

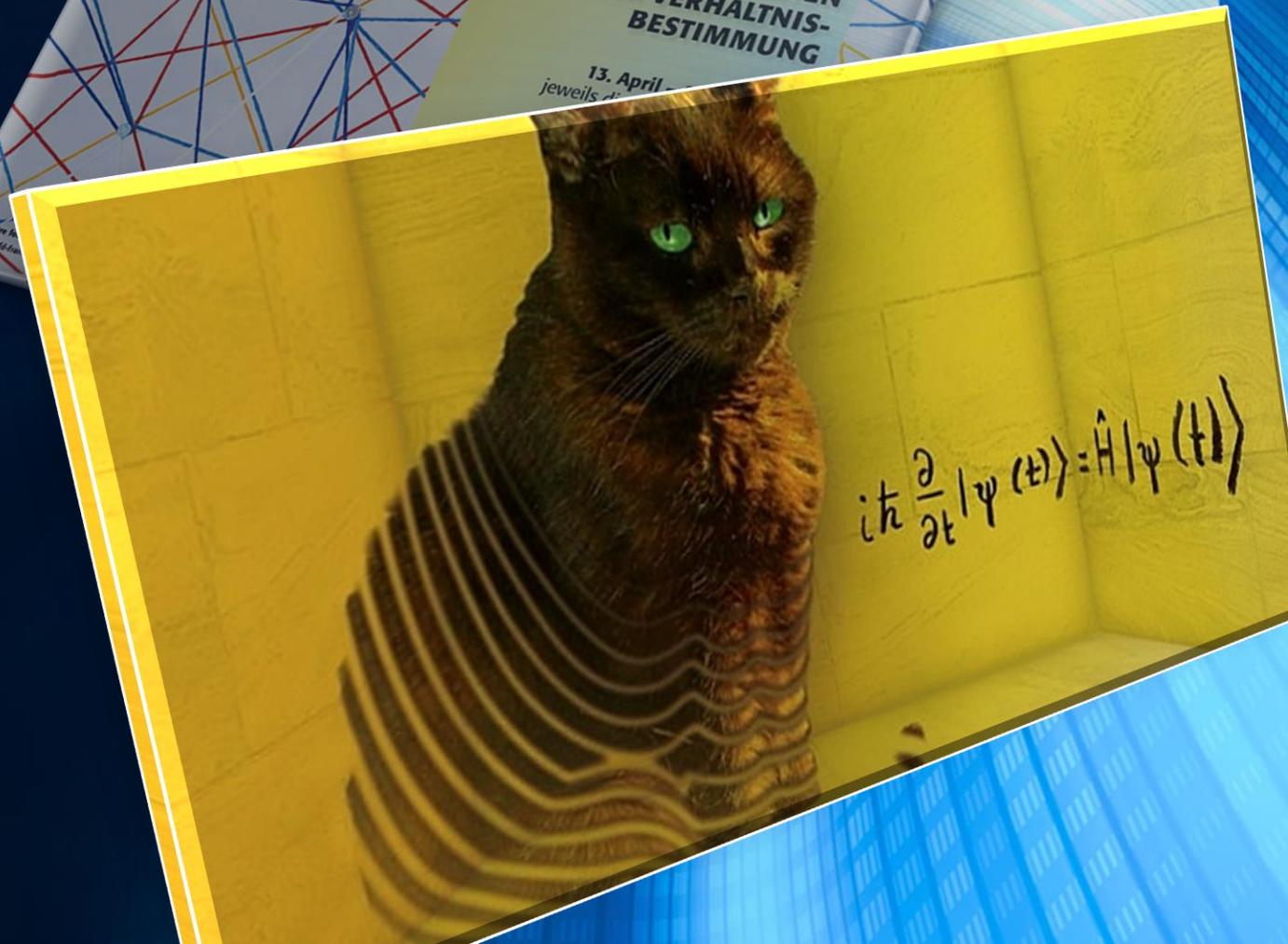
THEOLOGIE UND NATURWISSENSCHAFTEN –
MÖGLICHKEITEN IHRER
VERHÄLTNISBESTIMMUNG

GOETHE UNIVERSITÄT

11. MAI 2021

Quantentheorie

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



THEOLOGIE UND
NATURWISSENSCHAFTEN
– MÖGLICHKEITEN
IHRER VERHÄLTNIS-
BESTIMMUNG

13. April
jeweils d...

Die klassische Mechanik und das Prinzip der kleinsten Wirkung

Mechanik

Wie bewegen sich Körper wenn eine Kraft auf sie einwirkt ?

Das Prinzip der kleinsten Wirkung ist ein allgemeingültiges Prinzip der Natur und die gesamte klassische Mechanik kann mittels dieses Prinzips hergeleitet werden.

Pierre Maupertuis sprach 1746 als erster von diesem allgemeingültigen Prinzip der Natur extremal oder optimal abzulaufen

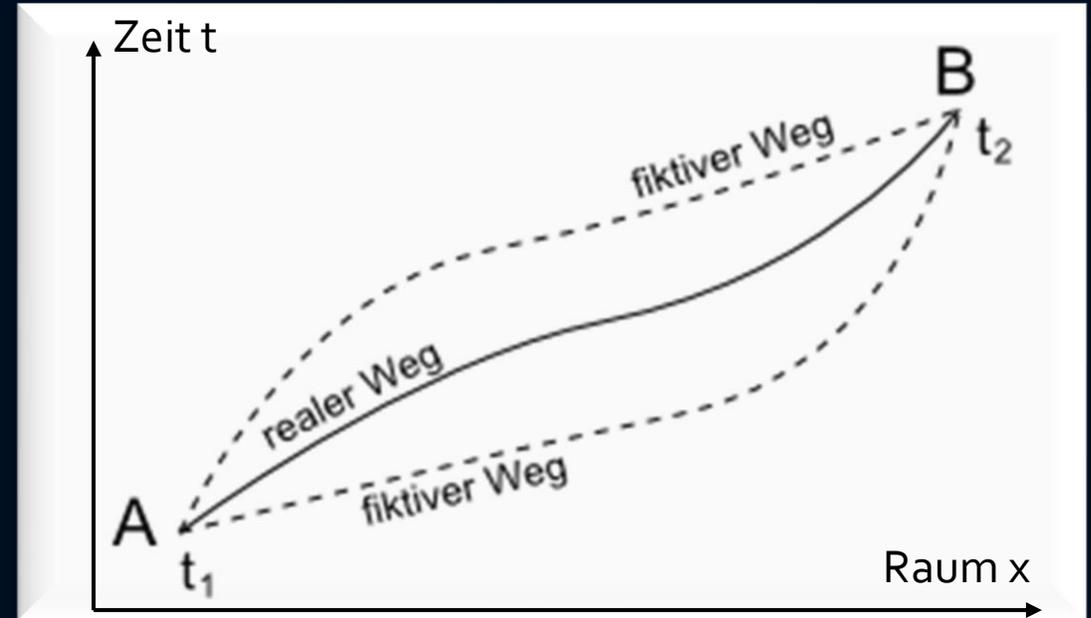
Leonhard Euler und Joseph Lagrange klärten in der Mitte des achtzehnten Jahrhunderts, dass solch ein Prinzip die Gültigkeit von Euler-Lagrange-Gleichungen bedeute. Die lagrangesche Formulierung der Mechanik stammt von 1788. 1834 formulierte William Hamilton das nach ihm benannte Prinzip.

Hamilton Funktion

$$H = T + V = E$$

Lagrange Funktion

$$L = T - V$$



Das **Hamiltonsche Prinzip der kleinsten Wirkung** besagt, dass von allen denkbaren, fiktiven Bahnen, die anfänglich bei A starten und im Punkt B enden, diejenigen Bahnen in der Natur durchlaufen werden, die die kleinste Wirkung haben. Für die physikalisch in der Natur realisierte Bahn verschwindet somit die Variation der Wirkung.

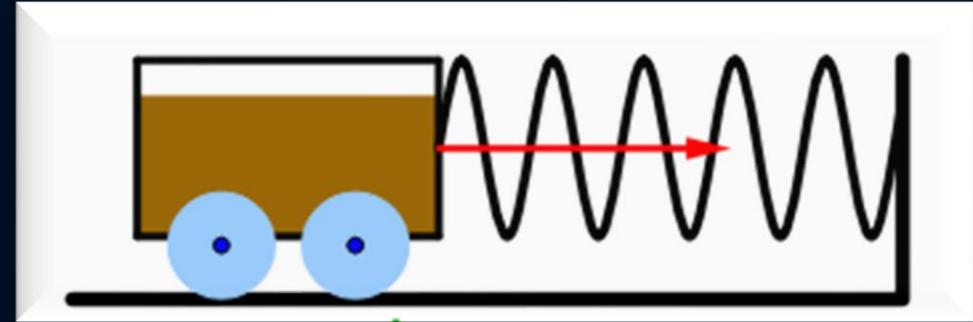
$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0$$

Die klassische Mechanik und das Prinzip der kleinsten Wirkung

Beispiel: Der harmonische Oszillator

Die Lagrange Funktion

$$L = \frac{1}{2} m v^2 - \frac{k}{2} x^2$$



und das Prinzip der kleinsten Wirkung liefern die Bewegungsgleichungen

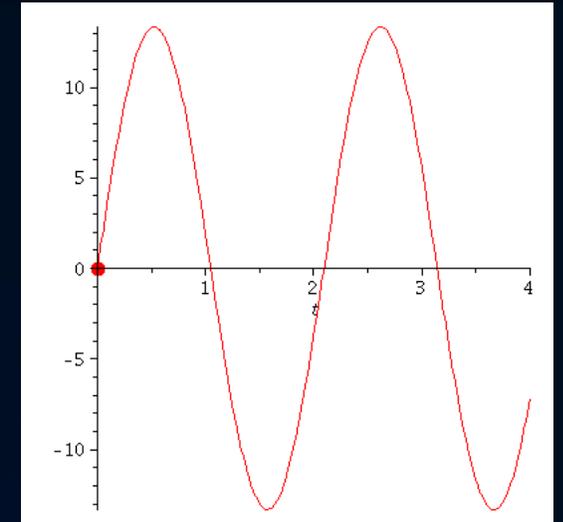
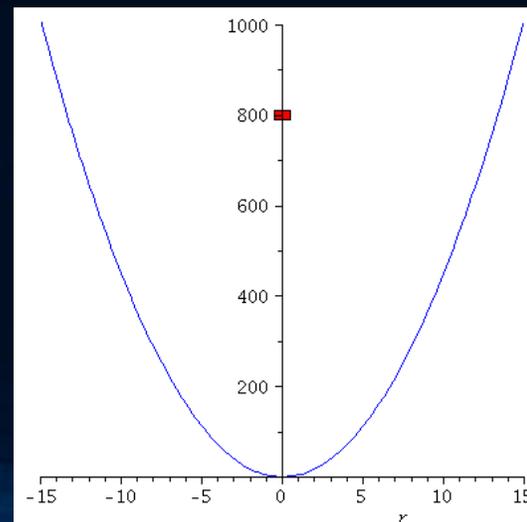
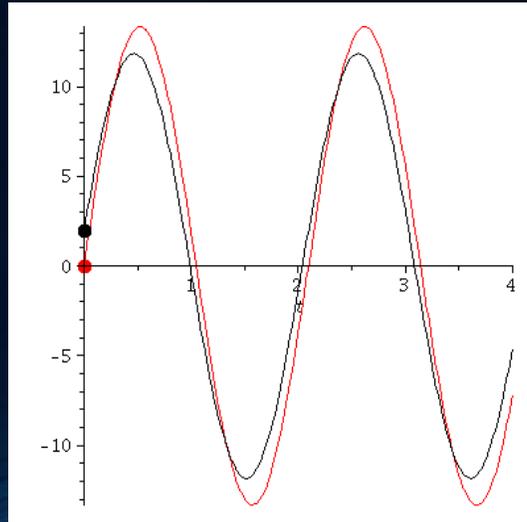
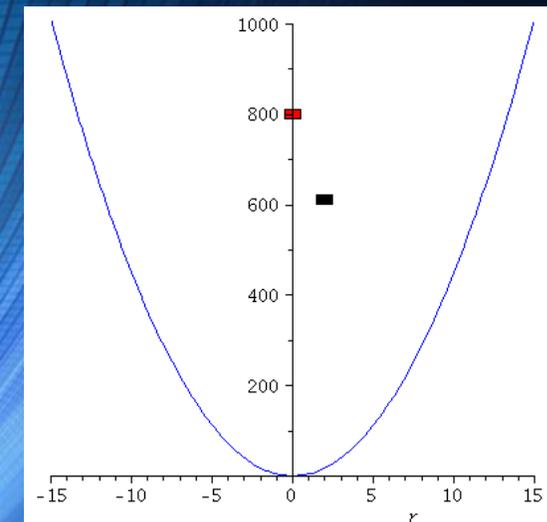
$$\delta W = \delta \int_{t_1}^{t_2} L dt = 0$$

Bewegungsgleichung + Anfangsbedingungen \Rightarrow Trajektorie der Bewegung

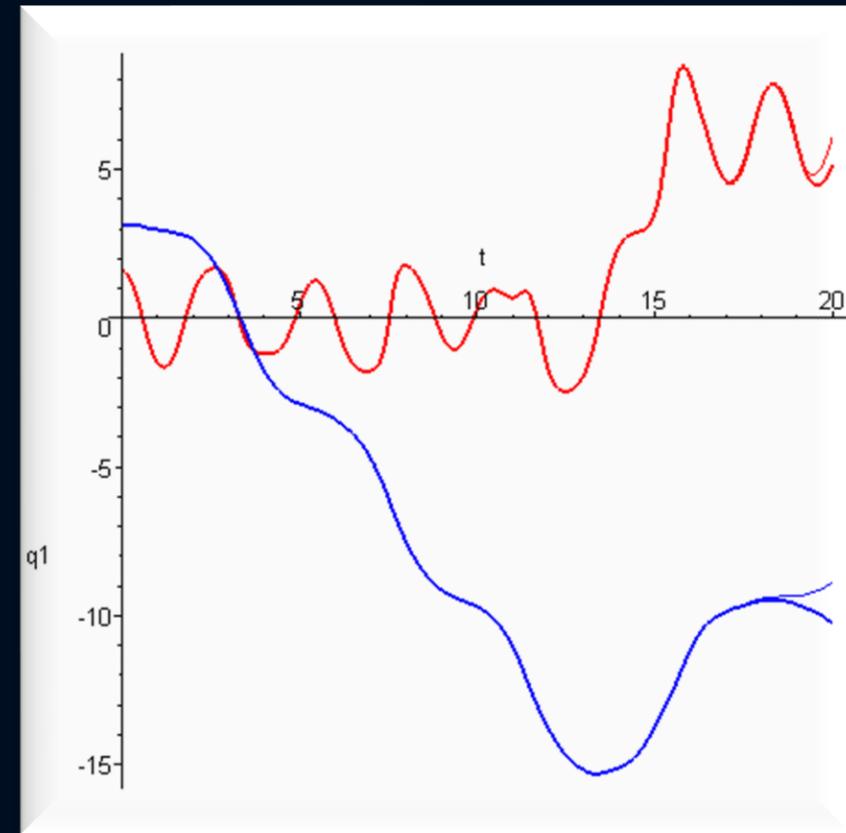
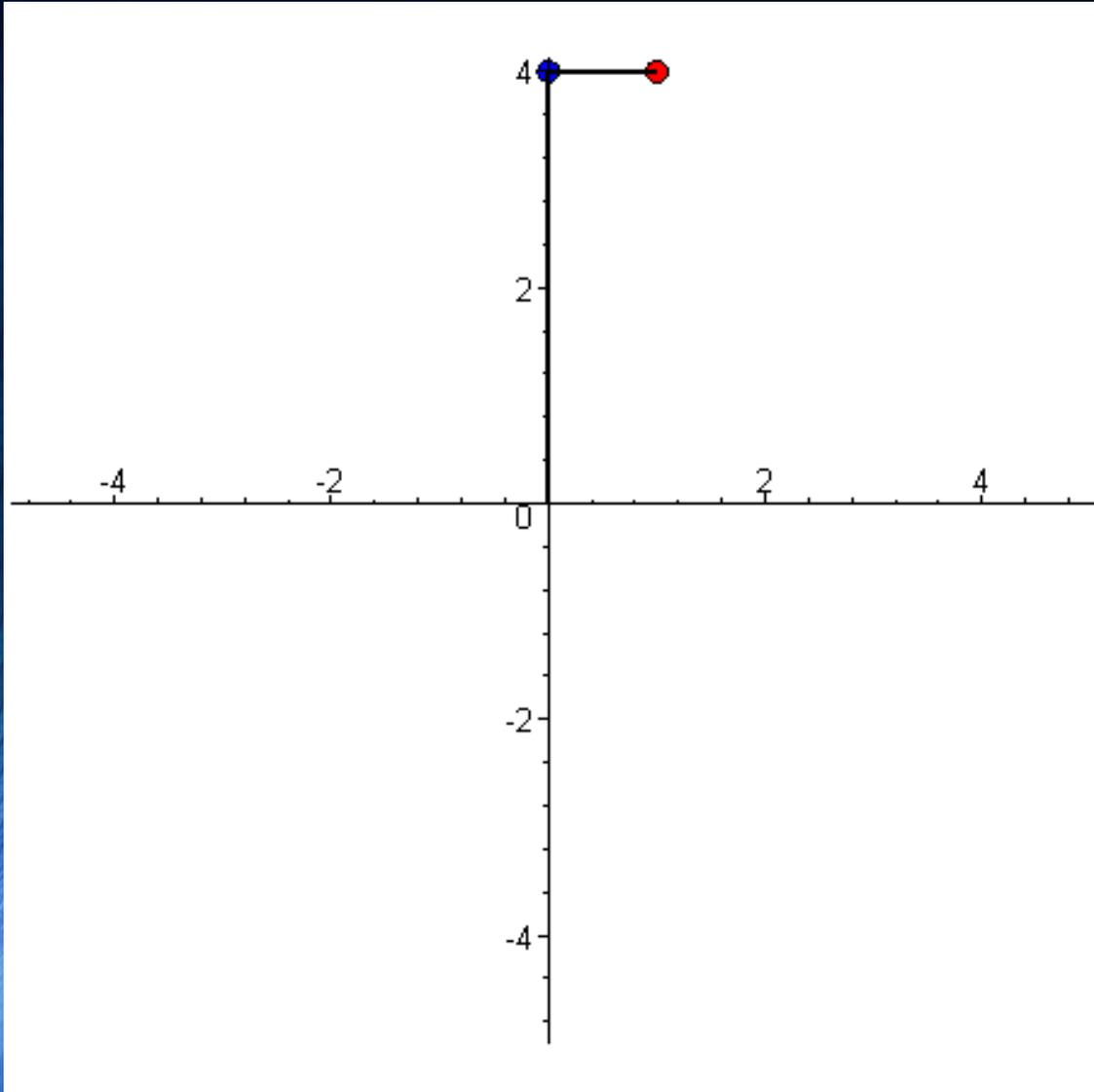
$$\frac{d^2 x(t)}{dt^2} = -\frac{k}{m} x(t)$$

$$x(0) = 0, v(0) = 40$$

$$x(t) = \frac{40}{\sqrt{\frac{k}{m}}} \sin\left(\frac{k}{m} t\right)$$



Die klassische Mechanik *und der Determinismus*



Deterministisches Chaos

Obwohl die Bewegungsgleichungen der klassischen Mechanik deterministisch sind, kann die genaue zeitliche Entwicklung unvorhersagbar erscheinen. Deterministisches Chaos entsteht, wenn die zeitliche Entwicklung empfindlich von den Anfangsbedingungen abhängt (Schmetterlingseffekt).

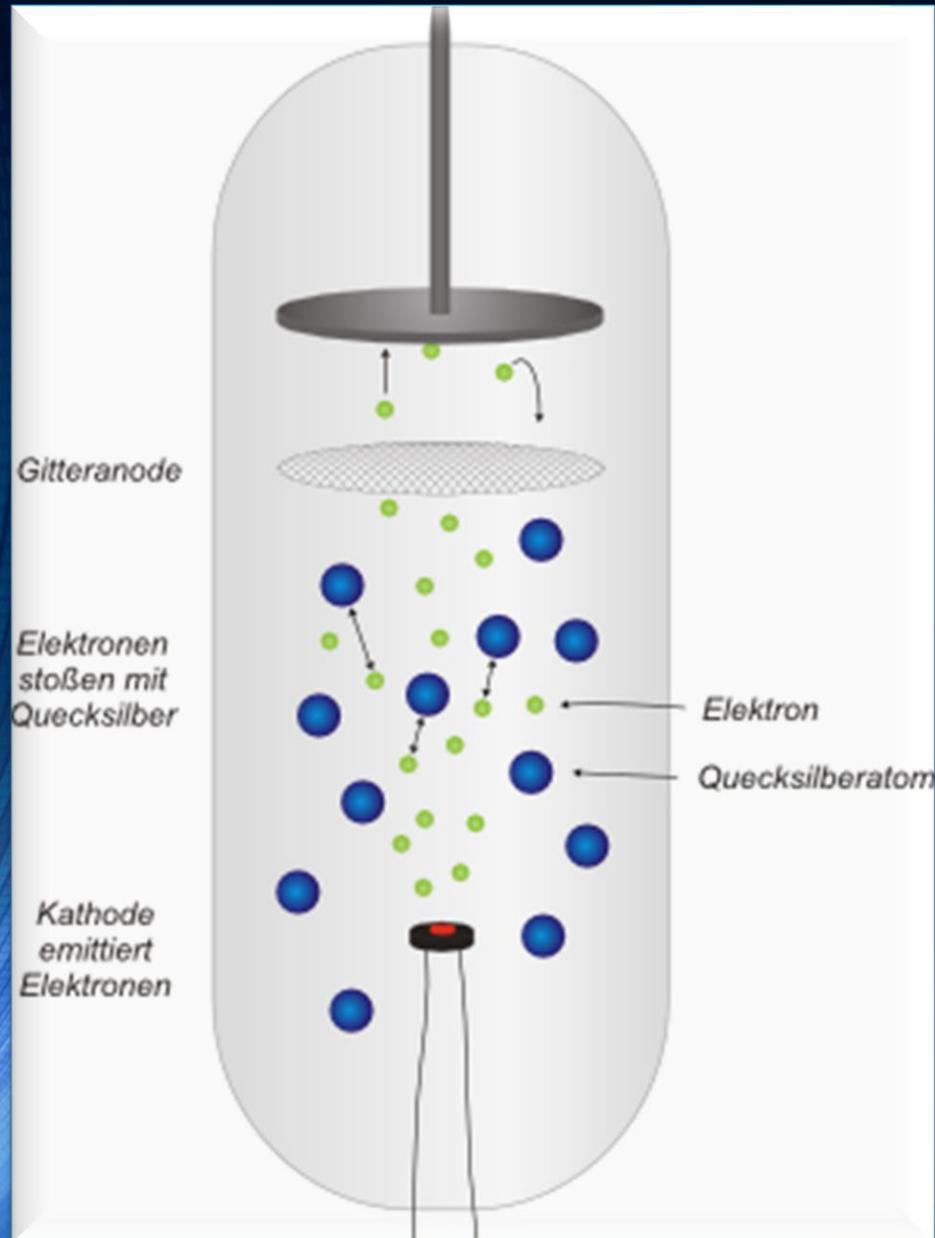
Experimentelle Befunde im Bereich der Quantenmechanik

Die Quantenmechanik ist von ihrer Entstehungsgeschichte her als eine experimentell getriebene Theorie anzusehen, d.h. das zunächst Experimente durchgeführt wurden, dessen Ergebnisse nicht im Einklang mit dem damaligen Verständnis der theoretischen Beschreibung standen. Da viele der Aussagen dieser Experimente der Erfahrung und Intuition widersprachen, dauerte es mehrere Jahrzehnte bis eine angemessene theoretische und mathematische Beschreibung gefunden wurde.

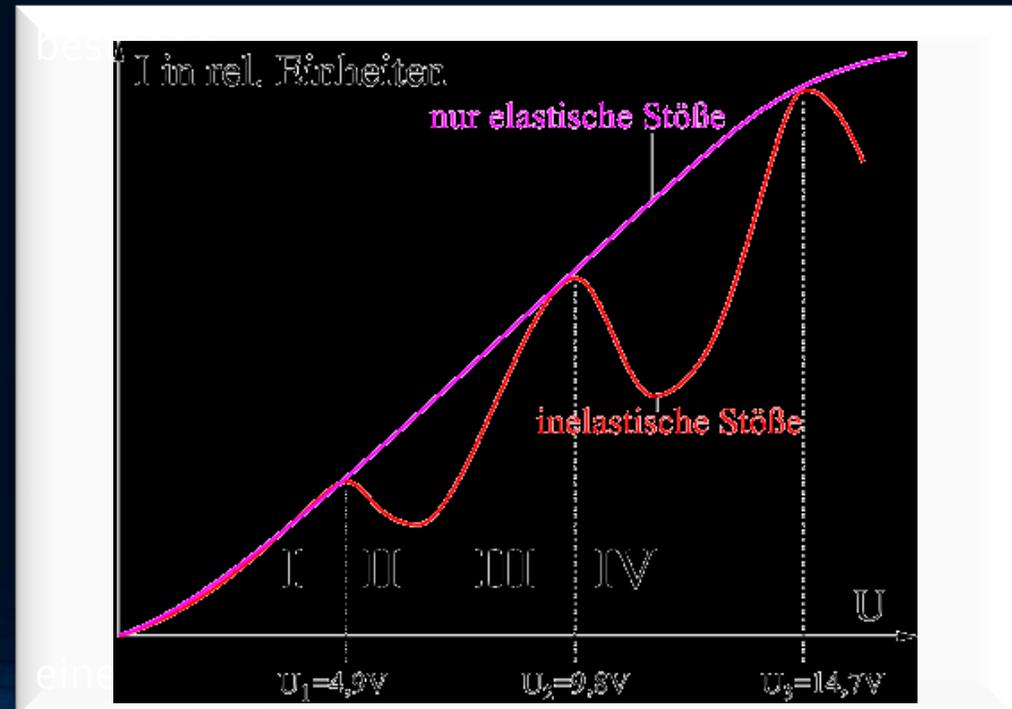
Einige wichtige Experimente im Bereich der Quantenmechanik:

- Photoeffekt
- Doppelspalt-Experiment
- Frank-Herz-Versuch
- Compton Effekt
- Stern-Gerlach-Experiment
- Experimente zum Tunneleffekt
- Experimente zum Einstein-Podolsky-Rosen-Paradoxon

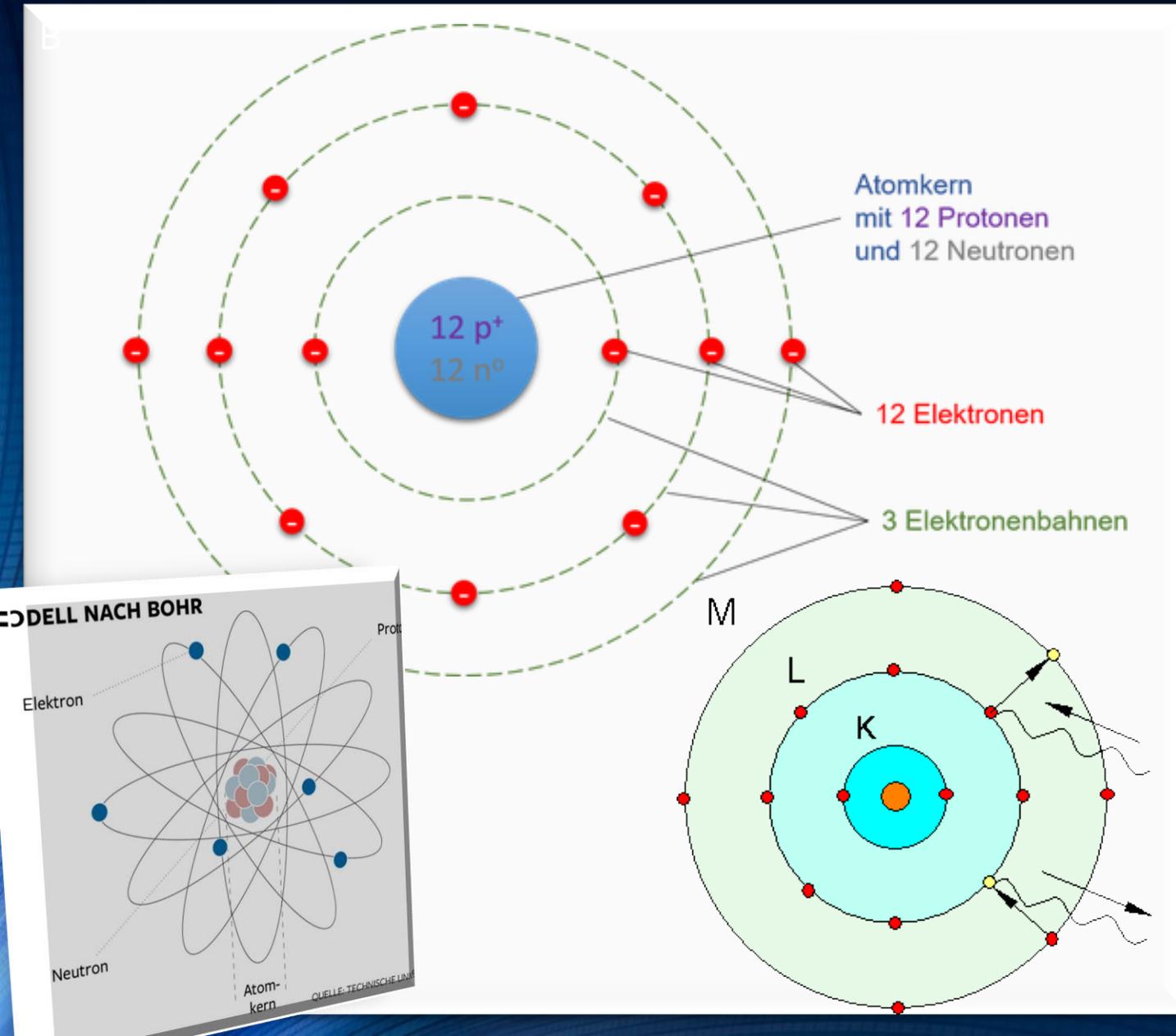
Franck-Hertz-Versuch – Aufbau



- Glaskolben mit Quecksilberdampf, Glühkathode, Gitter mit Beschleunigungsspannung und Anode mit Gegenspannung
- Beschleunigung der Elektronen zum Gitter und Stöße mit den Quecksilberatomen
- Messung der Restenergie der Elektronen über die Gegenspannung an der Anode

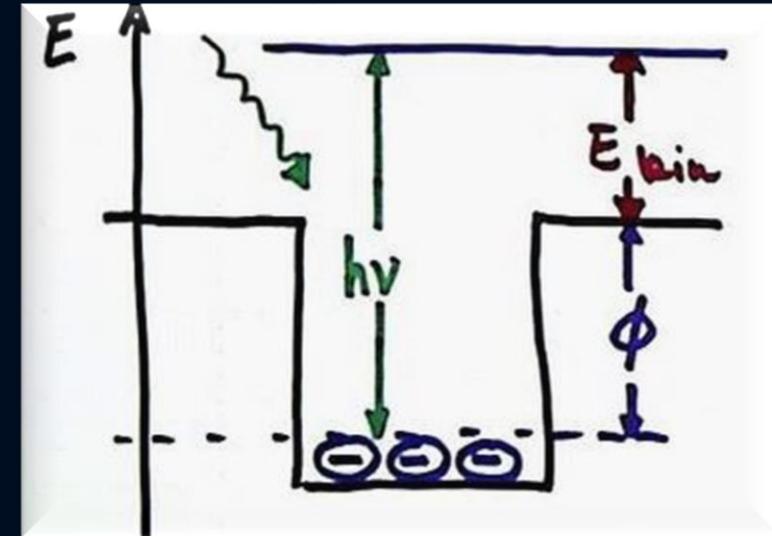
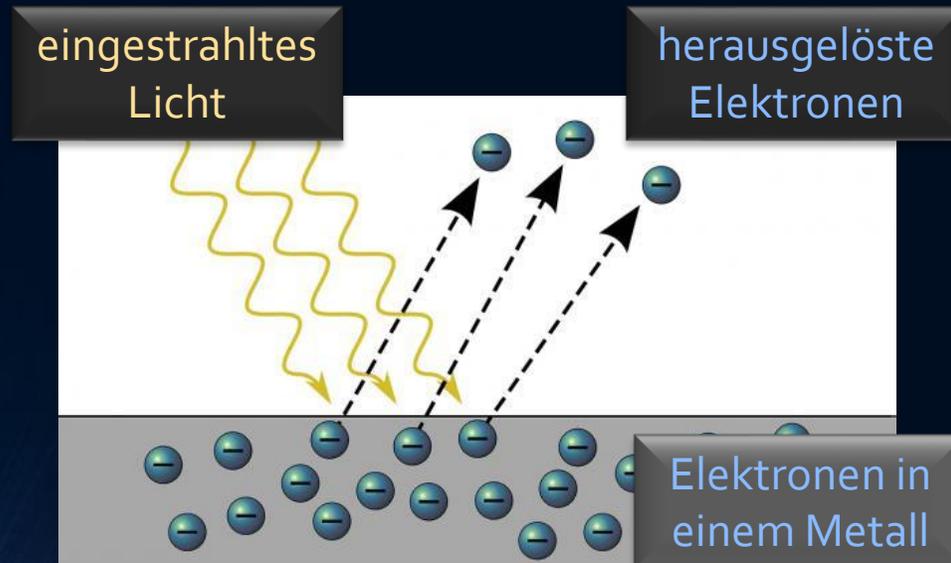


Franck-Hertz-Versuch – Interpretation



- Quantenmechanische Annahme:
 - Elektronen des Atoms haben diskrete Energiezustände
 - Klassischer elastischer Stoß mit dem Atom bei zu geringer Energie der Elektronen
 - Anregung von Elektronen in niedrigen Energieniveaus in höhere Zustände bei genügend Energie \Rightarrow Übertragung von quantisierten Energiemengen bei inelastischem Stoß
 - Angeregtes Elektron fällt durch Energieabgabe in Form von Photonen in den Ursprungszustand zurück
 - Niedrigstes anregbares Energieniveau von Quecksilber bei 4,9 eV

Der photoelektrische Effekt



Experimentelle Befunde:

Es existiert eine Grenzfrequenz unterhalb derer keine Elektronen emittiert werden, unabhängig von der Intensität des Lichts

Die kinetische Energie der herausgelösten Elektronen ist proportional zur Frequenz des eingestrahlichten Lichts abzüglich der Grenzfrequenz

Erklärung Einstein:

Licht besteht aus einem Strom von Teilchen, den Photonen

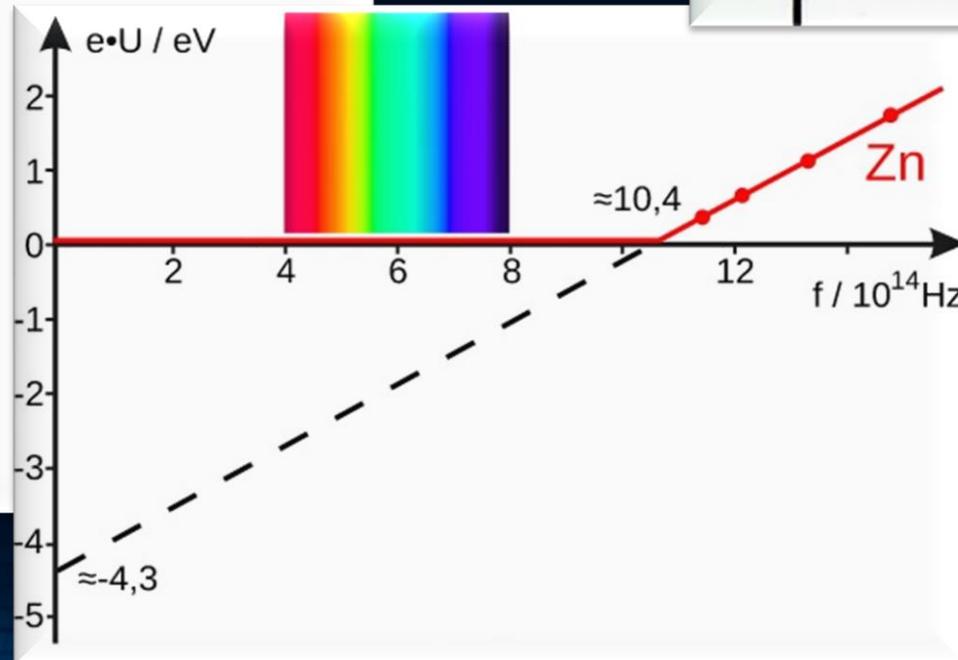
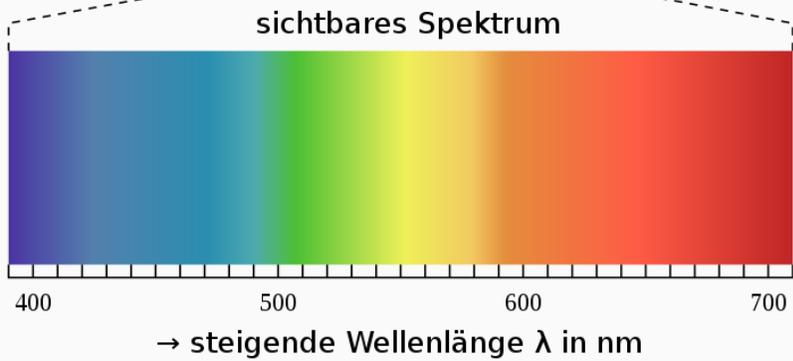
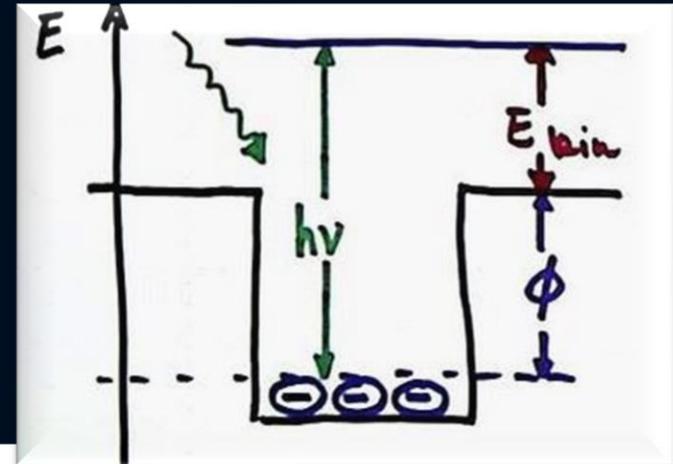
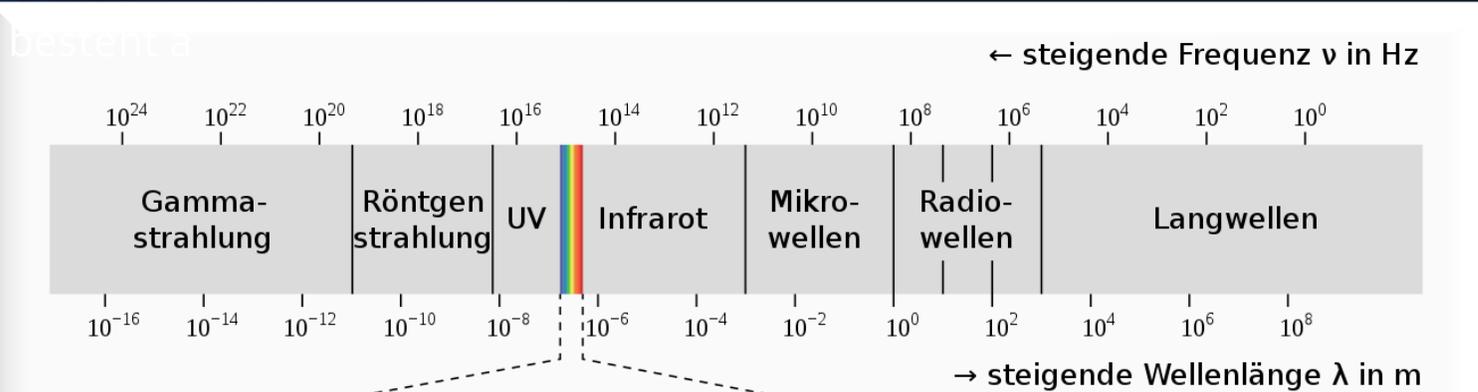
Die Energie eines Photons besteht aus dem Produkt seiner Frequenz mit dem Plankschen Wirkungsquantum:

$$E = h \cdot f$$

Der photoelektrische Effekt



Elektromagnetische Strahlung (Licht, Photonen)

