

Tanz der Neutronensterne

NIGHT OF SCIENCE, FRANKFURT AM MAIN, 08. JUNI 2018

MATTHIAS HANAUSKE

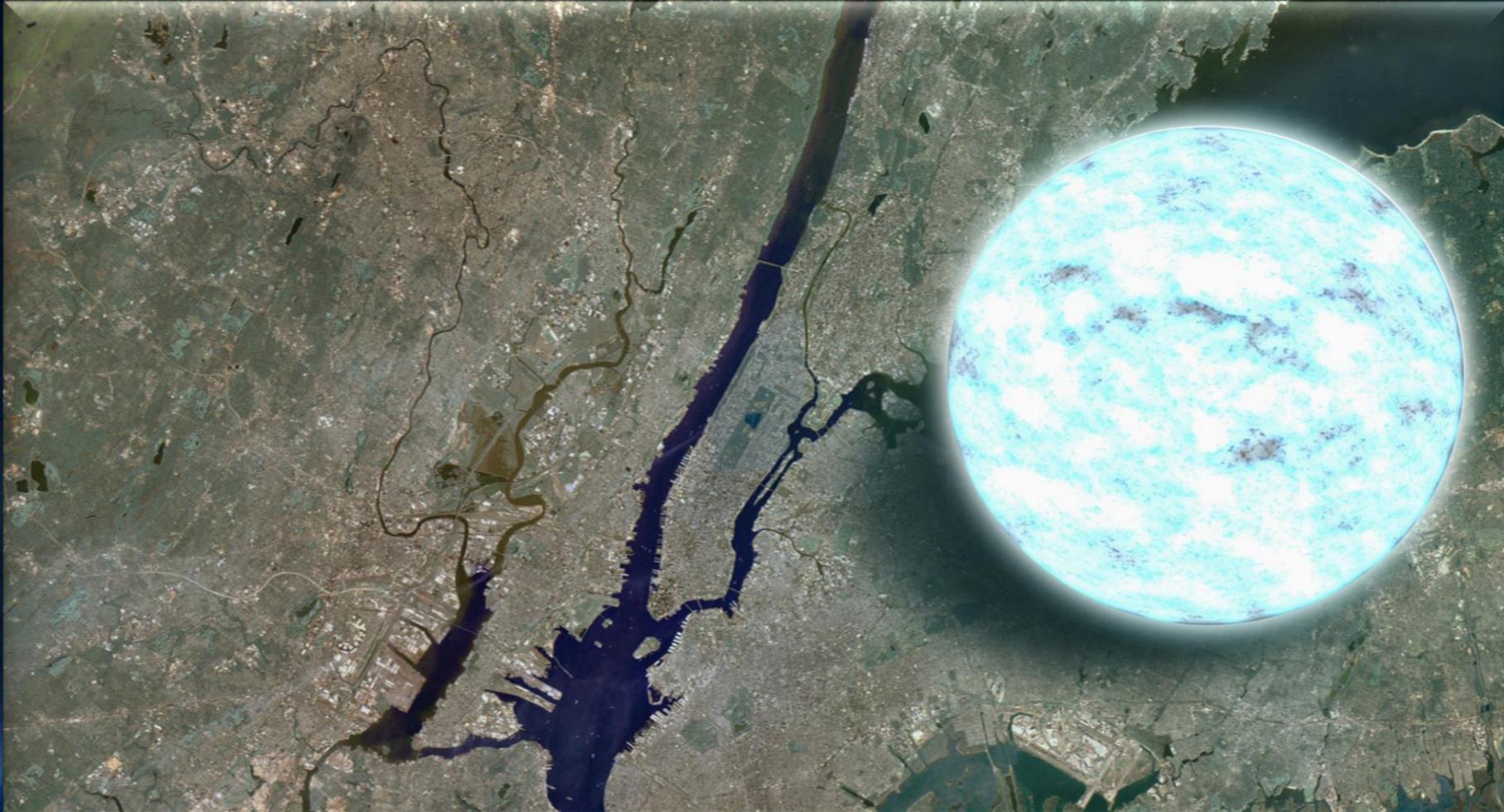
*FRANKFURT INSTITUTE FOR ADVANCED STUDIES
JOHANN WOLFGANG GOETHE UNIVERSITÄT
INSTITUT FÜR THEORETISCHE PHYSIK
ARBEITSGRUPPE RELATIVISTISCHE ASTROPHYSIK
D-60438 FRANKFURT AM MAIN*



Neutronensterne: Sehr klein und sehr schwer

Radius ~ 10 km, Masse ~ 1 -2 Sonnenmassen

Riesige Magnetfelder $\sim 10^{11}$ Tesla, schnell rotierend (bis zu 716 Hz)

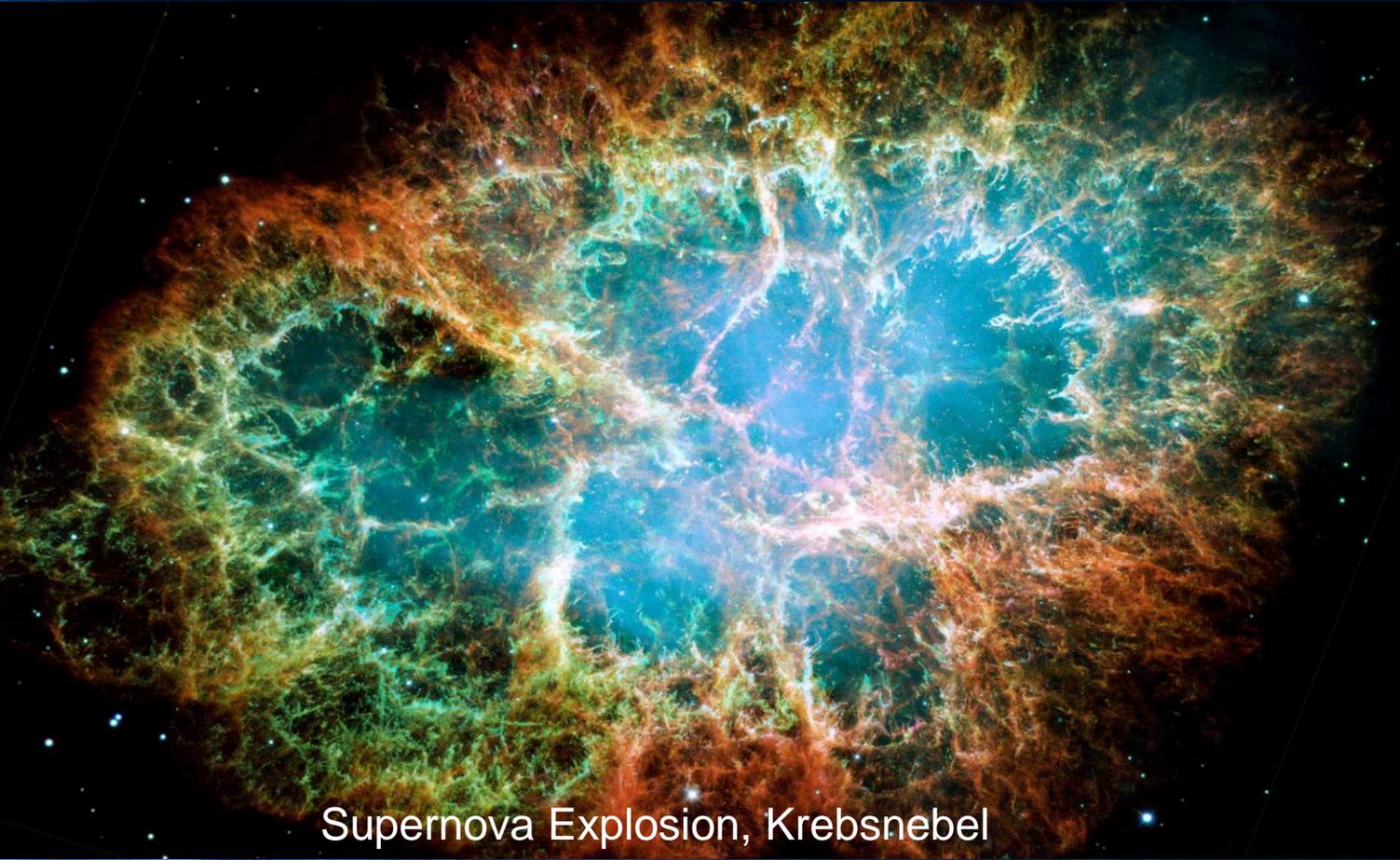


Wie entstehen Neutronensterne?

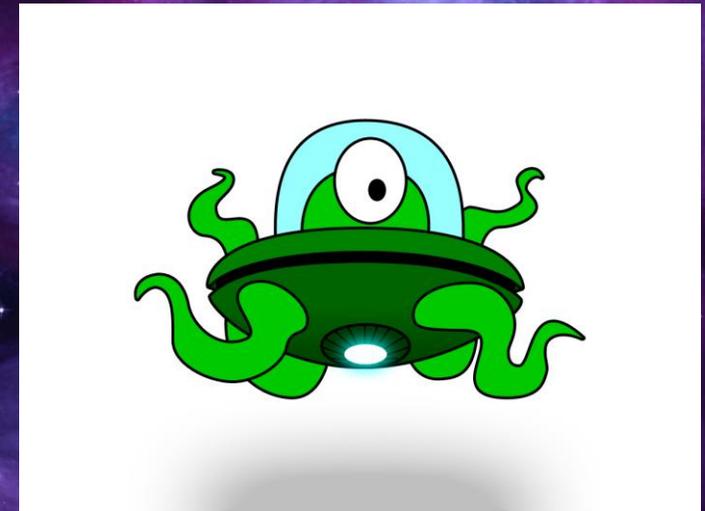
Neutronensterne entstehen in einer Supernova Explosion. Sonnen, die mindestens 8-mal schwerer als unsere Sonne sind explodieren am Ende ihrer Lebenszeit in einer Supernova Explosion – im Zentrum bleibt ein Neutronenstern oder ein schwarzes Loch zurück.



Im Zentrum des Nebels
ist ein Neutronenstern

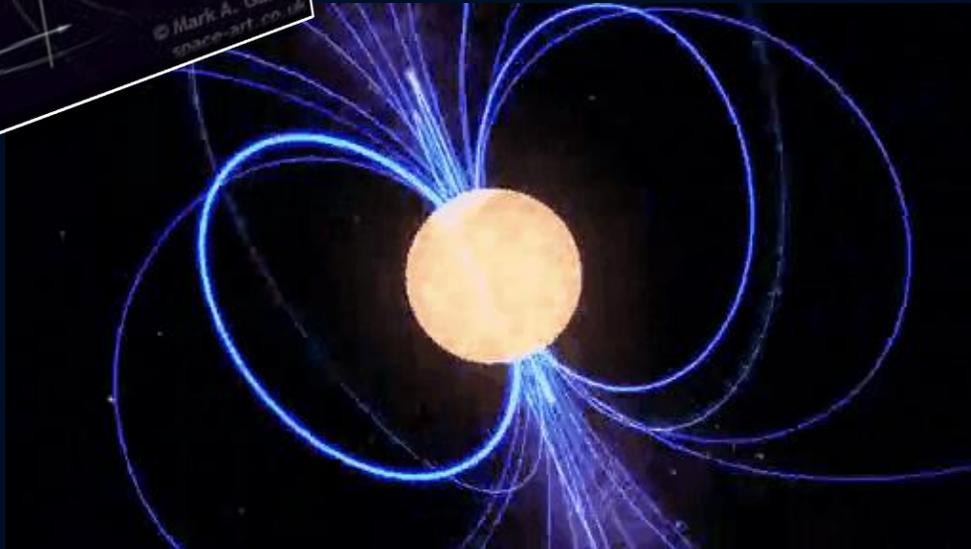
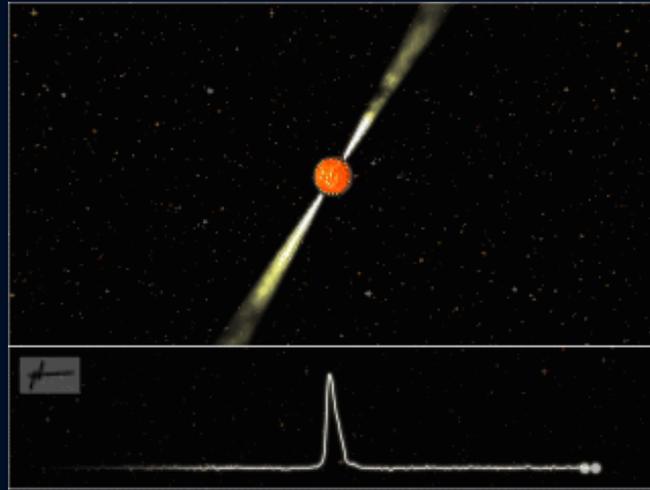
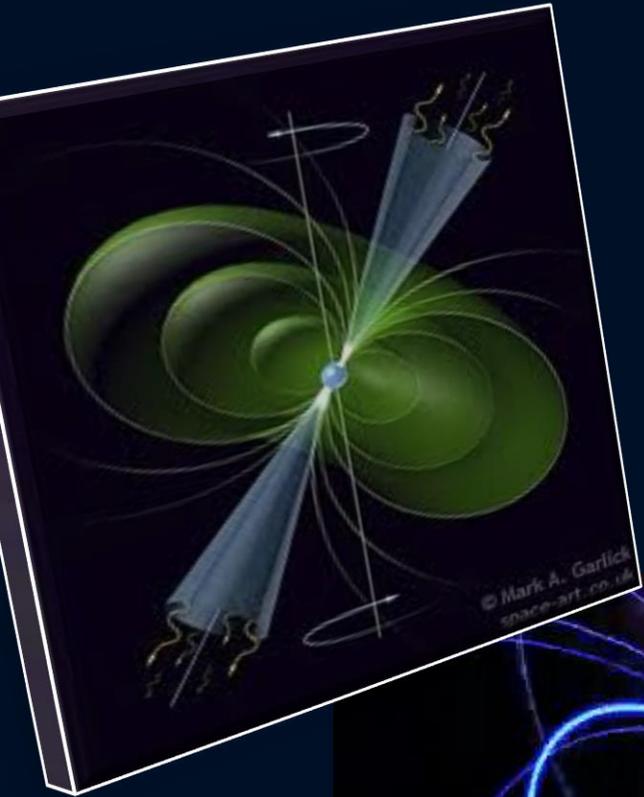


Supernova Explosion, Krebsnebel



Krebsnebel (Röntgenteleskop Chandra)

Pulsare sind Rotierende Neutronensterne mit starkem Magnetfeld



In den letzten 50 Jahren konnten mittels Radioteleskopen ca. 3000 rotierende Neutronensterne (Pulsare) gefunden werden.

