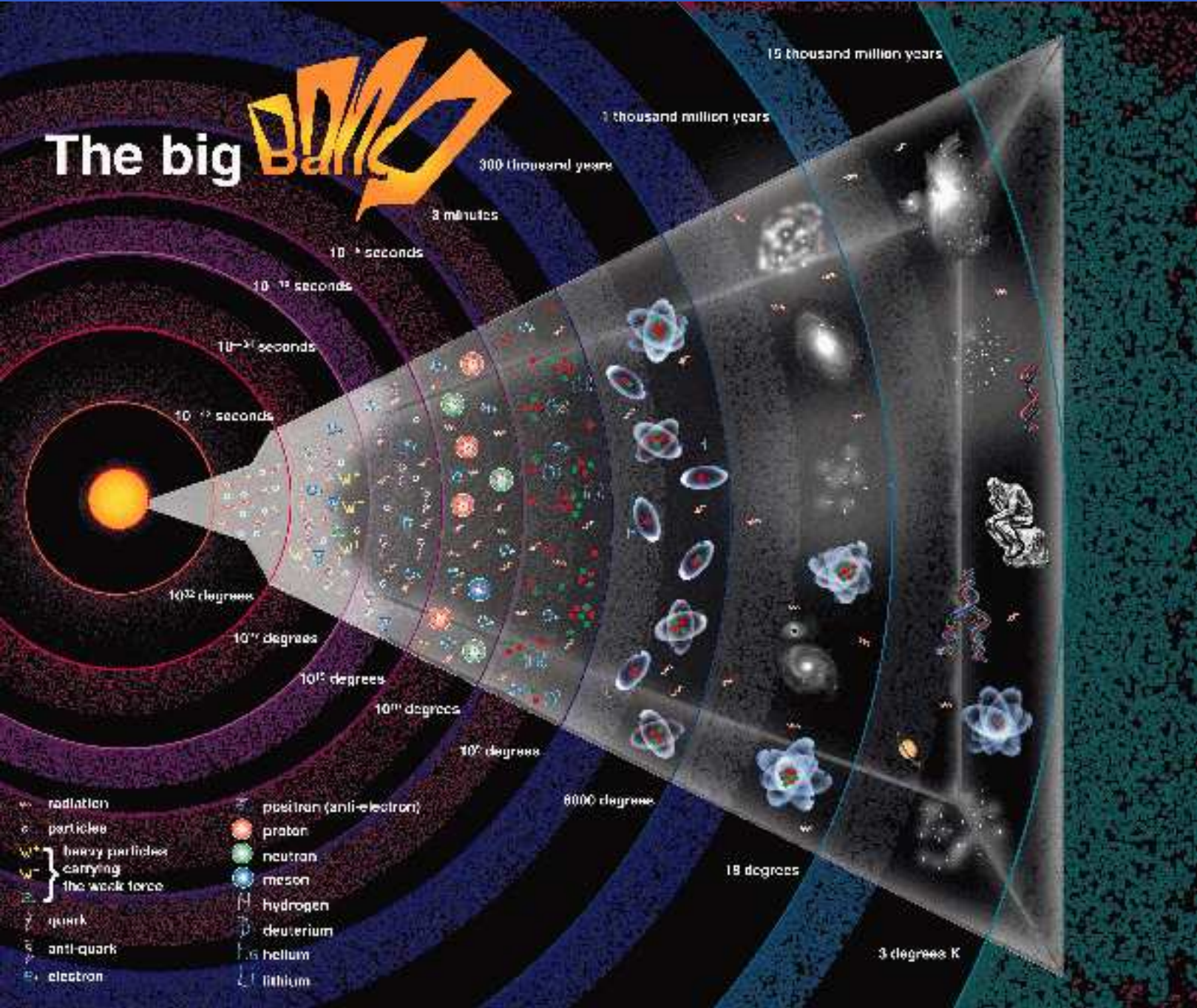
Urknall und Urmaterie

Am Anfang war die Ursuppe, aus dem alles andere entstand:

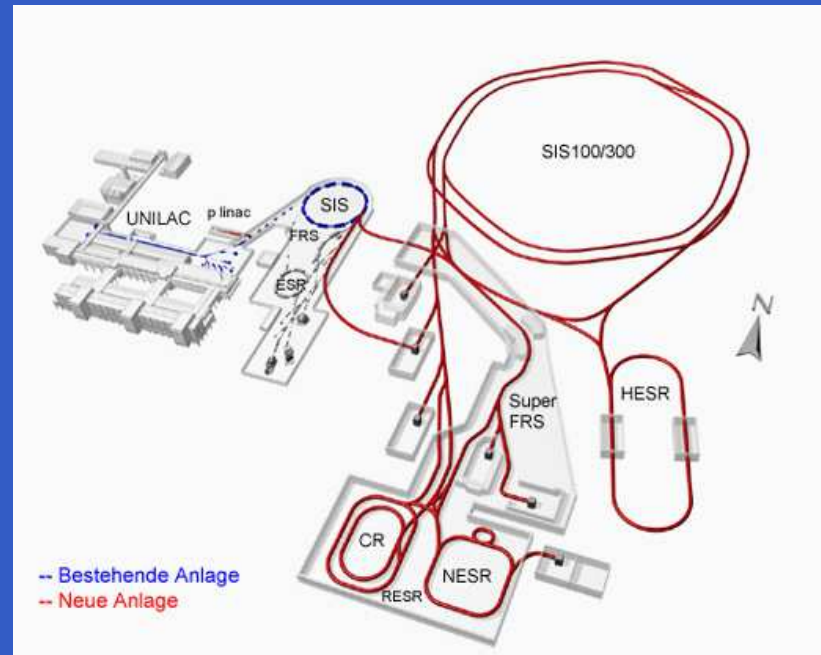
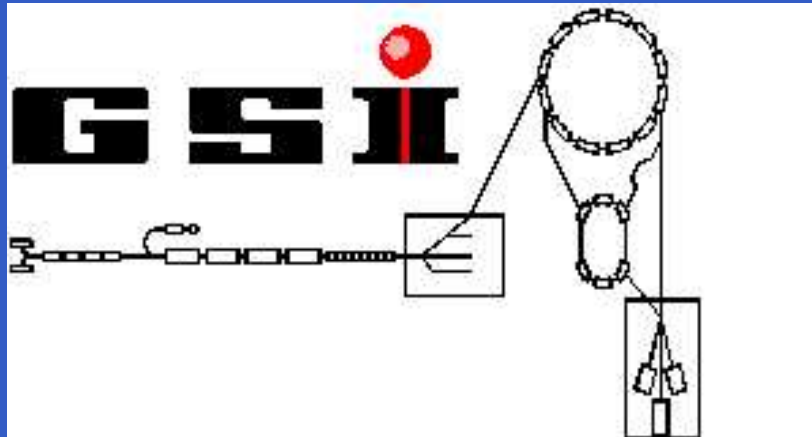


- Neutronen und Protonen aus Quarks ($1/10.000$ Sekunde)
- chemische Elemente in der Nukleosynthese (drei Minuten)
- Atome in der kosmische Hintergrundstrahlung (380.000 Jahre)
- erste Sterne und Galaxien (300 Millionen Jahre)
- Sonne und Erde (4,5 Milliarden Jahre)
- Menschen: 13,7 Milliarden Jahre danach!