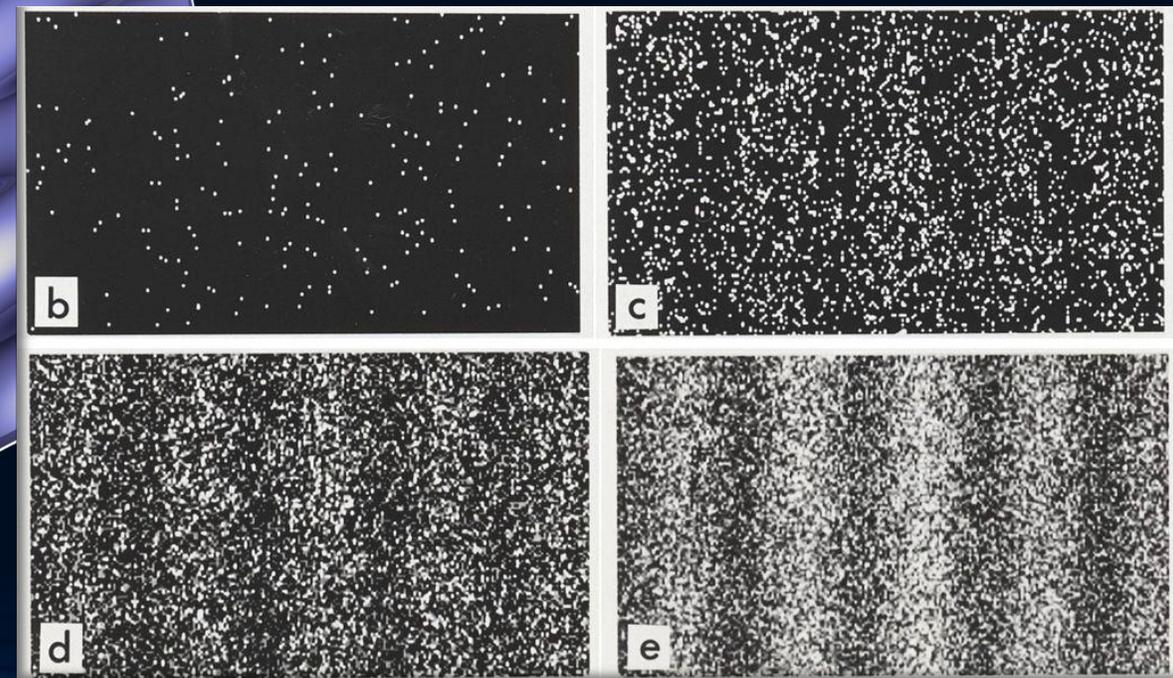
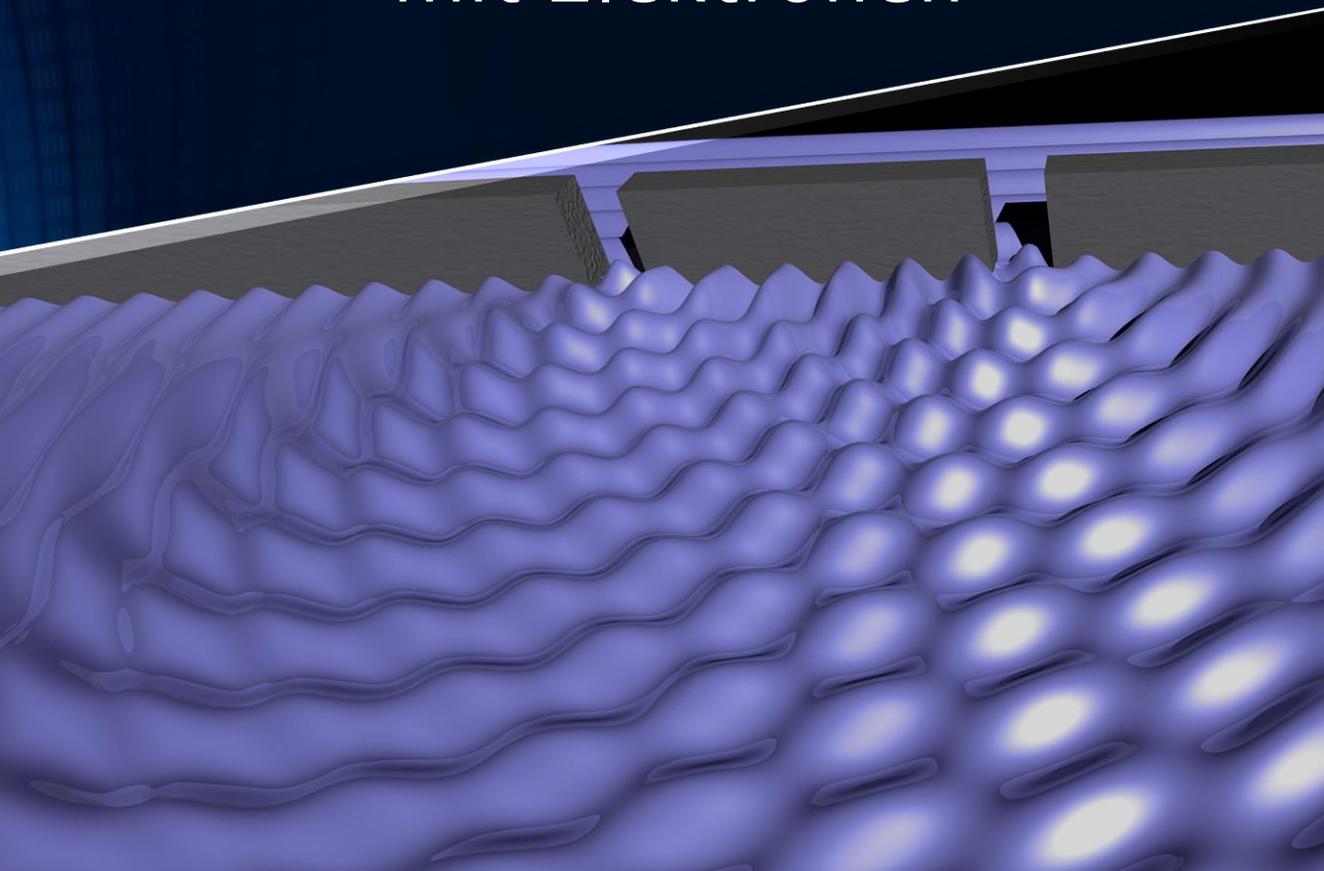
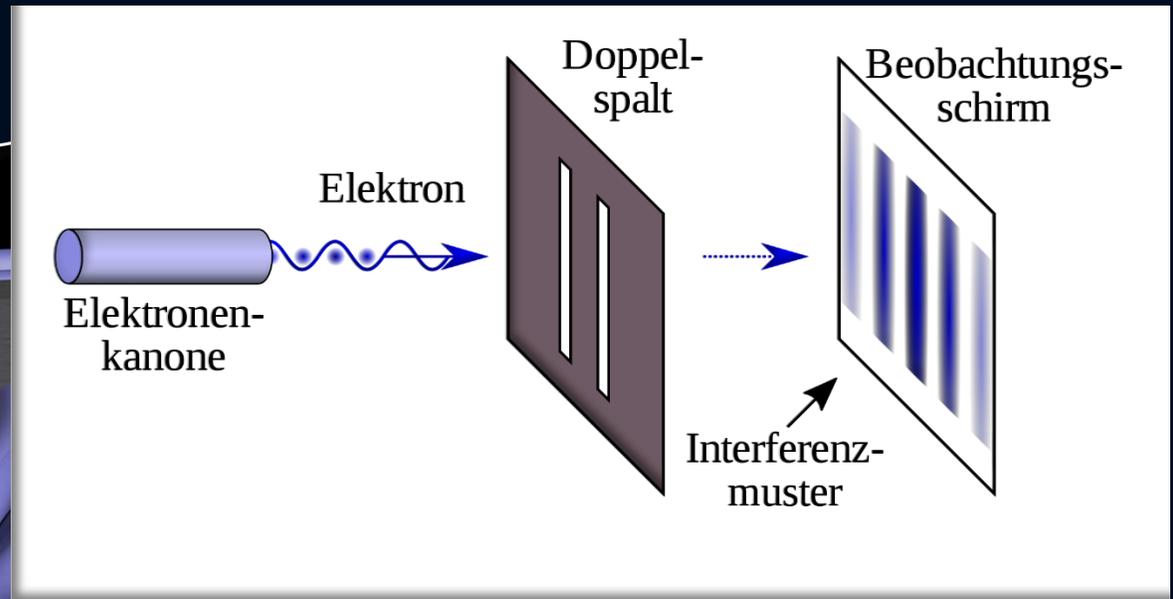


Strahlung (Licht)

Welle-Teilchen Dualismus

us einem

Das Doppelspalt-Experiment mit Elektronen



Interferenzmuster eines Doppelspaltexperiments mit verschiedener Anzahl Elektronen (b: 200, c: 6000, d: 40000, e: 140000).

Das Doppelspaltexperiment

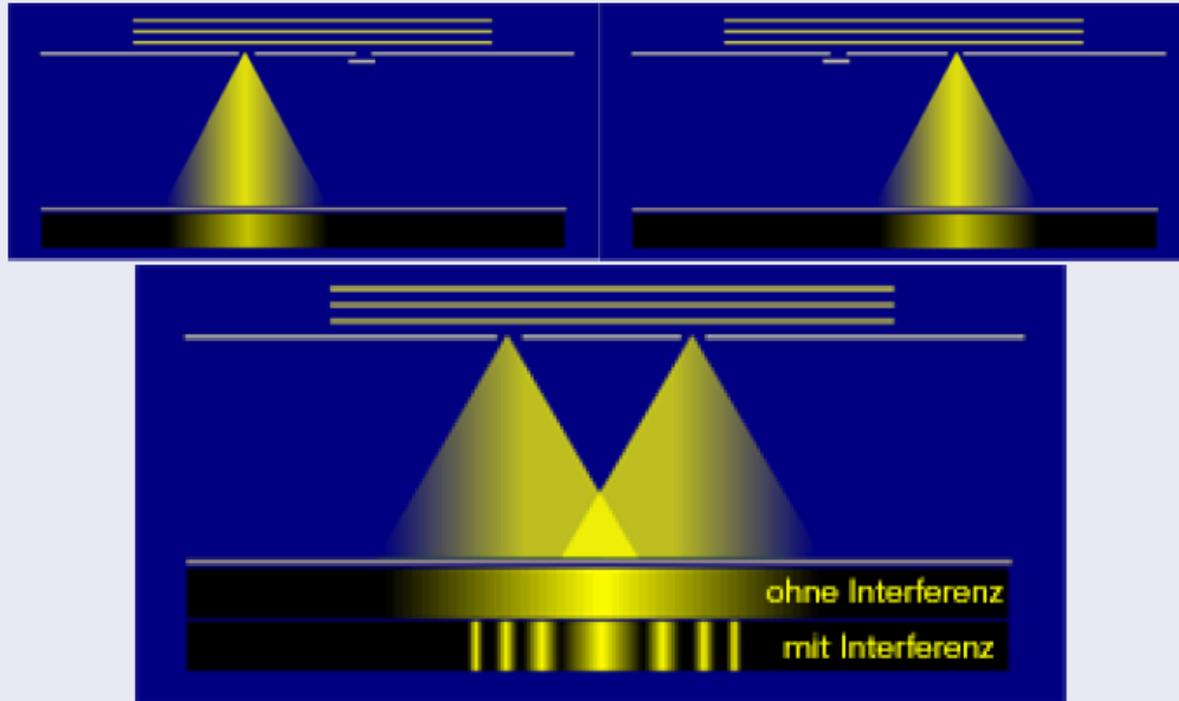


Figure: Beim Doppelspaltexperiment offenbaren Teilchen ihre Welleneigenschaften. Quelle: Michael Craiss

1961 wurde das Doppelspaltexperiment mit Elektronen durch Claus Jönsson durchgeführt und im September 2002 in einer Umfrage der englischen physikalischen Gesellschaft in der Zeitschrift 'Physics World' zum schönsten physikalischen Experiment aller Zeiten gewählt.

Welle-Teilchen

Das Doppelspalt

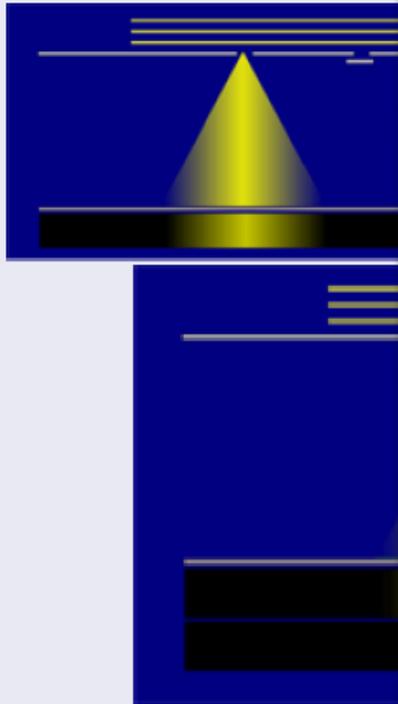
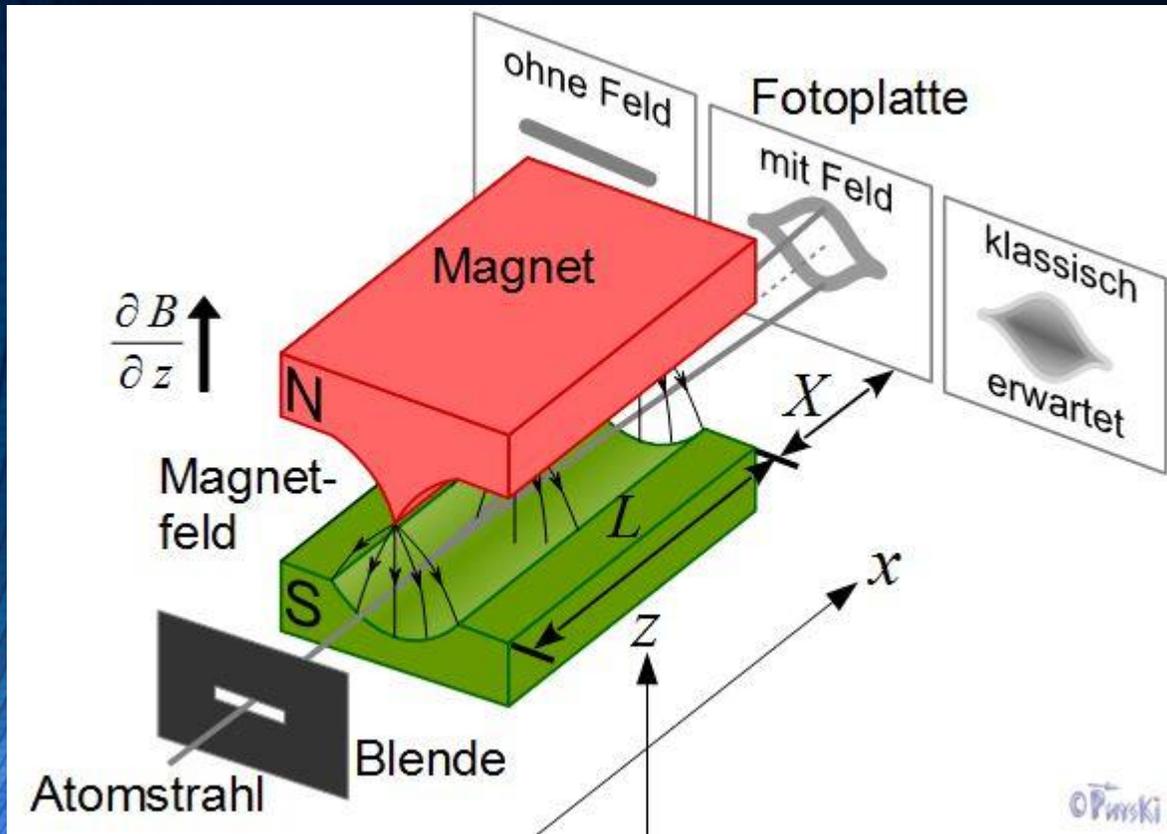


Figure: Beim Doppelspaltexperiment zeigen Teilchen ihre Welleneigenschaften



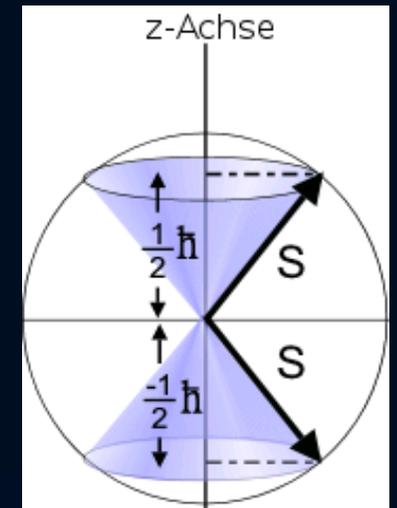
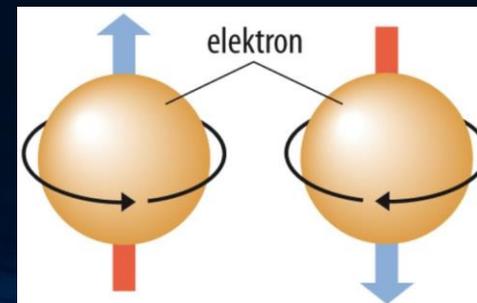
...de das
...altesperiment
...tronen durch
...nsson
...ührt und im
...er 2002 in einer
...der englischen
...schen
...aft in der
...ft 'Physics
...um schönsten
...schen
...ent aller Zeiten

Stern-Gerlach Experiment



- Klassische Annahme:
 - Durch magnetisches Moment der Atome wirkt eine Kraft: $\vec{F} = \vec{\nabla}(\vec{\mu} \times \vec{B})$
 - Zufällige Ausrichtung der Silberatome des Atomofens → Breite Verteilung erwartet
 - Aber: Quantisierte Ergebnisse

→ Elektronen besitzen einen Spin



Das Einstein-Podolsky-Rosen Paradoxon

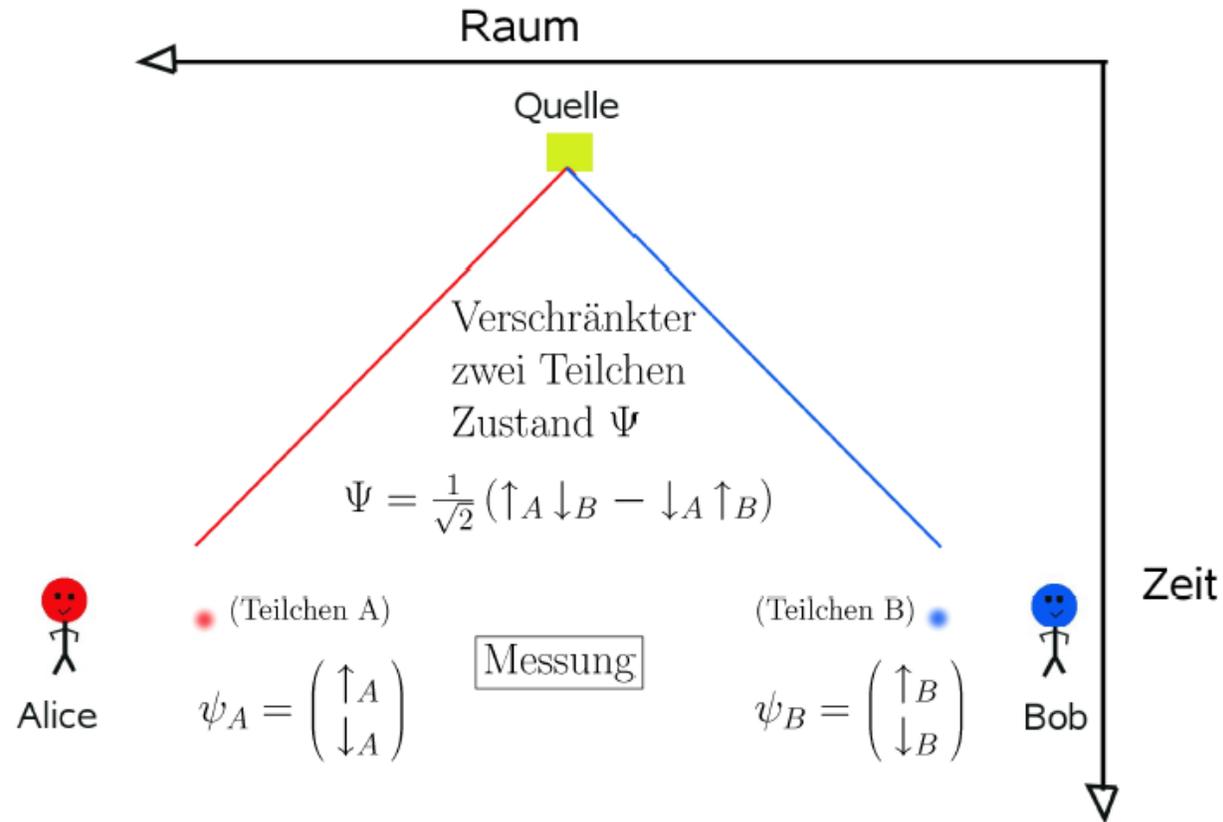


Figure: EPR Gedankenexperiment: Obwohl es keine messbare Wechselwirkung zwischen den Teilchen A und B gibt, sind diese dennoch mittel einer Quantenverschränkung verbunden.

EPR-Experimente zum Nachweis der Verschränkung

RESEARCH ARTICLES | PHYSICS

Satellite-based entanglement distribution over 1200 kilometers

Juan Yin^{1,2}, Yuan Cao^{1,2}, Yu-Huai Li^{1,2}, Sheng-Kai Liao^{1,2}, Liang Zhang^{2,3}, Ji-Gang Ren^{1,2}, Wen-Qi Cai^{1,2}, Wei-Yue Liu¹ ...

See all authors and affiliations

Science 16 Jun 2017:
Vol. 356, Issue 6343, pp. 1140-1144
DOI: 10.1126/science.aan3211



Science

Vol 356, Issue 6343
16 June 2017

Table of Contents
Print Table of Contents
Advertising (PDF)
Classified (PDF)

Teleportation of entanglement over 143 km

Thomas Herbst, Thomas Scheidl, Matthias Fink, Johannes Handsteiner, Bernhard Wittmann, Rupert Ursin, and Anton Zeilinger

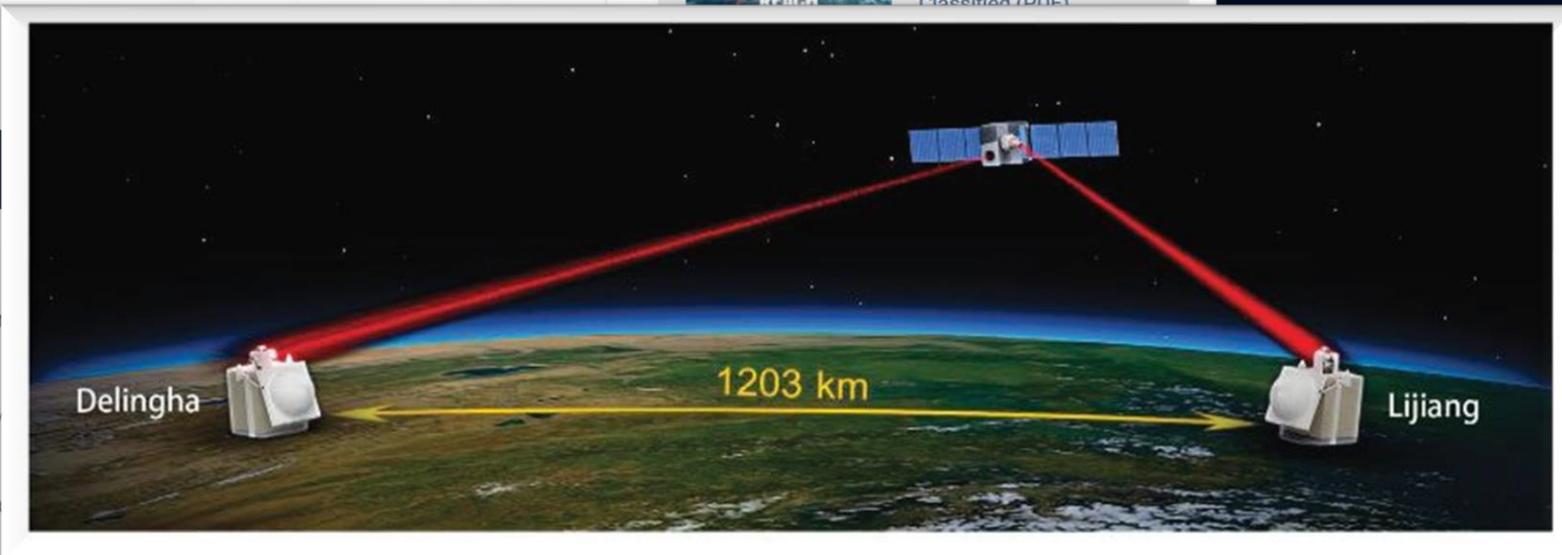
^aVienna Center for Quantum Science and Technology, Faculty of Physics, University of Vienna, A-1090 Vienna, Austria;

^bInstitute for Quantum Optics and Quantum Information, Austrian Academy of Sciences, A-1090 Vienna, Austria

Hide authors and affiliations

Physicists prove Einstein's 'spooky' quantum entanglement

Multiple research teams claim to have conclusively demonstrated quantum entanglement, which had been disdainfully dubbed "spooky action at a distance" by Albert Einstein.



Published: 21 October 2015

Loophole-free Bell inequality violation using electron spins separated by 1.3 kilometres

B. Hensen, H. Bernien, A. E. Dréau, A. Reiserer, N. Kalb, M. S. Blok, J. Ruitenber, R. F. L. Vermeulen, R. N. Schouten, C. Abellán, W. Amaya, V. Pruneri, M. W. Mitchell, M. Markham, D. J. Twitchen, D. Elkouss, S. Wehner, T. H. Taminiau & R. Hanson

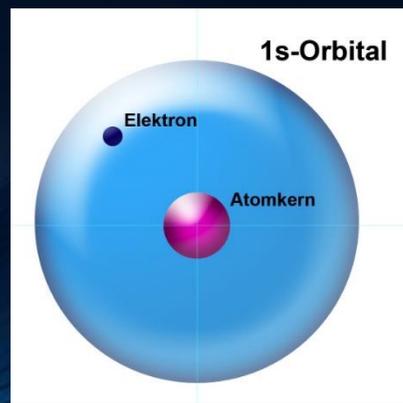
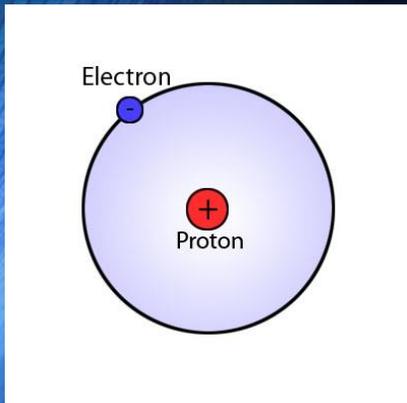
Nature 526, 682–686(2015) | Cite this article

16k Accesses | 996 Citations | 1340 Altmetric | Metrics

Von der klassischen Physik zur Quantentheorie

Um die, in den zuvor beschriebenen Experimenten gewonnenen Resultate theoretisch beschreiben zu können, musste eine gänzlich neue Formulierung der Physik entstehen. Bei der mathematischen Konstruktion dieser neuen Theorie stand man vor dem Dilemma, dass man einerseits daran gebunden ist, jedes physikalische Experiment in den Begriffen der klassischen Physik zu beschreiben, andererseits benötigte man neue, nicht klassische Elemente innerhalb der Theorie, um z.B. den Welle-Teilchen-Dualismus oder nichtlokale Eigenschaften von Teilchen adäquat zu beschreiben. Am Ende dieser Entwicklung stand ein vollkommen neues Gerüst einer mathematischen Beschreibung, welches z.B. mittels der "Kopenhagener Deutung der Quantentheorie" interpretiert und verstanden wurde.

Würde das Elektron im Wasserstoffatom ständig das Proton auf einer Bahn umkreisen, würde es elektromagnetische Strahlung abgeben, Energie verlieren und schließlich auf das Proton fallen.



Zustand eines Quantenobjektes

Richard Feynman: "I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics."



Wie kann man die Quantentheorie mathematisch beschreiben?

Komplexe Zahlen

G.W. Leibniz (1702)

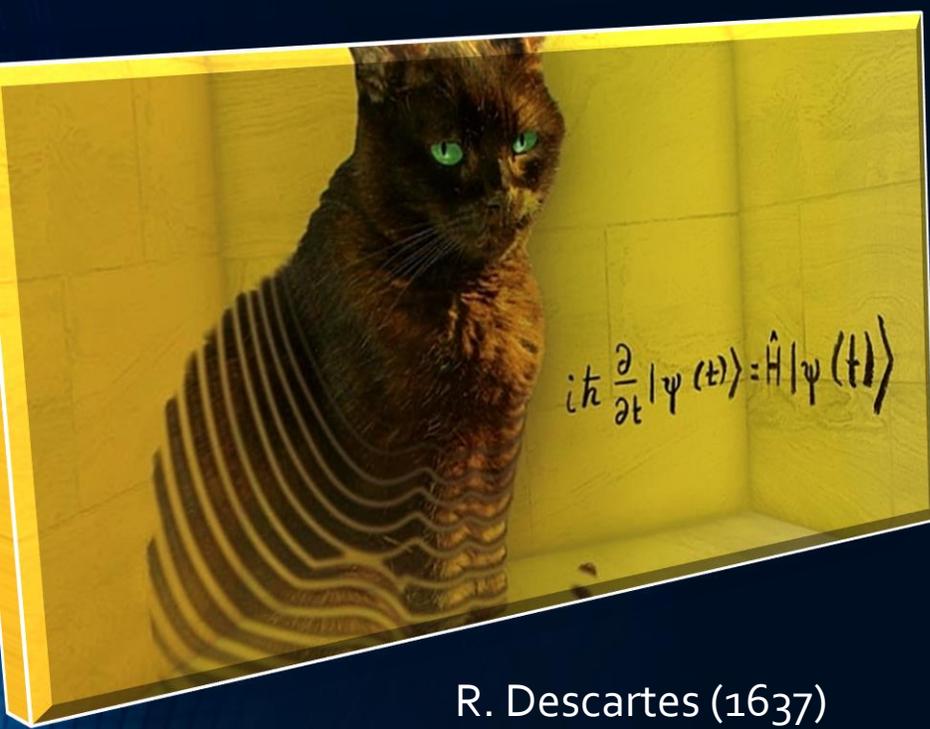
“...sind eine feine und wunderbare
Zuflucht des menschlichen
Geistes, beinahe ein Zwitterwesen
zwischen Sein und Nichtsein”

$$i\hbar \frac{\partial}{\partial t} |\psi(t)\rangle = \hat{H} |\psi(t)\rangle$$



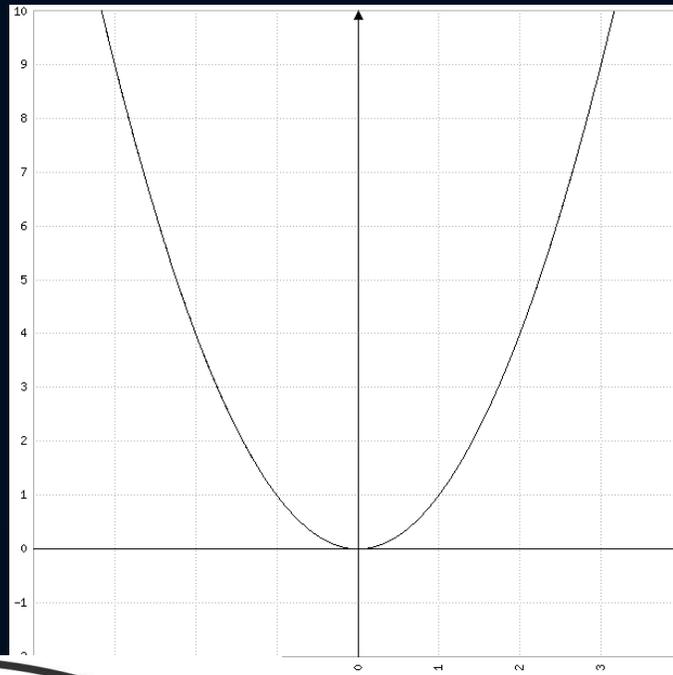
Komplexe Zahlen

Reelle Zahlen und Imaginäre Zahlen



Welche Lösungen hat die Gleichung

$$x^2 = x \cdot x = -1$$



R. Descartes (1637)

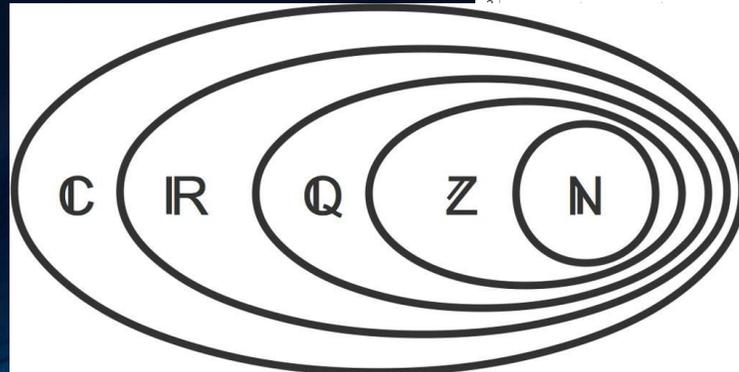
Begriff der imaginären Zahl

$$i^2 = i \cdot i = -1$$

Betrag einer komplexen Zahl

ist Reell $|z| = \sqrt{z \cdot z^*}$

C.F. Gauß (1831)
Definition komplexe
Zahlenmenge

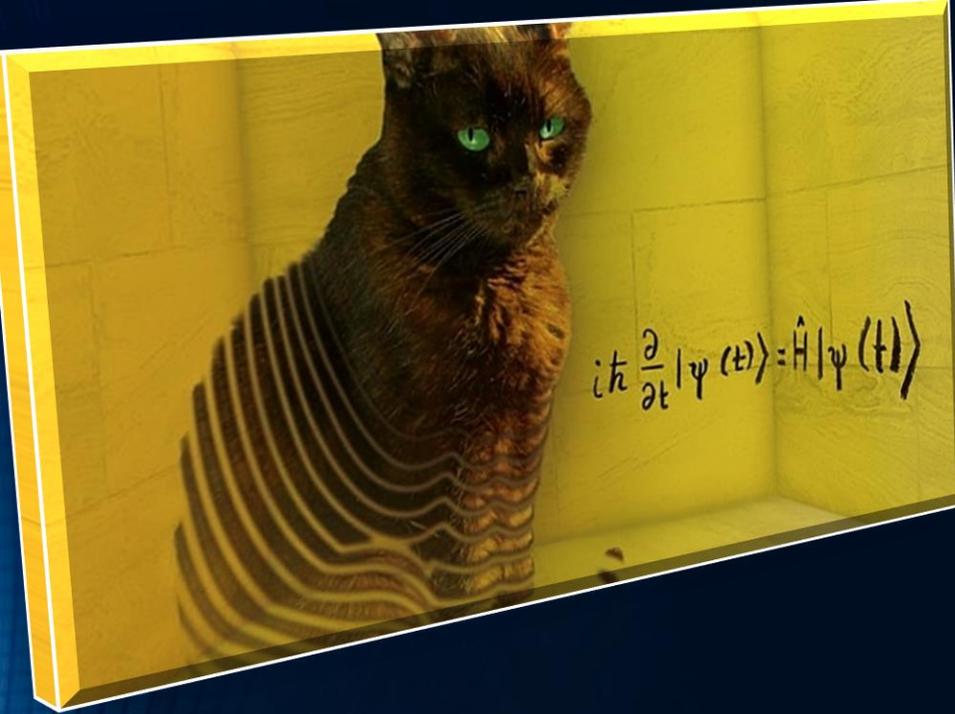


Die Quantentheorie stellt eine gänzlich neue Formulierung der Physik dar. Bei der mathematischen Konstruktion dieser neuen Theorie stand man vor dem Dilemma, dass man einerseits daran gebunden ist, jedes physikalische Experiment in den Begriffen der klassischen Physik zu beschreiben, andererseits benötigte man neue, nicht klassische Elemente innerhalb der Theorie, um z.B. den Welle-Teilchen-Dualismus oder nichtlokale Eigenschaften von Teilchen äquivalent zu beschreiben. Am Ende dieser Entwicklung stand ein vollkommen neues Gerüst einer mathematischen Beschreibung, welches mittels der komplexwertigen Zahlen beschrieben wurde.