Der erste Pulsar wurde im Jahre 1967 entdeckt (PSR 1919+21, Jocelyn Bell) und wurde zunächst LGM-1 genannt

Man unterscheidet
Sekundenpulsare
und
Millisekunden-Pulsare



[PSR B0329+54 \(0.715 s\)](#)



[PSR B0531+21 \(33.5 ms\)](#)



[PSR B1937+21 \(1.56 ms\)](#)

Binäre Neutronenstern Systeme

Zurzeit kennt man ca. 25
binäre Neutronenstern Systeme

Beispiel:

Der **Double Pulsar**

(PSR J0737-3039A/B):

Entdeckt im Jahre 2003

Eccentricity: 0.088

Pulsar A: $P=23$ ms, $M=1.3381(7)$

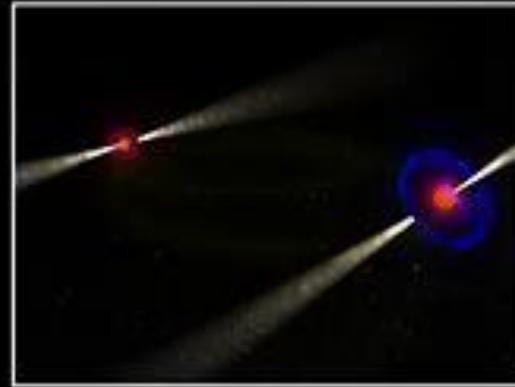
Pulsar B: $P=2.7$ s, $M=1.2489(7)$

Abstand zwischen den Sternen nur
800,000 km

Orbitale Periode: 147 Minuten

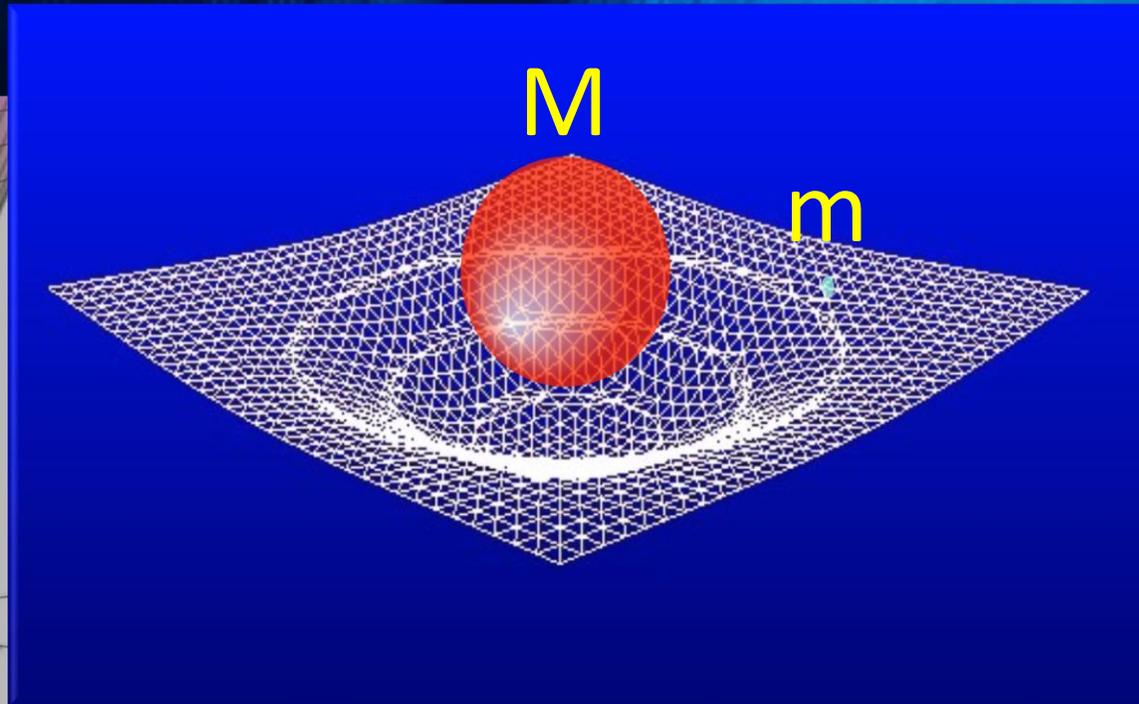
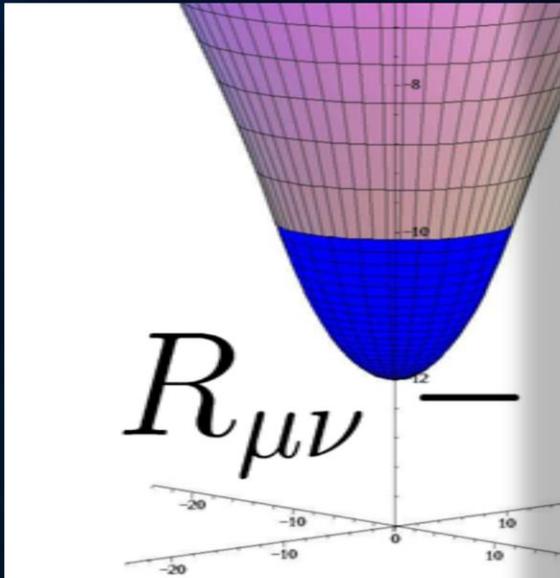
Abstand verkleinert sich langsam
aufgrund der Abstrahlung von
Gravitationswellen

Die beiden Neutronensterne
werden erst in 85 Millionen
Jahren kollidieren

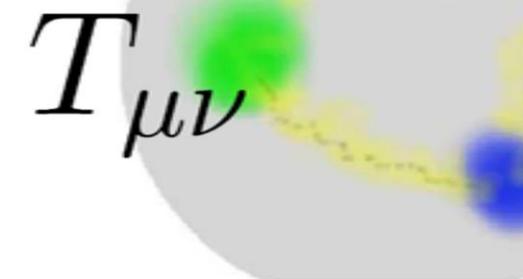


Allgemeinen Relativitätstheorie

Die Einsteingleichung



„Allgemeine Relativitätstheorie“ (ART) der

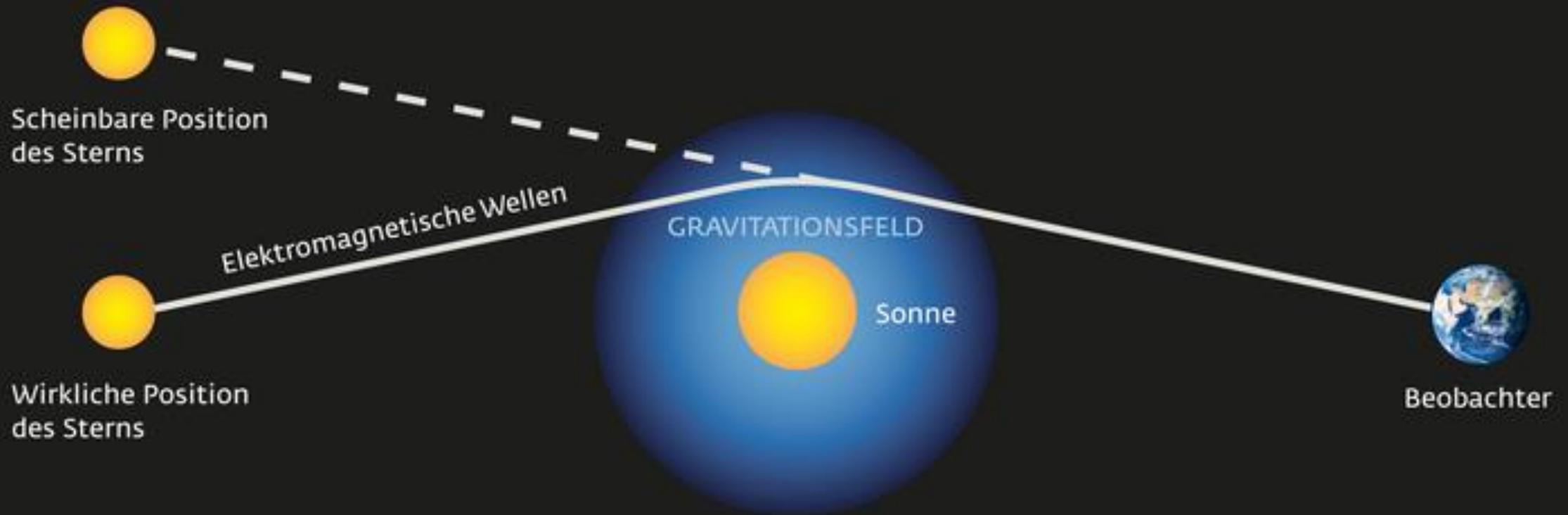


Raumzeit-Krümmung = Energie

Die ART ist eine sehr revolutionäre Theorie. Sie besagt, dass jegliche Energieformen (z.B. Masse eines Körpers) die „Raumzeit“ verbiegen und durch diese Krümmung des Raumes und der Zeit resultiert die Gravitationkraft (Schwerkraft).

Erste Bestätigung der ART: Sonnenfinsternis 1919

Aufgrund des extrem revolutionären Charakters der ART glaubten viele Physiker zunächst nicht an Einsteins Theorie. Das änderte sich schlagartig im Jahre 1919:



Der Einstein-Ring



LRG 3-757: im Jahre 2007 mit dem Hubble Space Teleskop aufgenommen

Gravitative Zeitdilatation

Den Effekt der Zeitverbiegung kann man heutzutage sogar auf der Erde nachweisen -> Uhren ticken in den Bergen ein wenig schneller als im Tal.

News
12.02.2018
[Drucken](#)
[Teilen](#)

RELATIVITÄTSTHEORIE

Warum die Zeit im Gebirge schneller vergeht

Mit einem surrealen Effekt der Gravitationsphysik haben Wissenschaftler die Höhe eines Tunnels in den französischen Alpen bestimmt.

von Robert Gast



© ISTOCK / SKOUATROULIO (AUSSCHNITT)

2018 auf www.spektrum.de

Frankfurter Allgemeine

Physik & Mehr

WISSENSCHAFT GIZIN GENE KLIMA WELTRAUM GARTEN NETZRÄTSEL

ALLGEMEINE RELATIVITÄTSTHEORIE

Hurra, wir hier unten leben länger!

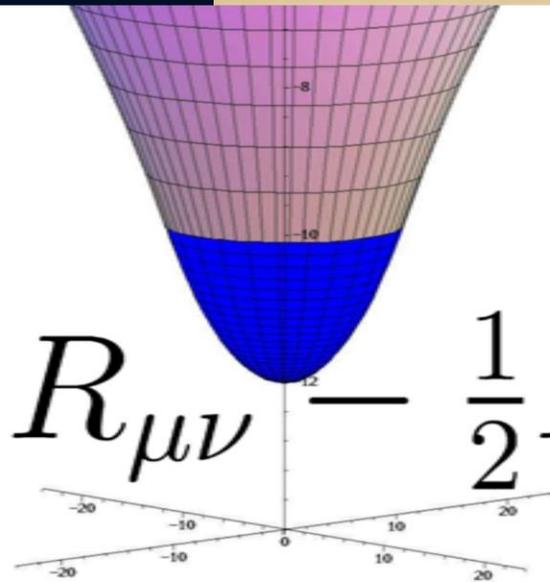
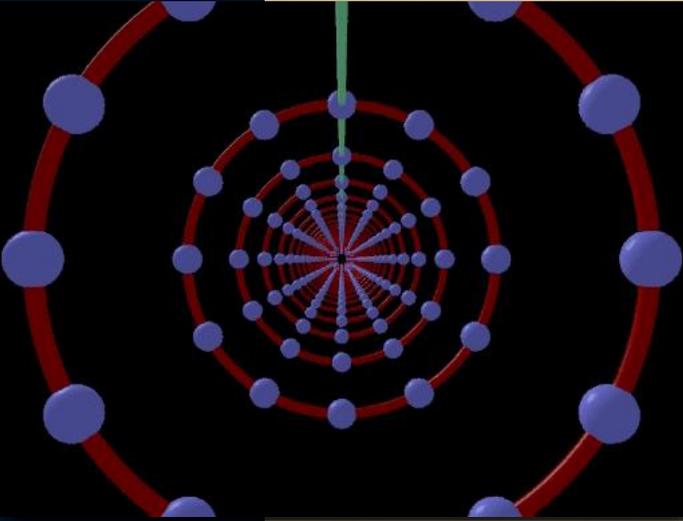
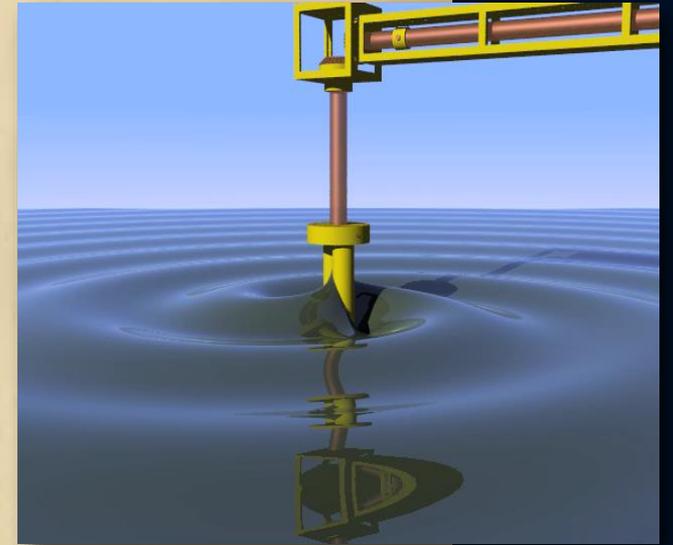
VON ANNE HARDY AKTUALISIERT AM 19.10.2010 06:00



