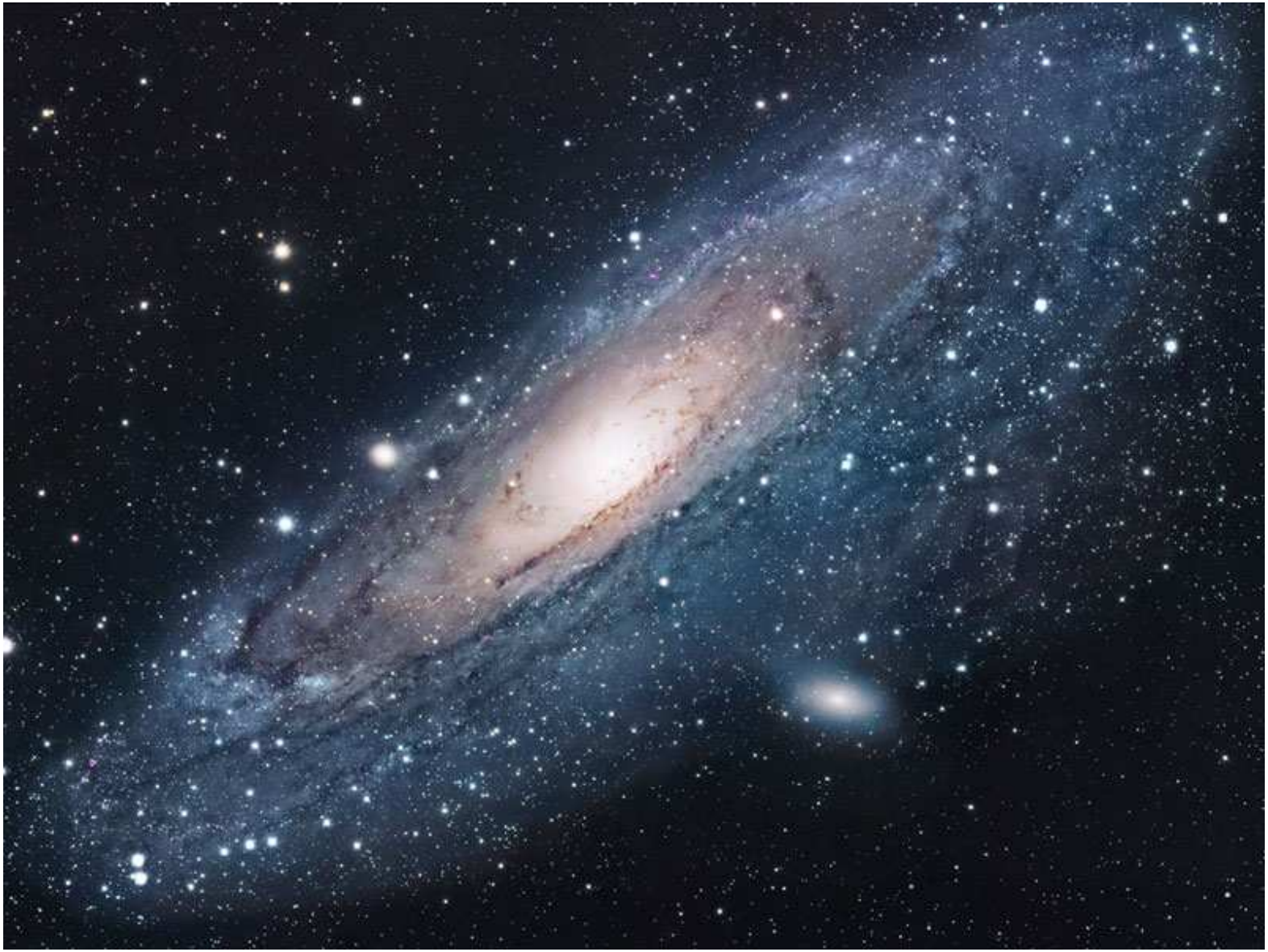
# Moderne Kosmologie

Sommerakademie Stift Keppel 2008

Claus Grupen

Universität Siegen

# Galaxie



# Übersicht I

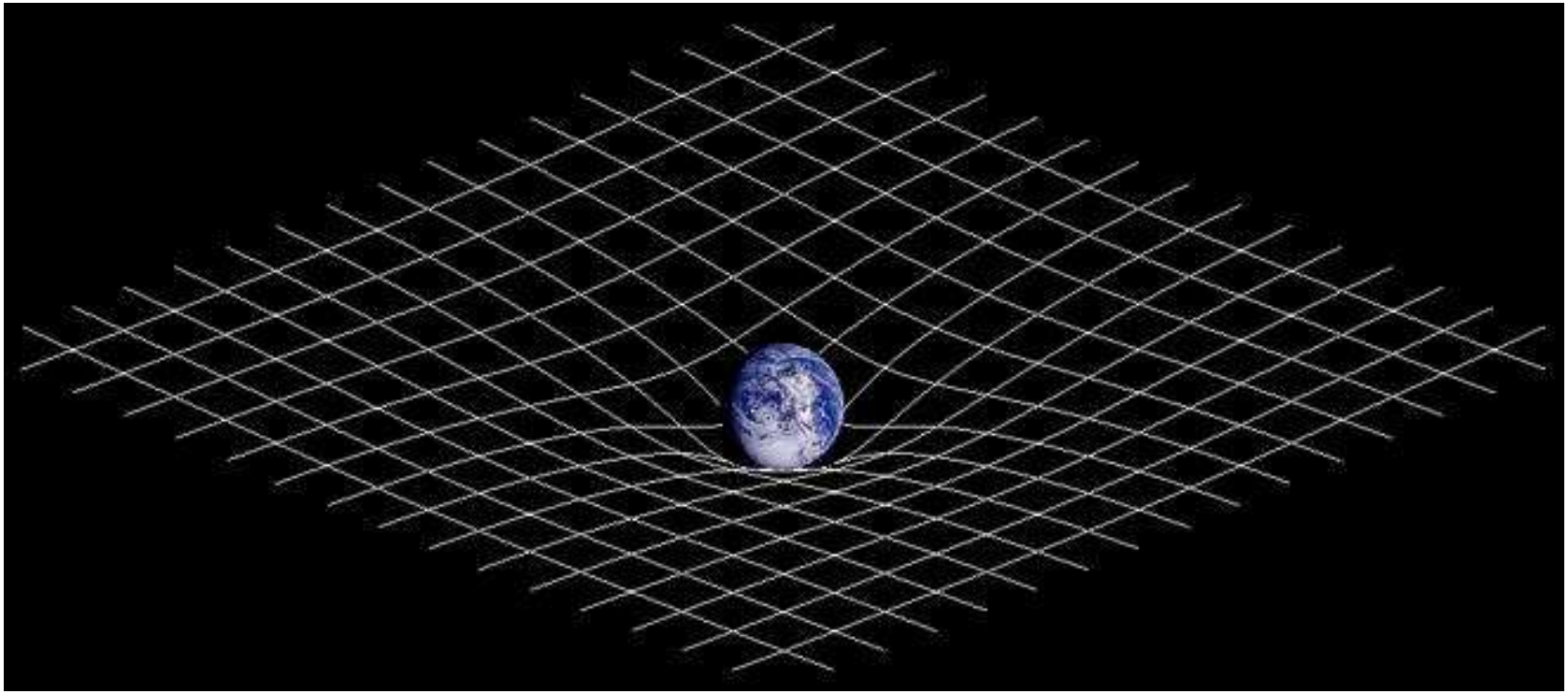
- Unsere Vorstellung vom Universum
- Raum und Zeit
- Spezielle Relativitätstheorie
- Allgemeine Relativitätstheorie
- Das expandierende Universum
- Die Unschärferelation