Der Quantenzustand und die Schrödingergleichung

Die Zustandsfunktion $\psi(x,t)$ eines Quantenteilchens ist ein Element aus einem ganz speziellen, der klassischen Physik nicht zugänglichem Raum – dem sogenannten Hilbertraum.

Dieser Hilbertraum ist auf dem Konzept der komplexen Zahlen (reelle und imaginäre Zahlen) aufgebaut.



Schrödingergleichung

(1926)

$$i\hbar \frac{\partial \psi(x, t)}{\partial t} = \hat{H} \psi(x, t)$$

Imaginäre Zahl

Plancksches Wirkungsquantum $\hbar \equiv \frac{h}{2\pi}$

Hamiltonoperator (Energieoperator)

Der quantenmechanische Messprozess

Um die Vorhersagen der Quantentheorie experimentell überprüfen zu können, musste man ein weiteres Konzept innerhalb der Theorie implementieren - den sogenannten quantenmechanischen Messprozess. Möchte man durch ein Experiment eine gewisse Eigenschaft des Quantenzustandes messen (z.B. den Ort oder den Impuls des Quantenobjektes), so zwingt der Experimentator mittels des Messprozesses den Zustand in den reellen Raum der Messgrößen überzugehen. Mathematisch wird die Vorgehensweise des Experimentators durch die Anwendung eines Operators auf den Zustand $\psi(x,t)$ formuliert.

Der Erwartungswert der Messgröße M bestimmt sich mittels der folgenden Gleichung:

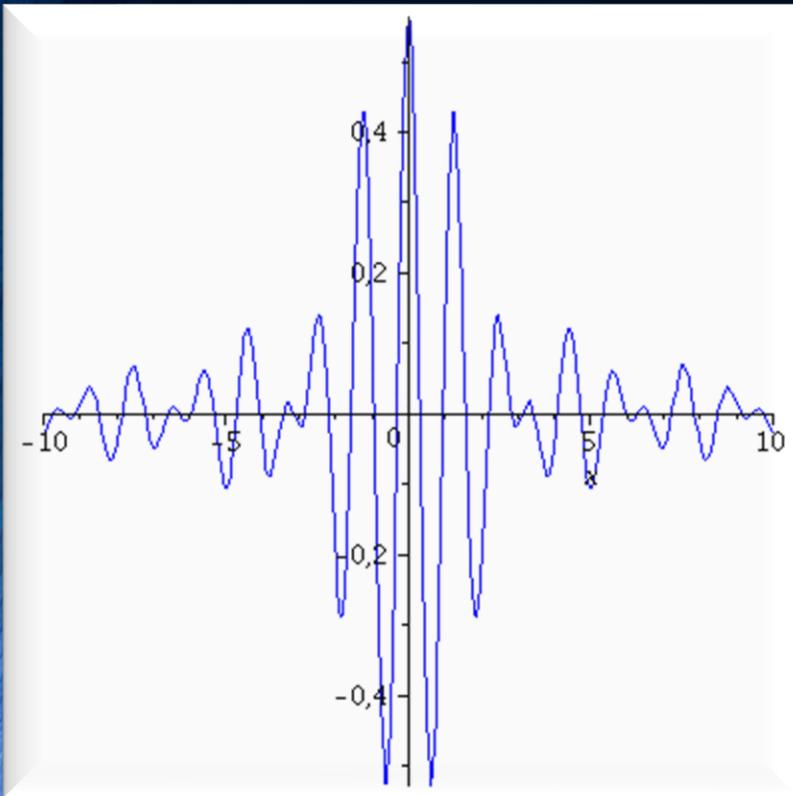
$$\langle \hat{M} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, t) \hat{M} \psi^*(x, t) dx$$

Im Moment der Messung kollabiert der komplexwertige Zustand des Quantenobjektes zu einer beobachtbaren Eigenschaft des Teilchens und diese observable Größe des Objektes wird real.

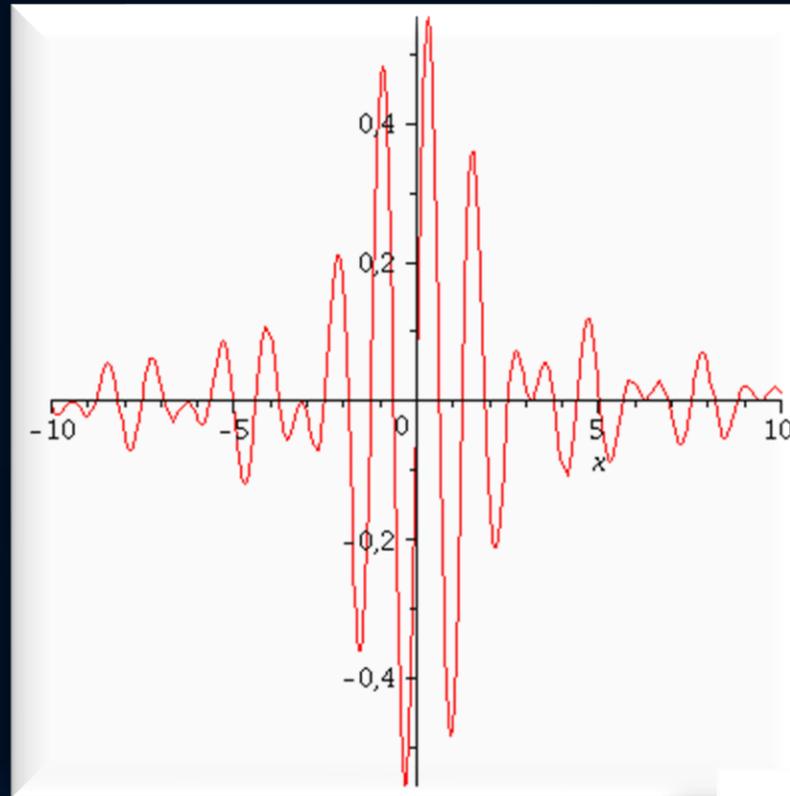
Die "de Broglieschen Materiewelle"

Die einfachste Lösung der Schrödinger-Gleichung ist die eines freien, ungebundenen Quantenteilchens; man bezeichnet sie als die sog. "de Broglieschen Materiewellen". Um die Beschreibung dieser Materiewellen auf räumlich begrenzte Teilchen anwenden zu können, muss man zu endlichen Wellenpaketen übergehen.

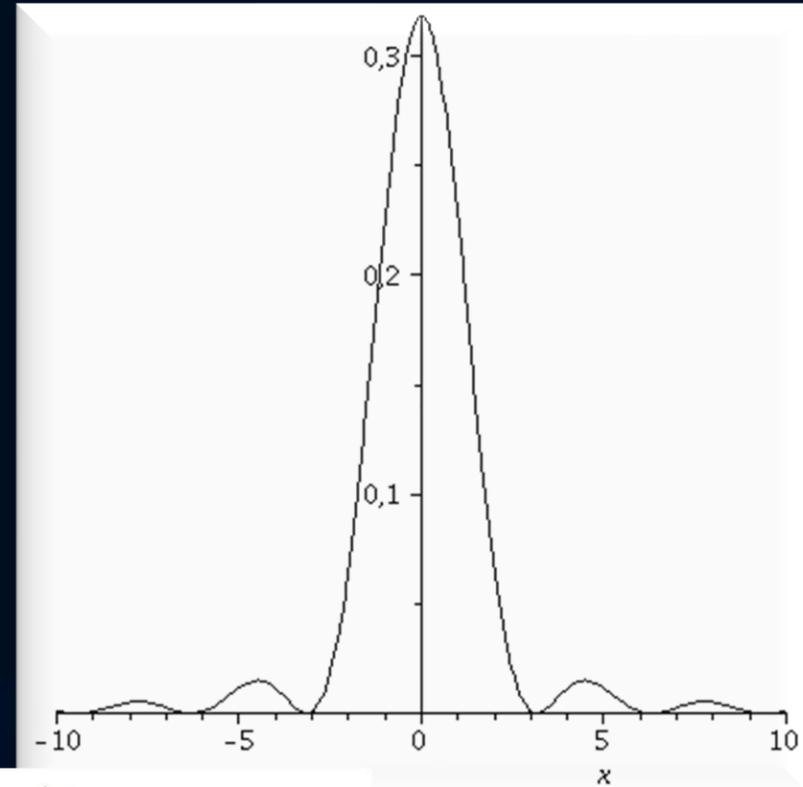
Reeller Wert von $\psi(x)$



Imaginärer Wert von $\psi(x)$



Aufenthalts-Wahrscheinlichkeit
des Quantenteilchens: $\psi(x) \psi^*(x)$



$$\langle \hat{x} \rangle = \int_{-\infty}^{+\infty} \psi^*(x) \hat{x} \psi(x) dx$$

Messung des Ortes

Die Heisenbergsche Unschärferelation

$$h = 6.626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Fundamentale Grenze der Messbarkeit (Grenze des Determinismus)

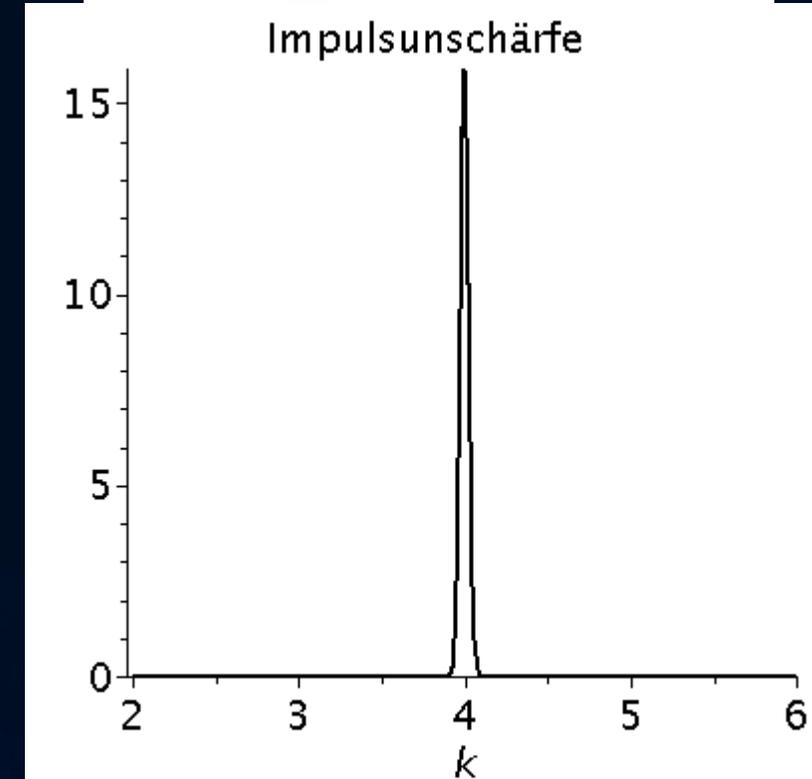
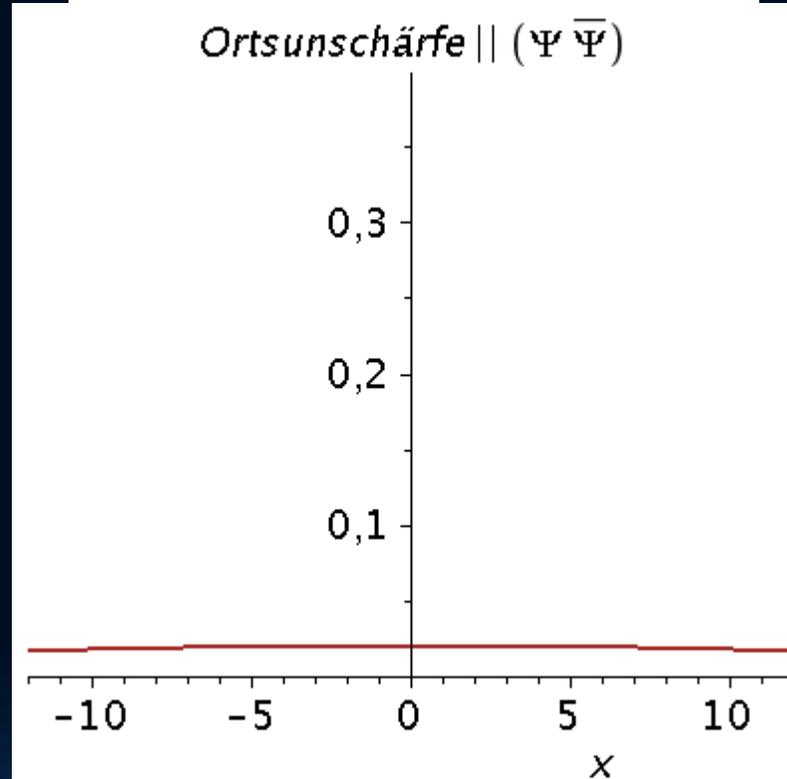
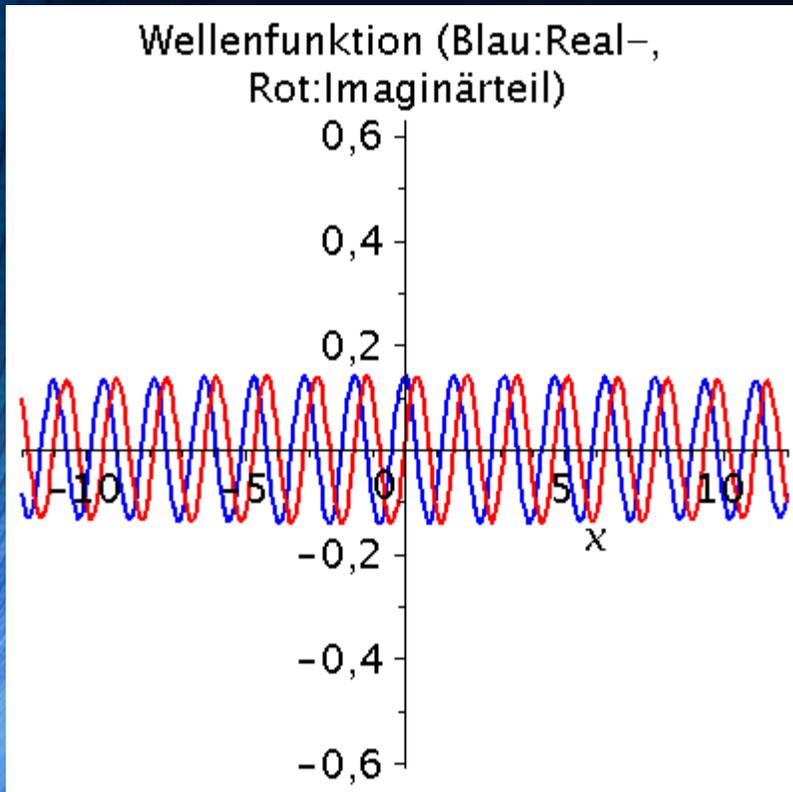
Zwei zueinander komplementäre Eigenschaften eines Quantenteilchens können nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmbar sein.

Das bekannteste Beispiel ist das Ort-Impuls Unschärfeprinzip

$$\Delta x \Delta p \geq \hbar / 2$$

$$\langle \hat{x} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, t) \hat{x} \psi^*(x, t) dx$$

$$\langle \hat{p} \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} \psi(x, t) \hat{p} \psi^*(x, t) dx$$



Superpositionen von Eigenzuständen

Schrödingers Katze



Figure: Theoretische Versuchsanordnung des Gedankenexperiments.

In einem geschlossenen Kiste befindet sich ein instabiler Atomkern, der innerhalb einer bestimmten Zeitspanne mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit zerfällt. Im Falle eines Zerfalls werde Giftgas freigesetzt, was eine im Raum befindliche Katze tötet. Bevor ein Beobachter die Kiste öffnet, schwebt der Zustand ψ der Katze zwischen den Eigenzuständen ' $\psi_1 := \text{Lebend}$ ' und ' $\psi_2 := \text{Tot}$ '.

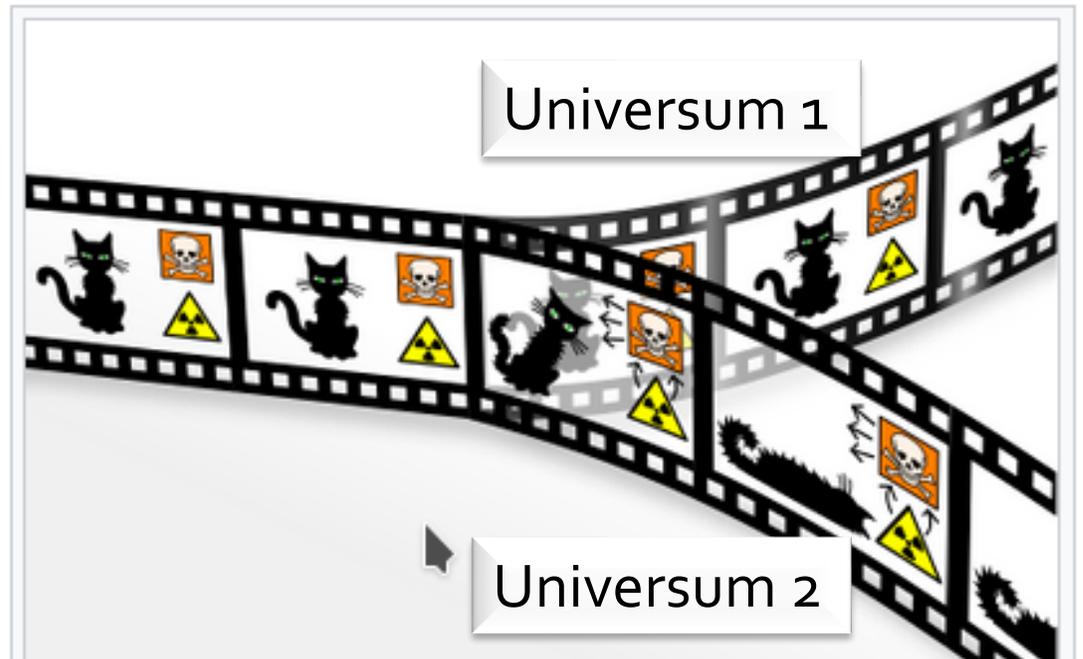
$$\psi = \frac{1}{\sqrt{2}} (\psi_1 + \psi_2)$$

Superpositionen von Eigenzuständen

Schrödingers Katze



Figure: Theoretische Versuchsanordnung des Gedankenexperiments.



Die „Viele-Welten“- Interpretation der Quantentheorie von Hugh Everett ist von der gewöhnlich benutzten „Kopenhagener Deutung“ insofern unterschiedlich, als das sie die Messung des Quantenzustandes nicht als Aufenthaltswahrscheinlichkeit und Kollaps der Zustandes auffasst, sondern bei jeder Messung teilt sich das Universum und jeder der Eigenzustände existiert getrennt voneinander weiter.

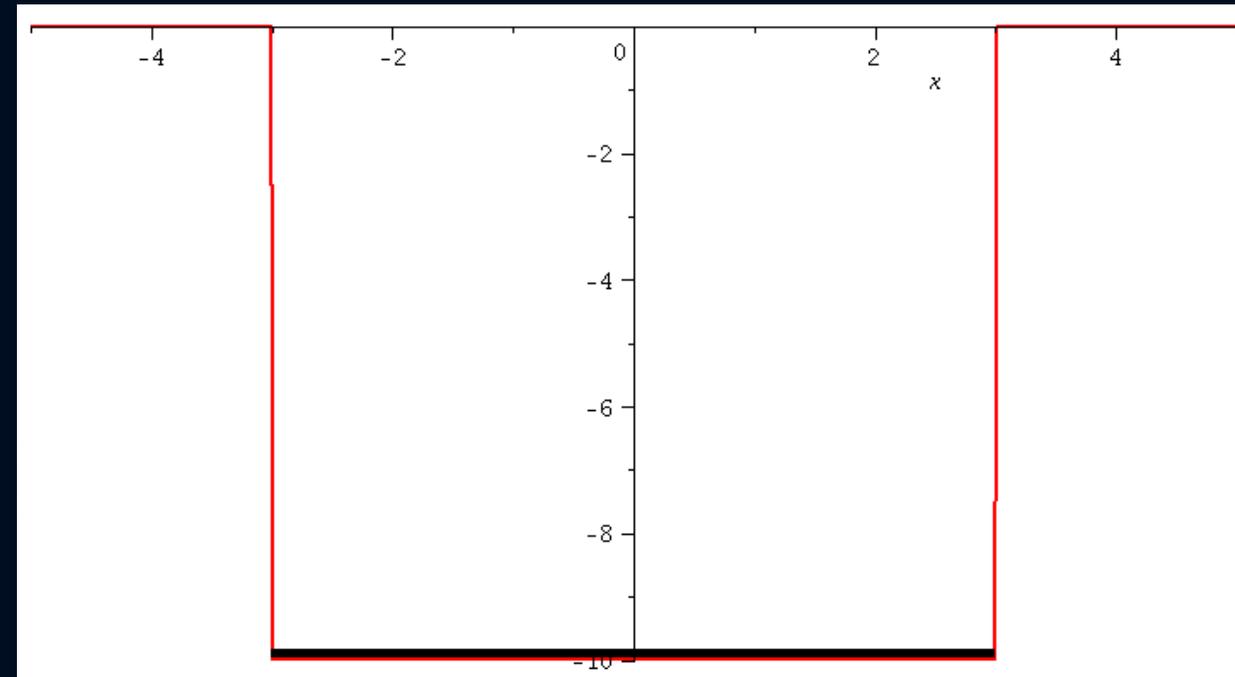
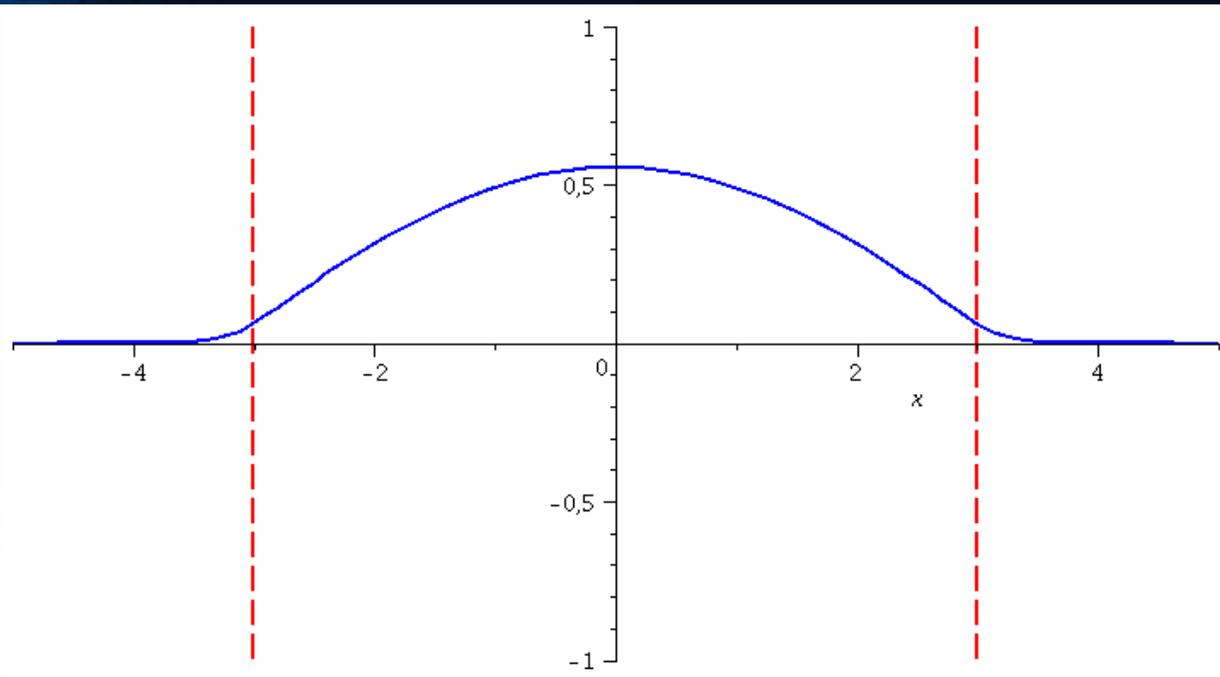
Wie entsteht die Quantelung der Energie

Quantenteilchen in einem Potentialtopf endlicher Tiefe

Betrachtet man sich die Lösungen der stationären Schrödingergleichung eines Quantenteilchens (z.B. Elektron) in einem Potentialtopf endlicher Tiefe, so entsteht ein diskretes Energie Spektrum. Nur gewisse diskrete Energie-Eigenwerte sind bei den dazugehörigen Eigenfunktionen möglich (untere Abbildung positive Parität)

Es sind nur ganz spezielle Eigenfunktionen von $\psi(x)$ möglich

Jede Eigenfunktion von $\psi(x)$ hat einen eigenen Energiewert



Blaue Kurve: $\psi(x)$

Rote vertikale Linien: Grenzen des Potentialtopfes

Schwarzer Balken: Energie-Eigenwert des Quantenteilchens

Rote Linien: Form des Potentialtopfes endlicher Tiefe

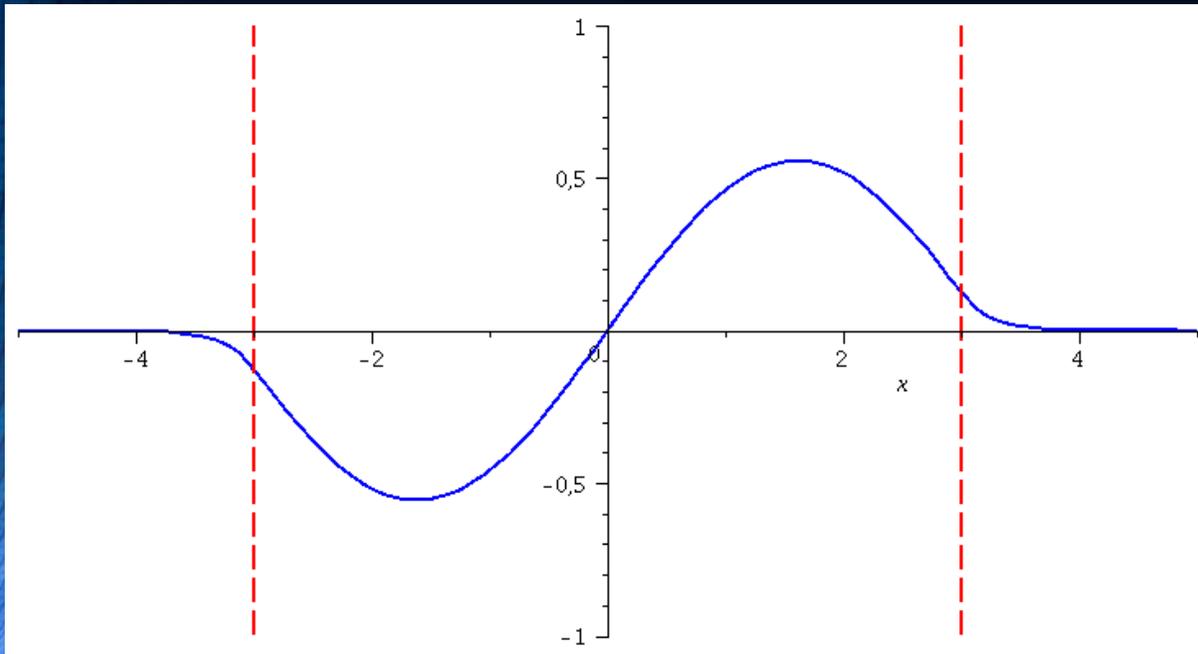
Wie entsteht die Quantelung der Energie

Quantenteilchen in einem Potentialtopf endlicher Tiefe

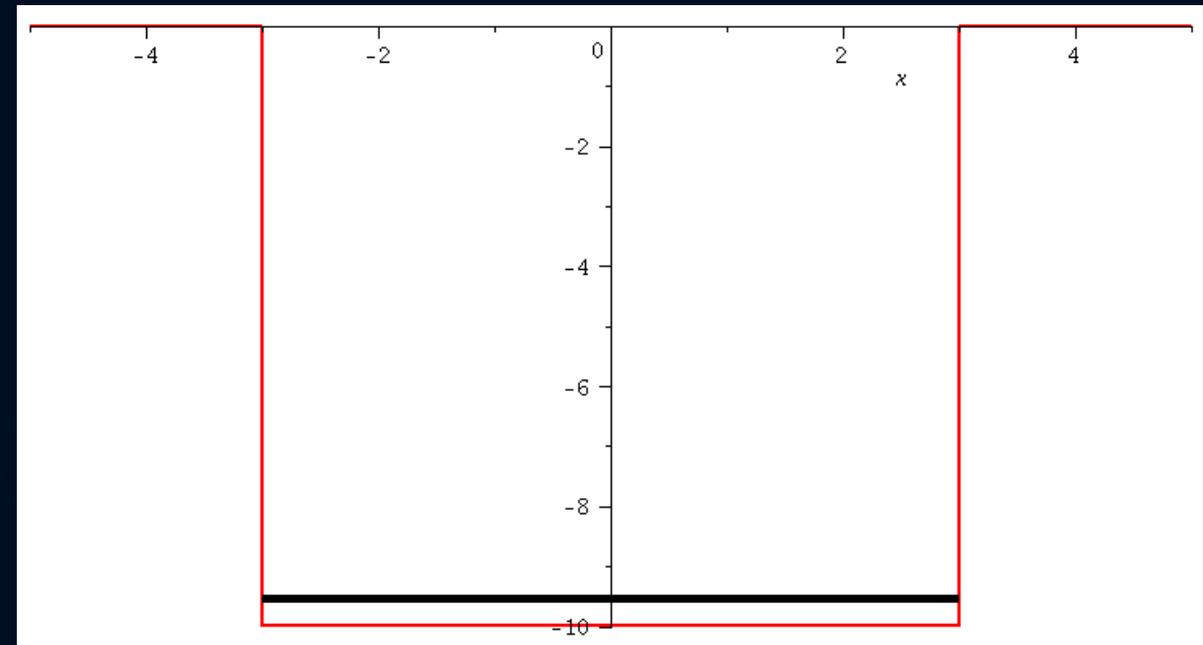
Betrachtet man sich die Lösungen der stationären Schrödingergleichung eines Quantenteilchens (z.B. Elektron) in einem Potentialtopf endlicher Tiefe, so entsteht ein diskretes Energie Spektrum. Nur gewisse diskrete Energie-Eigenwerte sind bei den dazugehörigen Eigenfunktionen möglich (untere Abbildung negative Parität)

Es sind nur ganz spezielle Eigenfunktionen von $\psi(x)$ möglich

Jede Eigenfunktion von $\psi(x)$ hat einen eigenen Energiewert



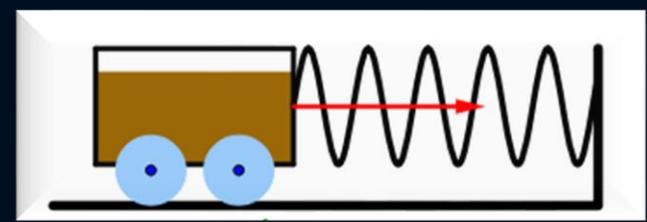
Blaue Kurve: $\psi(x)$
Rote vertikale Linien: Grenzen des Potentialtopfes



Schwarzer Balken: Energie-Eigenwert des Quantenteilchens
Rote Linien: Form des Potentialtopfes endlicher Tiefe

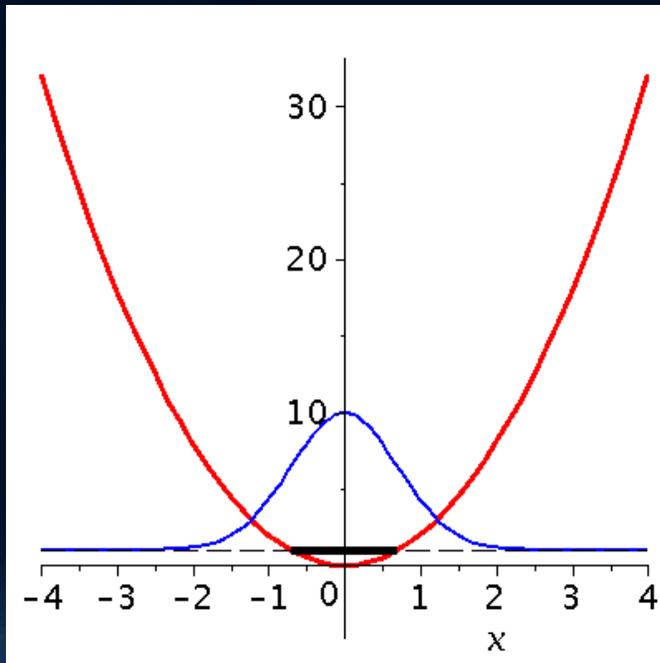
Wie entsteht die Quantelung der Energie

Der harmonische Oszillator in der Quantenmechanik



Wir betrachten im Folgenden den quantenmechanischen Zustand eines Teilchens, welcher in einem Potentialtopf mit parabolischer Gestalt gebunden ist und beschränken uns auf eine räumliche Dimension. Ein Vergleich mit dem klassischen harmonische Oszillator zeigt, dass ein Quantenteilchen sich vollkommen anders verhält. Aufgrund der Eigenschaften der Quantentheorie entsteht wiederum eine Quantisierung der Energie und die möglichen Zustände des Quantenteilchens treten nur in diskrete Eigenzuständen auf.