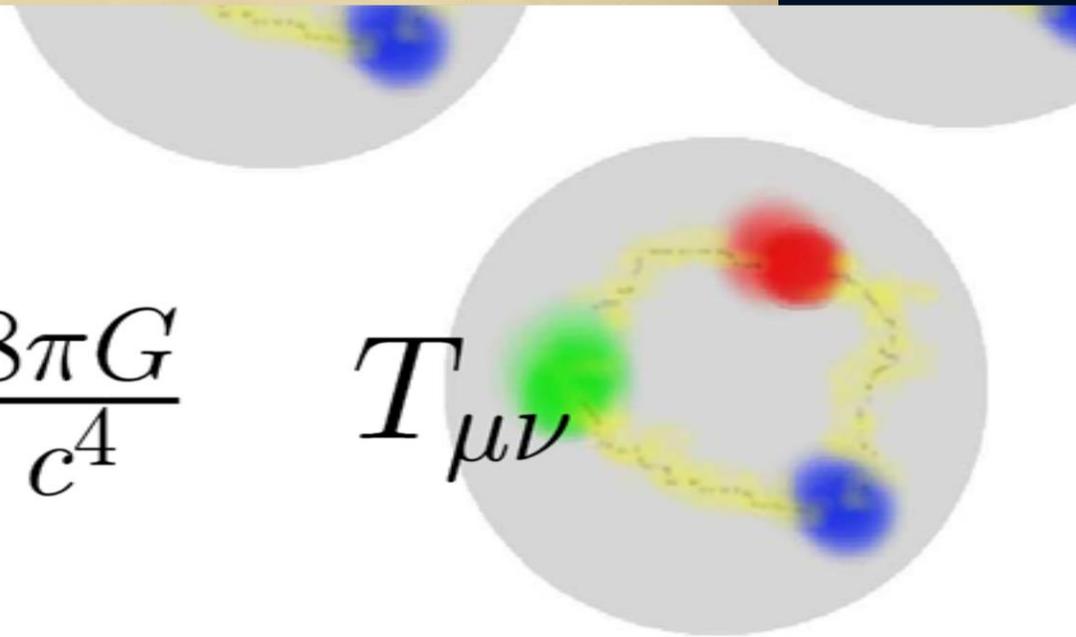
Über Gravitationswellen.

Von A. EINSTEIN.

(Vorgelegt am 31. Januar 1918 [s. oben S. 79].)



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2}R g_{\mu\nu} = \frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

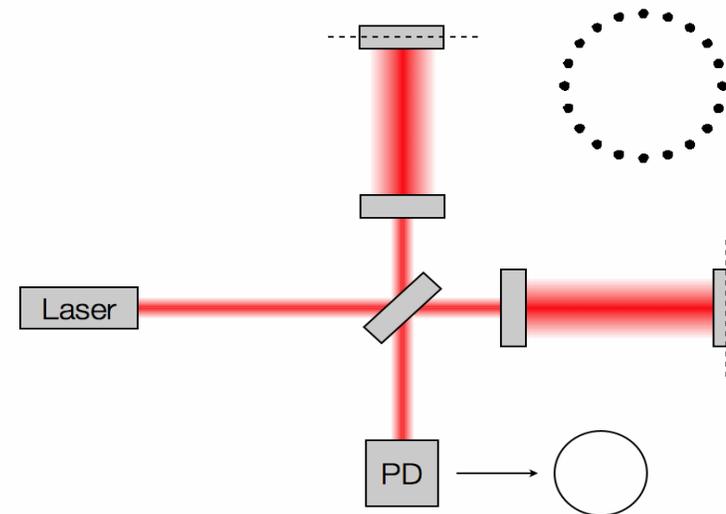
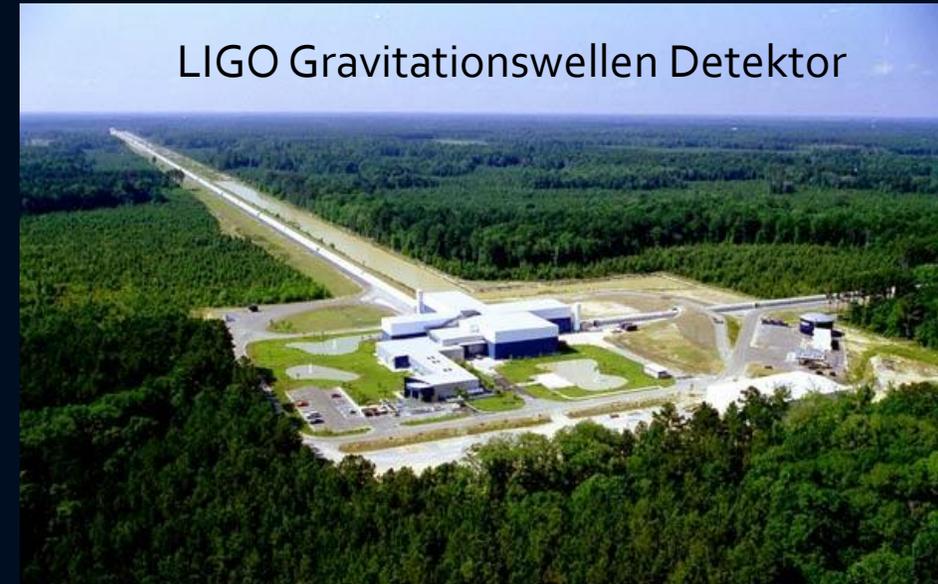
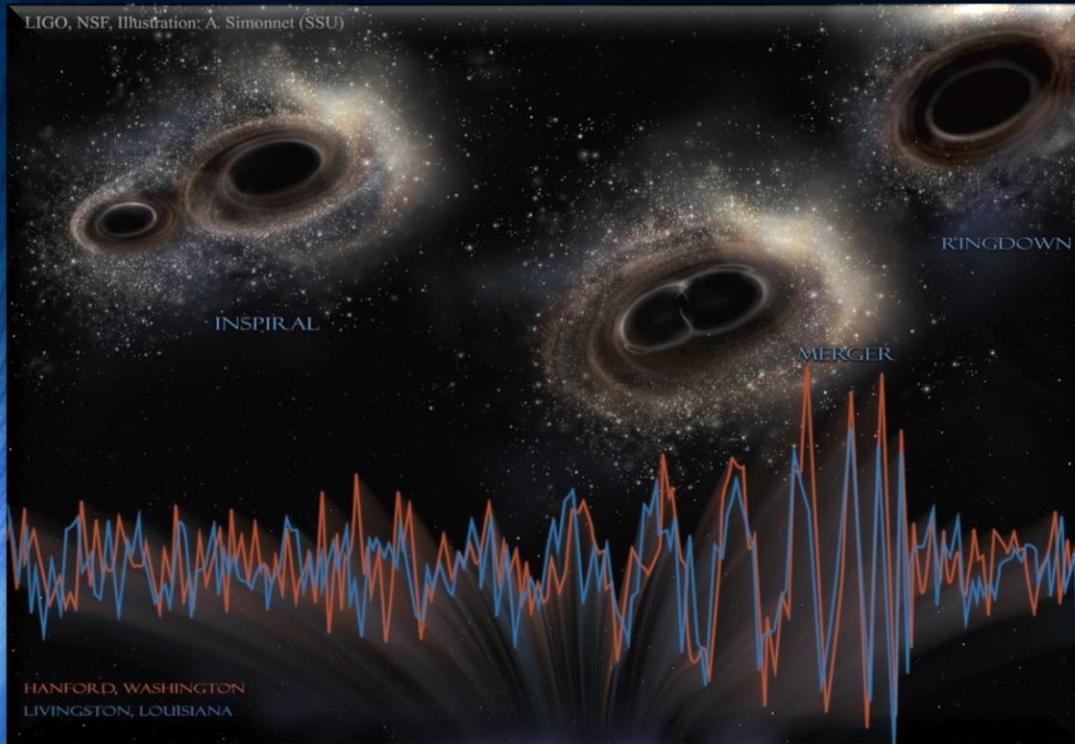


Erste Gravitationswelle im Jahr 2015 gefunden!!

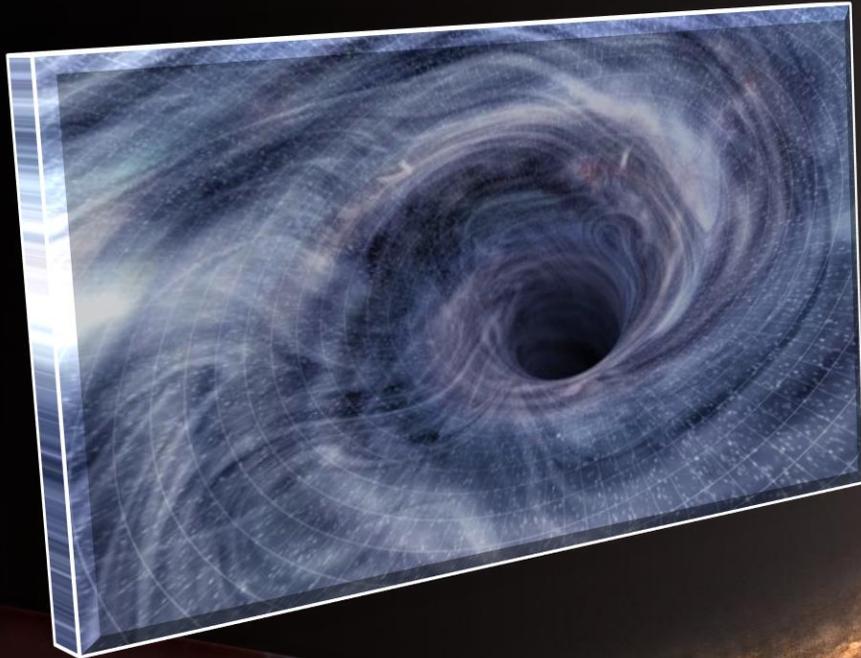
Kollision zweier Schwarzer Löcher GW150914

Massen: 36 & 29 Sonnenmassen

**Abstand zur Erde 410 Mpc
(1.34 Milliarden Lichtjahre)**



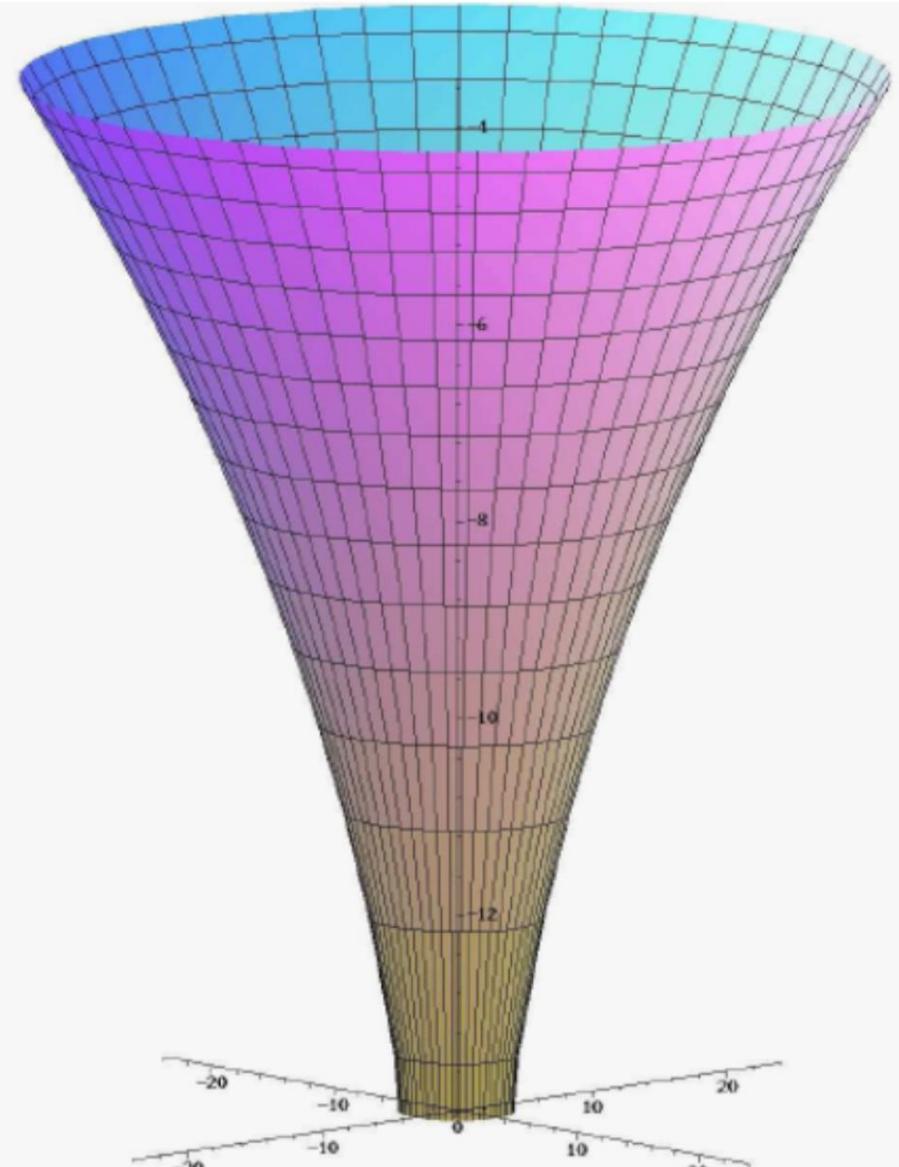
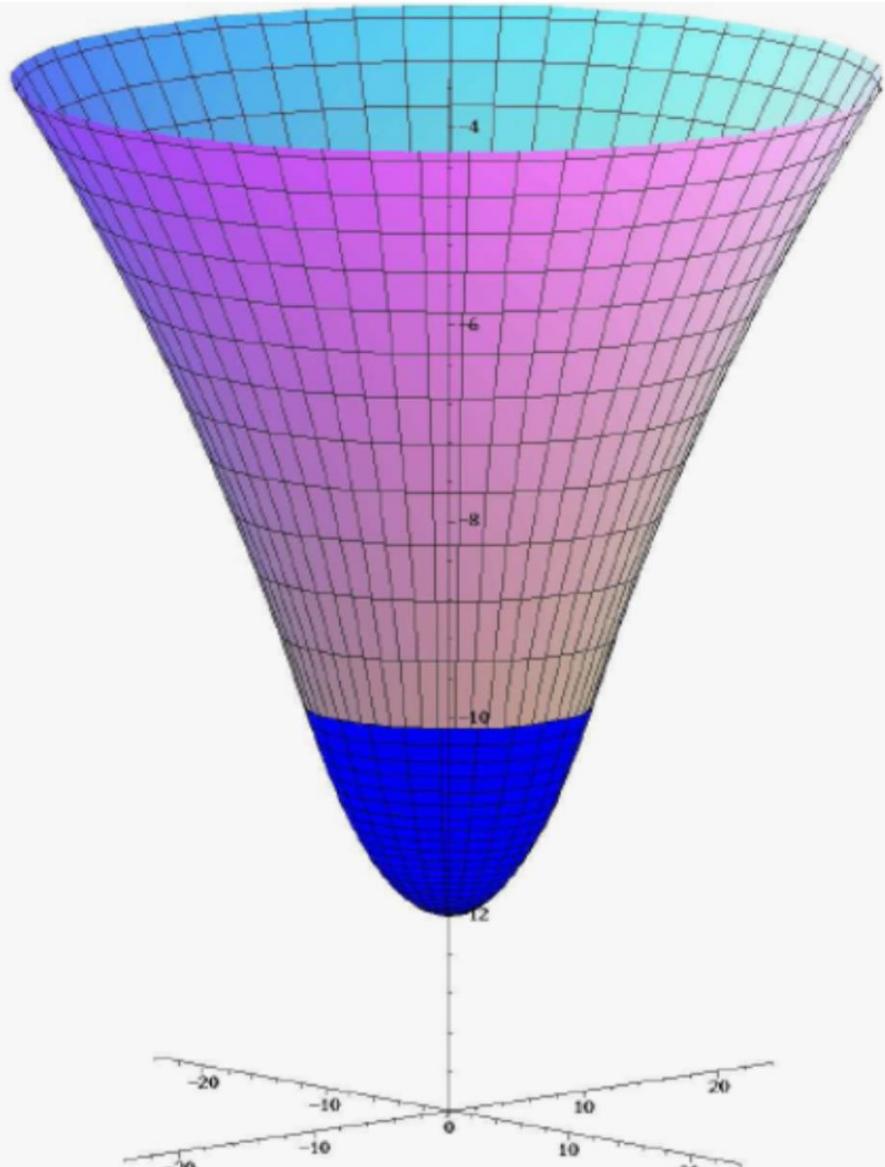
Was sind schwarze Löcher?