Urknall und Urmaterie

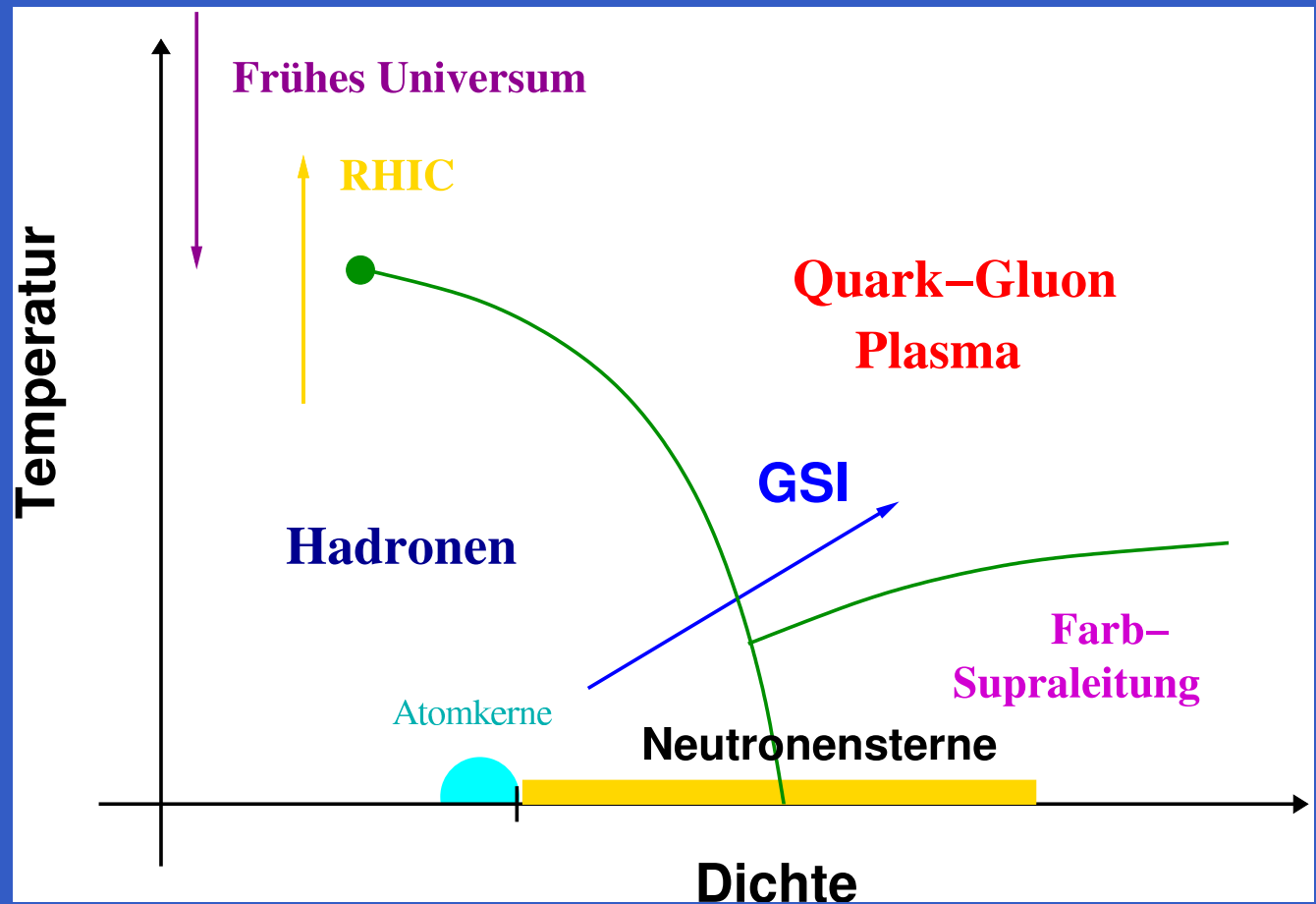
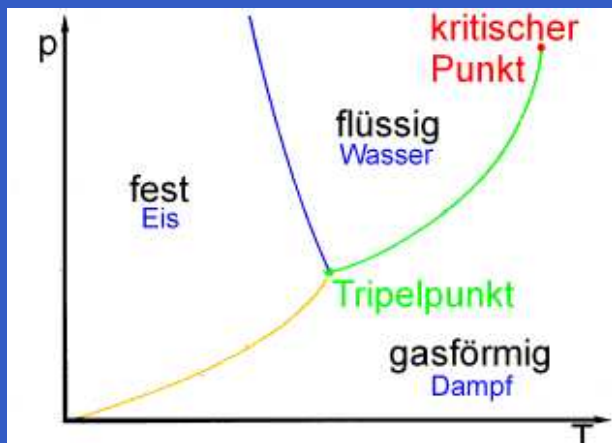


Zukunft: Urmaterie um die Ecke!



- Gesellschaft für Schwerionenforschung Darmstadt (GSI)!
- Bau einer Internationalen Großforschungsanlage bis 2010 (Facility for Antiproton and Ion Research FAIR)
- Budget: 675 Millionen Euro mit Unterstützung vom Bund
- Erforschung hochdichter (Ur)Materie, Entstehung der Elemente, Plasmaphysik, Strahlentherapie
- starke Beteiligung von Studenten und Forschern aus Frankfurt!

Phasendiagramm der Urmaterie



- Erforschung der Urmaterie im Labor
- Phasen von Wasser: fest, flüssig, gasförmig
- Phasen von Urmaterie: Kerne, Quarkmaterie, Quark-Gluon Plasma

Einstein über die Schulter geschaut ...