Es sind nur ganz spezielle Eigenfunktionen von $\psi_n(x)$ möglich



Blaue Kurve: $\psi_n(x)$

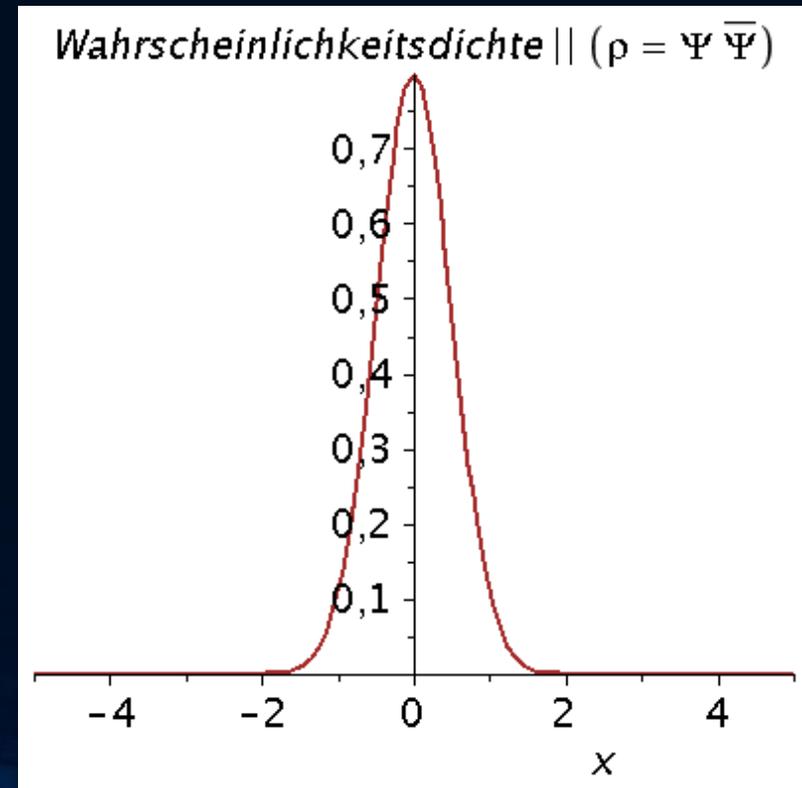
Rote Kurve: Potentialtopf des harmonischen Oszillators

Schwarzer Balken: Energie-Eigenwert des Quantenteilchens

<https://itp.uni-frankfurt.de/~hansauske/VARTC/teilQM.html>

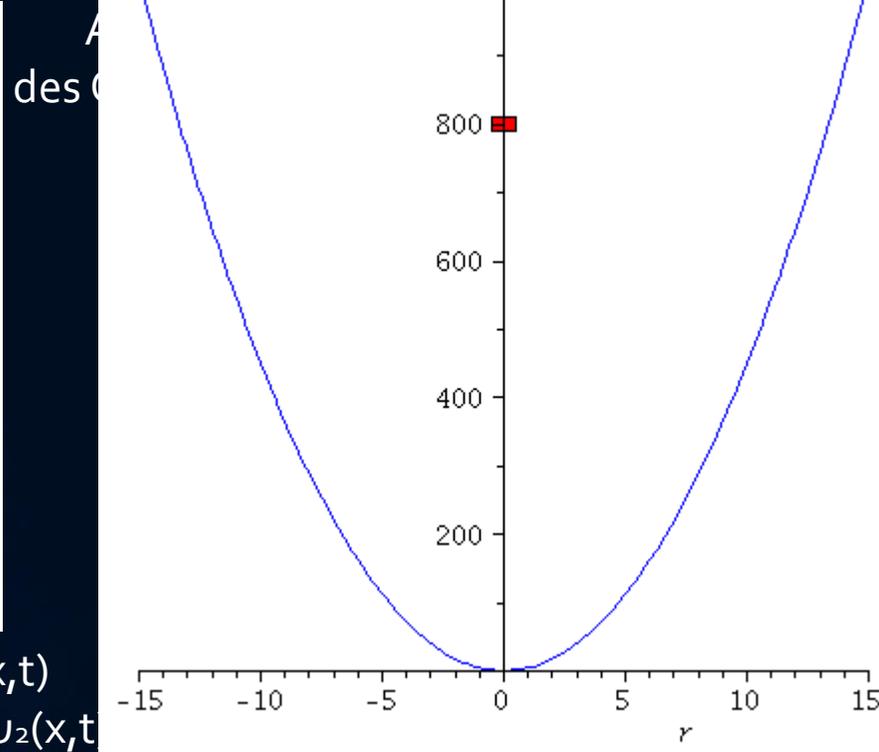
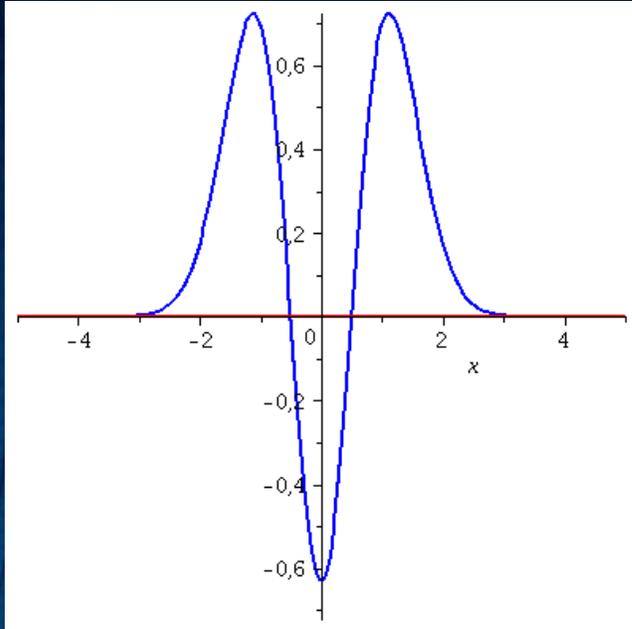
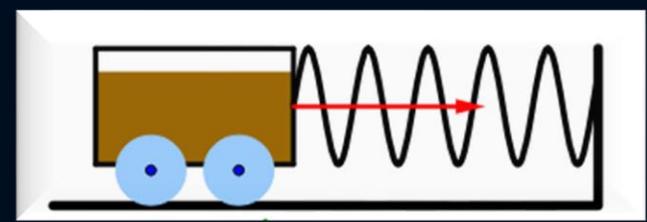
Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Quantenteilchens

$$\psi_n(x) \psi_n^*(x)$$

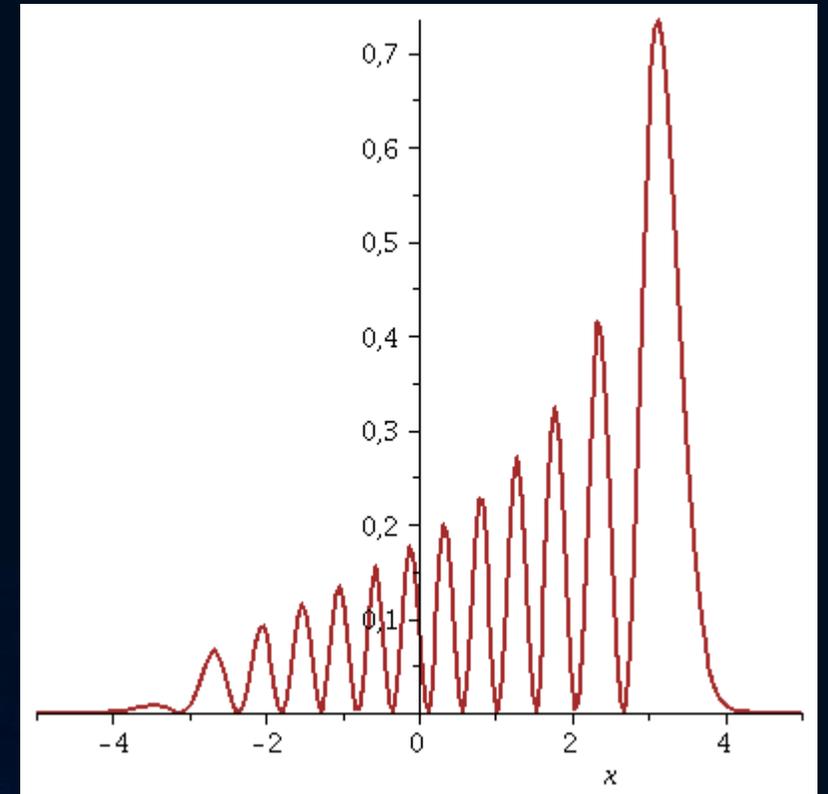


Zeitentwicklung des Zustandes

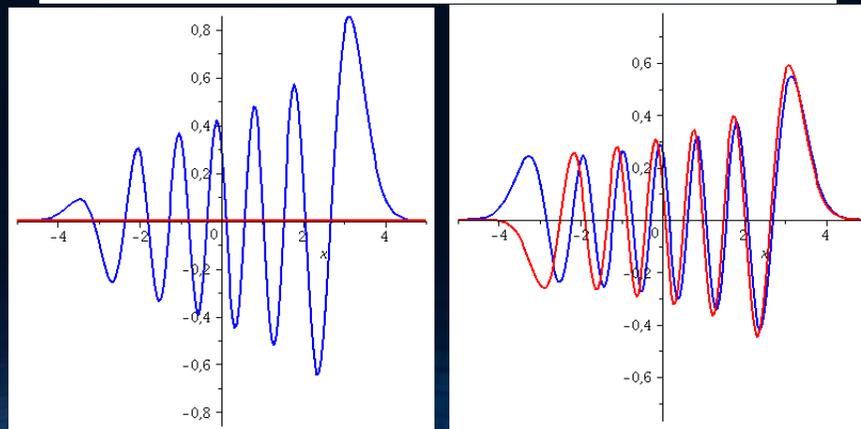
Der harmonische Oszillator in der Quantenmechanik



Zeitliche Entwicklung der Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Quantenteilchens
Linearkombination (Superposition) zweier Eigenzustände (z.B. $n=11$ und $n=12$)

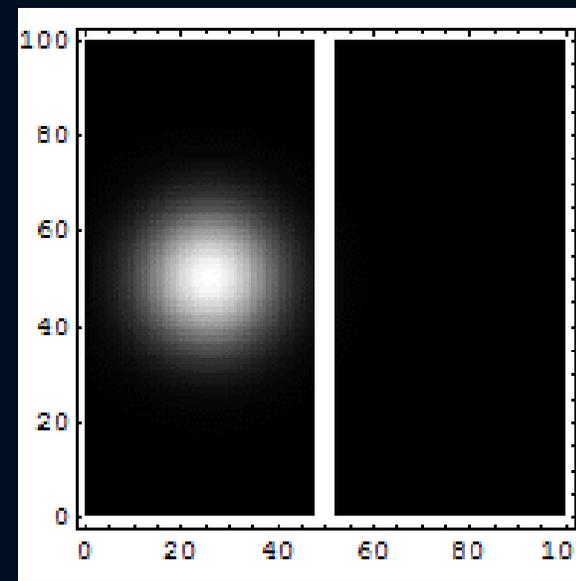


Blaue Kurve: Reeller Wert von $\psi_2(x,t)$
Rote Kurve: Imaginärer Wert von $\psi_2(x,t)$



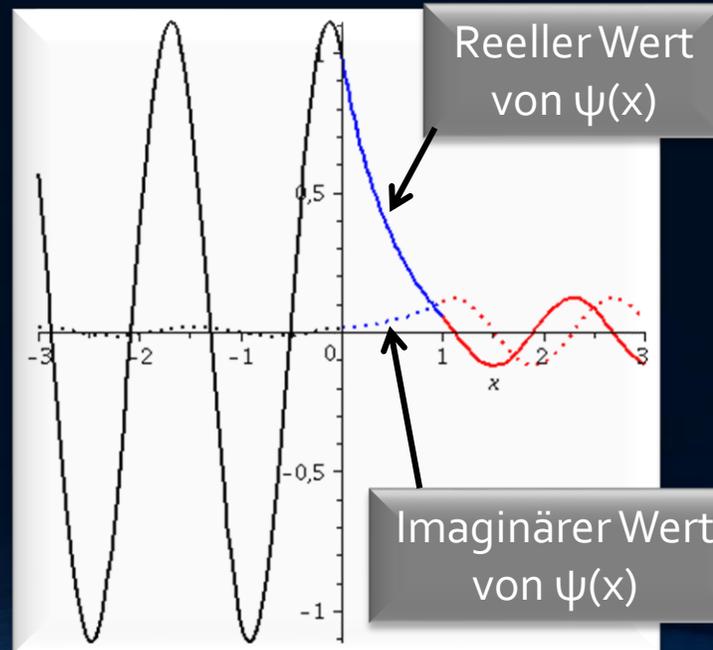
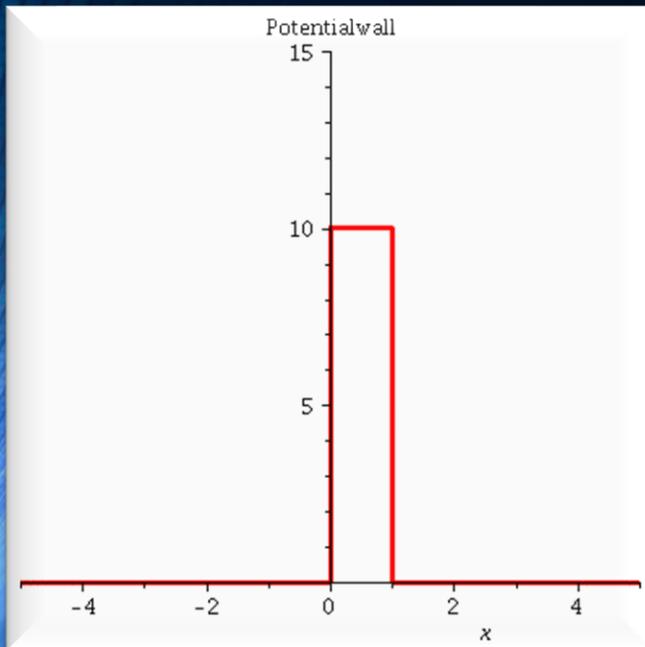
Der Tunneleffekt

Beim quantenmechanischen Tunneleffekt trifft ein Quantenobjekt auf eine Potentialbarriere die es nach klassischer Sichtweise nie überwinden kann. In der Quantentheorie ist dies jedoch möglich und das Teilchen tunnelt durch die Potentialwand. Mit Hilfe des Tunneleffekts wird unter anderem der Alpha-Zerfall von Atomkernen erklärt.

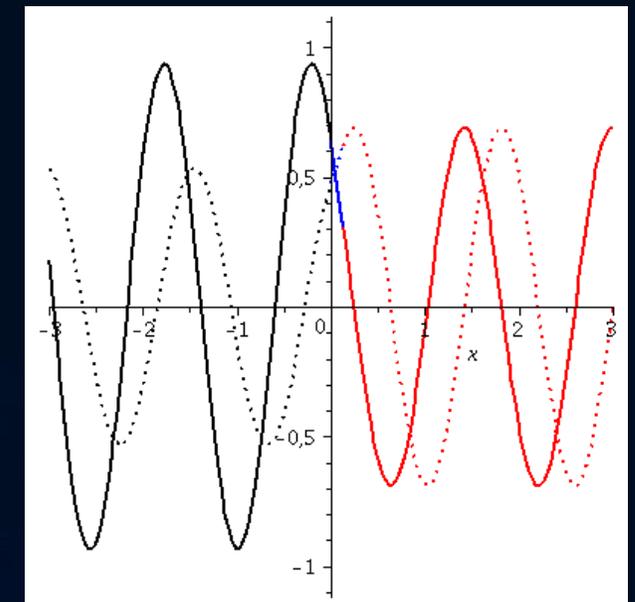


Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons, das auf eine Potentialbarriere trifft. Mit geringer Wahrscheinlichkeit geht es durch die Barriere hindurch, was nach der klassischen Physik nicht möglich wäre.

Wir betrachten im Folgenden einen quantenmechanischen Zustand eines Teilchens, welcher durch einen Potentialwall tunnelt und beschränken uns wieder auf nur eine räumliche Dimension.



Änderung der Breite der Potentialbarriere



Quantisierte Messgrößen

Beispiel: Das Wasserstoffatom

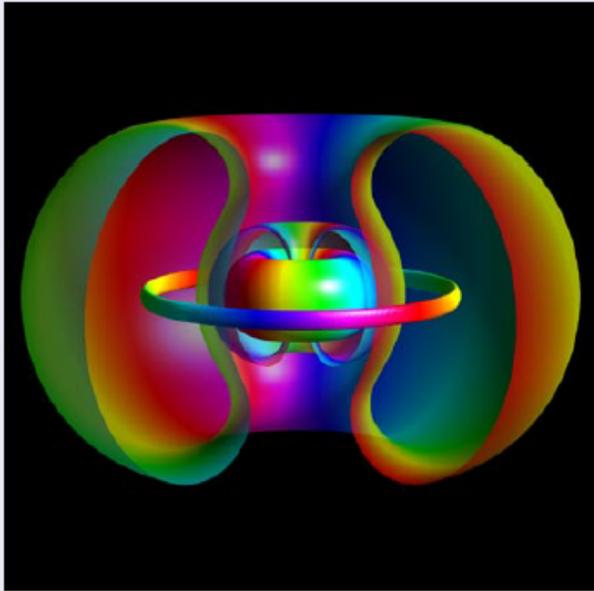


Figure:

Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Elektrons im Wasserstoffatom

($n=4, l=2, m=2$). Quelle: Bernd Thaller,

Visual Quantum Mechanics

Der Zustand eines Elektrons im Wasserstoffatom wird mit Hilfe der stationären Schrödingergleichung berechnet. Die messbaren Eigenzustände des Elektrons ($\psi_{nlm}(\vec{r})$) sind durch ihre Quantenzahlen (n, l, m) quantisiert, d.h. Messgrößen wie z.B. die Energie können nur diskrete Werte annehmen. Der allgemeine Elektronenzustand ergibt sich durch Überlagerung (Superposition) der Eigenzustände ($a_{nlm} \in \mathbb{C}$).

$$\psi = \sum_{n=1}^{\infty} \sum_{l=0}^{n-1} \sum_{m=-l}^l a_{nlm} \psi_{nlm}$$

n: Hauptquantenzahl, **l:** Drehimpulsquantenzahl

m: magnetische Quantenzahl (Orientierung des Drehimp.)

Das Periodensystem der Elemente

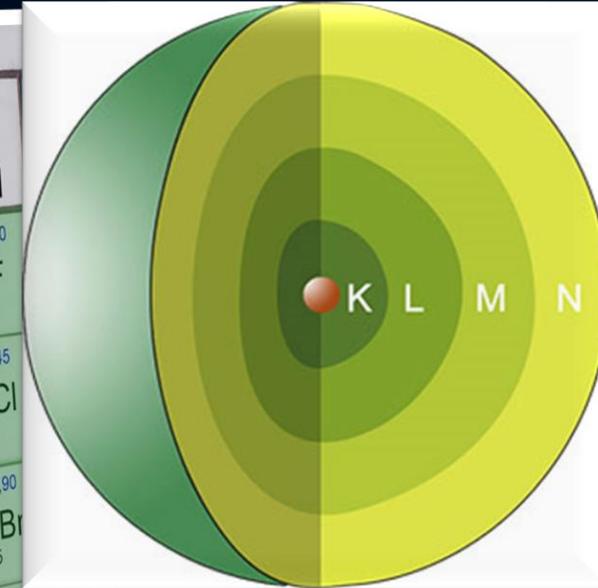
Ein Triumph der Quantentheorie

Hauptquantenzahl

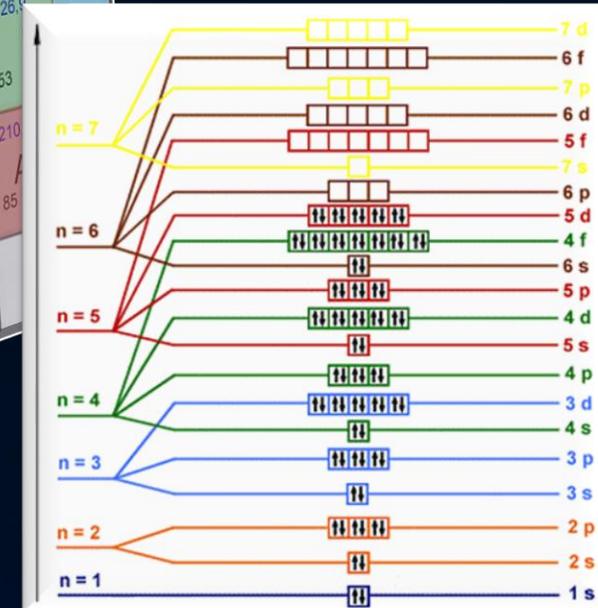
$n=1,2,3,\dots$

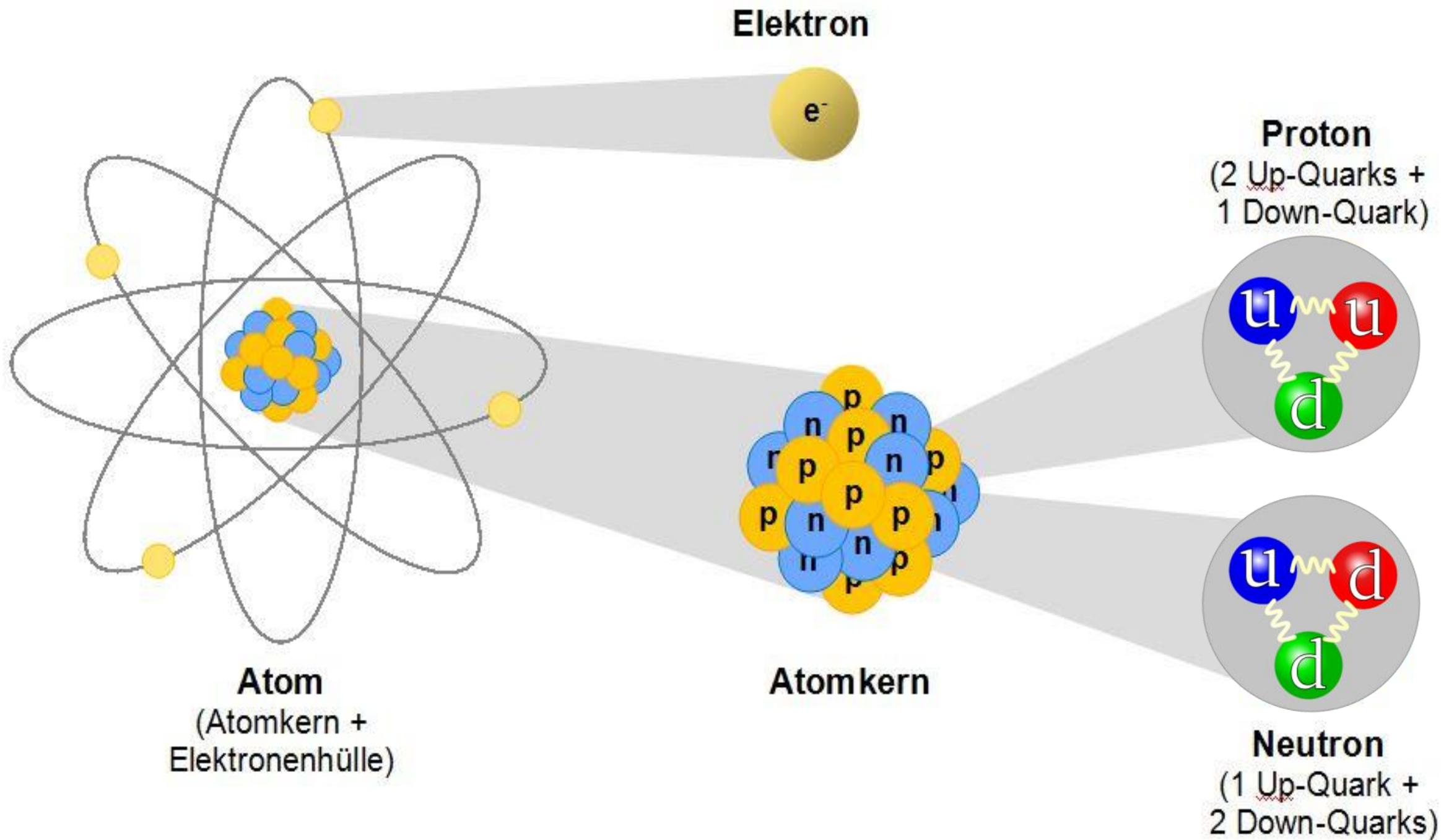
$n=K,L,M,N,\dots$

Periode	Hauptgruppen								
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
I	1 H 							2 He 	K-Schale
II	3 Li 	4 Be 	5 B 	6 C 	7 N 	8 O 	9 F 	10 Ne 	L-Schale
III	11 Na 	12 Mg 	13 Al 	14 Si 	15 P 	16 S 	17 Cl 	18 Ar 	M-Schale



39,10 19 K	40,08 20 Ca	Sc 21	Ti 22	23 V	92,91 41 Nb	95,94 42 Mo	97,91 43 Tc	101,07 44 Ru	101,07 45 Rh	101,07 46 Pd	197,0 79 Au	200,6 80 Hg	204,4 81 Tl	207,2 82 Pb	208,98 83 Bi	210 84 Po
85,47 37 Rb	87,62 38 Sr	Y 39	91,22 40 Zr	92,91 41 Nb	180,9 74 Ta	183,8 75 W	186,2 76 Re	190,2 77 Os	192,2 78 Ir	195,1 79 Pt	197,0 80 Au	200,6 81 Hg	204,4 82 Tl	207,2 83 Pb	208,98 84 Bi	210 85 Po
132,9 55 Cs	137,3 56 Ba	Lu 71	175,0 72 Hf	178,5 73 Ta	180,9 74 W	183,8 75 Re	186,2 76 Os	190,2 77 Ir	192,2 78 Pt	195,1 79 Au	197,0 80 Hg	200,6 81 Tl	204,4 82 Pb	207,2 83 Bi	208,98 84 Po	210 85 At
223,02 87 Fr	223,02 88 Ra	Ac 89	223,02 90 Th	223,02 91 Pa	223,02 92 U	223,02 93 Np	223,02 94 Pu	223,02 95 Am	223,02 96 Cm	223,02 97 Bk	223,02 98 Cf	223,02 99 Es	223,02 100 Fm	223,02 101 Md	223,02 102 No	223,02 103 Lr
261,1 107 Bh	261,1 108 Hs	261,1 109 Mt	261,1 110 Ds	261,1 111 Rg	261,1 112 Cn	261,1 113 Nh	261,1 114 Fl	261,1 115 Mc	261,1 116 Lv	261,1 117 Ts	261,1 118 Og	261,1 119 Uue	261,1 120 Uub	261,1 121 Uut	261,1 122 Uuq	261,1 123 Uuq





Relativistische Quantenfeldtheorien

Man kann zeigen, dass die Schrödingergleichung nicht im Einklang mit der speziellen Relativitätstheorie ist – sie ist nicht invariant unter Lorentz-Transformationen. Eine relativistische Quantenmechanik wurde im Jahre 1928 von Paul Dirac entwickelt. Diese Dirac-Gleichung beschreibt die Eigenschaften und das zeitliche Verhalten eines fundamentalen Spin $\frac{1}{2}$ Quanten-Teilchens (zum Beispiel Elektron, Quark) und genügt den Anforderungen der speziellen Relativitätstheorie.

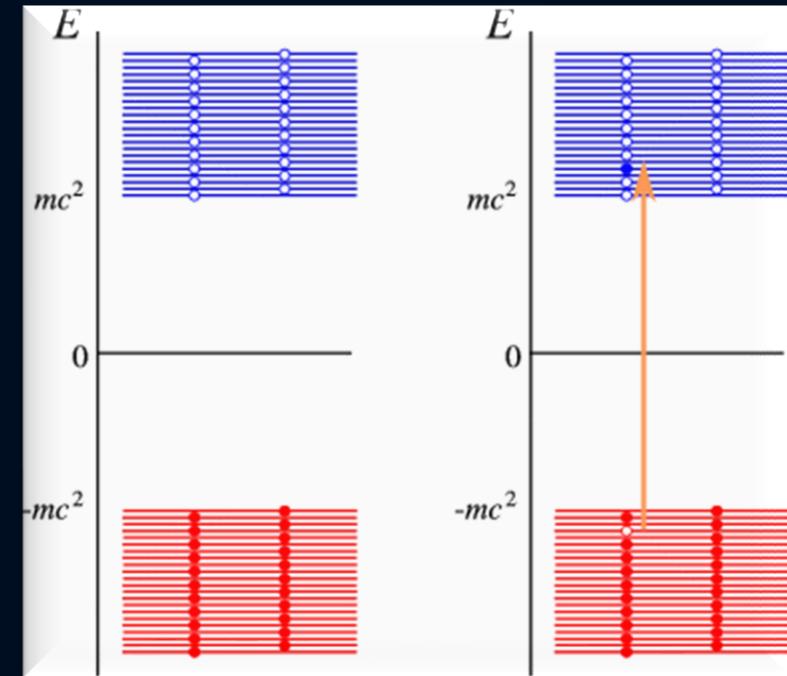
$$\psi_A = \begin{pmatrix} \psi_1 \\ \psi_2 \\ \psi_3 \\ \psi_4 \end{pmatrix} \left. \begin{array}{l} \} \text{Teilchen} \\ \} \text{Antiteilchen} \end{array} \right\}$$

$$\psi_A = \begin{pmatrix} e_L \\ e_R \\ \tilde{e}_L \\ \tilde{e}_R \end{pmatrix} \hat{=} \begin{pmatrix} \text{Linkshändiges Elektron} \\ \text{Rechtshändiges Elektron} \\ \text{Linkshändiges Positron} \\ \text{Rechtshändiges Positron} \end{pmatrix}$$

Dirac-Spinor

Dirac-Gleichung

$$i\gamma^\mu (\partial_\mu + i\frac{e}{\hbar c} A_\mu) \psi - \frac{m_0 c}{\hbar} \psi = 0$$



Die Dirac-Gleichung hat sowohl Lösungen mit positiver, als auch mit negativer Energie. Die Zustände mit negativer Energie werden als Antiteilchen bezeichnet und wurden 1928 von Paul Dirac vorhergesagt und von Carl David Anderson 1932 entdeckt. Das erste bekannte Antiteilchen war das Antiteilchen des Elektron (Positron).

Das Standardmodell der elementaren Teilchen und Kräfte

Die nebenstehende Abbildung zeigt die bekannten Elementarteilchen. Die fermionischen Elementarteilchen (Spin $\frac{1}{2}$ Teilchen) bilden die Bestandteile der Welt und die bosonischen Elementarteilchen (Spin 1 Teilchen) vermitteln die Wechselwirkung (Kräfte: elektromagnetische Kraft, starke und schwache Kernkraft). Das Higgs-Boson hingegen gibt den Teilchen die Masse.

Die vierte, schwächste Kraft (Gravitation) wird jedoch mittels der allgemeinen Relativitätstheorie als eine Verformung der raumzeitlichen Struktur beschrieben und eine Quantengravitation und das entsprechende Elementarteilchen (Graviton) ist noch nicht gefunden.

Drei Generationen der Materie (Fermionen)

	I	II	III		
Masse →	2,3 MeV	1,275 GeV	173,07 GeV	0	125,09 GeV
Ladung →	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{2}{3}$	0	0
Spin →	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{2}$	1	0
Name →	u up	c charm	t top	γ Photon	H Higgs Boson
Quarks	4,8 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ d down	95 MeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ s strange	4,18 GeV $-\frac{1}{3}$ $\frac{1}{2}$ b bottom	0 0 1 g Gluon	
	<2 eV 0 $\frac{1}{2}$ ν_e Elektron-Neutrino	<0,19 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_μ Myon-Neutrino	<18,2 MeV 0 $\frac{1}{2}$ ν_τ Tau-Neutrino	91,2 GeV 0 1 Z⁰ Z Boson	
	0,511 MeV -1 $\frac{1}{2}$ e Elektron	105,7 MeV -1 $\frac{1}{2}$ μ Myon	1,777 GeV -1 $\frac{1}{2}$ τ Tau	80,4 GeV ±1 1 W[±] W Boson	Eichbosonen
Leptonen					

Die Einstein Gleichung und Neutronensterne

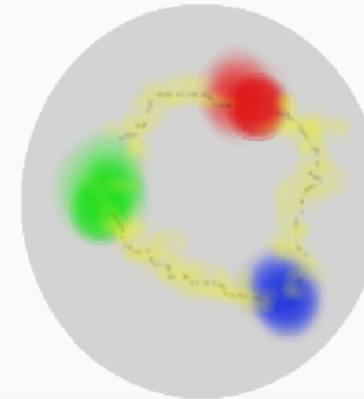
ART	<u>Yang-Mills-Theories</u>
$D_\beta v^\alpha = \partial_\beta v^\alpha + \Gamma_{\sigma\beta}^\alpha v^\sigma$	$D_{\beta a}{}^b = \partial_\beta 1_a{}^b + ig A_{\beta a}{}^b$
$R^\delta{}_{\mu\alpha\beta} v^\mu = [D_\alpha, D_\beta] v^\delta$	$F_{\alpha\beta a}{}^b = \frac{1}{ig} [D_{\alpha a}{}^c, D_{\beta c}{}^b]$
$R^\delta{}_{\mu\alpha\beta} = \Gamma_{\mu\alpha \beta}^\delta - \Gamma_{\mu\beta \alpha}^\delta$ $+ \Gamma_{\nu\beta}^\delta \Gamma_{\mu\alpha}^\nu + \Gamma_{\nu\alpha}^\delta \Gamma_{\mu\beta}^\nu$	$= A_{\beta a}{}^b _\alpha - A_{\alpha a}{}^b _\beta$ $+ \frac{1}{ig} [A_{\alpha a}{}^c, A_{\beta c}{}^b]$
$\mathcal{L}_G = R + \underbrace{(c_1 R_{\mu\nu} R^{\mu\nu} + \dots)}_{\equiv 0 \text{ for ART}}$	$\mathcal{L}_{YM} = \frac{1}{4} F_{\mu\nu a}{}^b F^{\mu\nu}{}_a{}^b$

QuantumChromoDynamic:

($SU(3)_{(c)}$ - Color Yang-Mills-Gauge Theory)

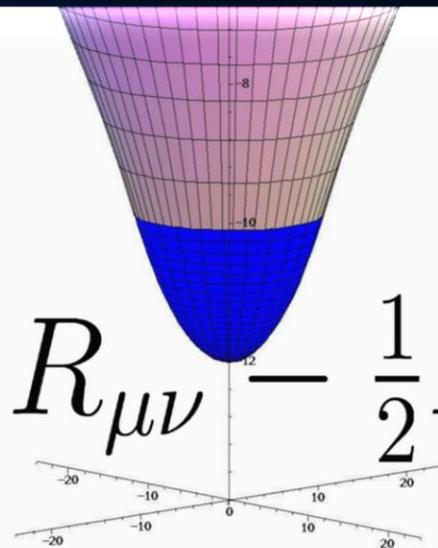
$$D_{\beta A}{}^B = \partial_\beta 1_A{}^B + ig G_{\beta A}{}^B$$

$A, B = \text{red, green, blue}$



$$\psi_A^f = \begin{pmatrix} \psi_r^f \\ \psi_g^f \\ \psi_b^f \end{pmatrix}$$

Confinement
chiral symmetry, ...



$$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} R g_{\mu\nu} =$$

$$\frac{8\pi G}{c^4} T_{\mu\nu}$$

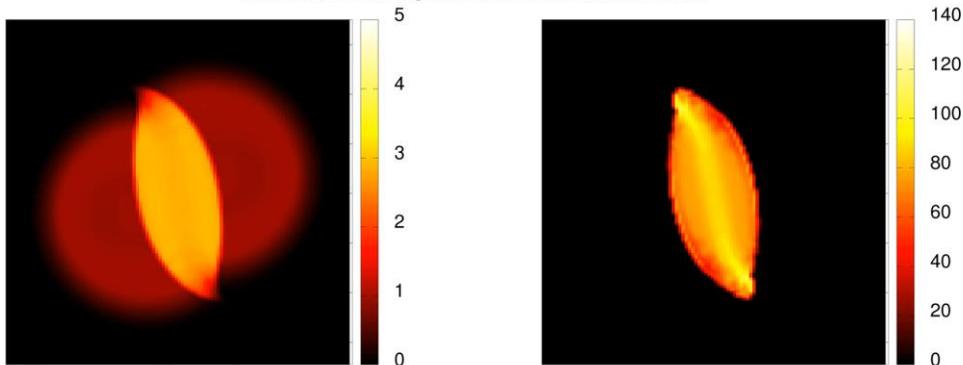
Zustandsgleichung der elementaren Materie



Die experimentelle Untersuchung der Eigenschaften der elementaren Materie



Gold+Gold Kollision am GSI: Helmholtz Zentrum für Schwerionenforschung / HADES Experiment
Am FAIR Beschleuniger: noch höhere Strahlintensität



Dichte als Vielfache der normalen Kerndichte

Zeit= 8.88 fm/c

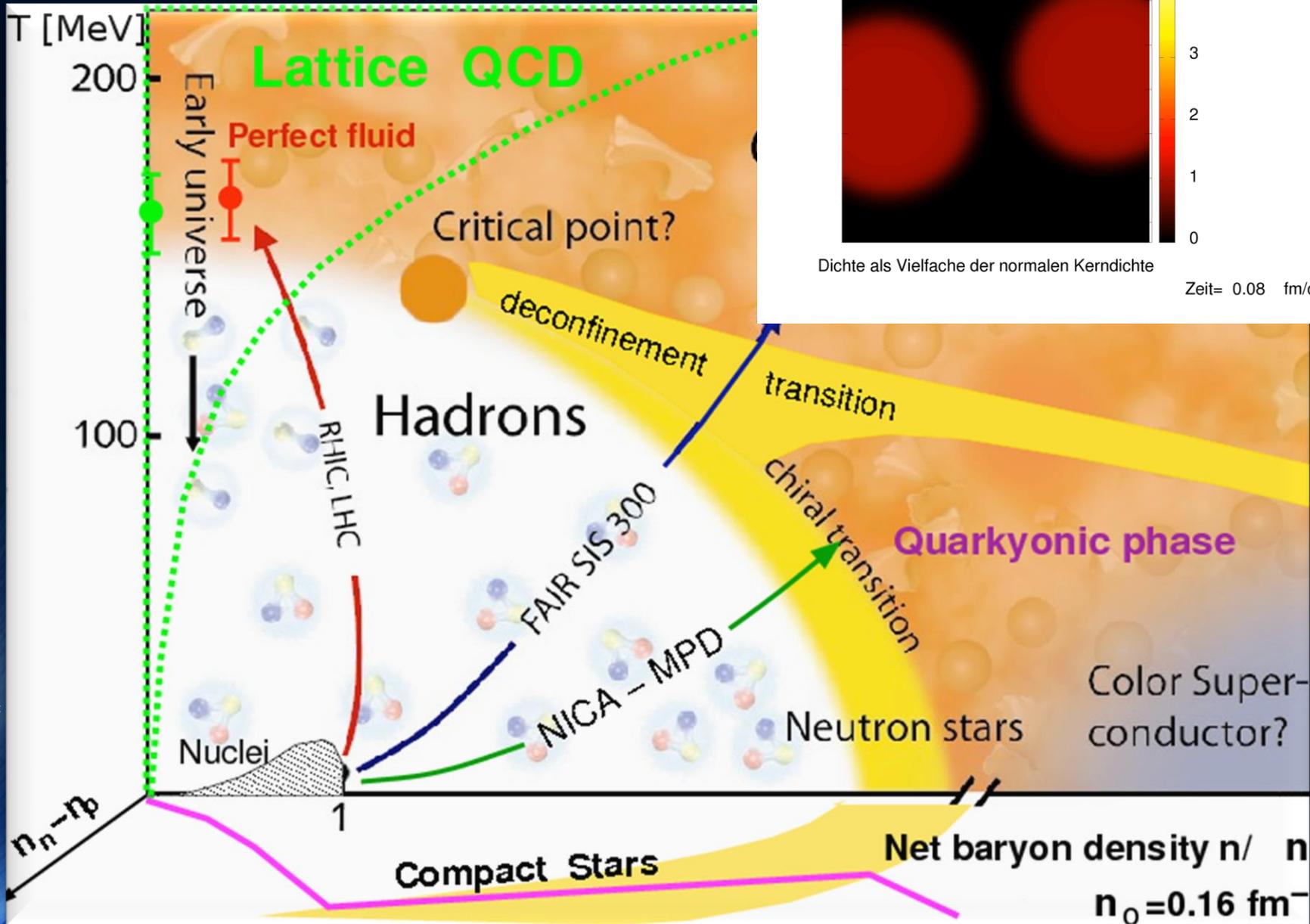
Temperatur in MeV

FAIR - Das Universum im Labor
Zurzeit entsteht in Darmstadt das neue internationale Beschleunigerzentrum FAIR, eines der größten Forschungsvorhaben weltweit

Mit FAIR wird Materie im Labor erzeugt und erforscht werden, wie sie sonst nur im Inneren einer Neutronenstern Kollision entsteht.