Raumzeit - Krümmung

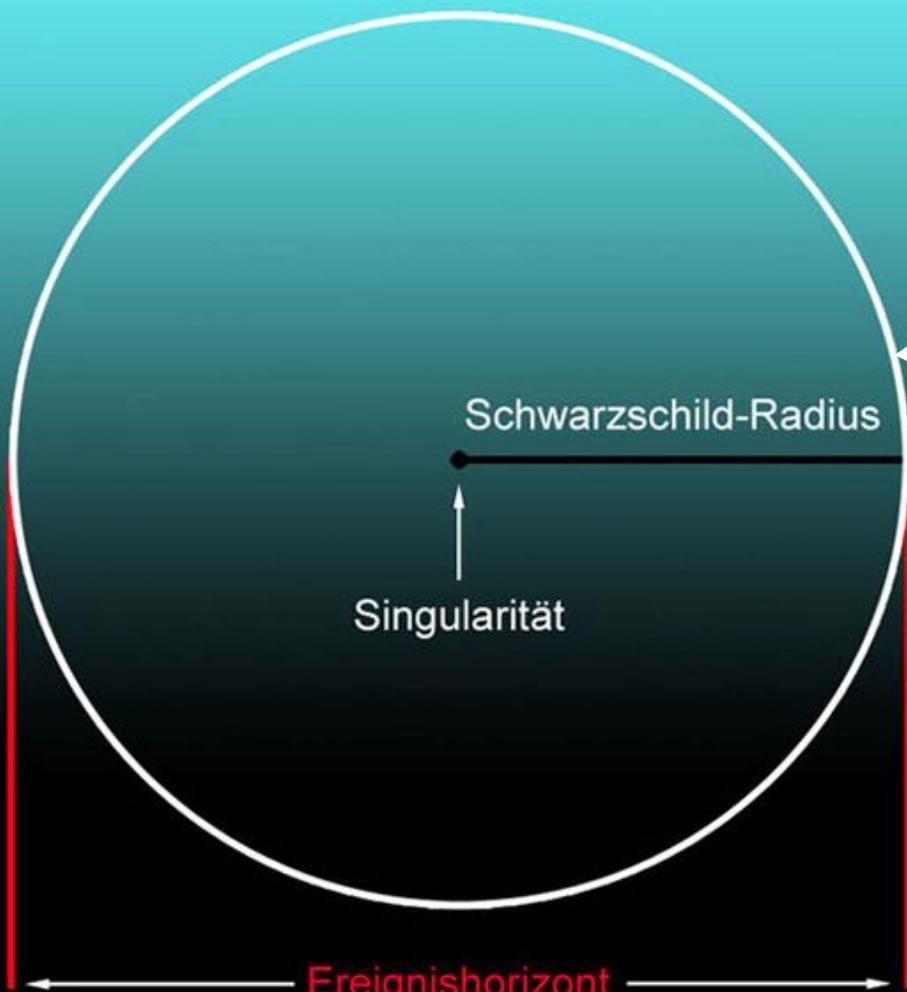
Neutronenstern

Schwarzes Loch



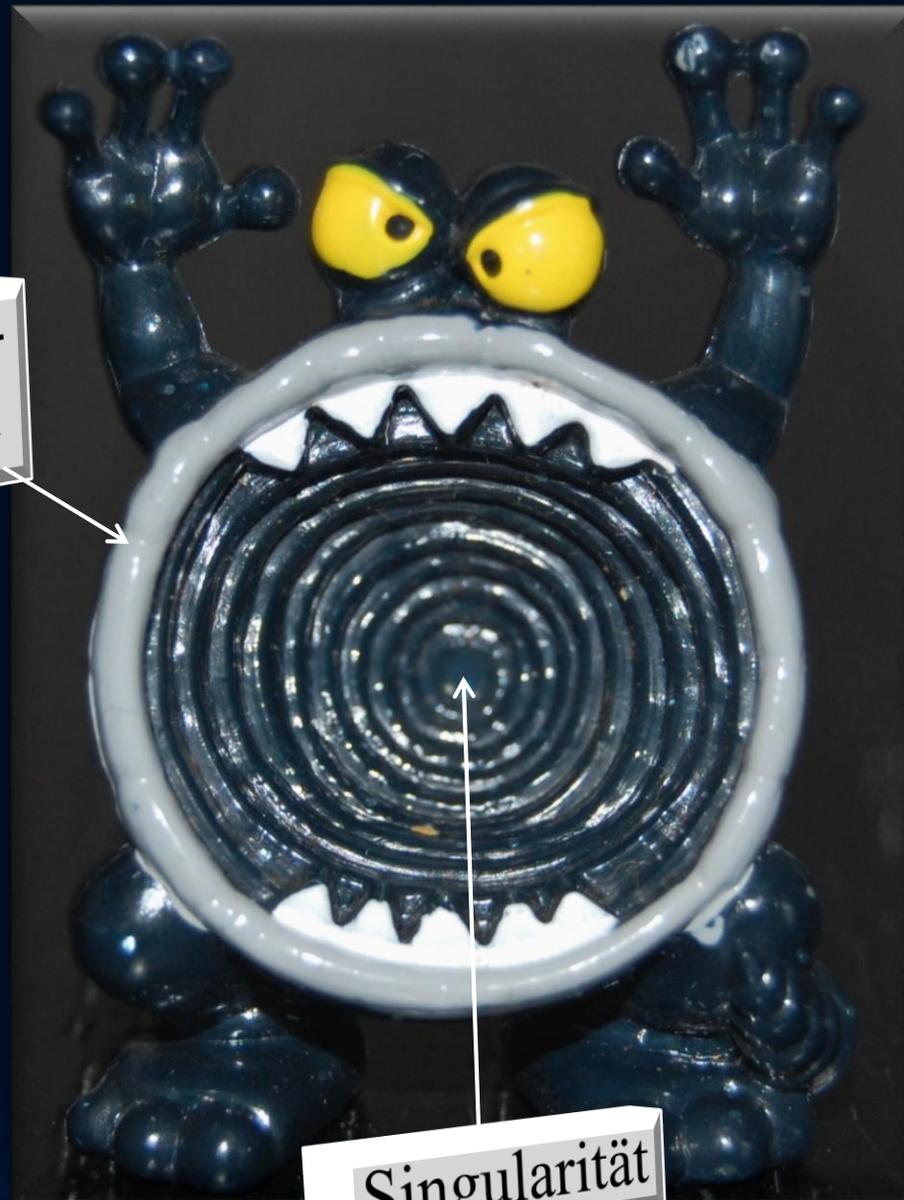
Der Ereignishorizont eines Schwarzen Loches