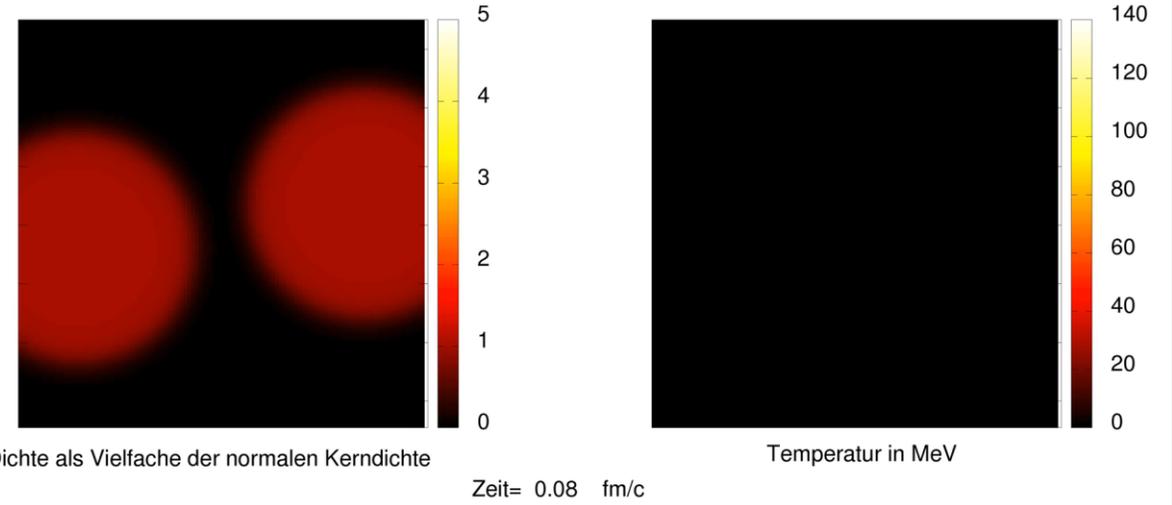
Der Hadron-Quark Phasenübergang

Temperatur vs. Dichte



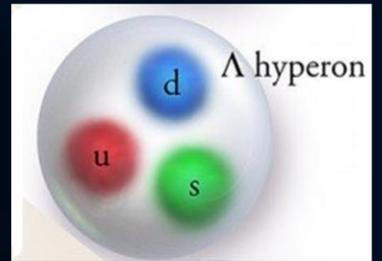
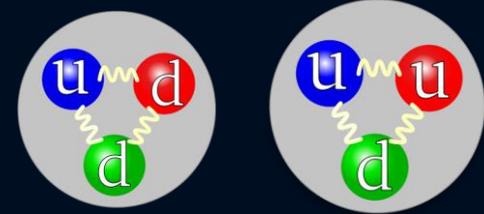
1 MeV \approx
 10^{10} Grad \approx
 10000
 heißer als
 im Inneren
 der Sonne

Gold+Gold Kollision am GSI: Helmholtz Zentrum für Schwerionenforschung / HADES Experiment
 Am FAIR Beschleuniger: noch höhere Strahlintensität

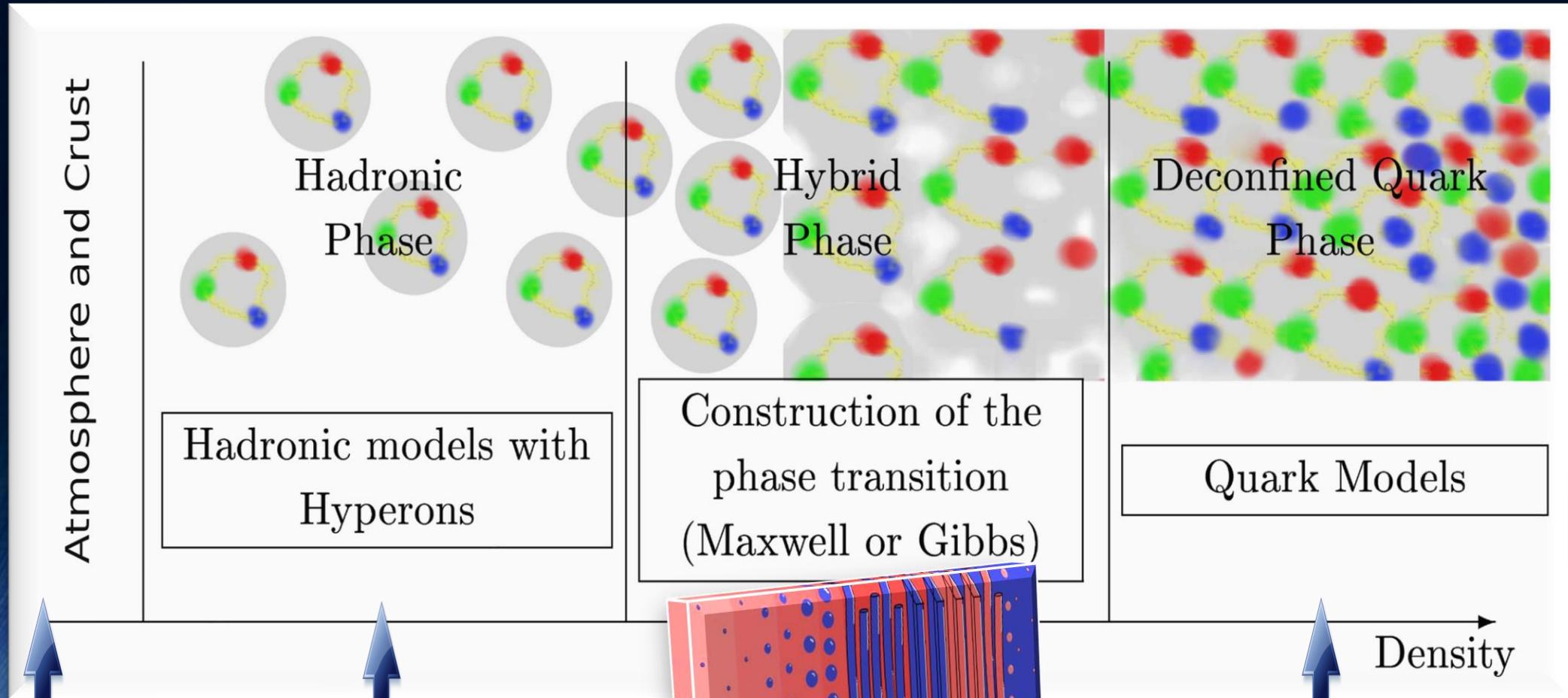


Hadronische Teilchen

Neutron Proton



Das Innere von hybriden Sternen



Äußere Eisenkruste

Neutronen und einige Protonen, Elektronen vielleicht auch Hyperonen

Phasenübergang vielleicht Pasta-Struktur

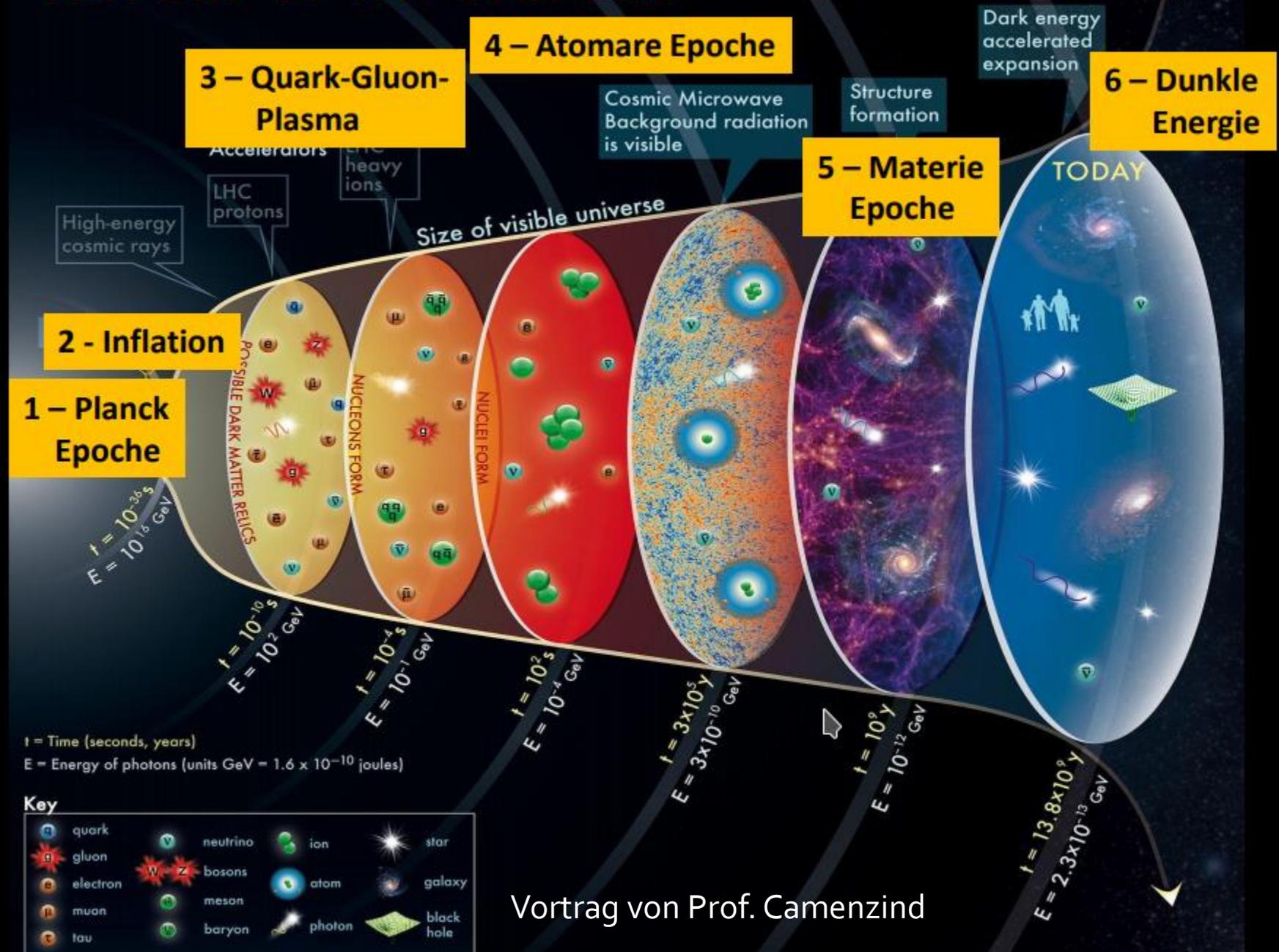
Befreite reine Quarkphase

Density

HISTORY OF THE UNIVERSE

Atmosphäre and Crust

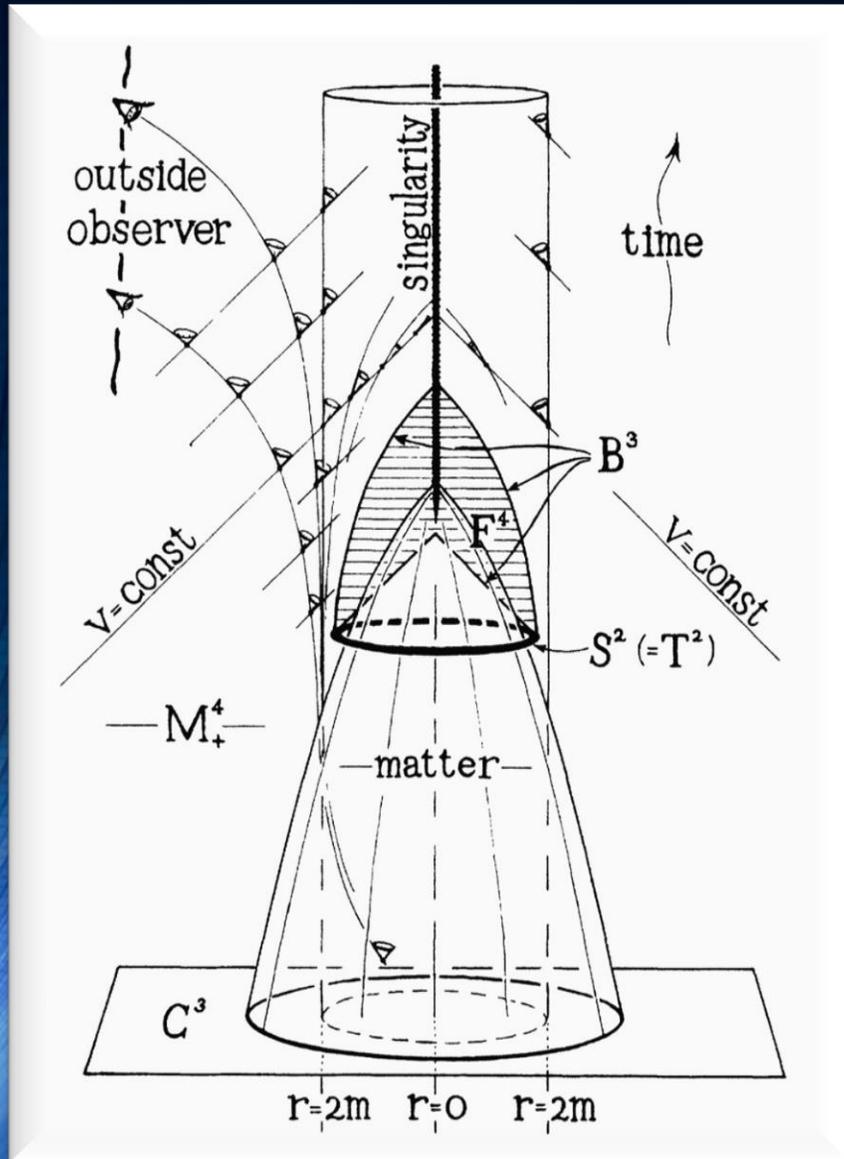
Äußere Eisenkruste



Vortrag von Prof. Camenzind

The concept for the above figure originated in a 1986 paper by Michael Turner.

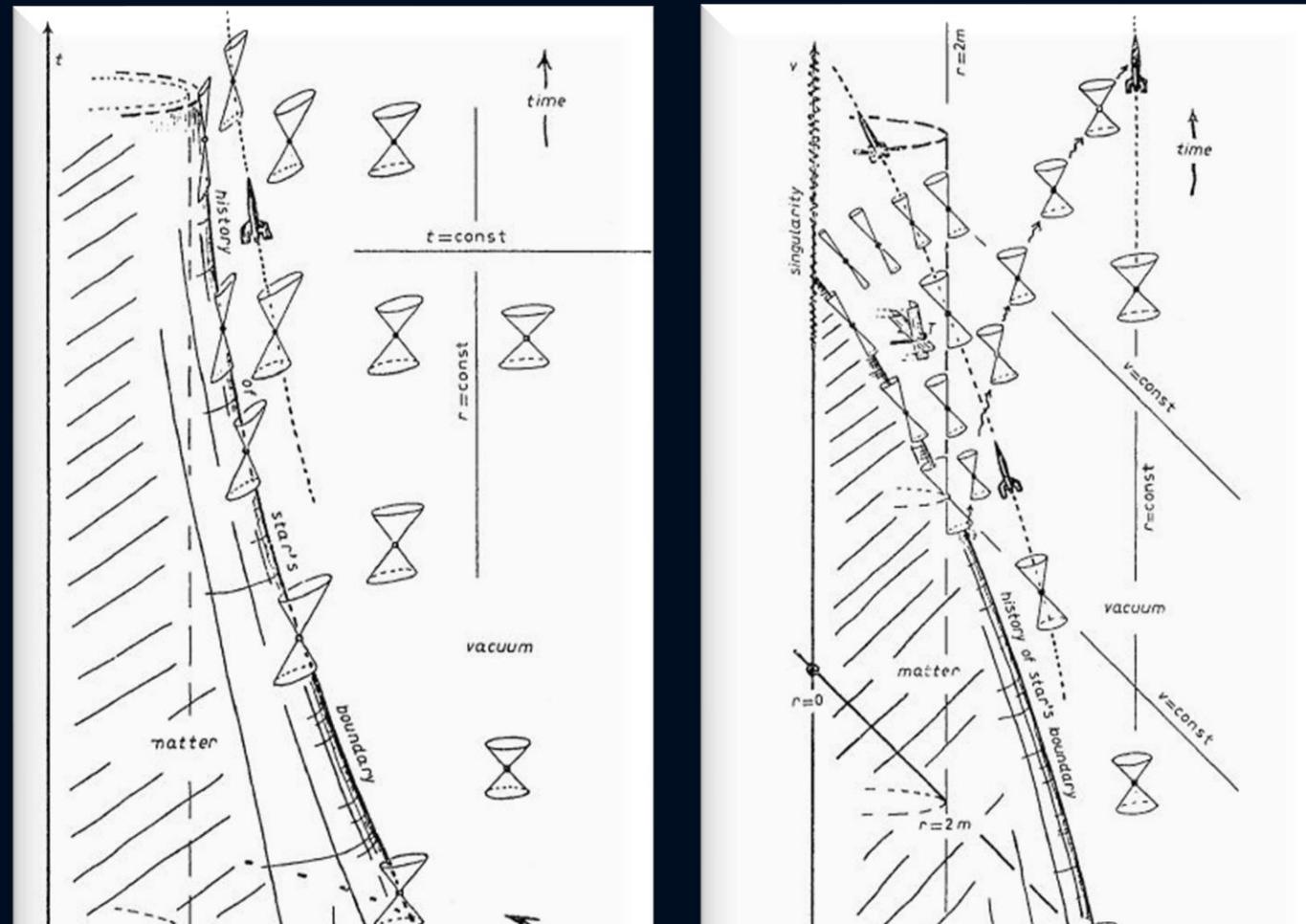
Wie entstehen schwarze Löcher ?



Self-drawn space-time diagram by R. Penrose (1965)

GRAVITATIONAL COLLAPSE AND SPACE- TIME SINGULARITIES

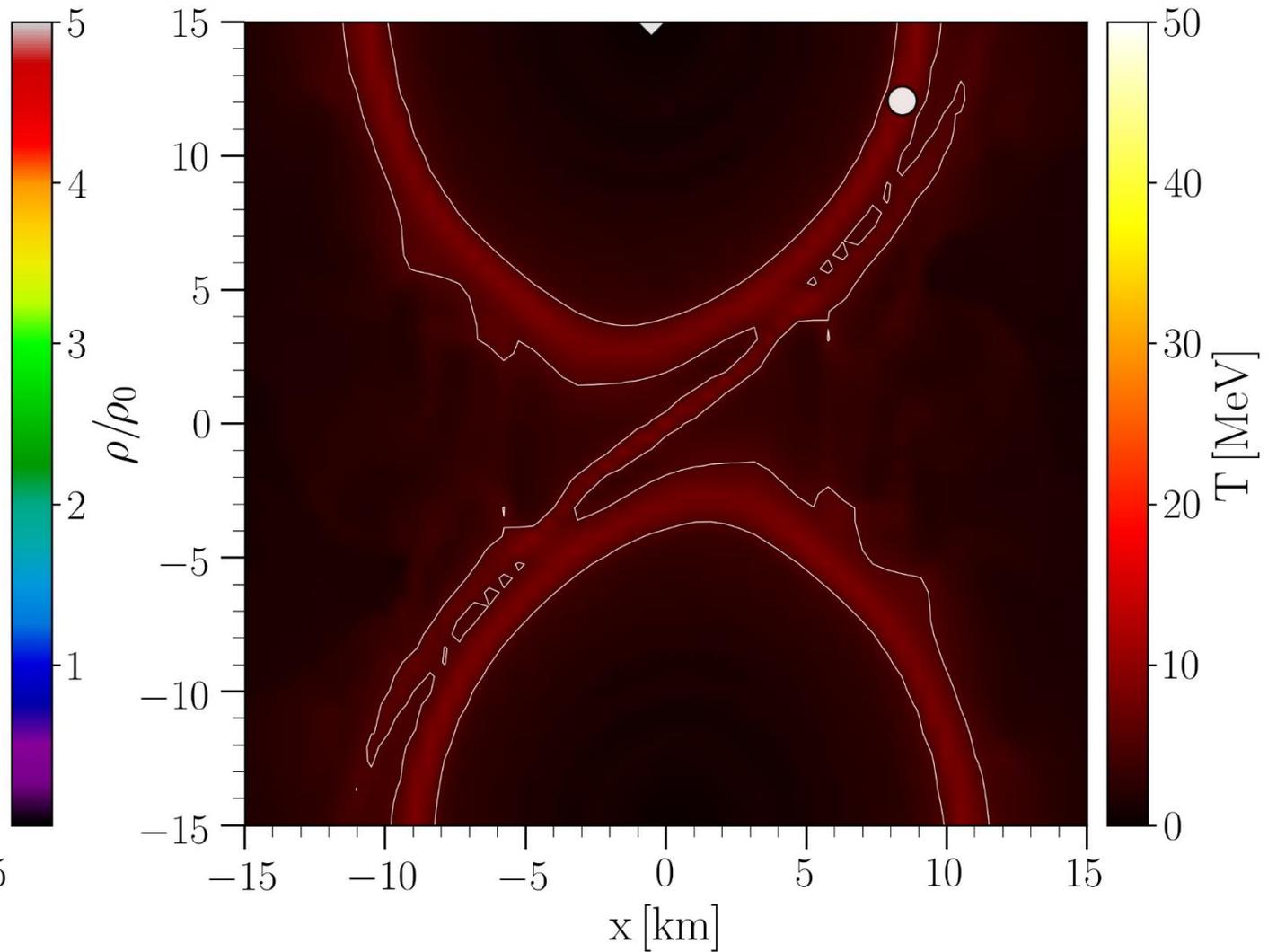
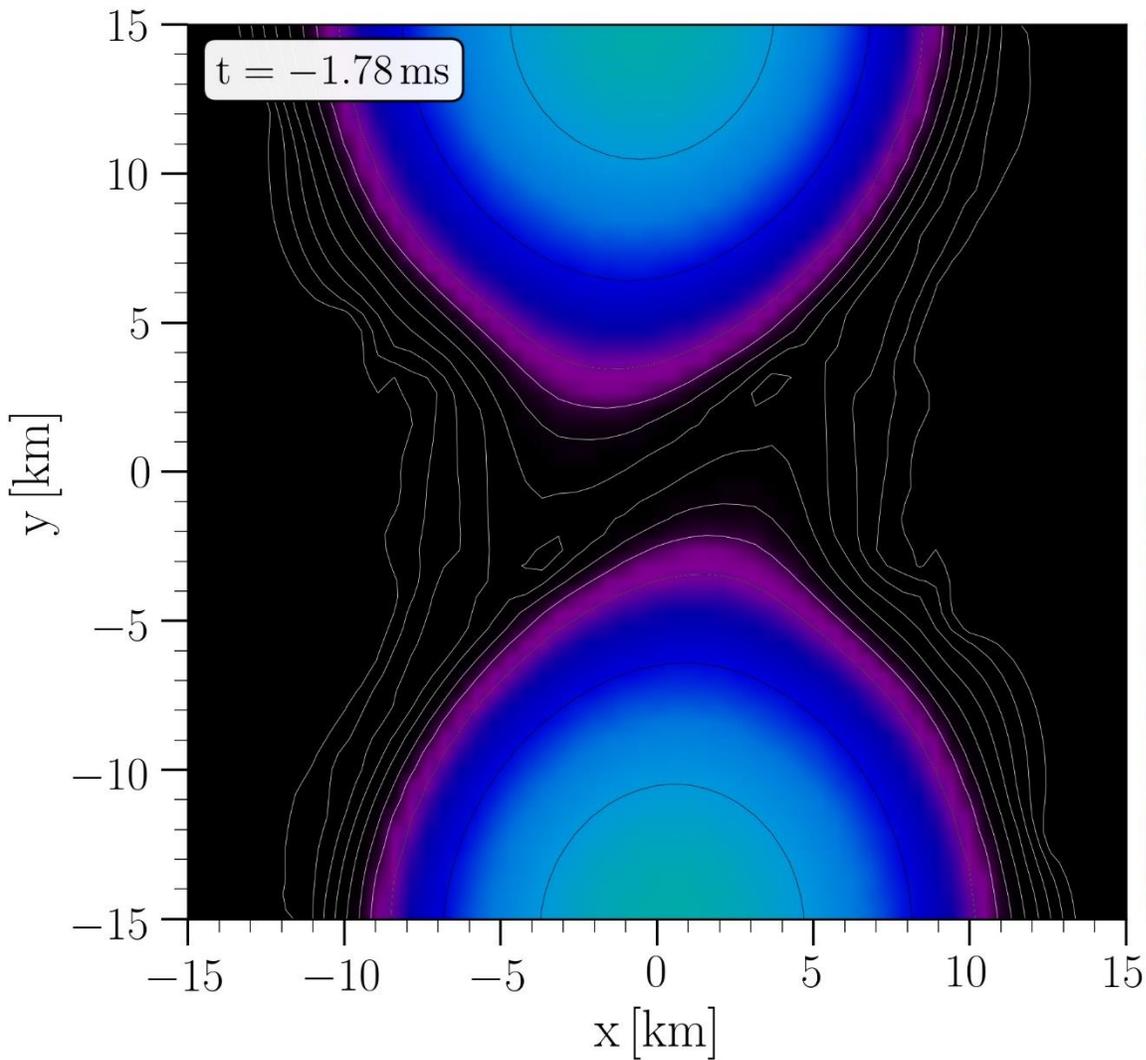
Nobel Price 2020: R. Penrose, PRL Vol.14 No.3 (1965)



R. Penrose: Nobel Preis 2020 für die Entdeckung, dass die Bildung von Schwarzen Löchern eine robuste Vorhersage der allgemeinen Relativitätstheorie ist

R. Penrose in Rivista del Nuovo Cimento, Num. Spez. I, 257 (1969)

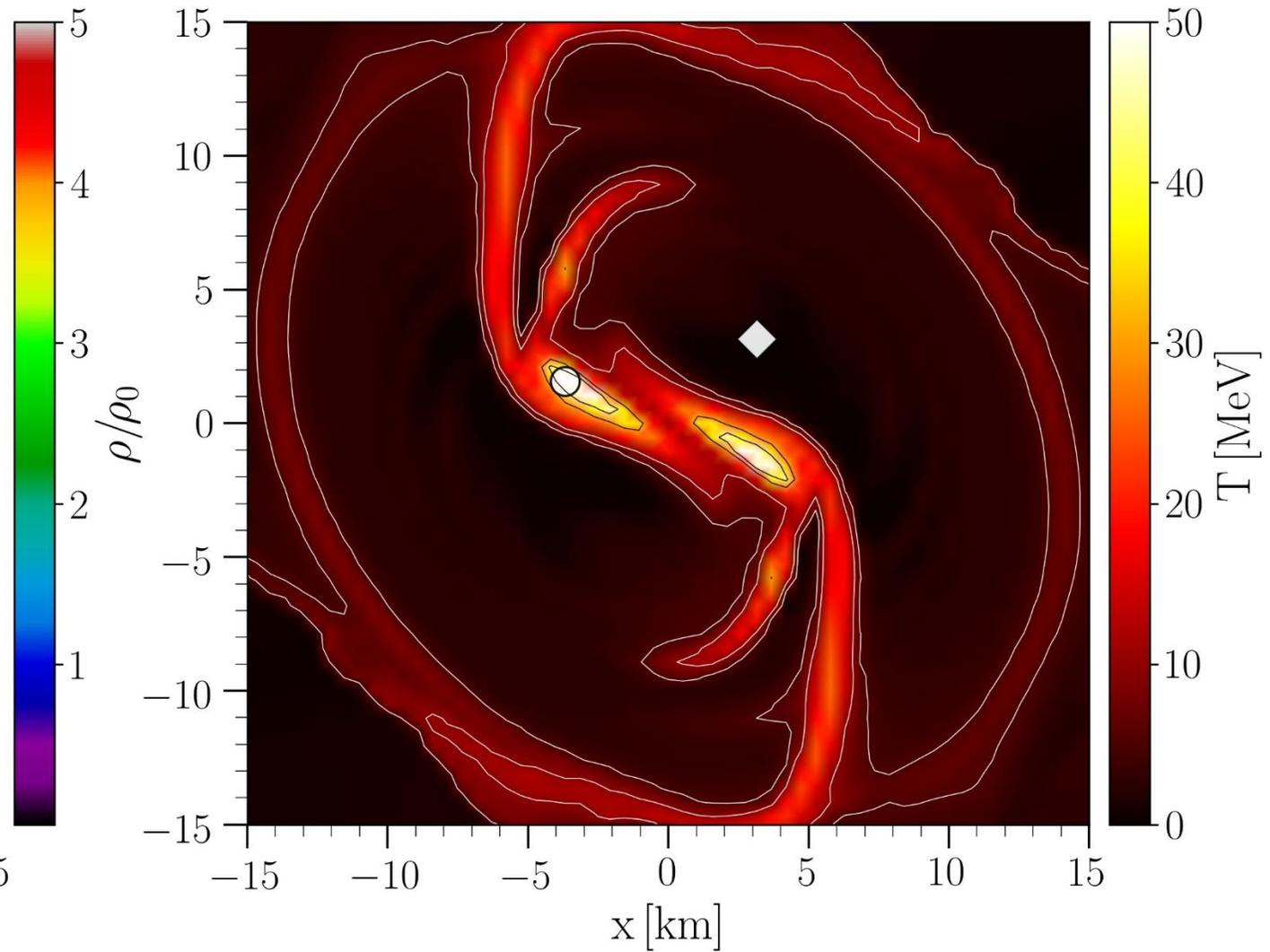
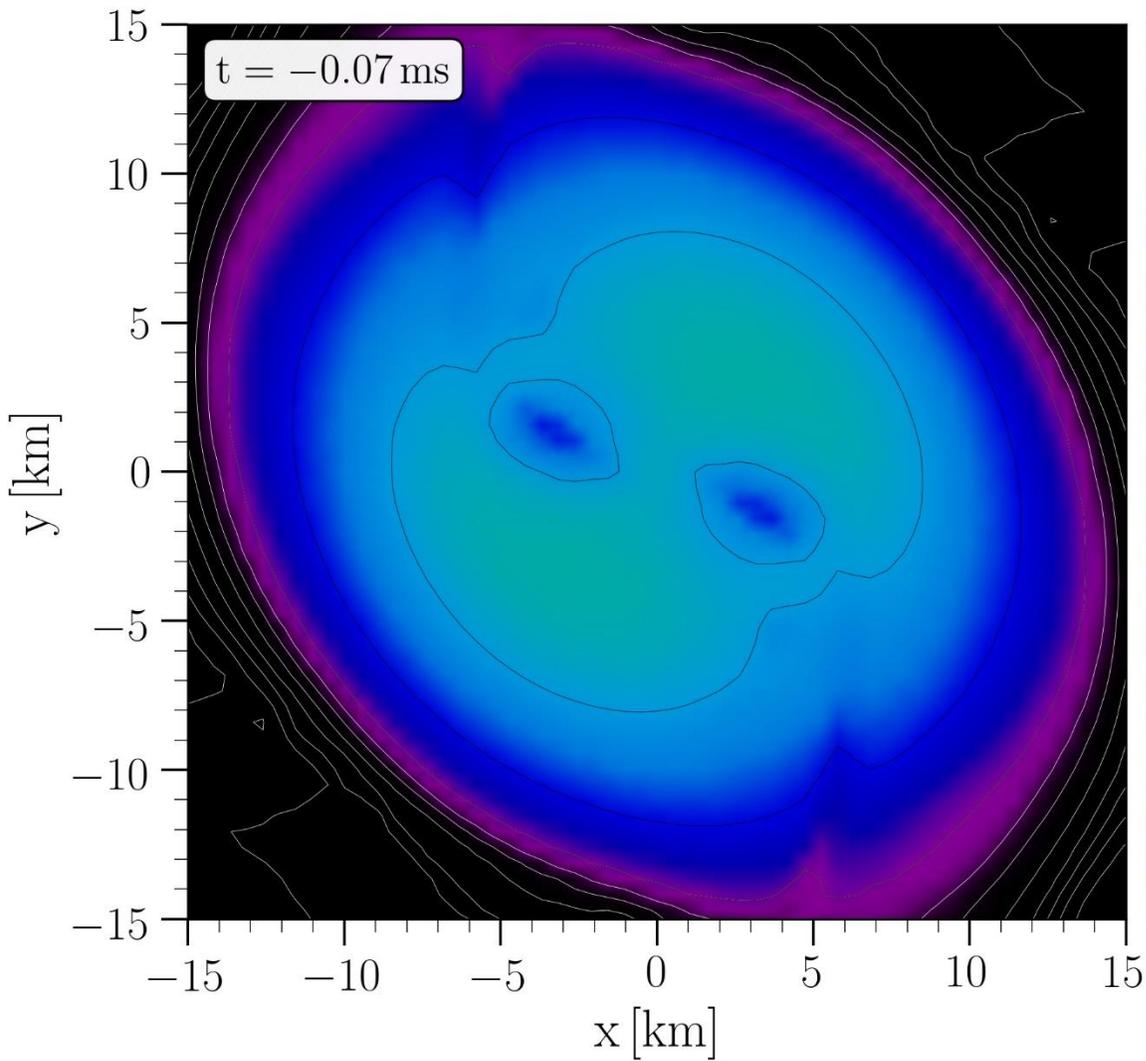
Kurz bevor die Neutronensterne kollidieren



Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

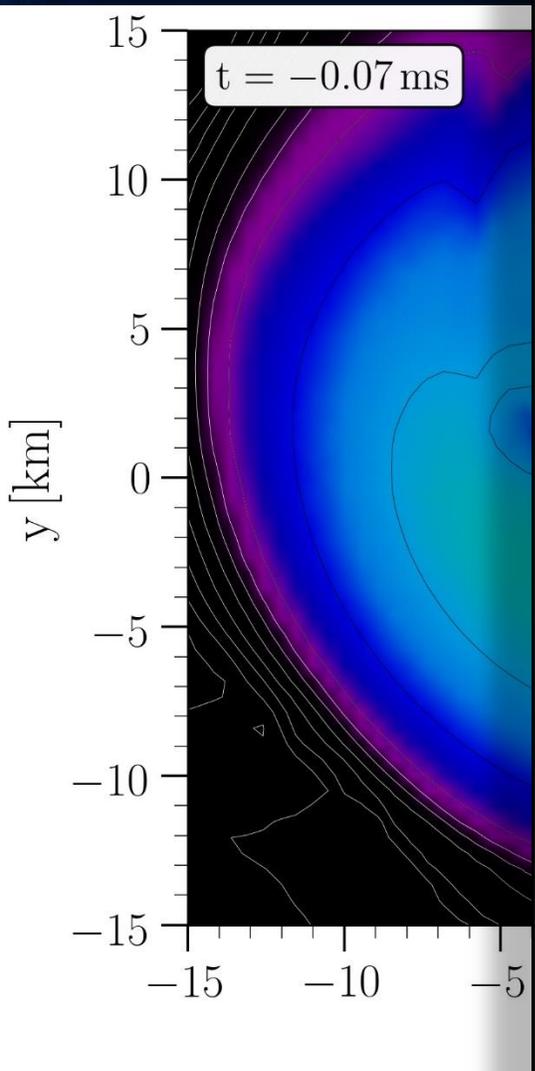
Zeitpunkt der Kollision



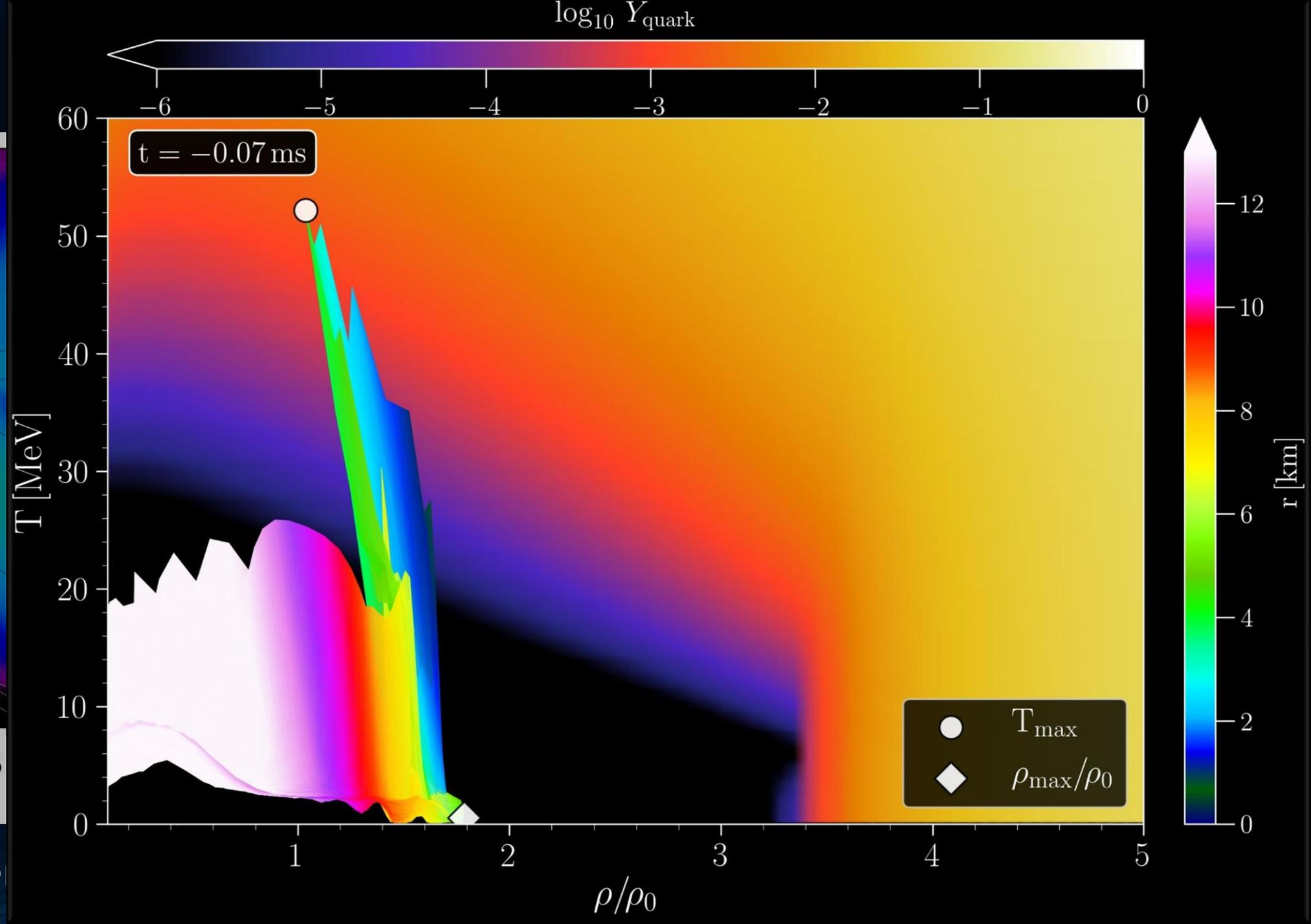
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

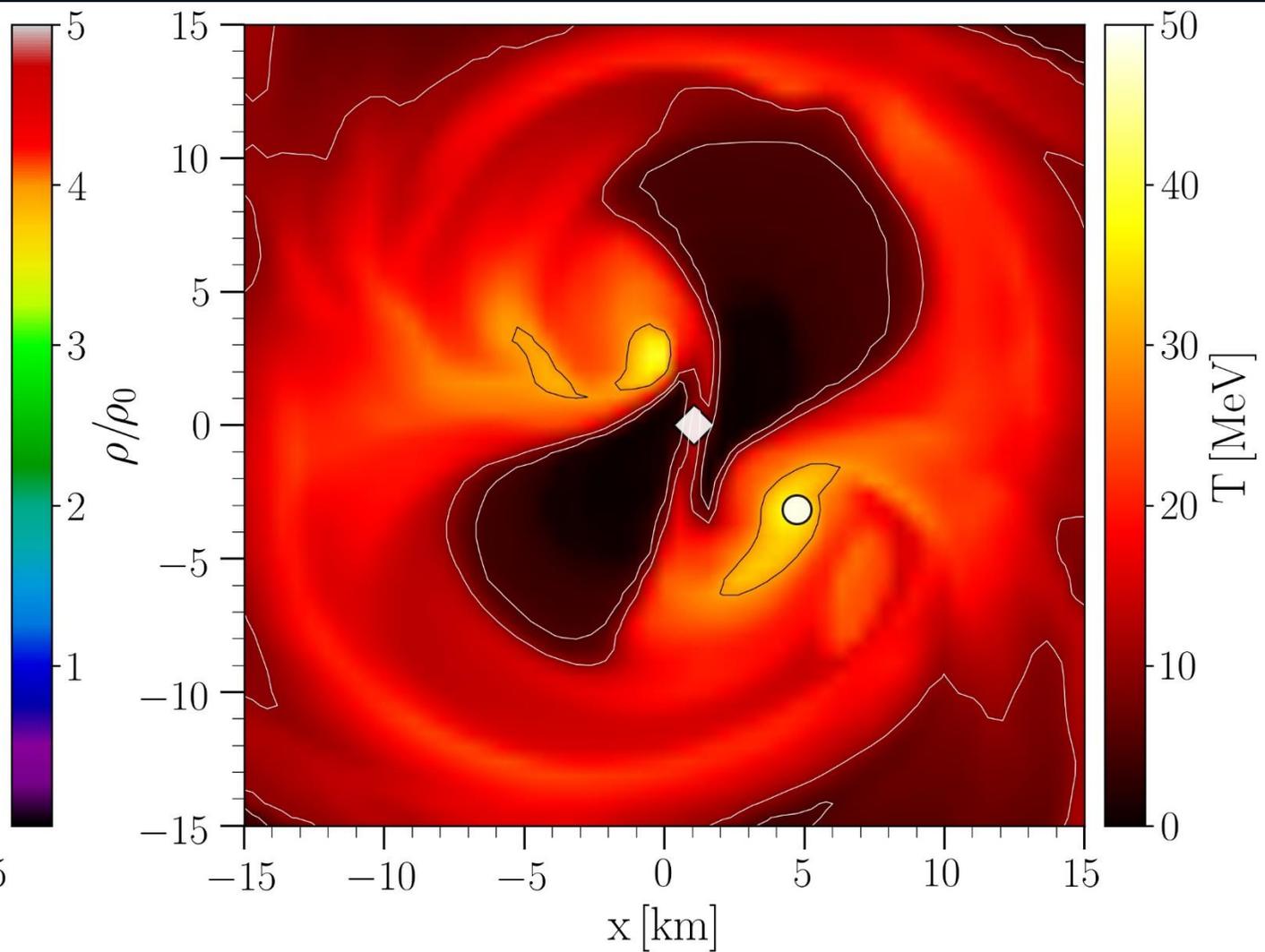
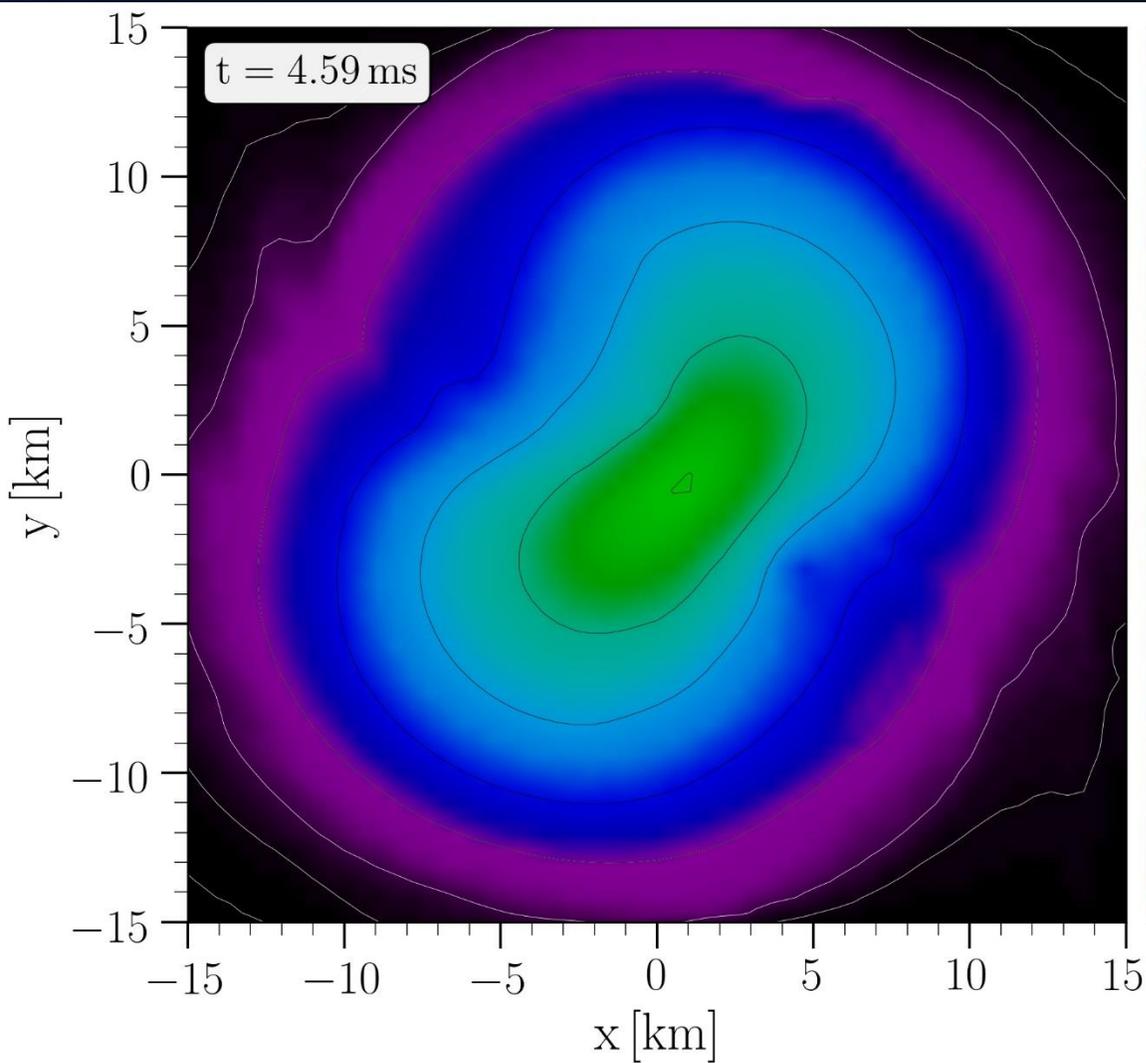
Zeitpunkt der Kollision



Dichte in de



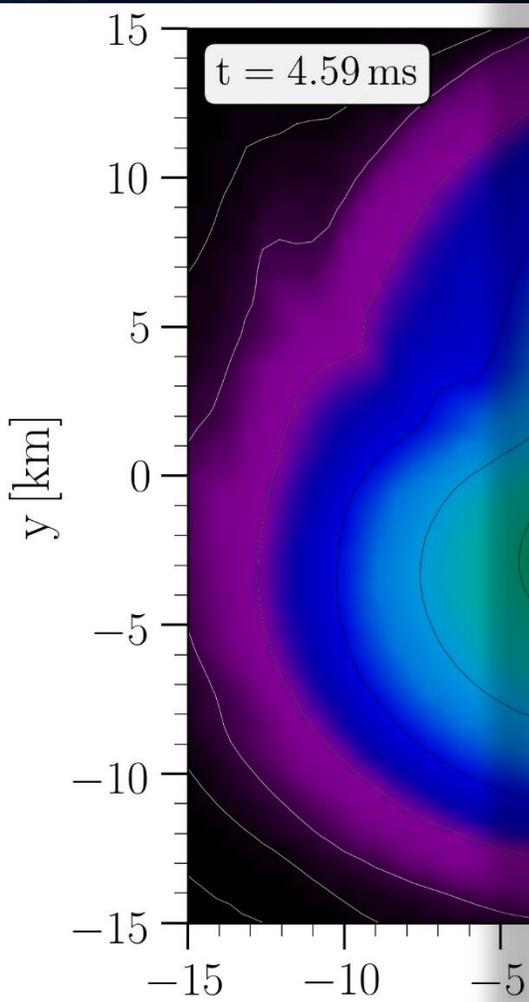
Post Merger Phase



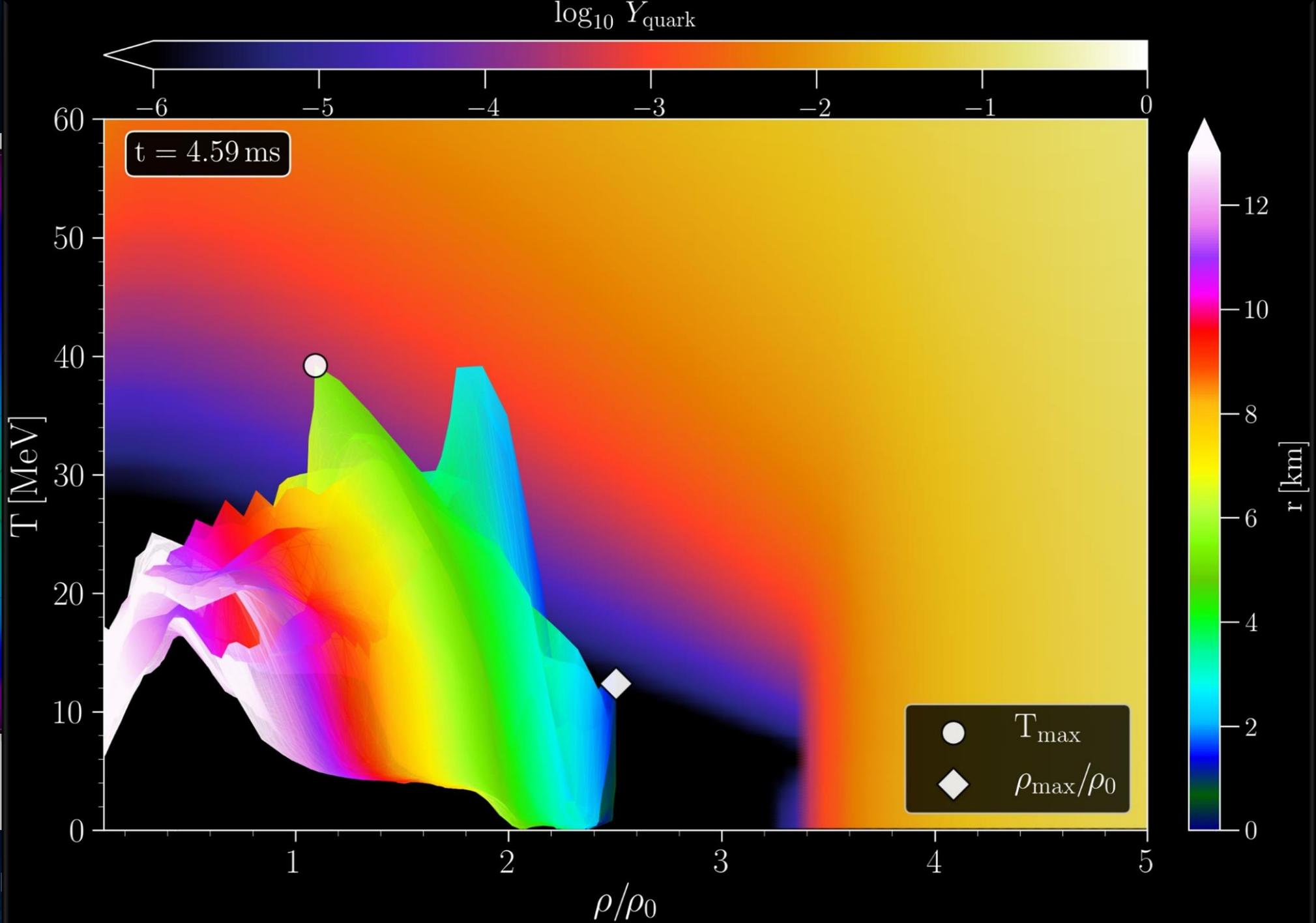
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

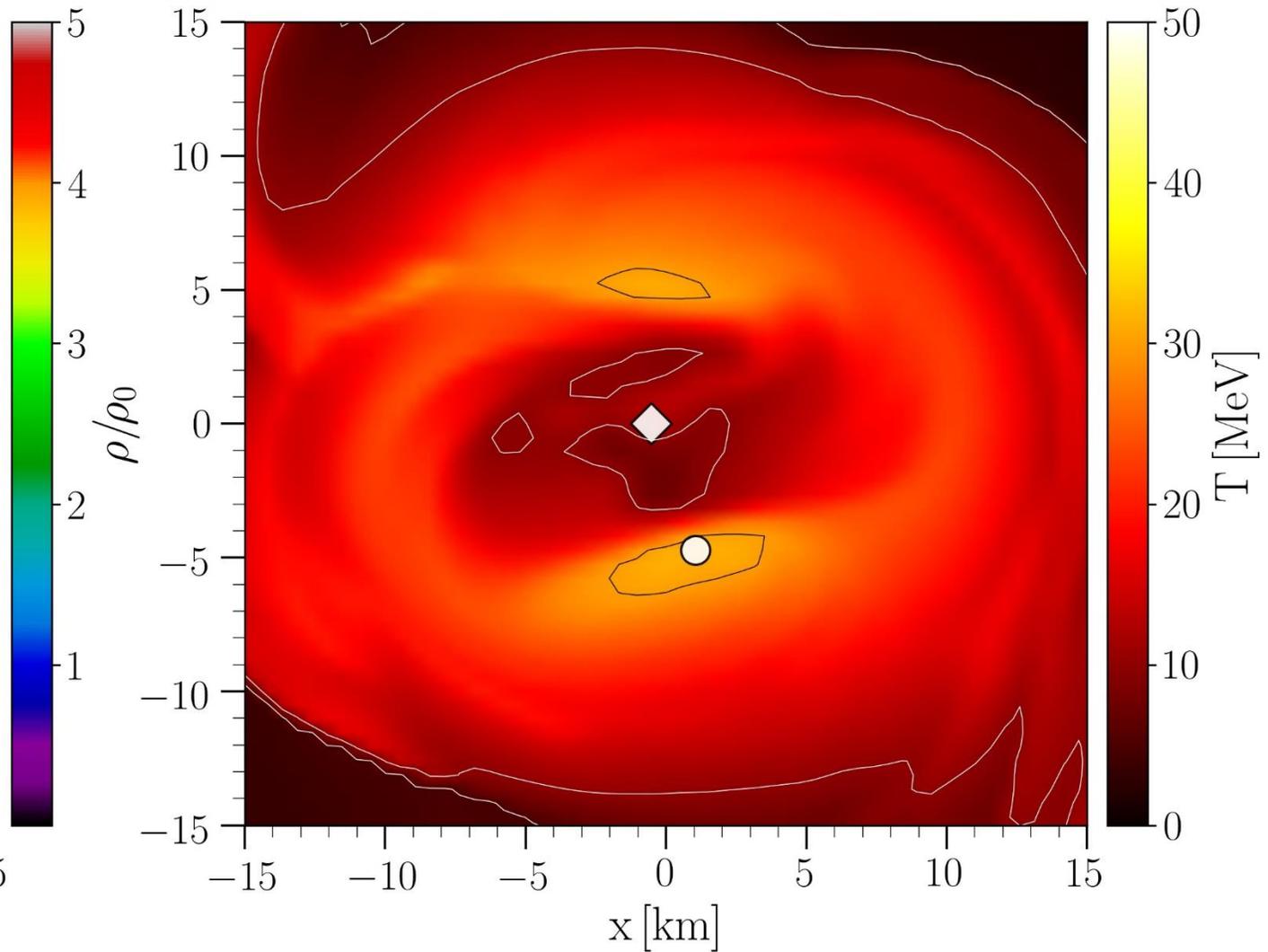
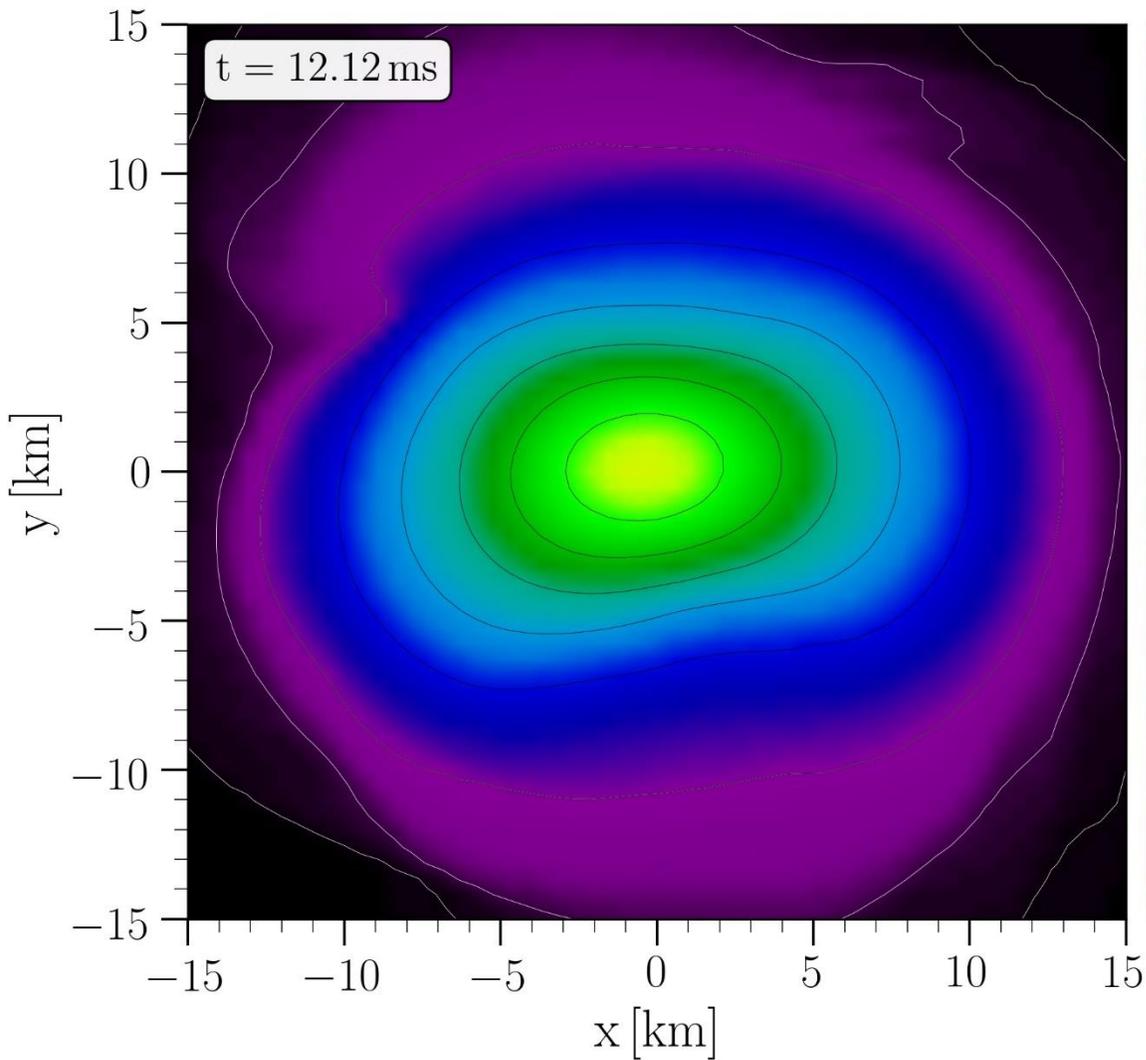
Post Merger Phase



Dichte in de



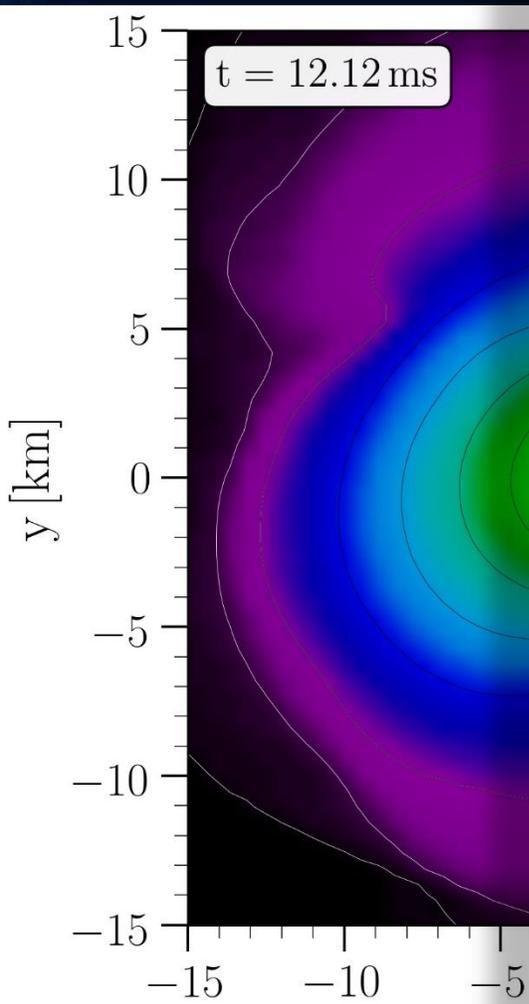
Post Merger Phase



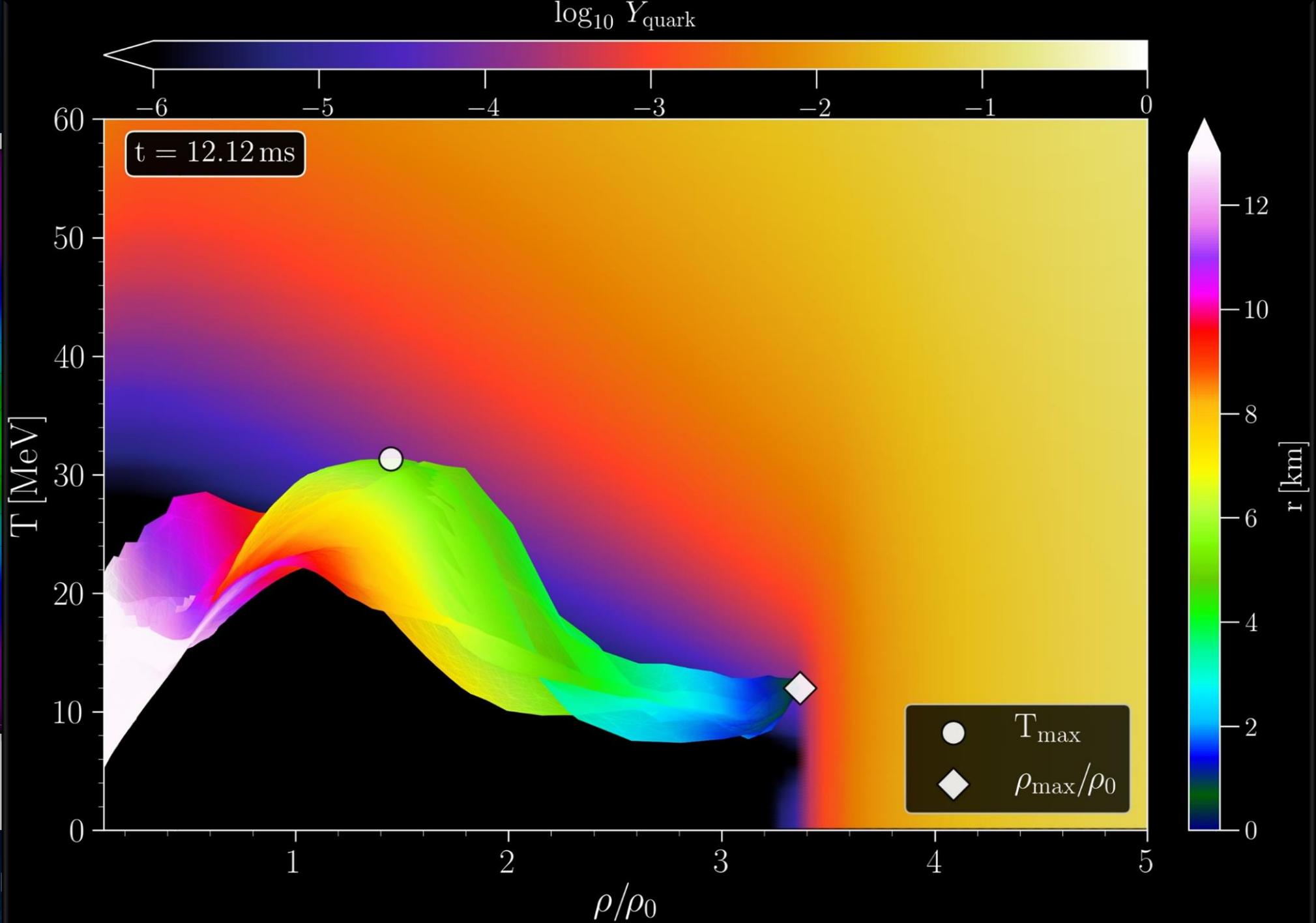
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

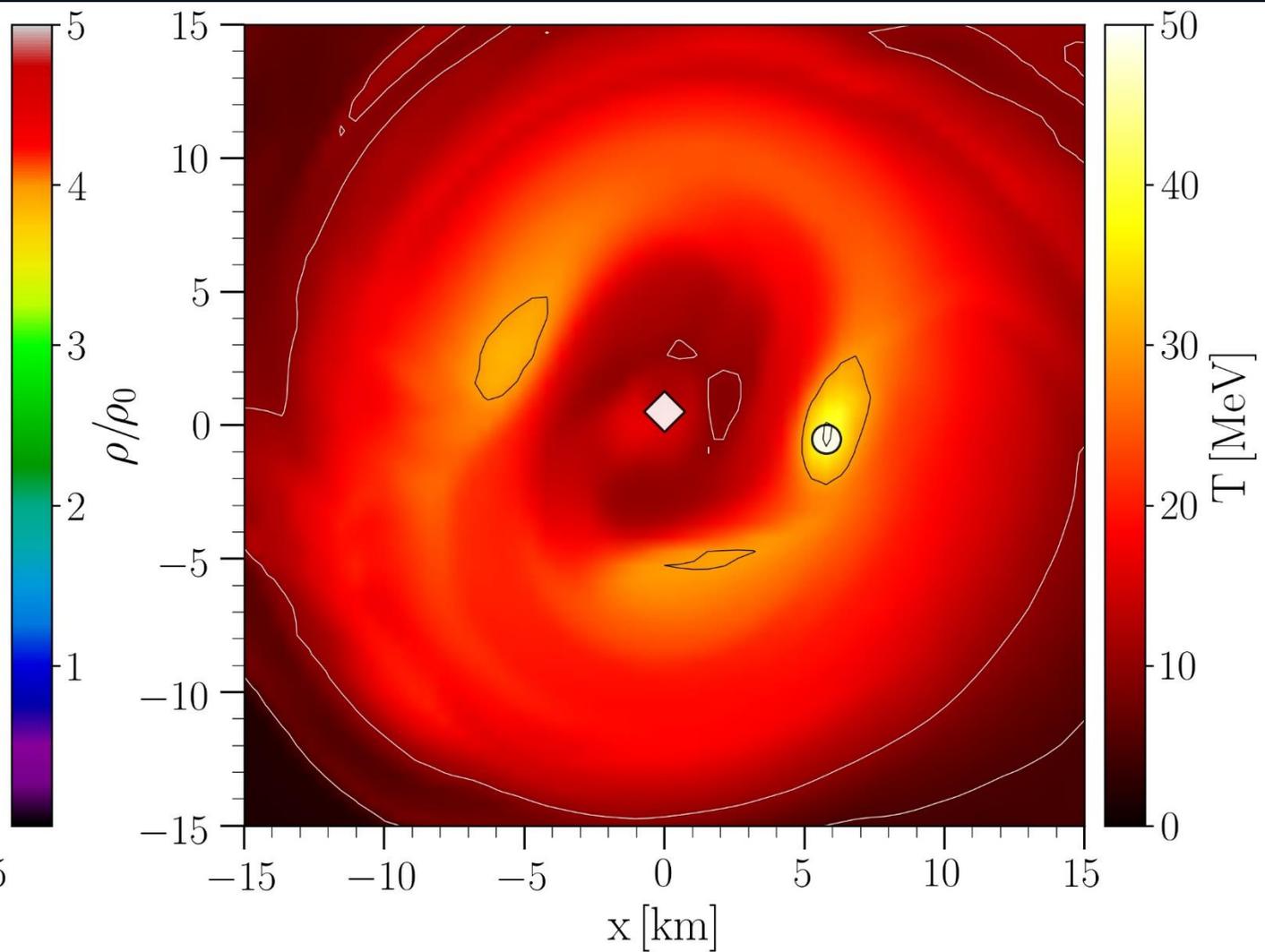
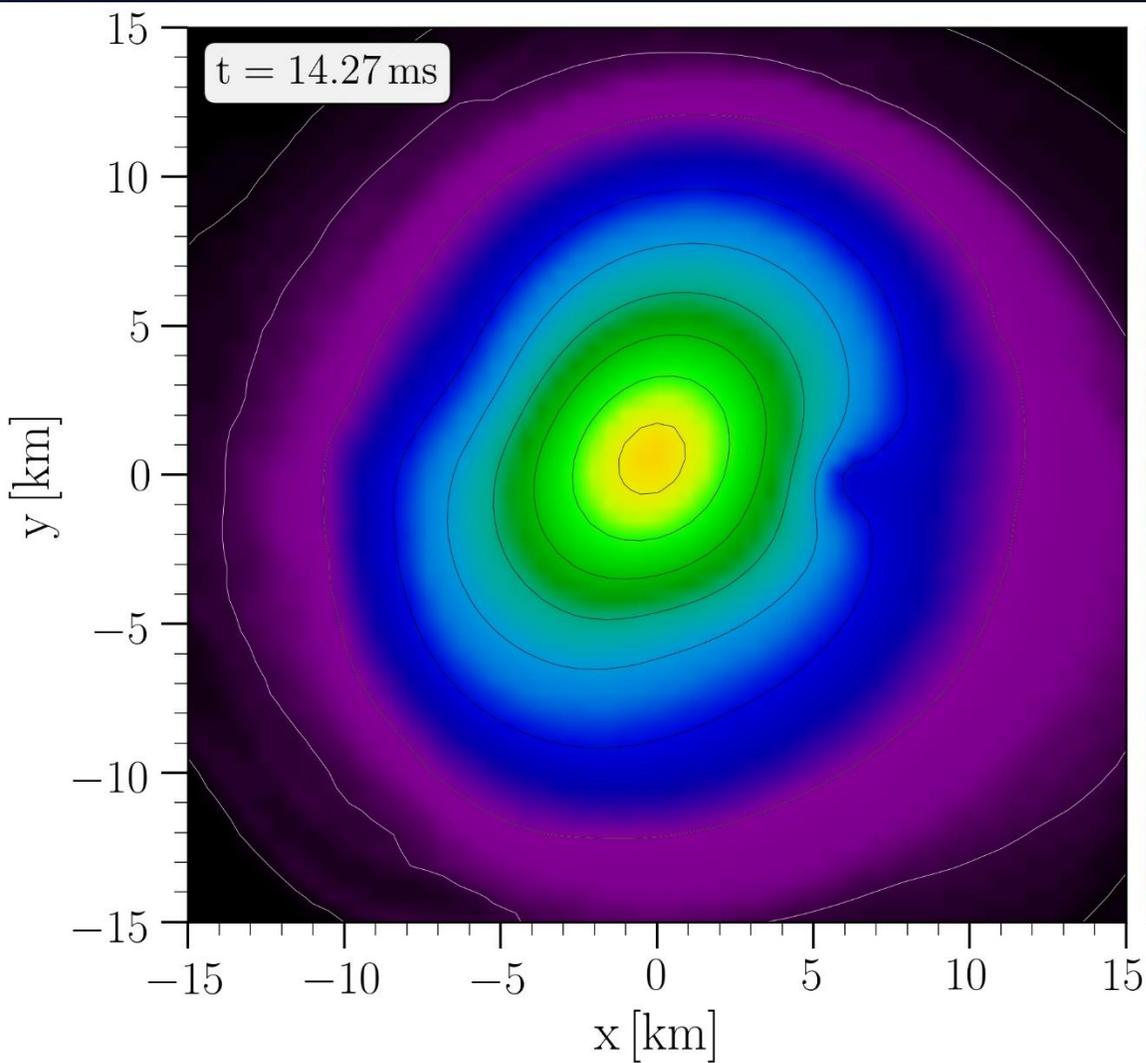
Post Merger Phase



Dichte in de



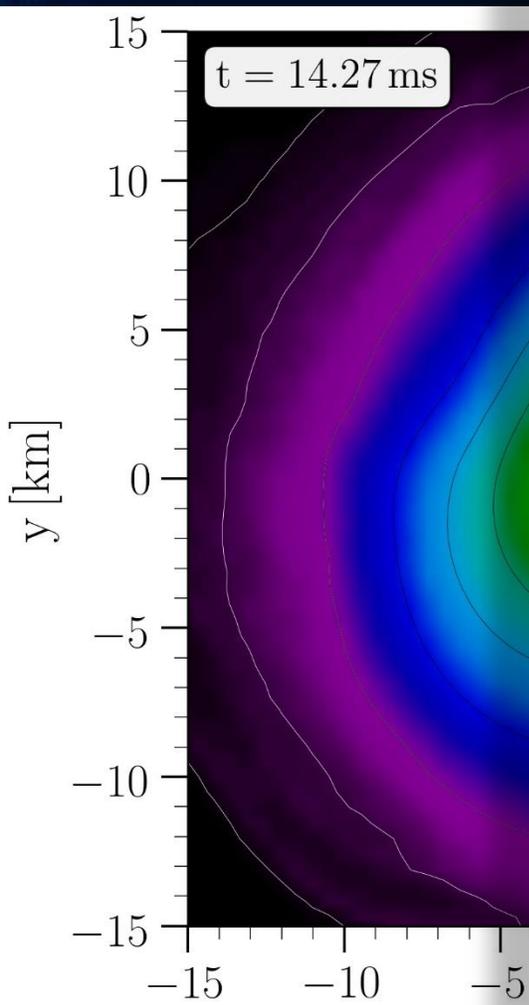
Post Merger Phase



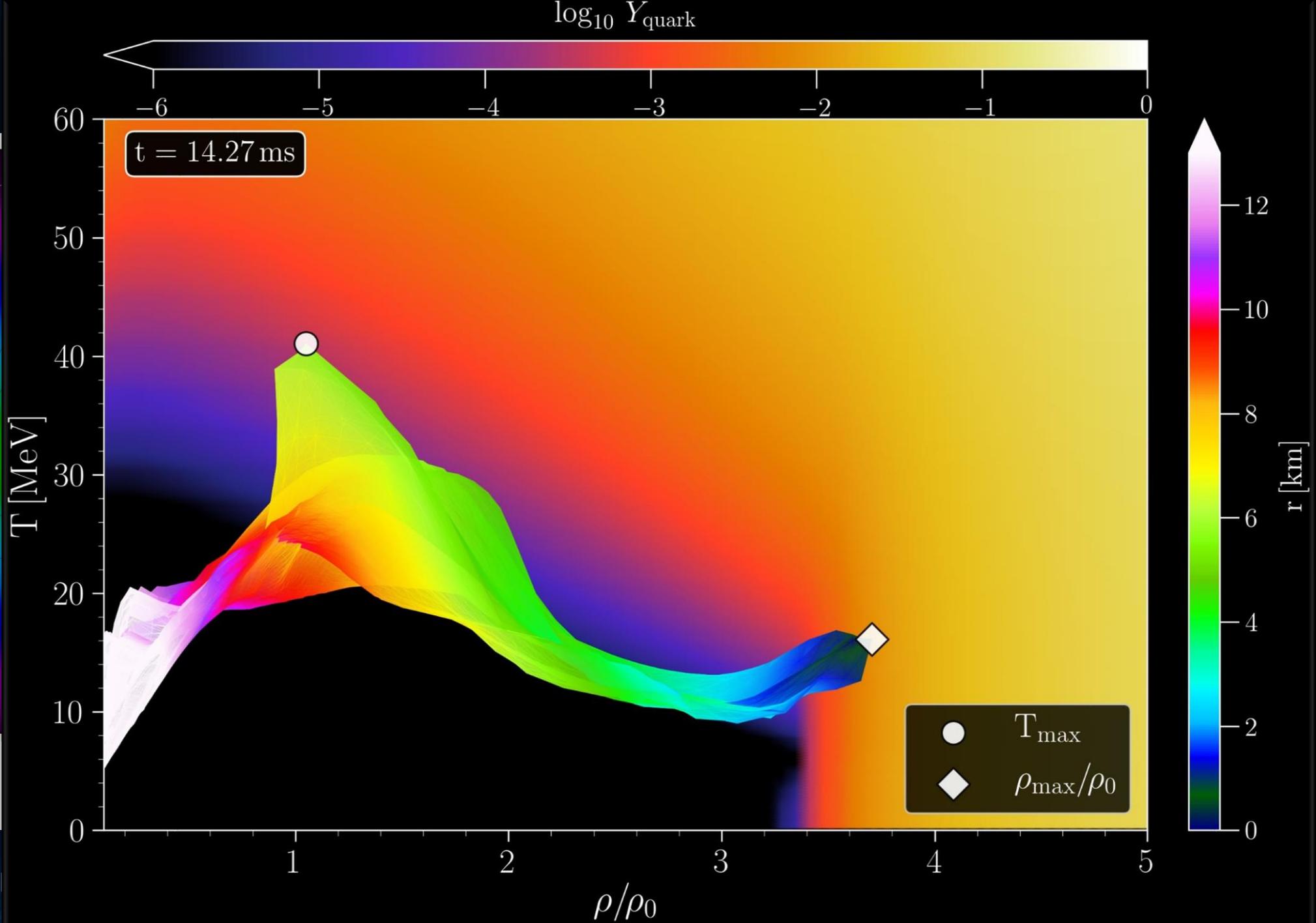
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