Grundstruktur eines Schwarzen Lochs



copyright blog.planet-br.com

Ereignis-
horizont

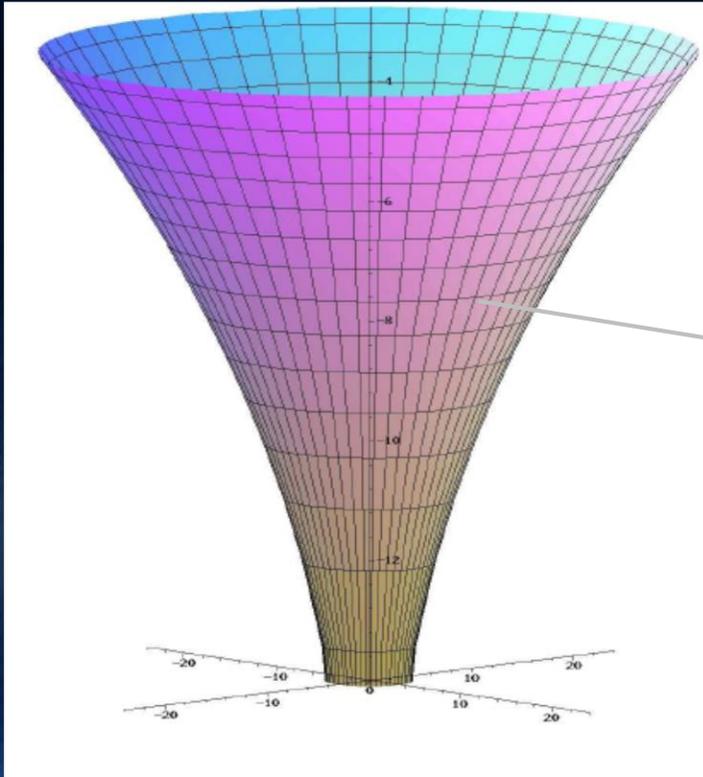


Singularität

Der deutsche Bundestag in Berlin

Die wohl beste Veranschaulichung eines schwarzen Loches

Der Raumzeit-Trichter
im Reichstagsgebäude



Schwarze Löcher und der deutsche Reichstag



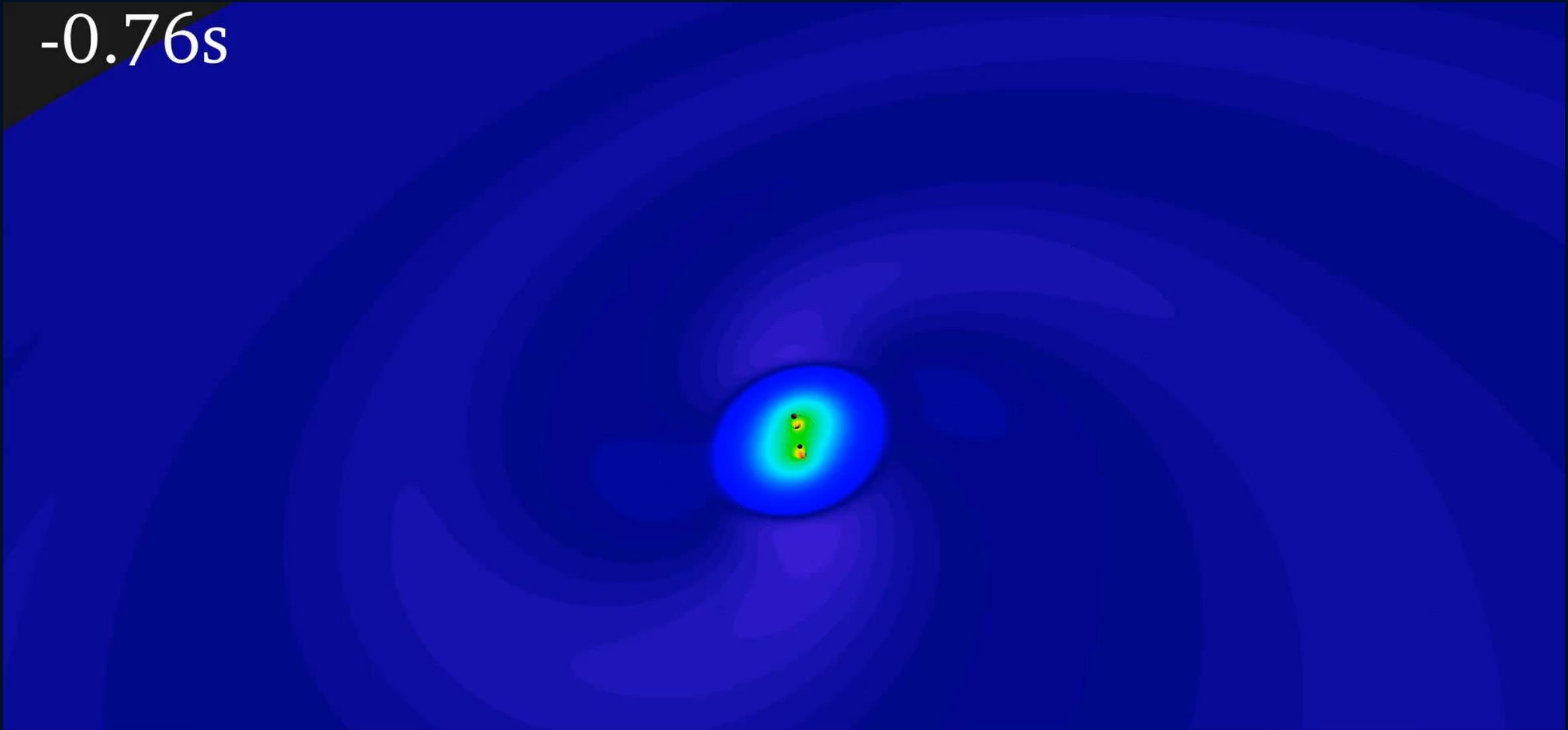
Ereignishorizont

Echte Singularität

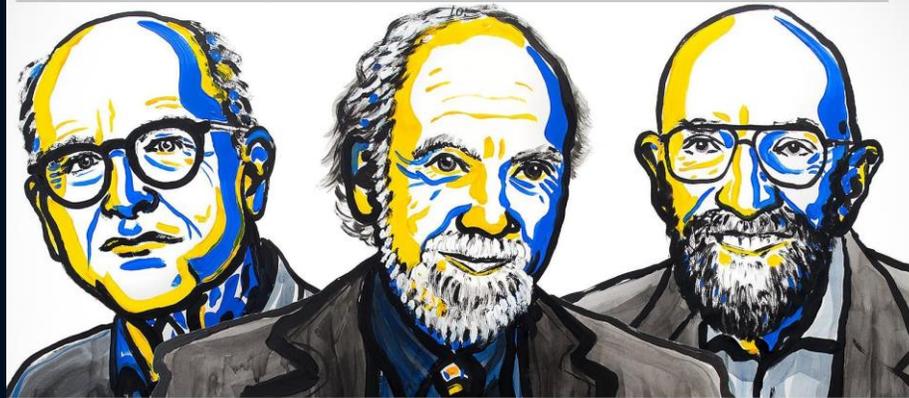
Ereignis-
horizont

Computer Simulation: Kollidierende Schwarze Löcher

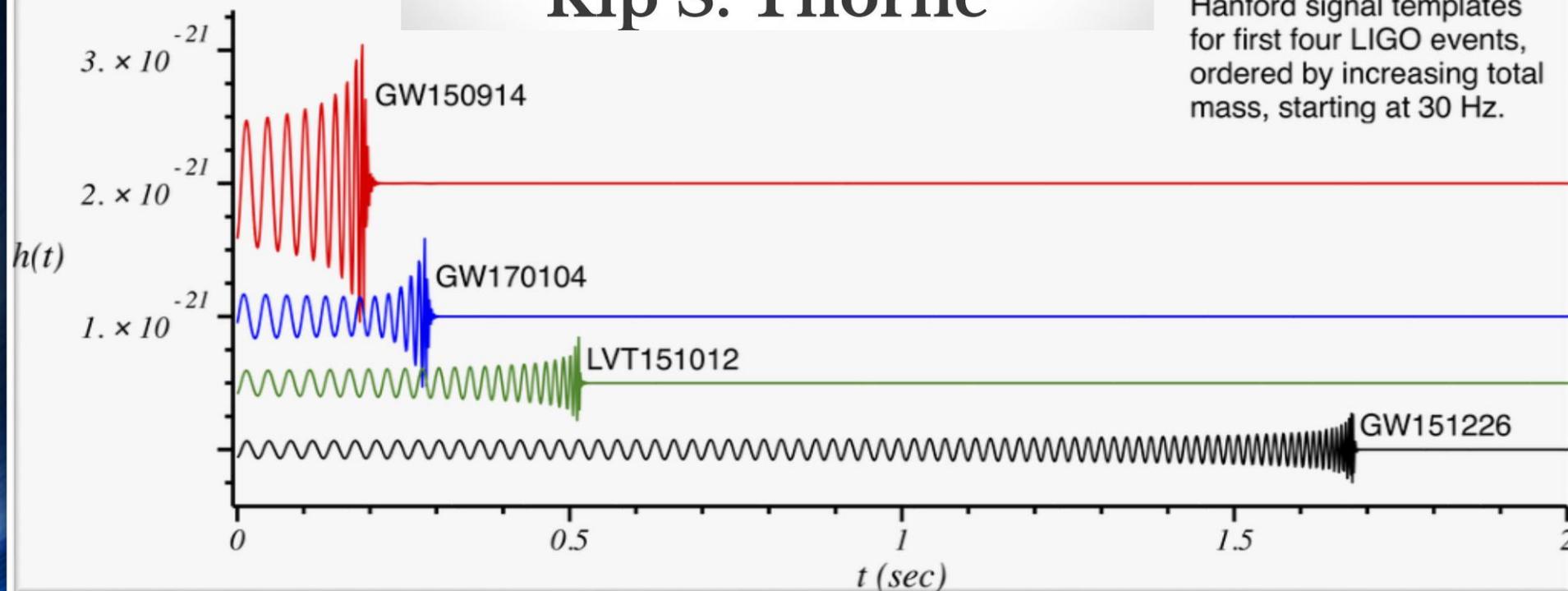
-0.76s



2017 NOBEL PRIZE IN PHYSICS



Rainer Weiss
Barry C. Barish
Kip S. Thorne



Das lang ersehnte Ereignis GW170817

	Low-spin priors ($ \chi \leq 0.05$)	High-spin priors ($ \chi \leq 0.89$)
Primary mass m_1	1.36–1.60 M_\odot	1.36–2.26 M_\odot
Secondary mass m_2	1.17–1.36 M_\odot	0.86–1.36 M_\odot
Chirp mass \mathcal{M}	$1.188^{+0.004}_{-0.002} M_\odot$	$1.188^{+0.004}_{-0.002} M_\odot$
Mass ratio m_2/m_1	0.7–1.0	0.4–1.0
Total mass m_{tot}	$2.74^{+0.04}_{-0.01} M_\odot$	$2.82^{+0.47}_{-0.09} M_\odot$
Radiated energy E_{rad}	$> 0.025 M_\odot c^2$	$> 0.025 M_\odot c^2$
Luminosity distance D_L	40^{+8}_{-14} Mpc	40^{+8}_{-14} Mpc
Viewing angle Θ	$\leq 55^\circ$	$\leq 56^\circ$
Using NGC 4993 location	$\leq 28^\circ$	$\leq 28^\circ$
Combined dimensionless tidal deformability $\tilde{\Lambda}$	≤ 700	≤ 700
Dimensionless tidal deformability $\Lambda(1.4M_\odot)$	≤ 800	≤ 1400

17. August 2017

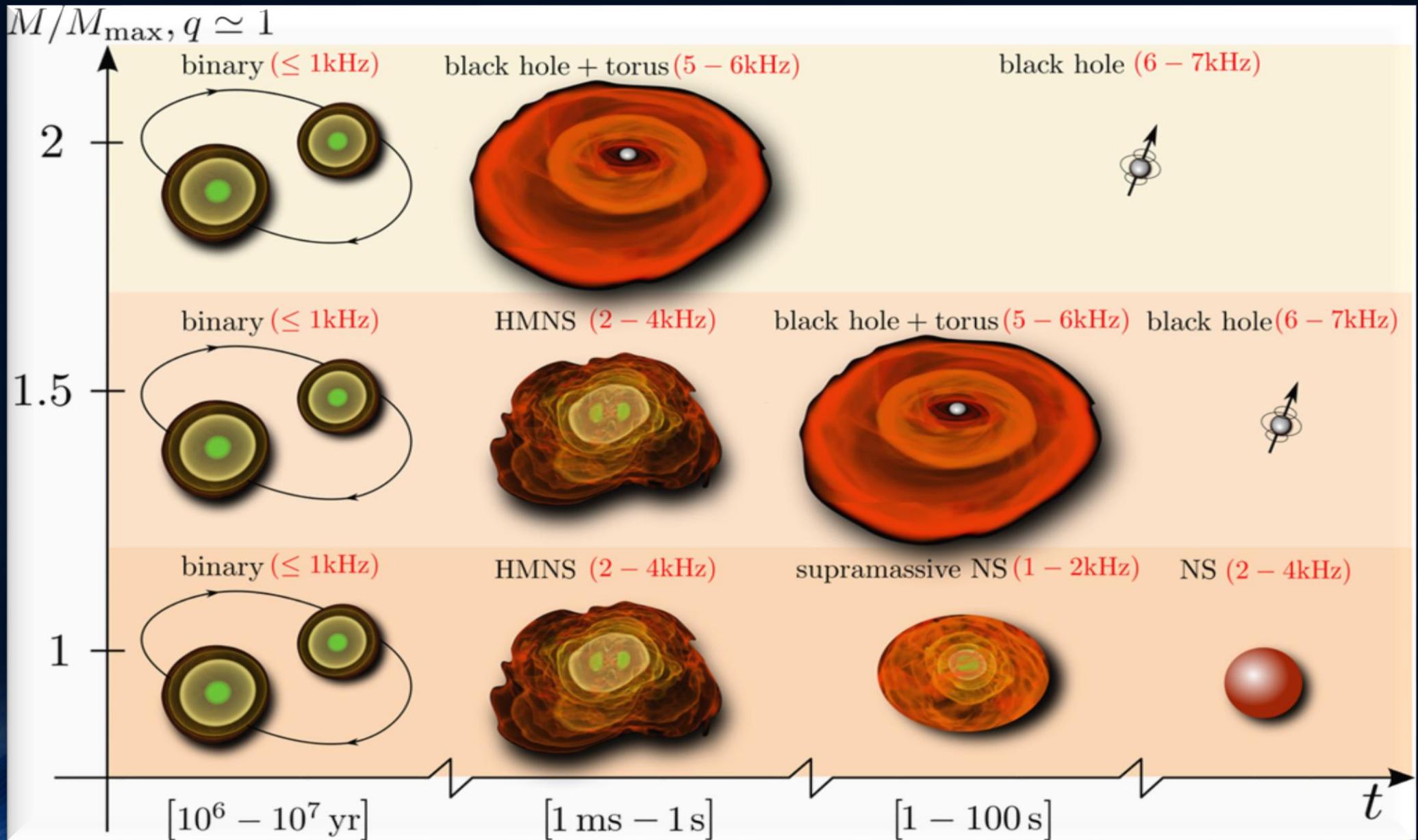
Gravitationswelle einer
Neutronenstern Kollision gemessen!

Was geschieht wenn zwei Neutronensterne miteinander kollidieren?

Zwei sehr massive Neutronensterne

Zwei mittelschwere Neutronensterne

Zwei leichte Neutronensterne



Computer Simulation einer Neutronenstern Kollision

Credits: Cosima Breu, David Radice und Luciano Rezzolla



**Dichte der
Neutronenstern Materie**

8.5 14



$\lg(\rho)$ [g/cm³]

**Temperatur der
Neutronenstern Materie**

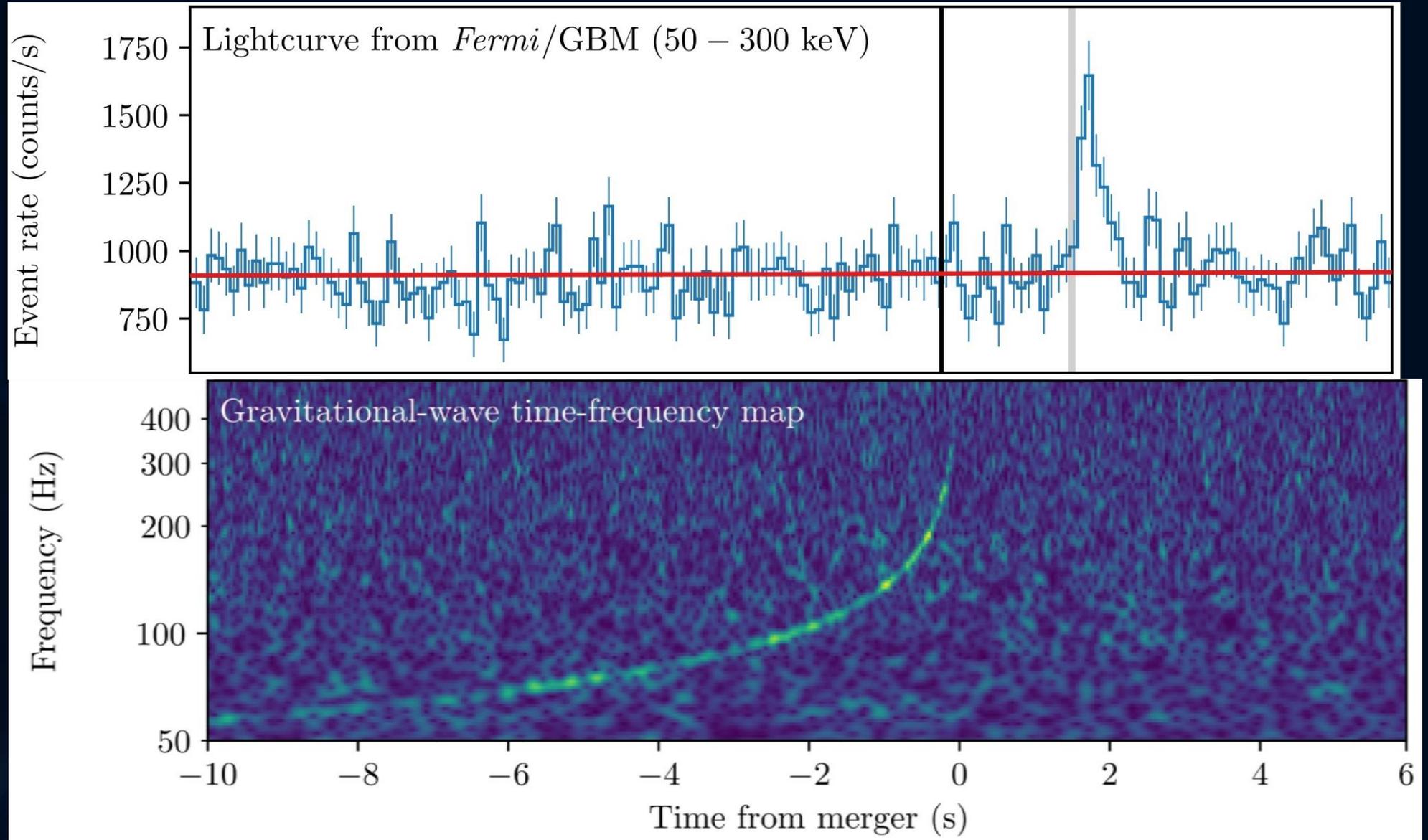
0 50



T [MeV]