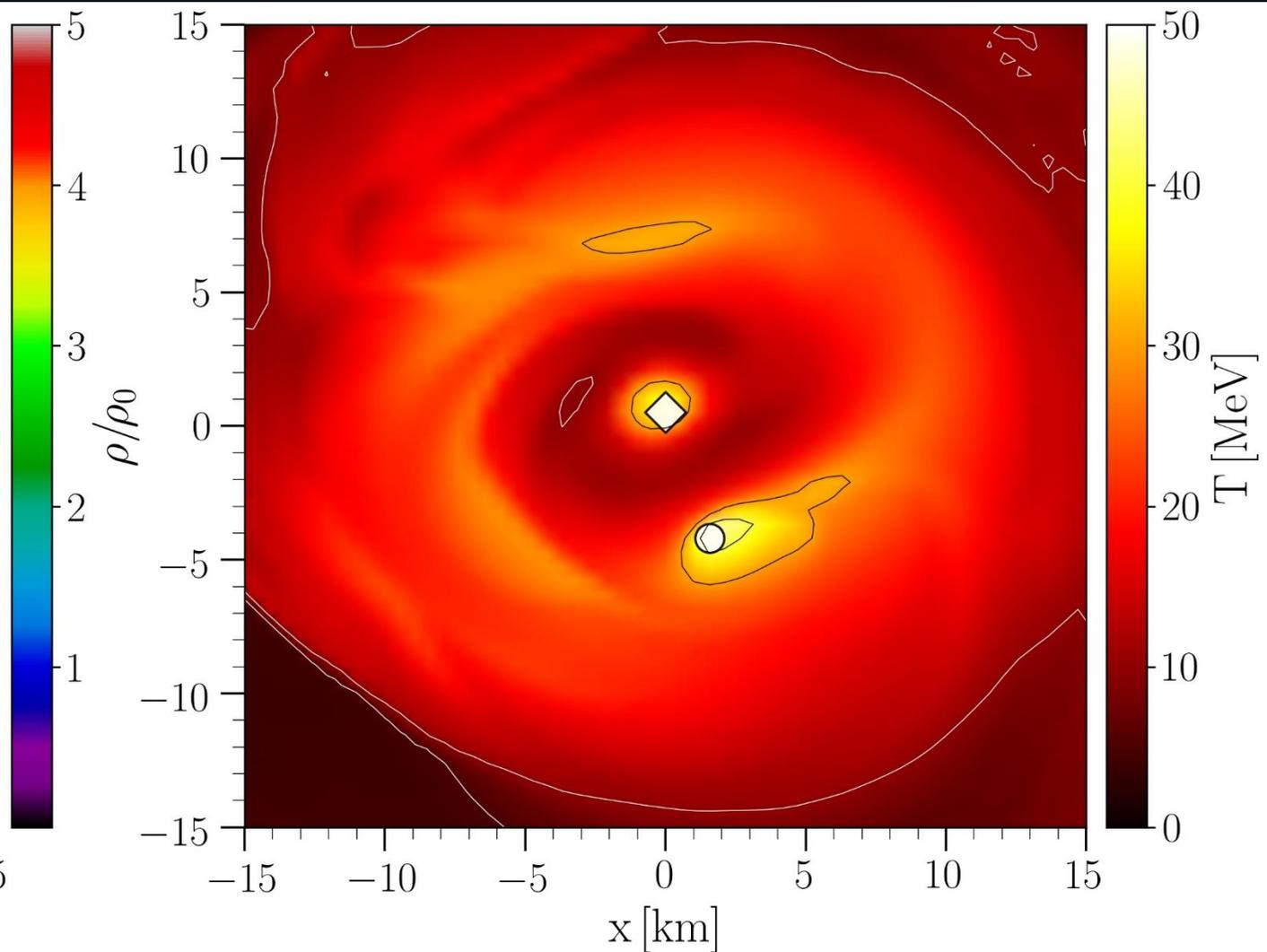
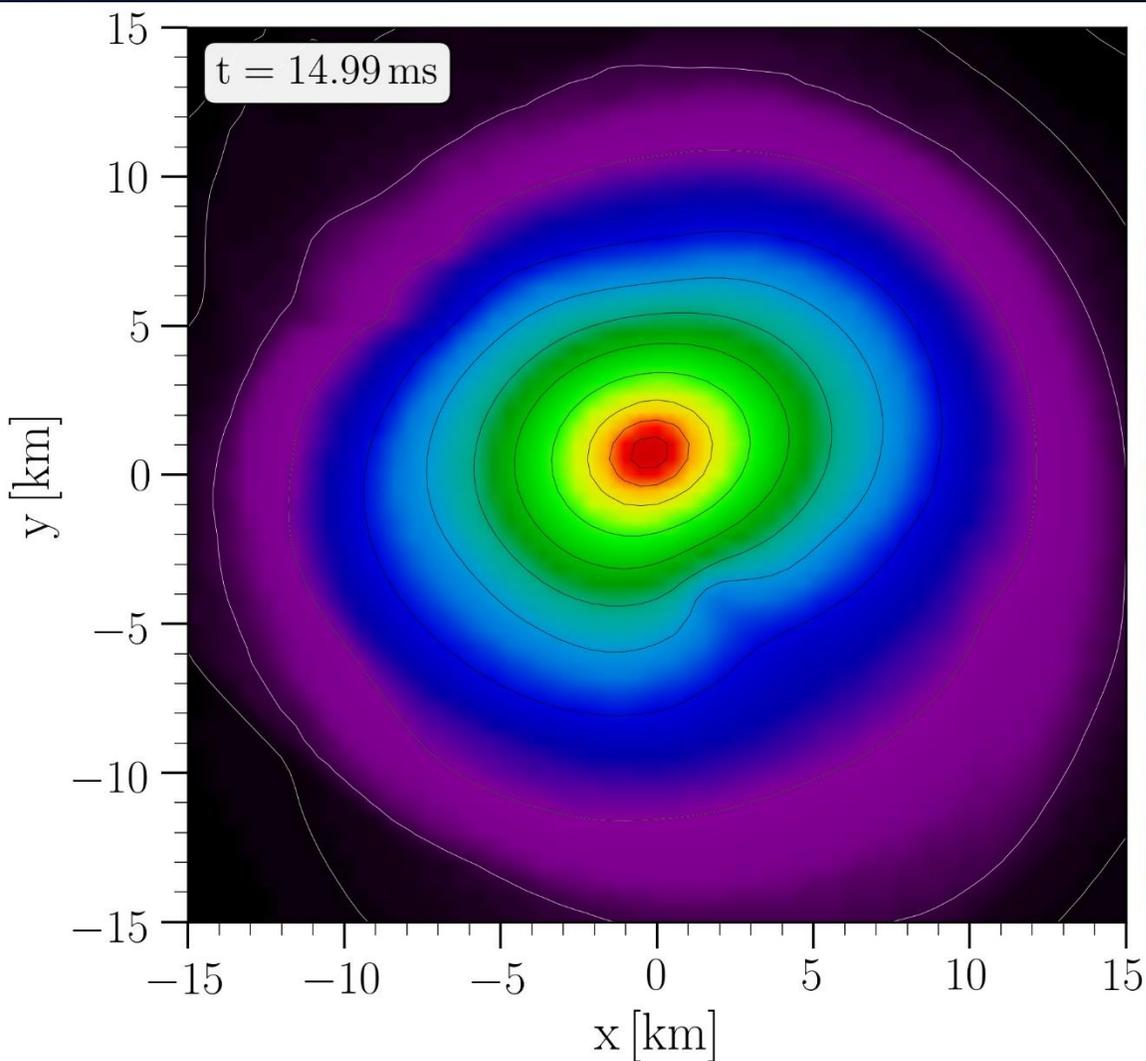
Post Merger Phase



Dichte in de



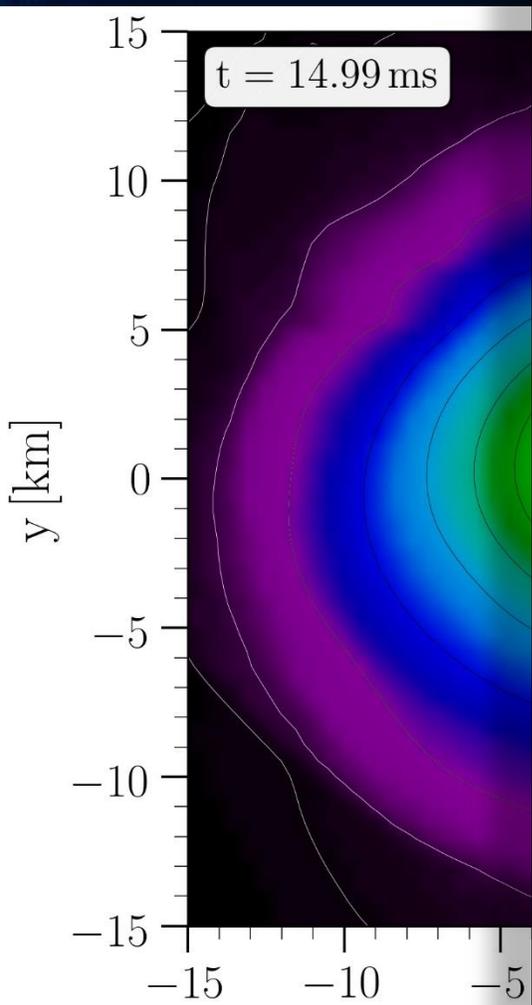
Post Merger Phase



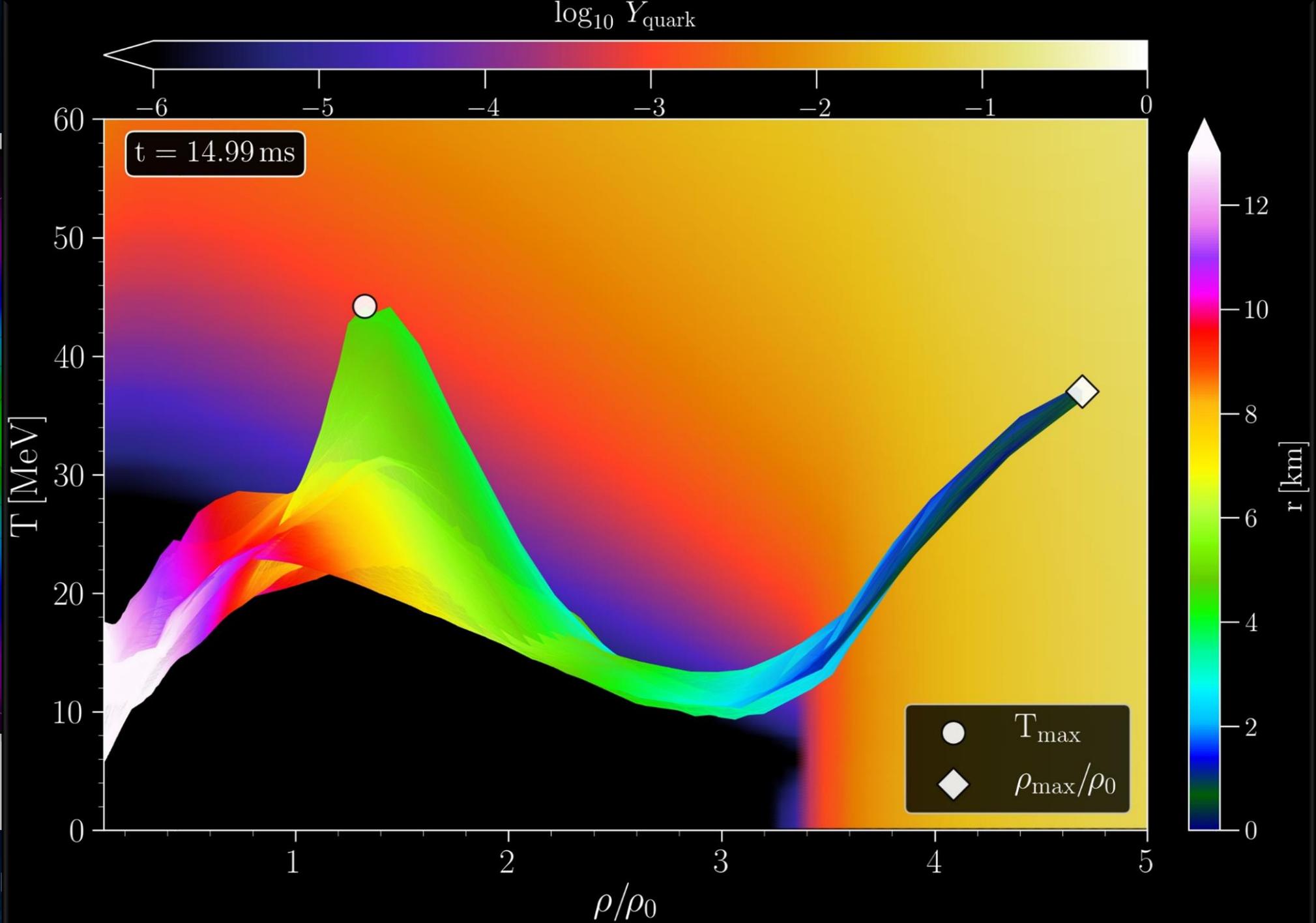
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

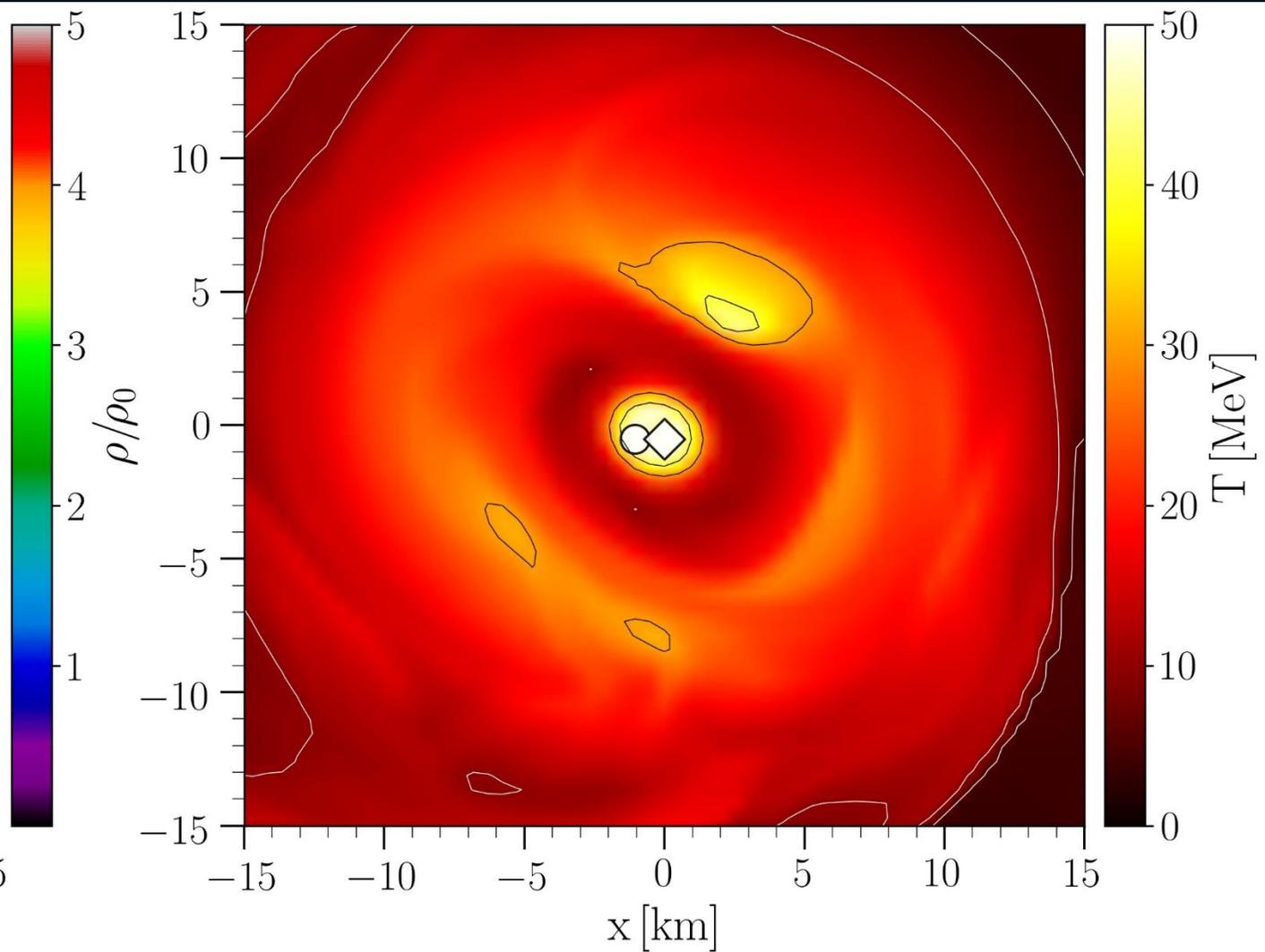
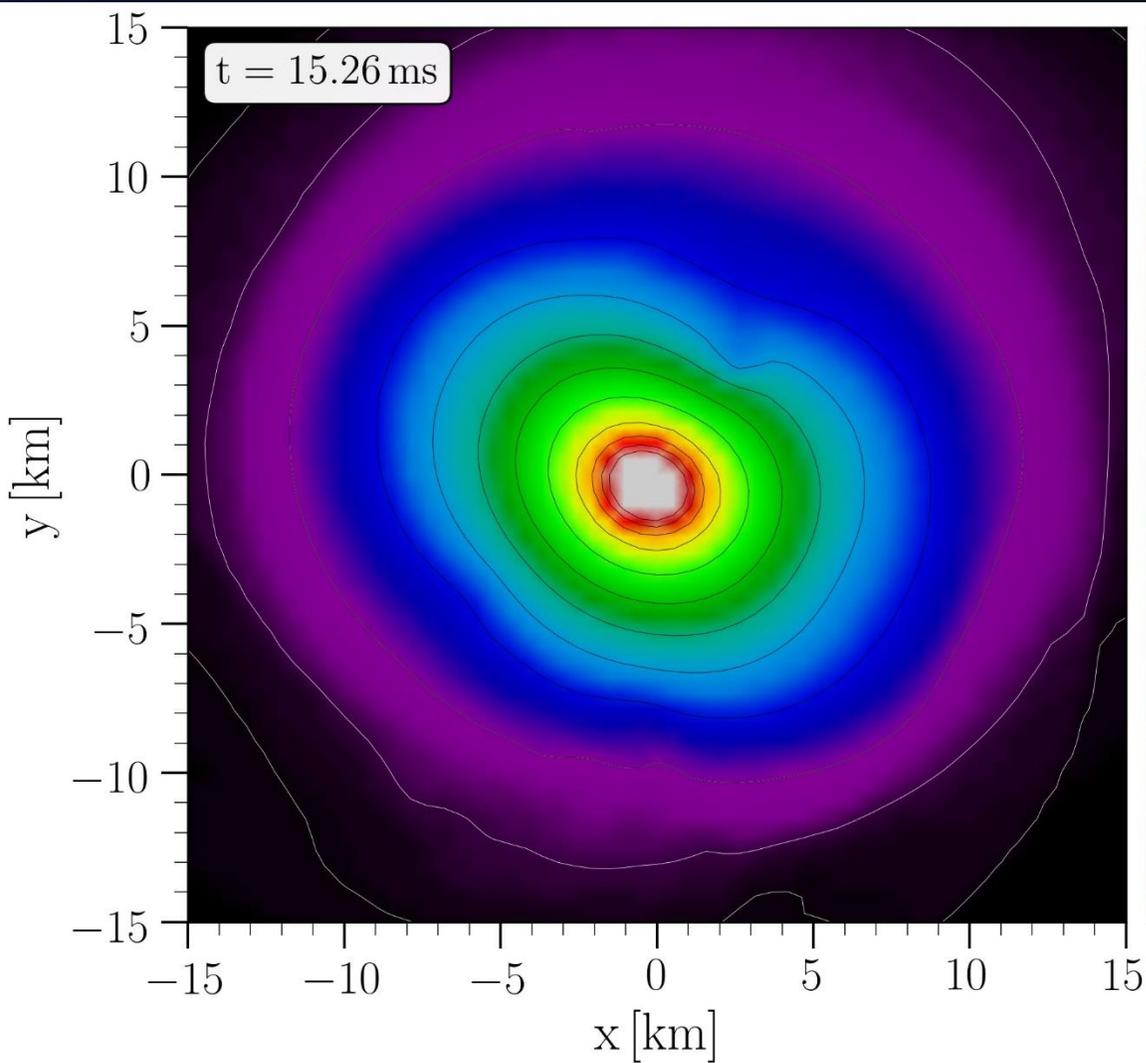
Post Merger Phase



Dichte in de



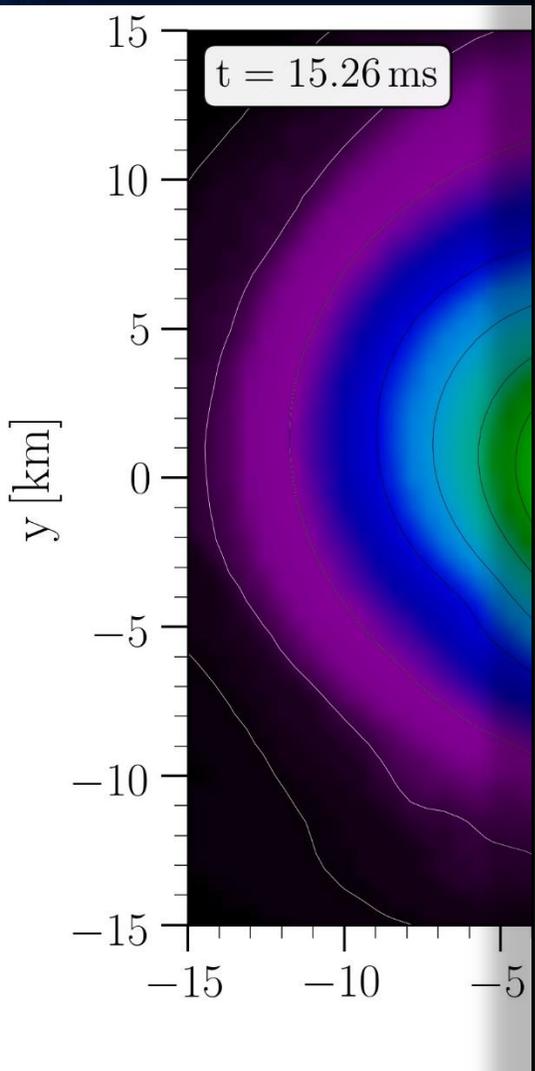
Entstehung des schwarzen Lochs



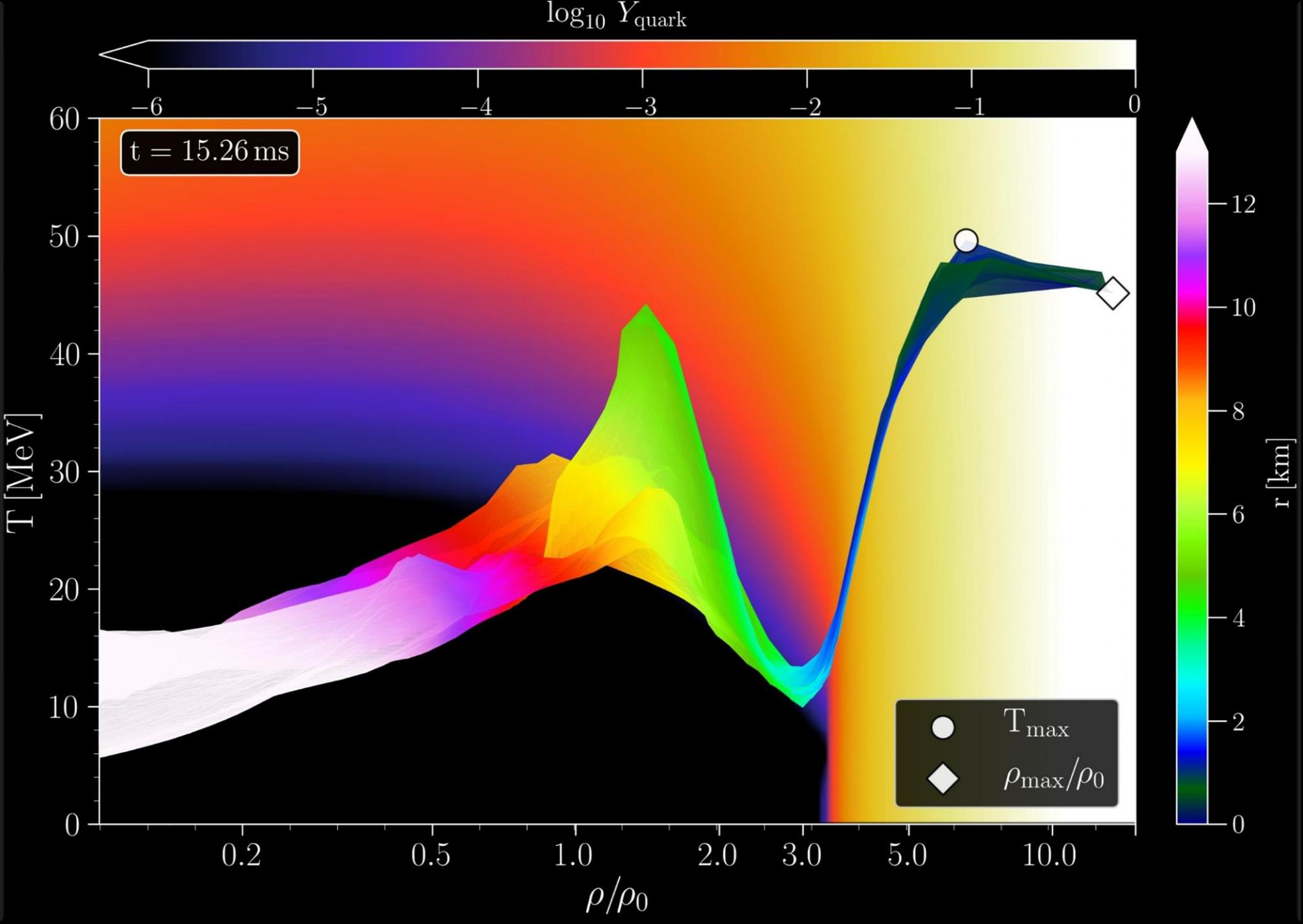
Dichte in der äquatorialen Ebene

Temperatur in der äquatorialen Ebene

Entstehung des schwarzen Lochs



Dichte in de

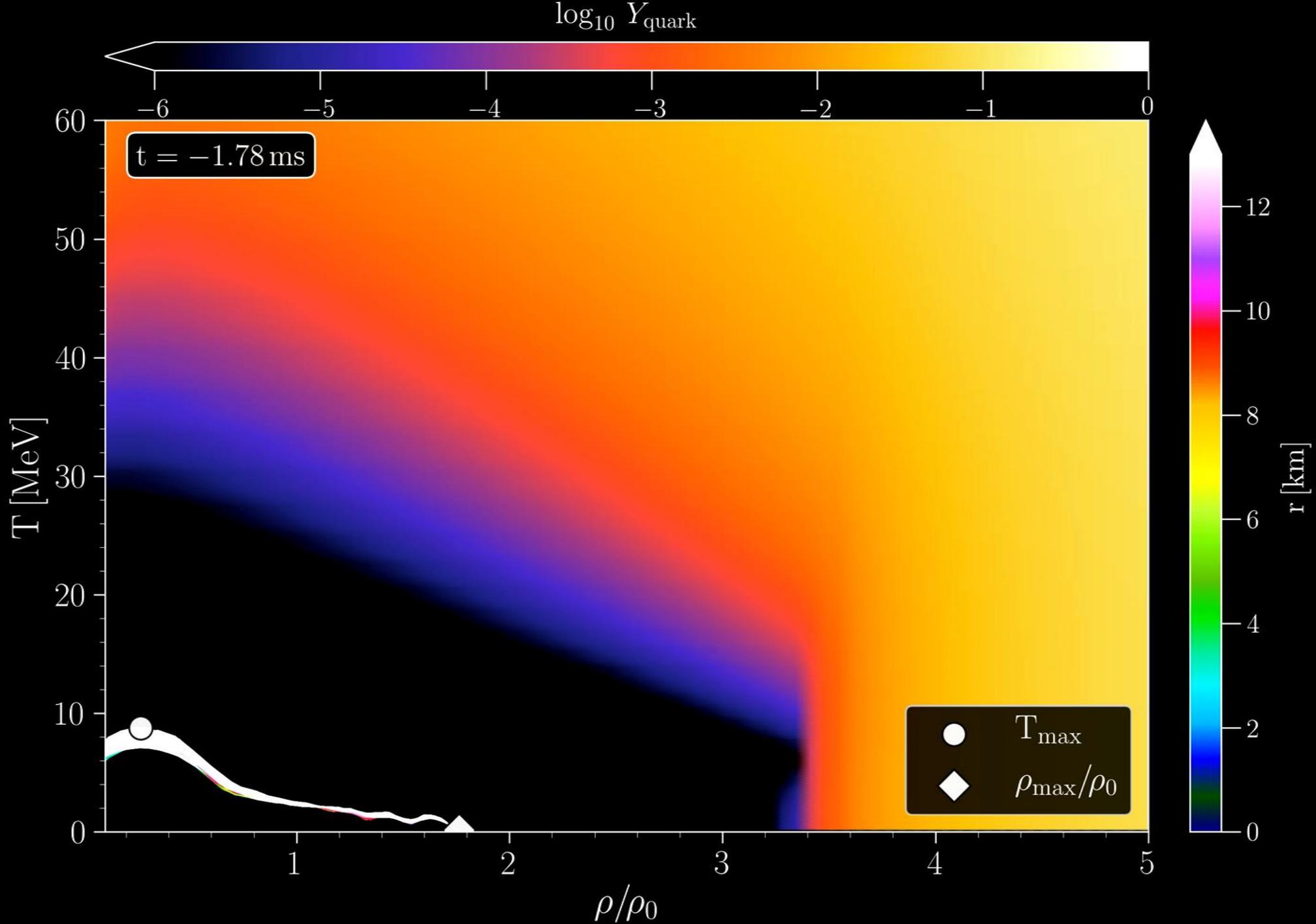


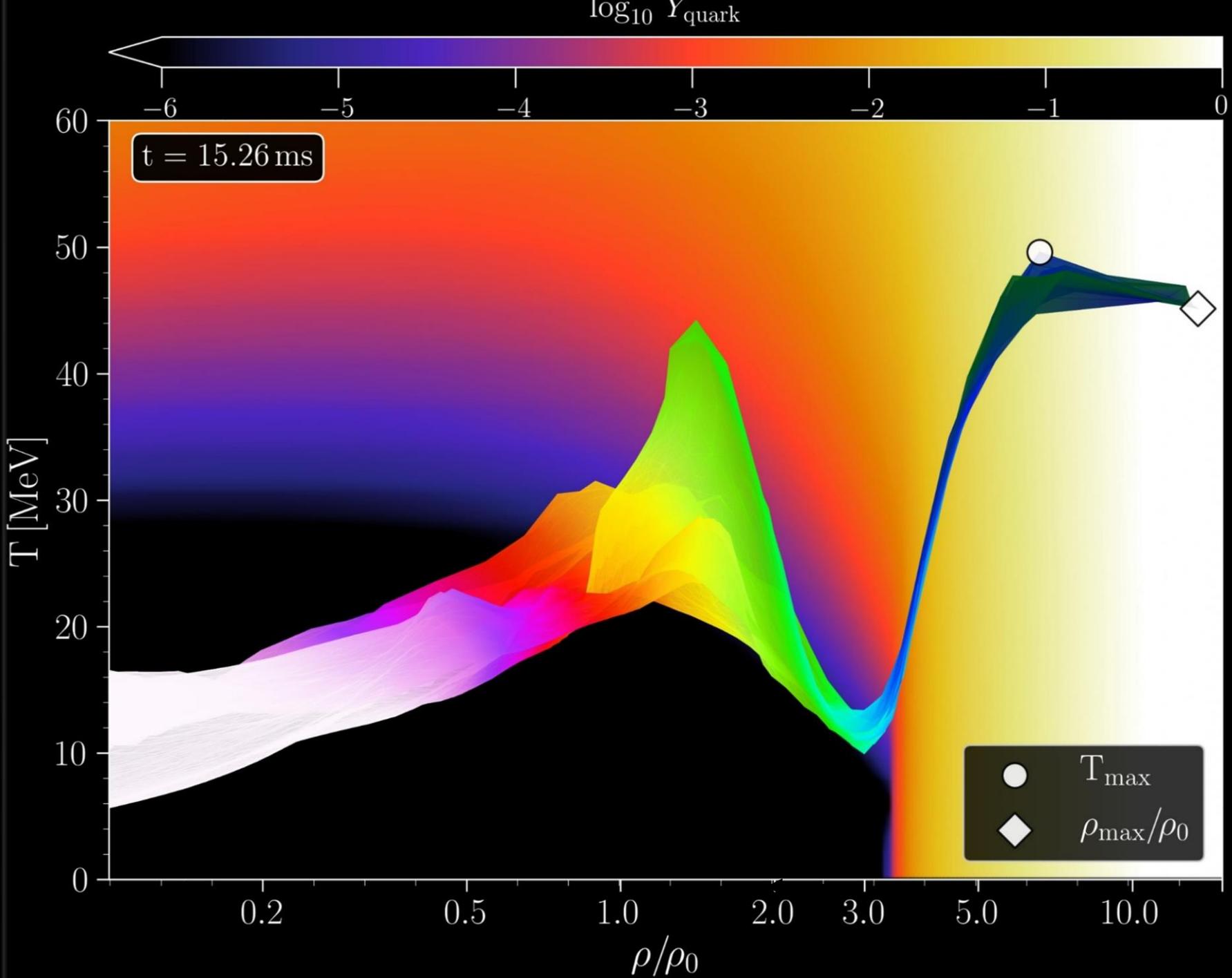
Phase-transition triggered collapse scenario

Signatures of quark-hadron phase transitions in general-relativistic neutron-star mergers

ER Most, LJ Papenfort, V Dexheimer, M Hanauske, S Schramm, H Stöcker and L. Rezzolla

Physical review letters 122 (6), 061101 (2019)



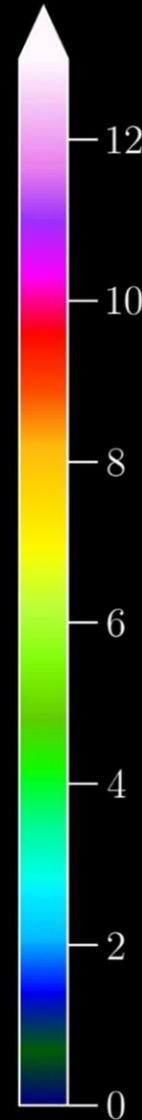


The Strange Bird Plot

Während sich im Kopf des seltsamen Vogels die Quarks bereits aus ihrem Confinement Käfig befreit haben, besteht sein Körper noch maßgeblich aus hadronischen Teilchen.

Gerade zu diesem Zeitpunkt bildet sich der Ereignishorizont um den dichten und heißen Vogelkopf und die befreite, seltsame Quarkmaterie wird durch die Bildung des schwarzen Loches makroskopisch confined.

r [km]



Das Einstein-Podolsky-Rosen Paradoxon

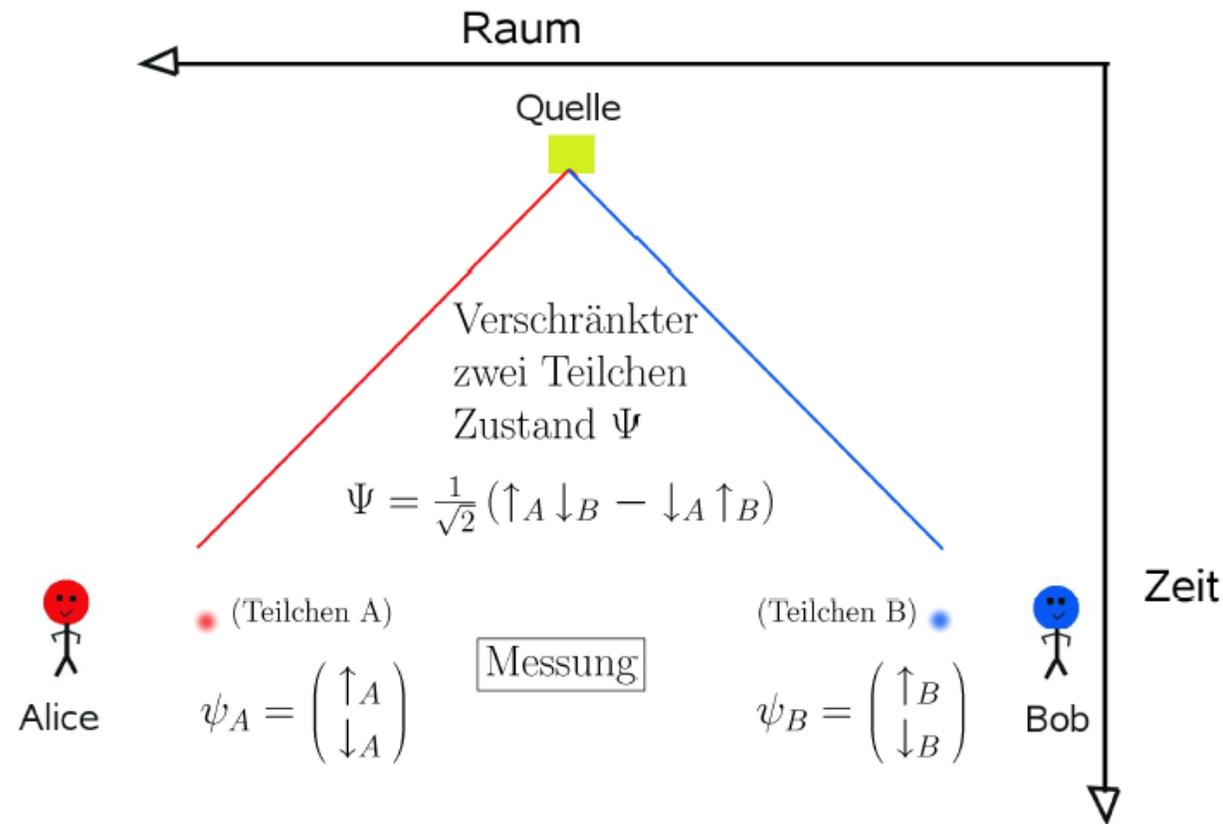


Figure: EPR Gedankenexperiment: Obwohl es keine messbare Wechselwirkung zwischen den Teilchen A und B gibt, sind diese dennoch mittel einer Quantenverschränkung verbunden.

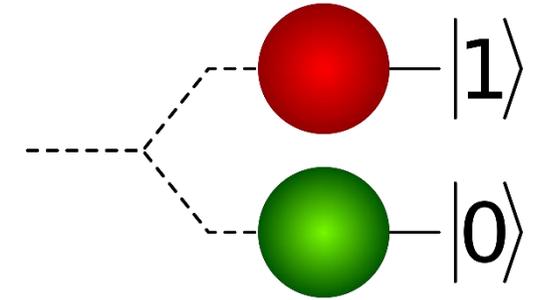
Anwendungen der Quantenverschränkung

Quantencomputer



Ein Quantencomputer basiert auf einem Prozessor, dessen Funktion auf den Gesetzen der Quantenmechanik beruht. In einem klassischen Computer werden sämtliche Informationen in „Bits“ (entweder Null oder Eins) dargestellt. Ein Quantencomputer hingegen arbeitet auf der Basis von „QuBits“ (quantenmechanisch verschränkter Zustand). Quantencomputer können bestimmte Probleme viel schneller lösen als klassische Computer.

Qubit durch Verschränkung
der Eigenzustände



Quanten-Spieltheorie

Die Quanten-Spieltheorie stellt eine mathematische und konzeptuelle Erweiterung der klassischen Spieltheorie dar. Der Raum aller denkbaren Entscheidungswege der Akteure wird vom rein reellen, messbaren Raum in den Raum der komplexen Zahlen (reelle und imaginäre Zahlen) ausgedehnt. Durch das Konzept der möglichen quantentheoretischen Verschränkung der Entscheidungswege im imaginären Raum aller denkbaren Quantenstrategien können gemeinsame, durch kulturelle oder moralische Normen entstandene Denkrichtungen in die evolutionäre Dynamik mit einbezogen werden.

Anwendungen der Quantenverschränkung

Quantencomputer

Ein Quantencomputer basiert auf einem Prozessor, dessen Funktion auf den Gesetzen der Quantenmechanik beruht. In einem klassischen Computer werden sämtliche Informationen in „Bits“ (entweder Null oder Eins)

Qubit durch Verschränkung der Eigenzustände

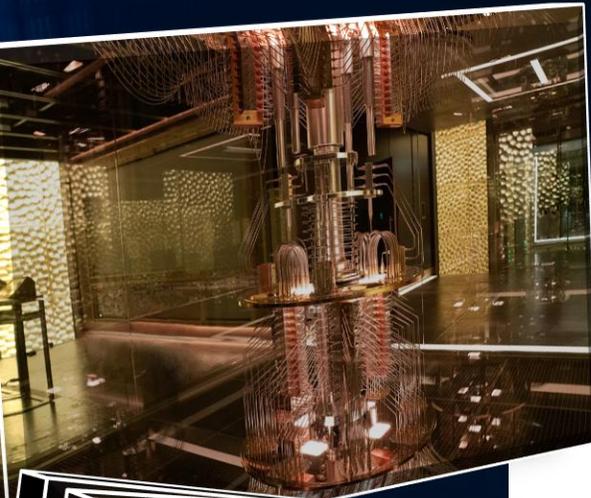


Quantum Computer and Quantum Game Theory

2002, J. Du, H. Li, X. Xu, M. Shi, J. Wu, X. Zhou and R. Han
Experimental realization of quantum games on a quantum computer, PRL 88 (137902)

2007, R. Prevedel, A. Stefanov, P. Walther and A. Zeilinger
Experimental realization of a quantum game on a one-way quantum computer, New Journal of Physics 9 (205)

2008, P. Benicio, Melo de Sousa, R. V. Ramos
Multiplayer Quantum Games and its Application as Access Controller in Architecture of Quantum Computers, arXiv:0802.3684v2



Science-Fiction Miniserie

DEVS

Raum aller denkbaren komplexen Zahlen (reelle und imaginäre Teile) durch Verschränkung der Eigenzustände durch kulturelle oder andere Faktoren werden.

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Journal of Mathematical Psychology 50 (2006) 220–241

Journal of Mathematical Psychology

www.elsevier.com/locate/jmp

Quantum dynamics of human decision-making

Jerome R. Busemeyer*, Zheng Wang, James T. Townsend

Indiana University, USA

December 2004; received in revised form 11 January 2006
 available online 15 March 2006

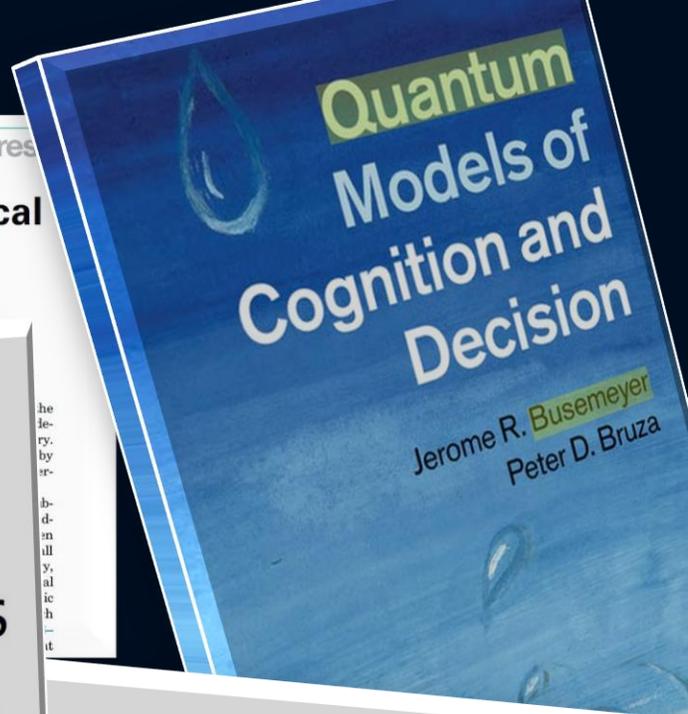
Feature Review

CellPress

Quantum cognition: a new theoretical approach to psychology

Peter D. Bruza¹, Zheng Wang², and Jerome R. Busemeyer³

¹Information Systems School, GPO Box 2434, Queensland University of Technology, Brisbane, Australia
²School of Communication, 3145 Derby Hall, Indiana University, USA
³Department of Psychology, Indiana University, USA



Emmanuel Haven • Andrei Khrennikov
 Editors

The Palgrave Handbook of Quantum Models in Social Science

Applications and Grand Challenges

- The *Quantum Penny Flip Game*
 1999, D. A. Meyer, *Quantum strategies*, PRL 82 (1052)
- The *Quantum Prisoner's Dilemma*
 1999, J. Eisert, M. Wilkens and M. Lewenstein, *Quantum Games and Quantum Strategies*, PRL 83 (3077)
- The *Quantum Battle of Sexes*
 2001, L. Marinatto and T. Weber, *A Quantum Approach To Static Games Of Complete Information*, Physics Letters A 272
- The *Quantum Coordination Game*
 2003, B. A. Huberman and T. Hogg, *Quantum Solution of Coordination Problems*, Quantum Information Processing 2(6)
- The *Quantum Ultimatum Game*
 2005, R. Vilela Mendes, *The Quantum Ultimatum Game*, Quantum Information Processing 4(1)

Journal of Mathematical Psychology 53 (2009) 303–305

Contents lists available at ScienceDirect

Journal of Mathematical Psychology

journal homepage: www.elsevier.com/locate/jmp

Editorial

Introduction to the special issue on quantum cognition

Peter Bruza^a, Jerome R. Busemeyer^{b,*}, Liane Gabora^c

^a Queensland University of Technology, Faculty of Information Technology, GPO Box 2434, Brisbane, Australia
^b Indiana University, Department of Psychology, Bloomington, IN, United States
^c Columbia University, Department of Psychology, Kelowna, Canada

Denkwege im Gefangenendilemma

If A betrays me it is better if I also betray A.

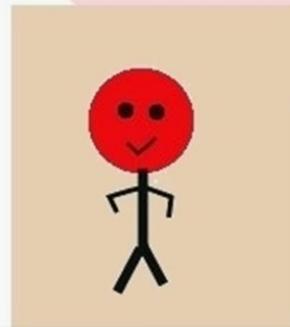
If A is silent, it is better if I betray A

Complex space of all possible ways of thinking



If B betrays me it is better if I also betray B

If B is silent, it is better if I betray B

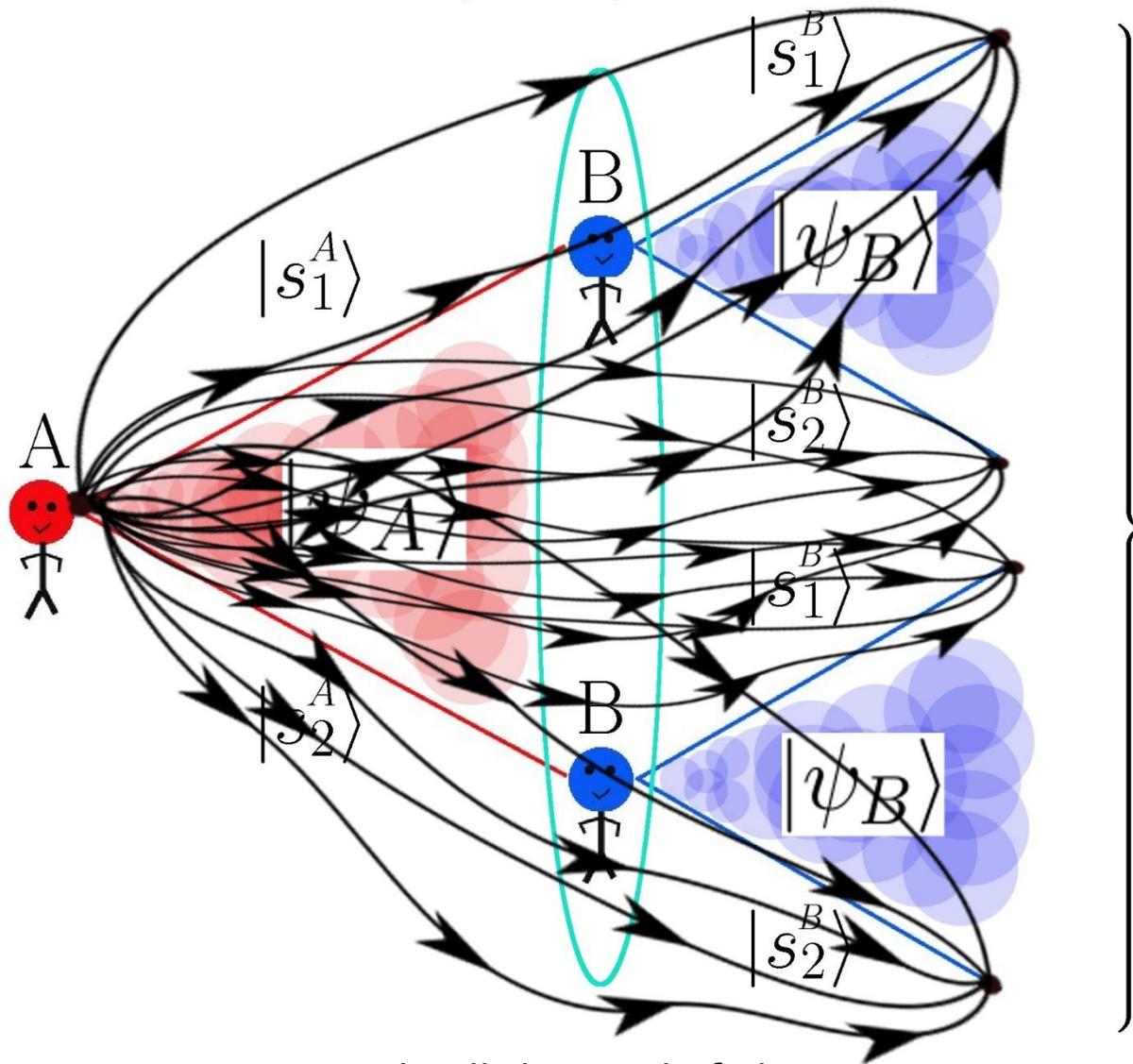


be silent

betray B

	be silent	betray A
A\B	C	D
C	$(-1, -1)$	$(-5, 0)$
D	$(0, -5)$	$(-4, -4)$

$|\Psi\rangle$



Unterschiedliche Denkpfade
im verschränkten Quantenspiel

Entscheidungs/Messprozess

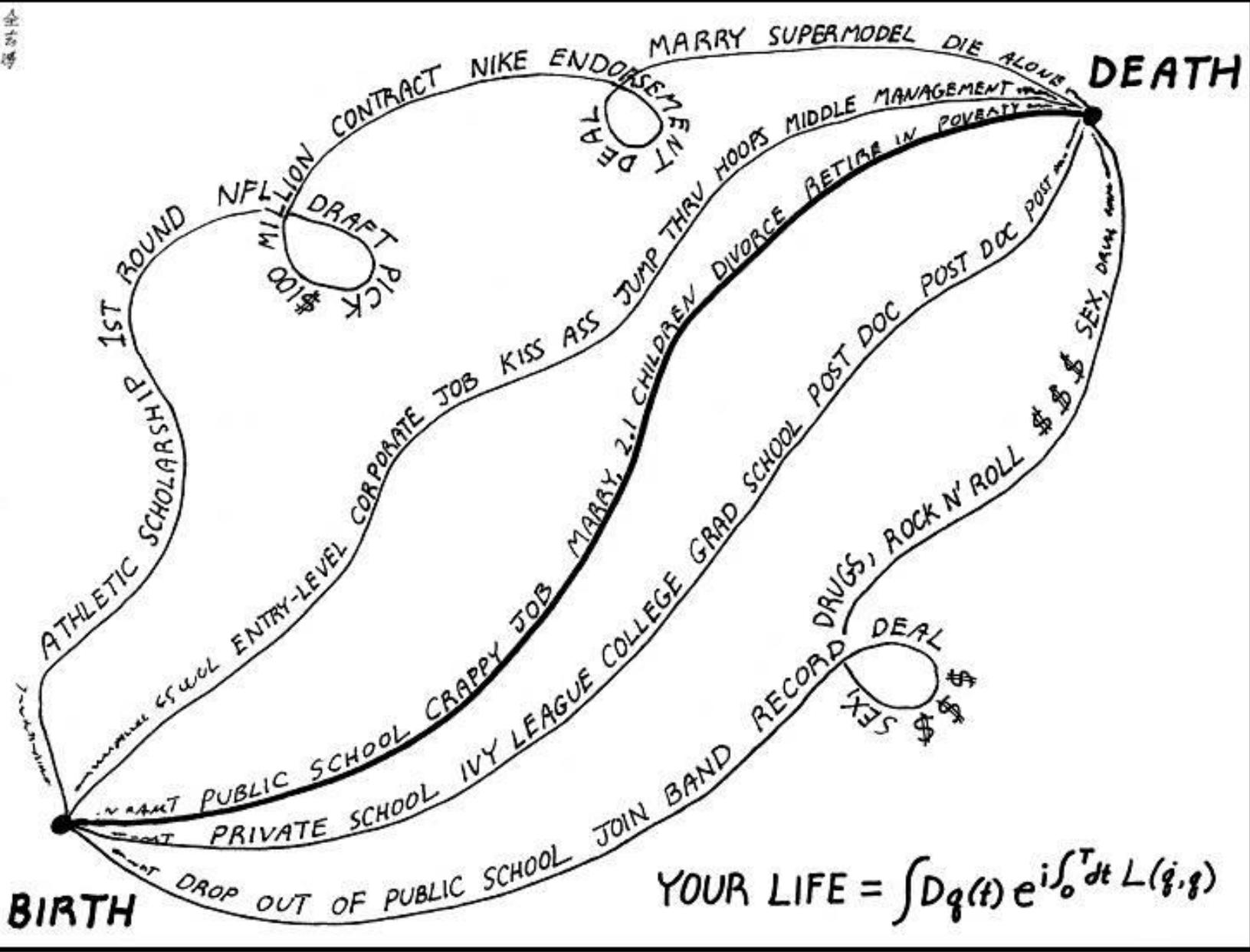
Parallelwelten Interpretation (H.Everett)

$|s_1^A s_1^B\rangle$  Universum 1

$|s_1^A s_2^B\rangle$  Universum 2

$|s_2^A s_1^B\rangle$  Universum 3

$|s_2^A s_2^B\rangle$  Universum 4



Parallelwelten Interpretation (H.Everett)

$|s_1^A s_1^B\rangle$



Universum 1

$|s_1^A s_2^B\rangle$



Universum 2

$|s_2^A s_1^B\rangle$



Universum 3

$|s_2^A s_2^B\rangle$

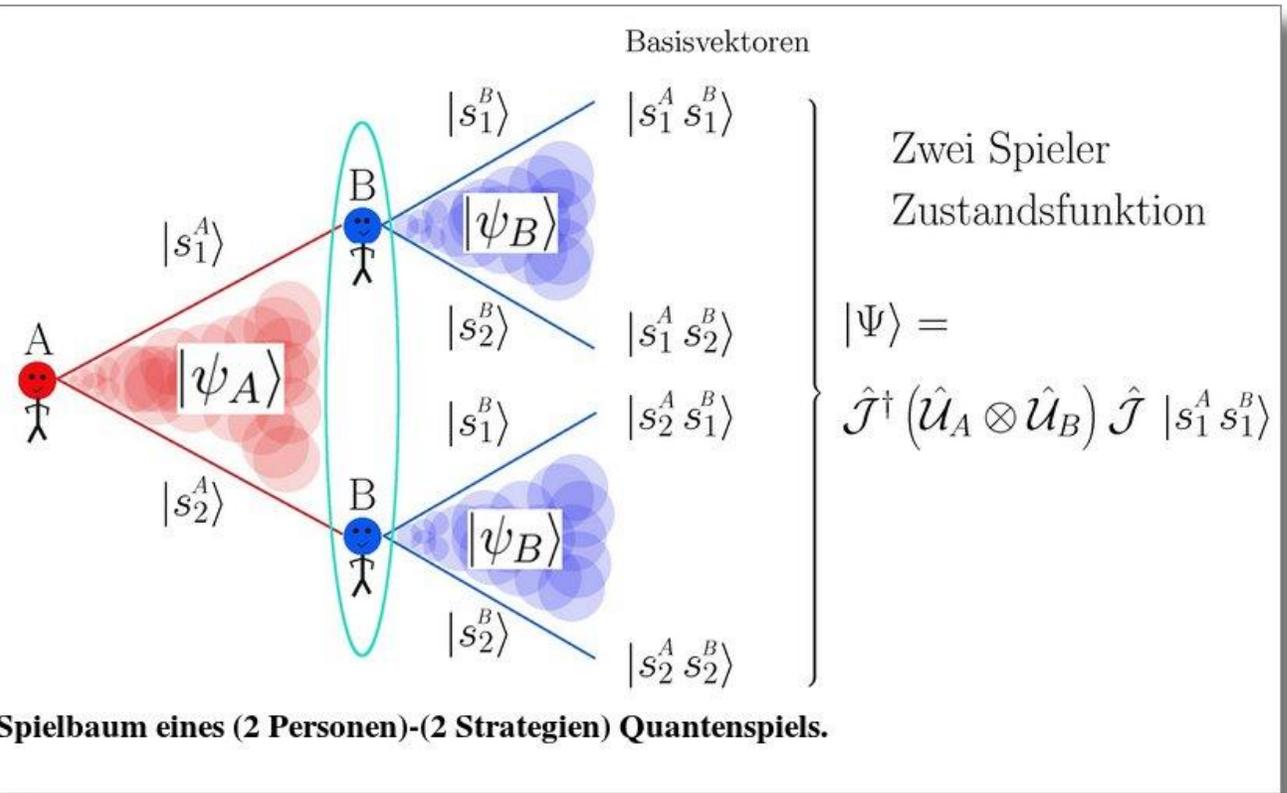


Universum 4

The Path Integral Formulation of Your Life

Evolutionäre Quantenspieltheorie

Zeitliche Entwicklung einer ganzen Population von Spielern (Akteuren, Entscheidern)



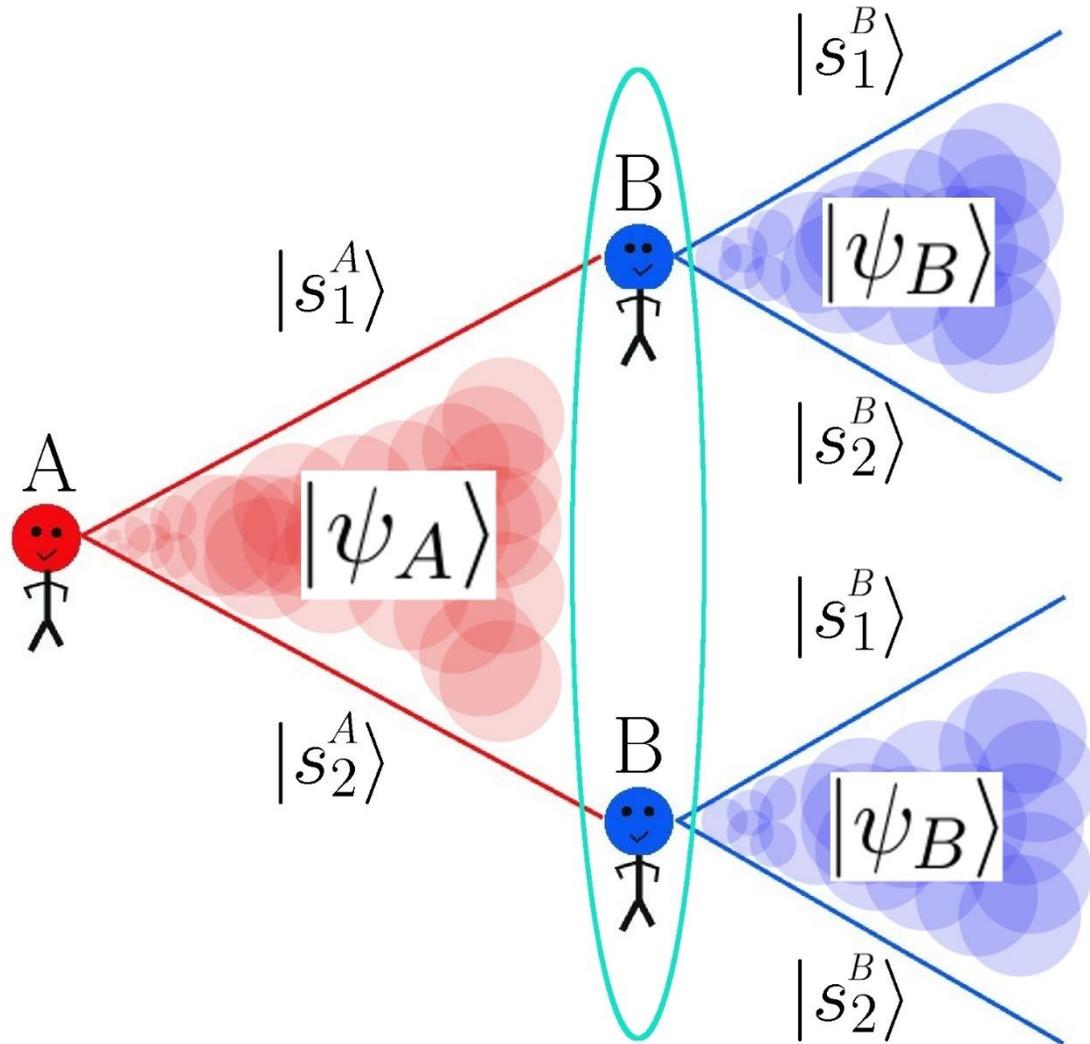
Die Quantenspieltheorie stellt eine mathematische und konzeptuelle Erweiterung der klassischen Spieltheorie dar. Der Raum aller denkbaren Entscheidungswege der Spieler wird vom rein reellen, messbaren Raum in den Raum der komplexen Zahlen (reelle und imaginäre Zahlen) ausgedehnt. Durch das Konzept der möglichen quantentheoretischen Verschränkung der Entscheidungswege im imaginären Raum aller denkbaren Quantenstrategien können gemeinsame, durch kulturelle oder moralische Normen entstandene Denkrichtungen in die evolutionäre Dynamik mit einbezogen werden. Ist die Strategienverschränkung der Spieler im imaginären Raum der denkbaren Entscheidungswege nur genügend groß, so können zusätzliche Nash-Gleichgewichte auftreten und zuvor existente dominante Strategien sich auflösen.

Die Quanten-Spieltheorie beschreibt den Entscheidungszustand eines Spielers $\mu = A, B$, bevor dieser die endgültige Wahl der reinen Strategie getroffen hat, als eine komplexwertige Größe (einen sog. Spinor $|\psi\rangle_A$ bzw. $|\psi\rangle_B$) in einem zweidimensionalen Zustandsraum, dem sogenannten Hilbertraum \mathcal{H}_A bzw. \mathcal{H}_B . Der Zwei-Spielerzustand $|\Psi\rangle$ ist ein

Durch eine quantentheoretische Verschränkung der imaginären Entscheidungswege innerhalb eines Akteur Netzwerks kann es einer Population gelingen einer Dilemma-ähnlichen Situation zu entkommen, falls der Wert der Verschränkung einen bestimmten Schwellenwert überschreitet.

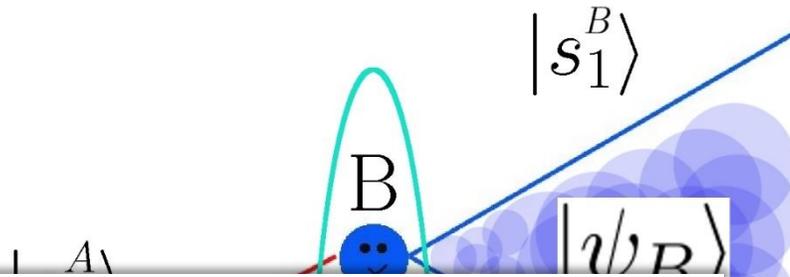
Die verschränkte Spezies-Zustandsfunktion

$$|\Psi\rangle$$



Die verschränkte Spezies-Zustandsfunktion

$$|\Psi\rangle$$



the Wheeler-DeWitt equation says

$$\hat{H}(x)|\psi\rangle = 0$$

where $\hat{H}(x)$ is the Hamiltonian constraint in quantized general relativity and $|\psi\rangle$ stands for the wave function of the universe.

Universal wavefunction

From Wikipedia, the free encyclopedia

The **universal wavefunction** (or **wave function**), a term introduced by Hugh Everett in his PhD thesis^[1] *The Theory of the Universal Wave Function*, informs a core concept in the relative state interpretation^{[2][3]} or many-worlds interpretation^{[4][5]} of quantum mechanics.

$$|\psi_B\rangle$$

$$|s_2^B\rangle$$



Physik der
sozio-ökonomischen Systeme
mit dem Computer



Online Vorlesungen und Zusatzmaterialien

Augrund der Corona Krise findet die Vorlesung und die Übungstermine in diesem Semester nur Online statt. Auf die dafür eingerichtete Internetseite gelangen Sie, wenn Sie die nebenstehende Abbildung anklicken.



Physik der sozio-ökonomischen Systeme mit dem Computer
(Physics of Socio-Economic Systems with the Computer)

Vorlesung WS 2020/2021, Fr. 15-17.00 Uhr

Augrund der Corona Krise findet die Vorlesung und die Übungstermine in diesem Semester nur Online statt (näheres siehe [HIER](#)).

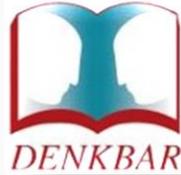
Diese Vorlesung gibt eine Einführung in das interdisziplinäre Forschungsfeld der *Physik sozio-ökonomischer Systeme*. In sozio-ökonomischen Systemen, wie z.B. bei Finanzmärkten, sozialen Netzwerken, Verkehrssystemen oder wissenschaftliche Kooperationsnetzwerken, sind die dem System zugrunde liegenden Akteure ständigen Entscheidungssituationen ausgesetzt, wobei der Erfolg und die Auswirkung der individuell gewählten Strategie von den Entscheidungen der anderen beteiligten Akteuren abhängt. Die (evolutionäre) Spieltheorie und die Physik komplexer Netzwerke stellen die beiden Grundsäulen der theoretischen Beschreibung und mathematischen Formulierung solcher Systeme dar. Im ersten Teil des Kurses werden die grundlegenden Konzepte der Spieltheorie thematisiert und die Studierenden erlernen, unter Verwendung von Python Jupyter Notebooks (eine Open-Source, web-basierte interaktive Programmierungsumgebung) und Computeralgebra-Systemen (wie z.B. Maple und Mathematica), deren Anwendung auf diverse Spielklassen. Neben den simultanen Zweipersonen-Spielen wird auch auf die

<http://www.hinterdernatur.de/>

16. und 30. März 2021

Wolfgang Platen, Hinter der Natur e.V.

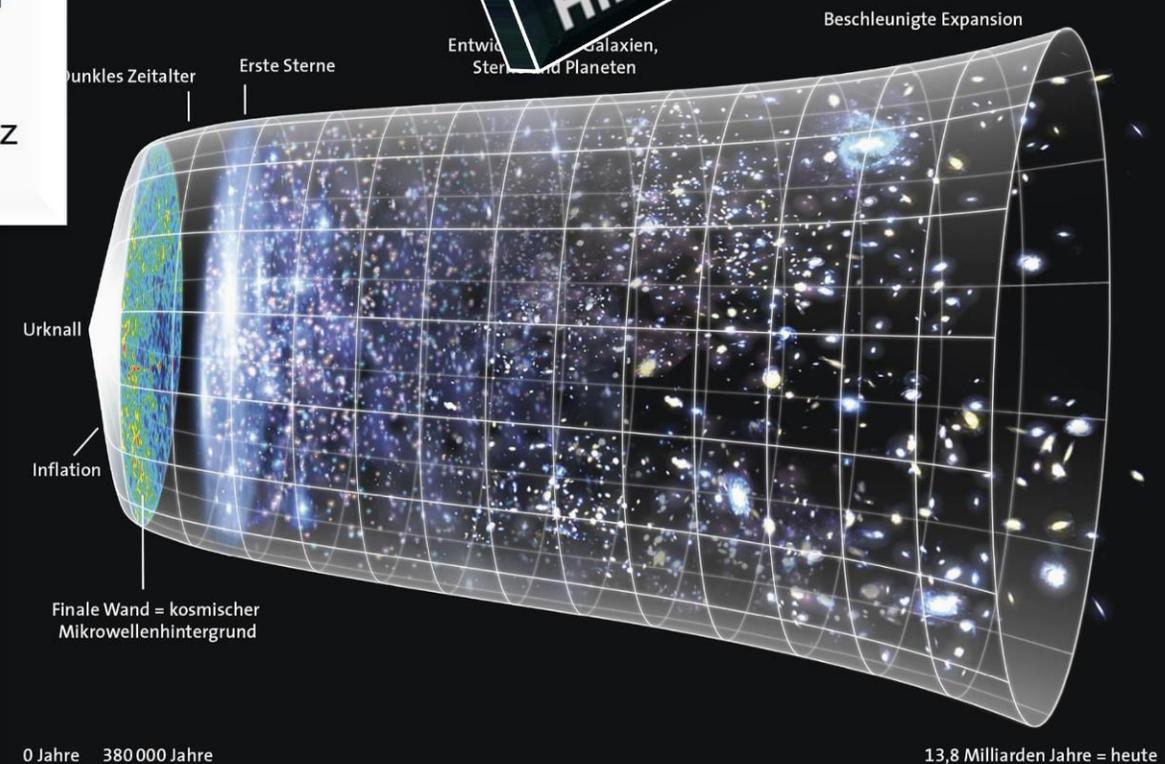
Wie die Welt in die Welt kam



Wolfgang Platen, Hinter der Natur, Verein für Philosophie und Naturwissenschaft e.V., stellt im Rahmen des Projekts „Wildes Denken“ einige Gedanken zur Evolution des Kosmos, zum Verhältnis von Möglichkeit und Wirklichkeit und zu einer basalen Raumzeit-Struktur des Universums zur Diskussion.

Versuch eines nachhaltig interessierten Laien, sich einen Reim auf die Existenz der Welt zu machen.

Verein für Philosophie und Naturwissenschaft
Hinter der Natur



Was war vor dem Urknall? Gibt es ein Sein hinter dem Hilbertraum?

Das absolute Nichts ist instabil



Protowelt (relatives Nichts)

Qualitativer Realitätstest einer Verbindung zum Anderen, Evolution der Naturkonstanten, Zustand mit noch nicht festgelegten Naturkonstanten, keine Zeitlichkeit



Emanzipation von dem Seinsraum der Protowelt

Entstehung der basalen Raumzeitstruktur

Urknall

Aktuell - Online-Vortrag bei Hinter der Natur e.V.

Dienstag 1. Juni 2021 - 19:00 Uhr

Urprall statt Urknall – Was geschah vor 13,8 Milliarden Jahren?

Prof. Dr. Anna Ijjas

Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover

Abstract

Hatte das Universum einen Anfang? Gehen Raum, Zeit und Materie aus einem ersten Ereignis hervor, das wir herkömmlich „Urknall“ nennen? Dies ist zumindest die Lehrmeinung der Physik seit etwa fünfzig Jahren.

Es gibt allerdings gute Gründe, das vorherrschende Paradigma infrage zu stellen und eine alternative Möglichkeit in Betracht zu ziehen. Vielleicht ist unser expandierendes Universum das Ergebnis eines „Urpralls“, also des Übergangs aus einer frühen Epoche, in der sich Raum, Zeit und Materie langsam zusammenziehen, bevor sie sich wieder ausdehnen würden. Es kann sogar sein, dass sich der Kreis von Kontraktion, Urprall und Expansion wiederholt. Wir könnten in einem zyklischen Universum leben, wo unsere Vergangenheit im gewissen Sinne auch unsere Zukunft ist.

Im Vortrag werden wir dieser neuartigen Vorstellung nachgehen und sie dem herkömmlichen Bild entgegensetzen.

Prof. Dr. Anna Ijjas

Anna Ijjas ist theoretische Physikerin und arbeitet an der Schnittstelle von Gravitationstheorie und Kosmologie. In Ungarn geboren, studierte sie an der Ludwig-Maximilians-Universität in München Mathematik und Physik. Nach einem kurzen Abstecher in die Philosophie der Physik, der ihr im Jahr 2010 eine preisgekrönte Dissertation einbrachte, schloss sie ihre (zweite) Promotion in theoretischer Physik im Jahr 2014 an der Humboldt-Universität zu Berlin ab. Ihre Dissertation beruht auf Forschungsergebnissen, die sie als Stipendiatin in Harvard und Princeton erbrachte. Danach wurde sie die erste John A. Wheeler Postdoctoral Fellow am Princeton Center for Theoretical Science und verbrachte die folgenden zwei Jahre an der Columbia University und in Harvard als leitende Wissenschaftlerin der „Origins of the Universe“-Initiative der renommierten Simons Foundation. Im Jahr 2019 trat sie die Stelle einer Lise-Meitner-Forschungsgruppenleiterin am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik in Hannover an. Im März 2021 wurde sie ebenda zur Professorin für Gravitationstheorie und Kosmologie ernannt.



DENKBAR-ONLINE