Die gemessene Gravitationswelle und der darauf folgende hochenergetische Lichtblitz

Der von dem
Gammastrahlen
Detektor FERMI
gemessene
Gammastrahlen
Ausbruch
(1.7 Sekunden später)



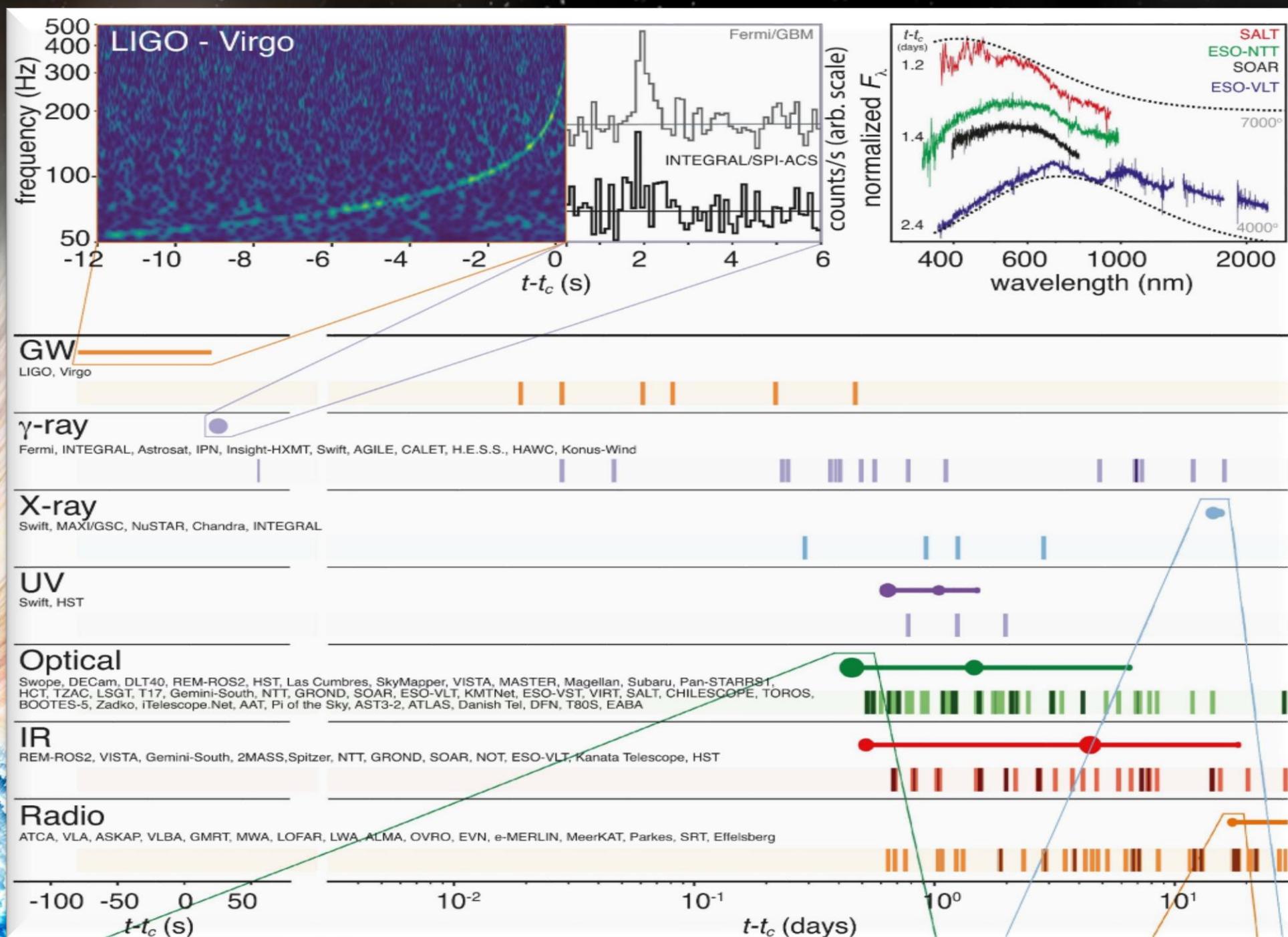
Die von dem
Gravitationswellen
Detektor LIGO
detektierte
Frequenz der
Gravitationswelle



GW170817

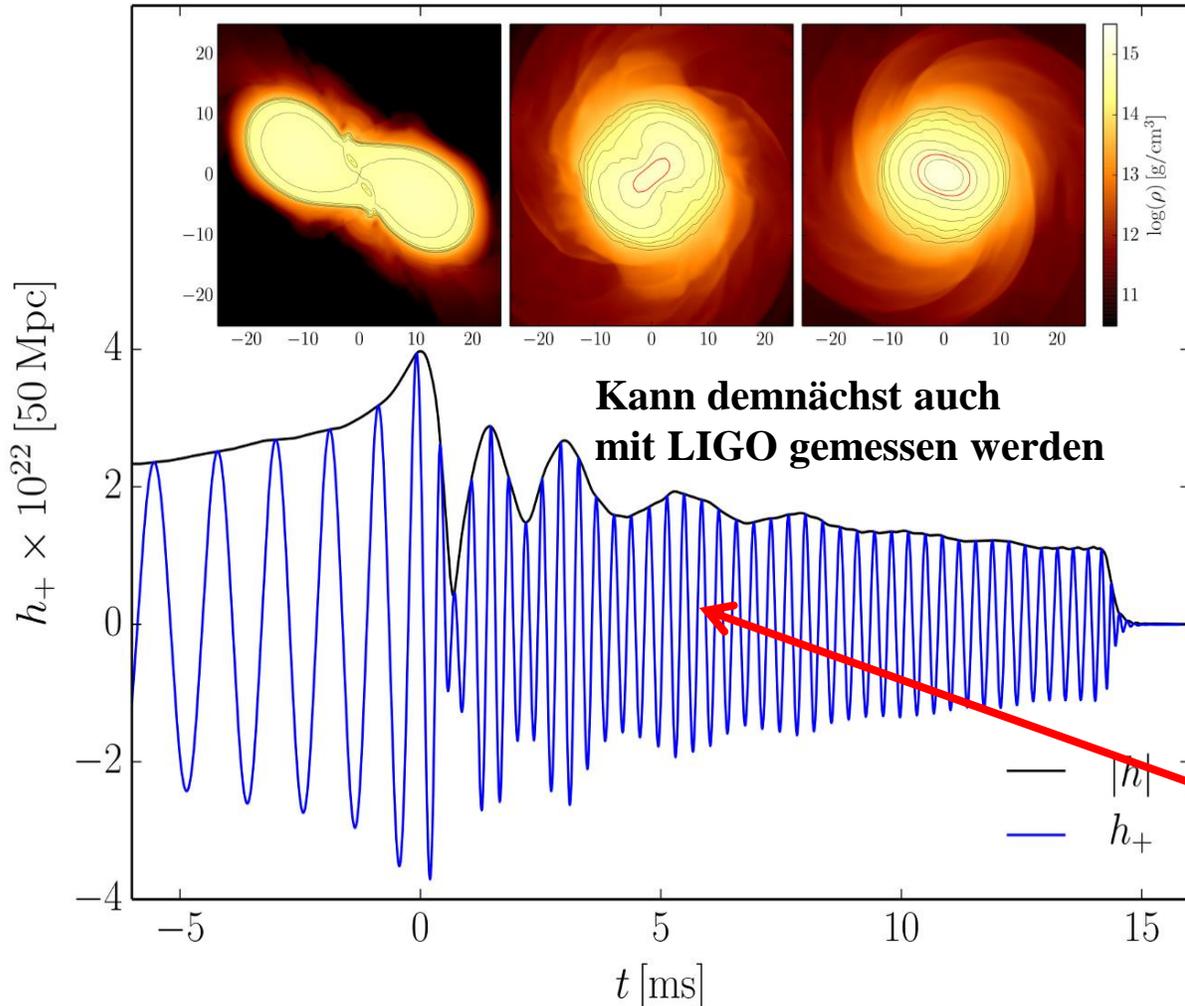
Tage, Wochen und Monate später detektierten weltweit unterschiedliche Teleskope (radio, infrarot, optische,...) eine Nachstrahlung dieser Neutronenstern Kollision

Multi-Messenger Observations of a Binary Neutron Star Merger, LIGO and Virgo Collaborations together with 50 teams of electromagnetic and neutrino astronomers, *Astrophys. J. Lett.* 848, L12 (2017)

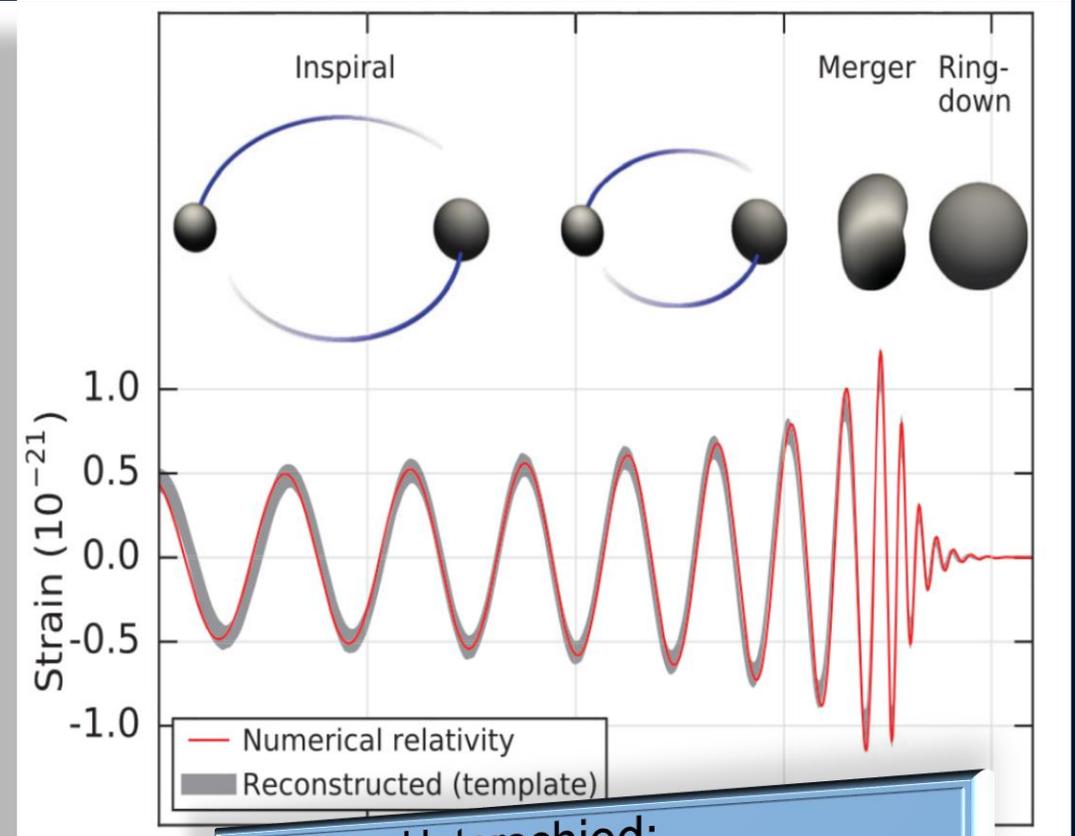


Gravitationswelle einer Neutronenstern Kollision

Neutronenstern Kollision (Simulation)

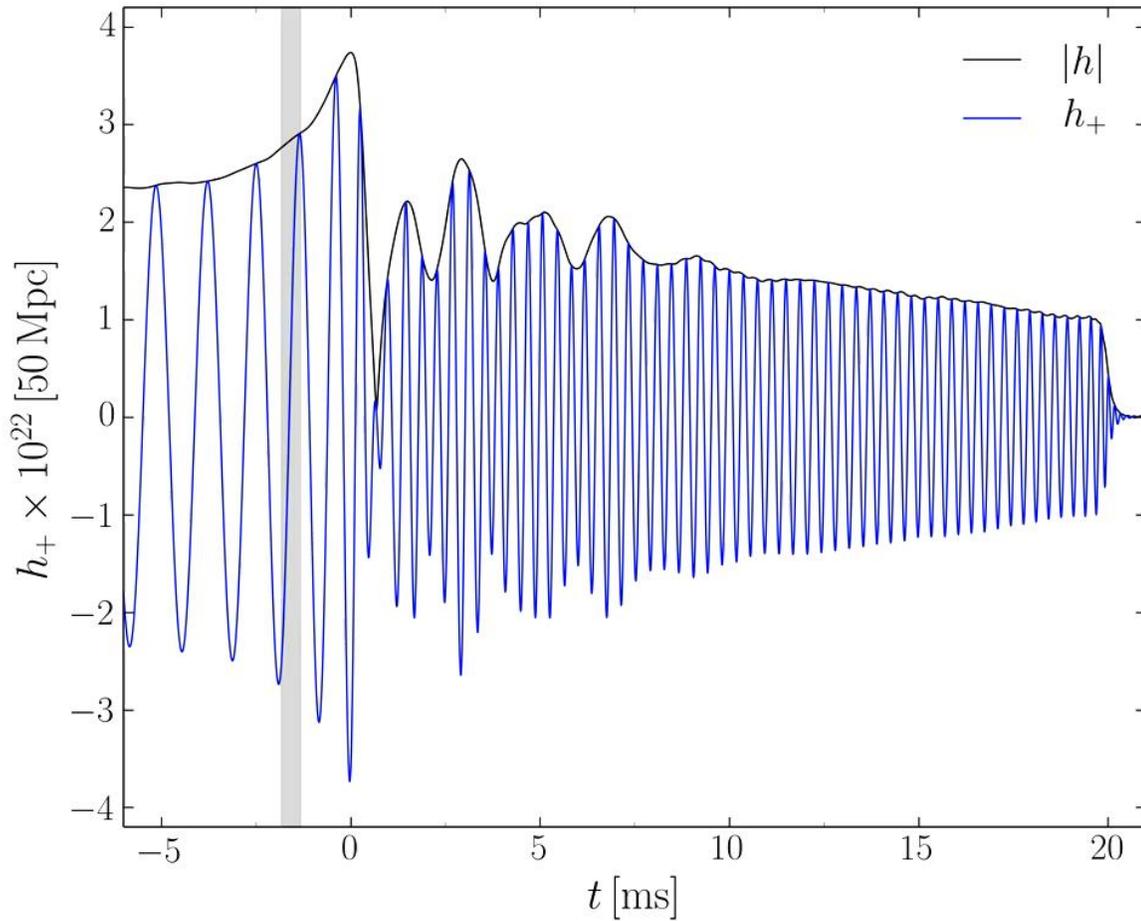


Kollision zweier schwarzer Löcher

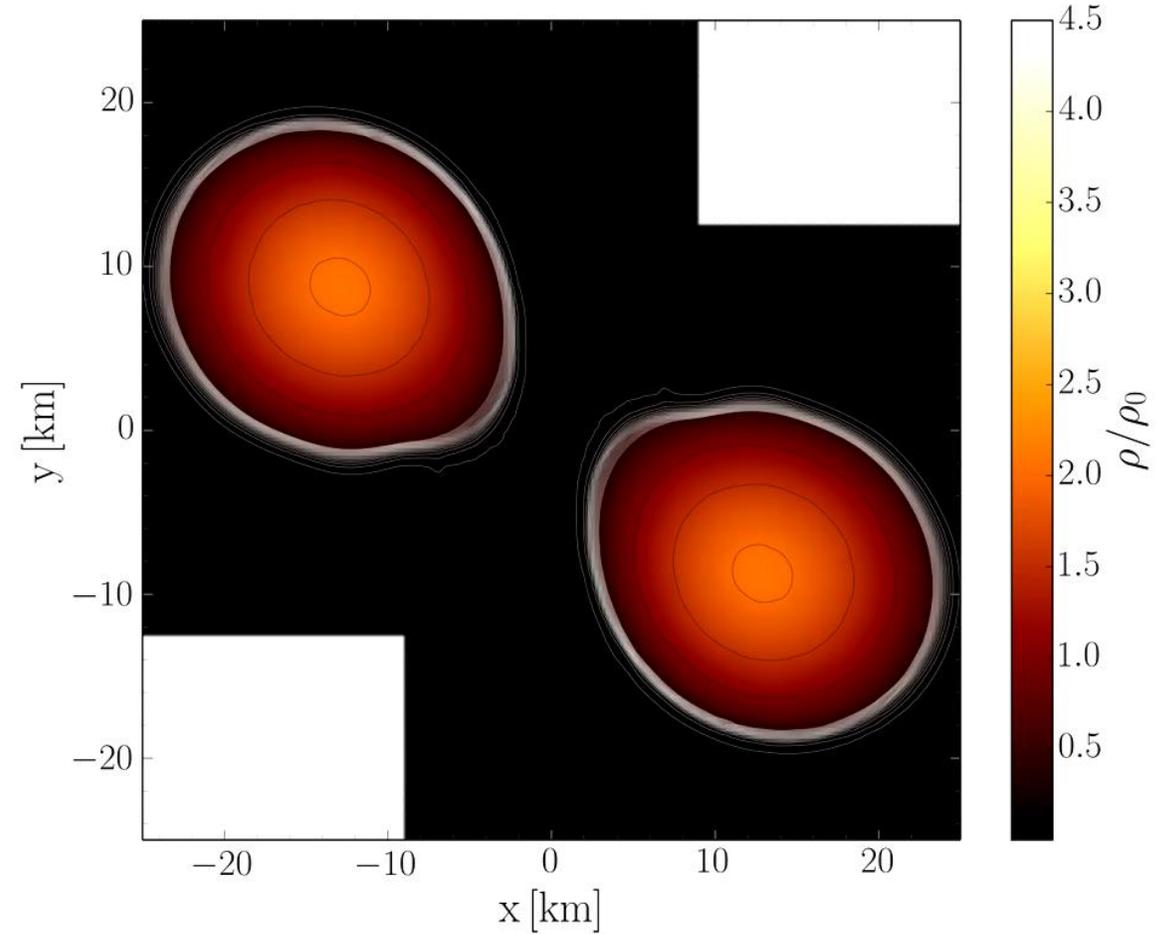


Unterschied:
Bei Neutronenstern Kollisionen
gibt es meistens eine
Post-Kollisionsphase

Was geschieht zwischen der Kollision und dem Kollaps zum schwarzen Loch?

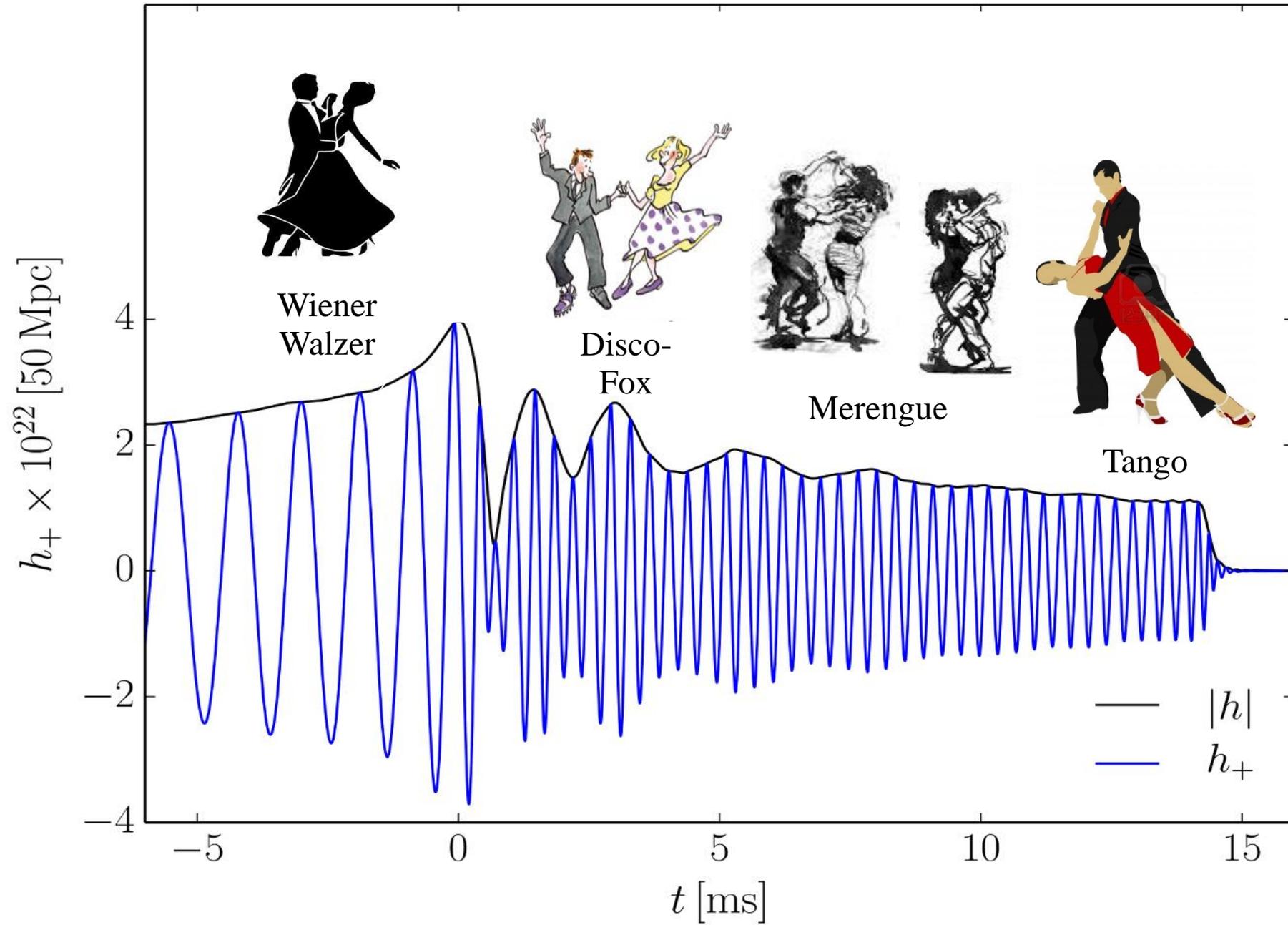


Amplitude der emittierten Gravitationswelle

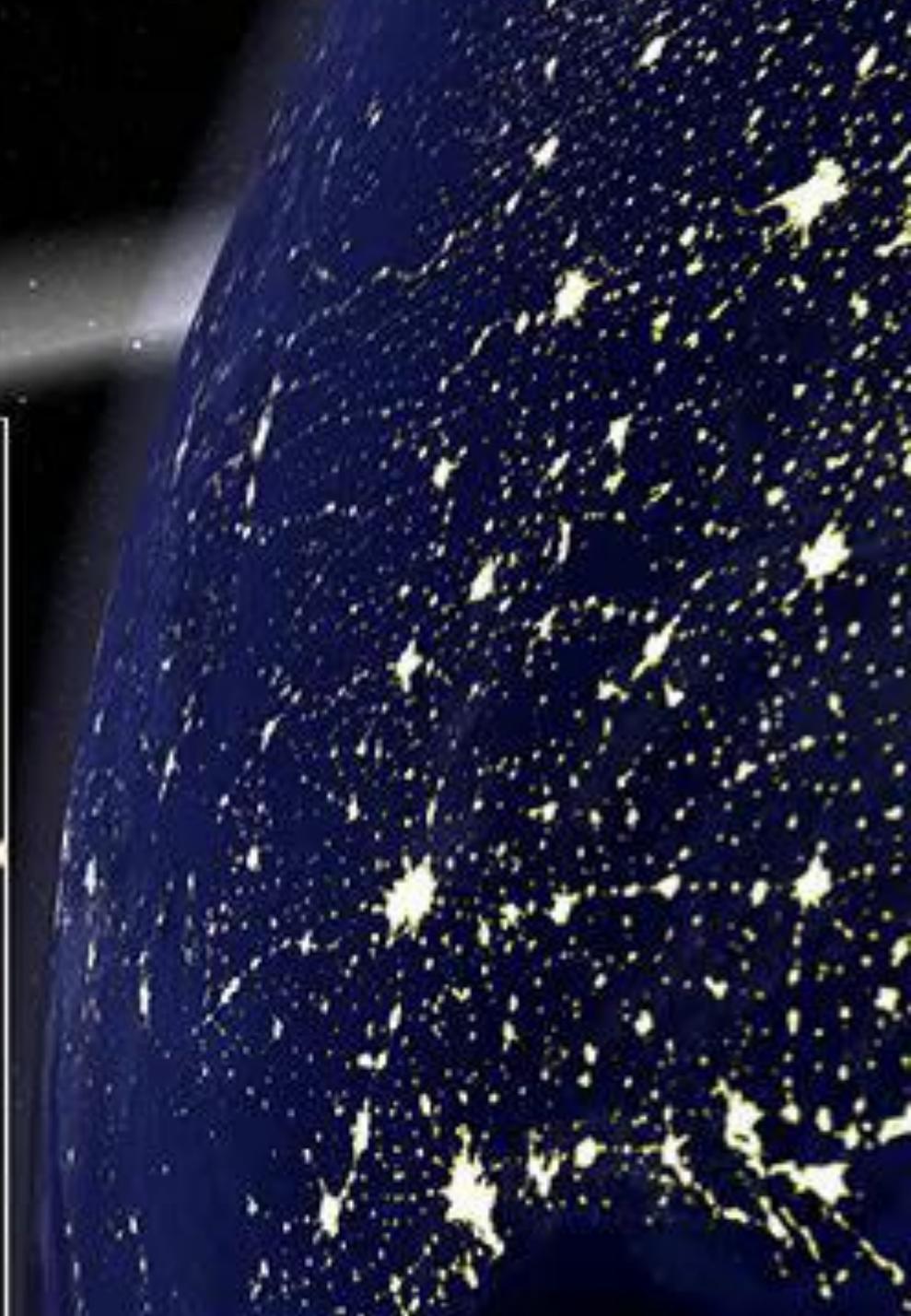
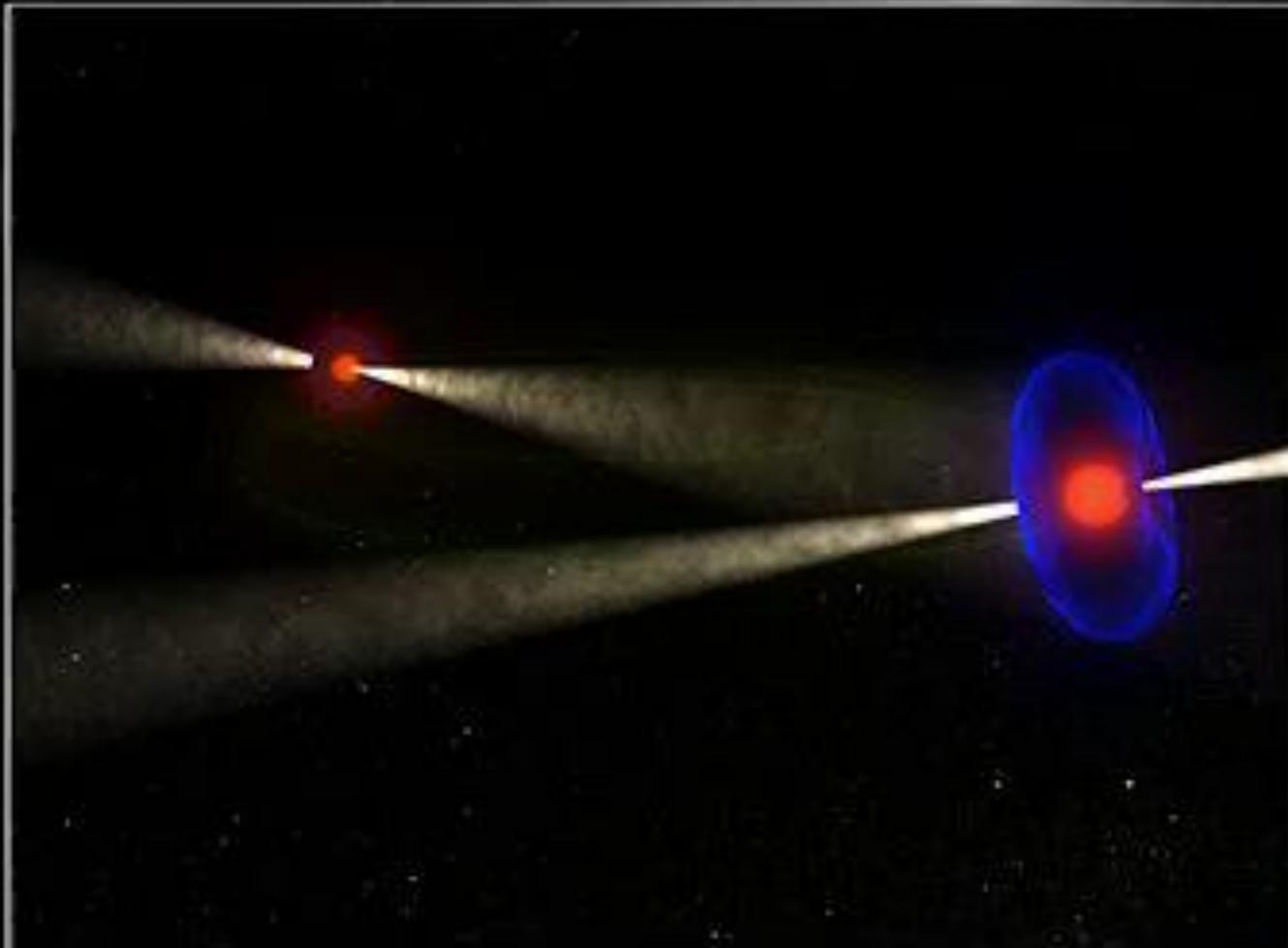


Dichteprofil in der äquatorialen Ebene

Tanz der Neutronensterne

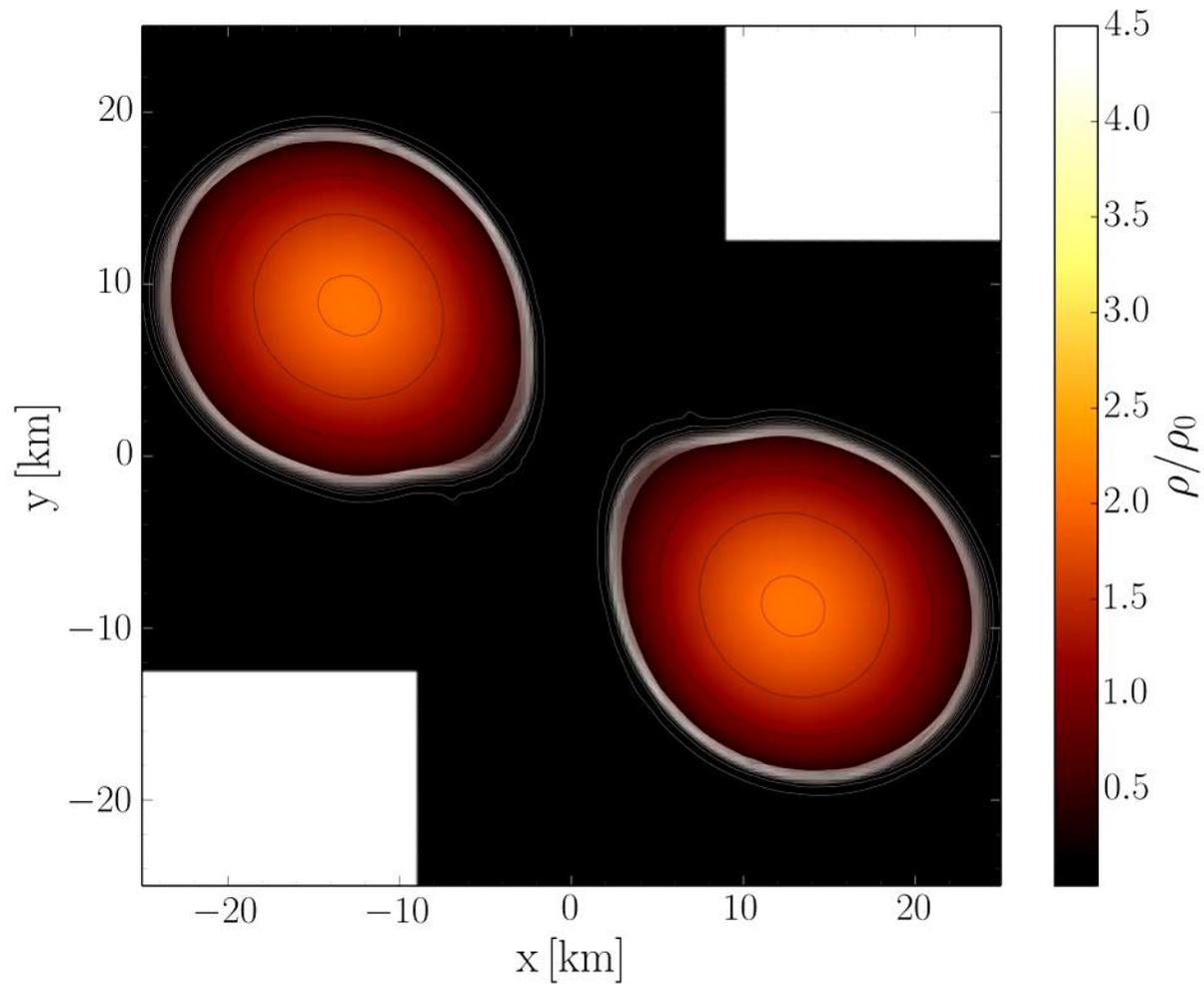
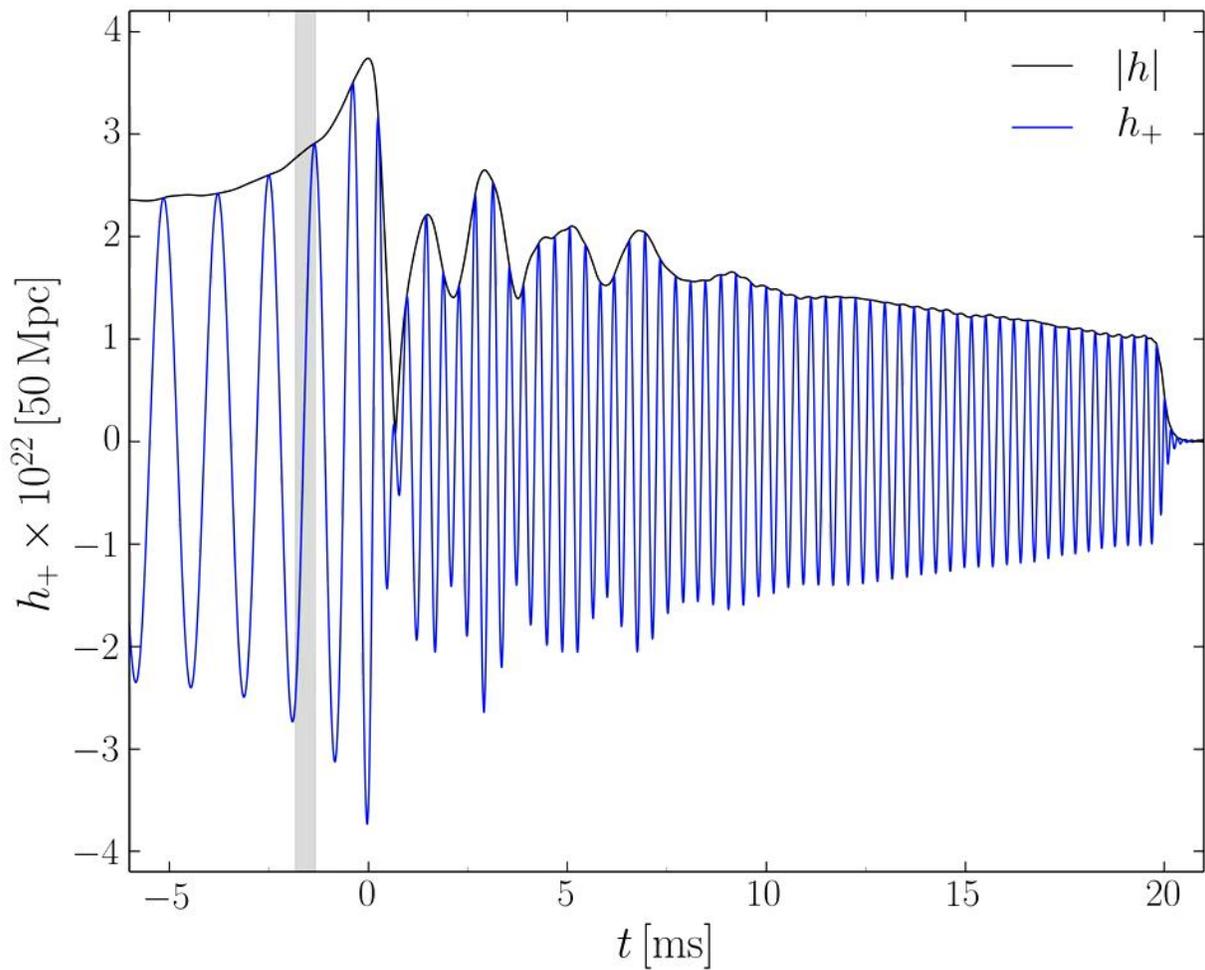


Wiener Walzer Phase





Disco-Fox, Merengue und Tango Phase



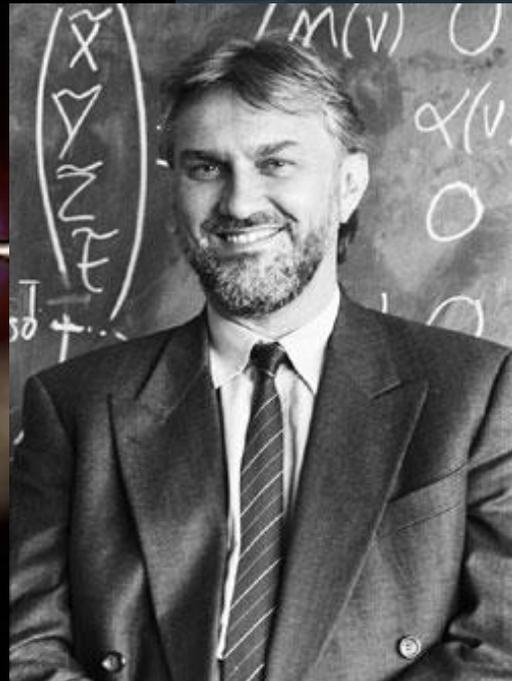
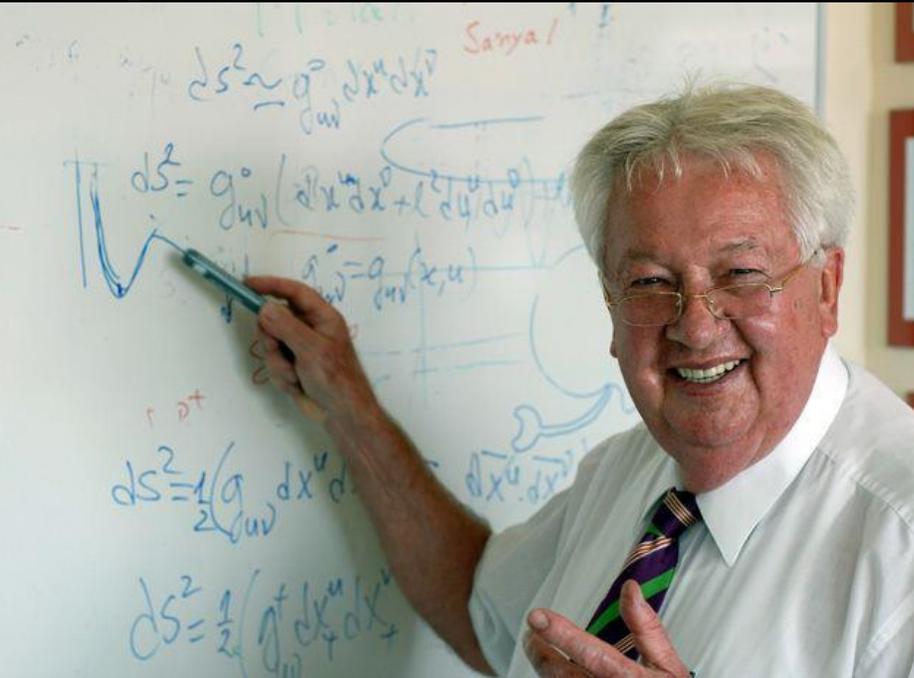
Credits to ...

Kentaro Takami, Luke Bovard, Jose Font, Filippo Galeazzi, Jens Papenfort, Lukas Weih, Elias Most, Cosima Breu, Federico Guercilena, Natascha Wechselberger, Zekiye Simay Yilmaz, Christina Mitropoulos, Jan Steinheimer, Stefan Schramm, David Blaschke, Mark Alford, Kai Schwenzer, Antonios Nathanail, Roman Gold, Alejandro Cruz Osorio, Andreas Zacchi, Jürgen Schaffner-Bielich, Laura Tolos, Sven Köppel, Gloria Montaña, Michael Rattay, Debades Bandopadhyay,

Walter Greiner

Horst Stöcker

Luciano Rezzolla



Riedberg TV, Hessisches Kompetenzzentrum für Hochleistungsrechnen und Tanzschule Wernecke

Kamera: *Pablo Rengel Lorena* Schnitt: *Luise Schulte*

Der Tanz der Neutronensterne