# Übersicht II

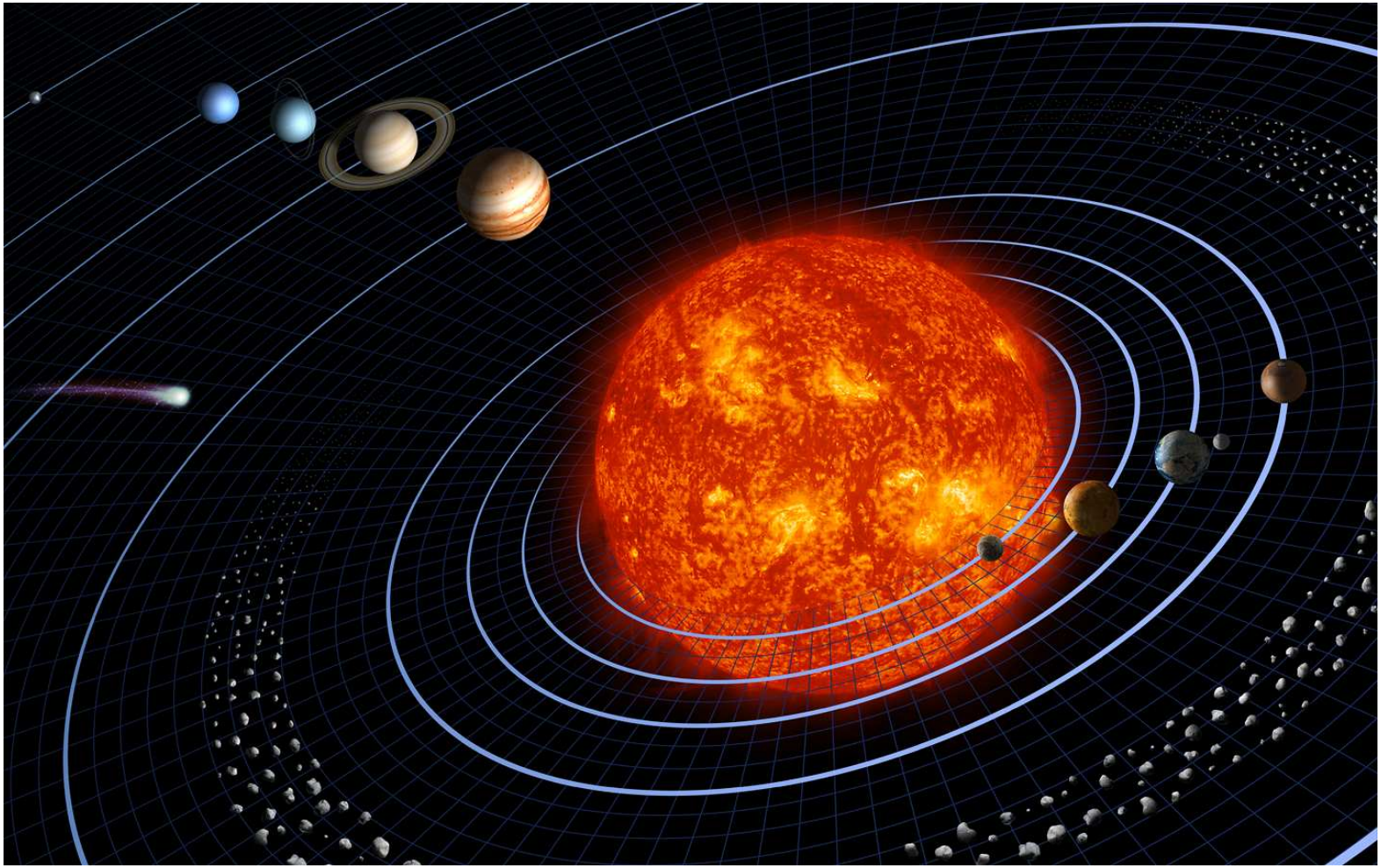
- Elementarteilchen und Naturkräfte
- Schwarze Löcher
- Ursprung des Universums
- Der Zeitpfeil
- Die Vereinheitlichung der Physik
- Offene Fragen

# Unsere Erde

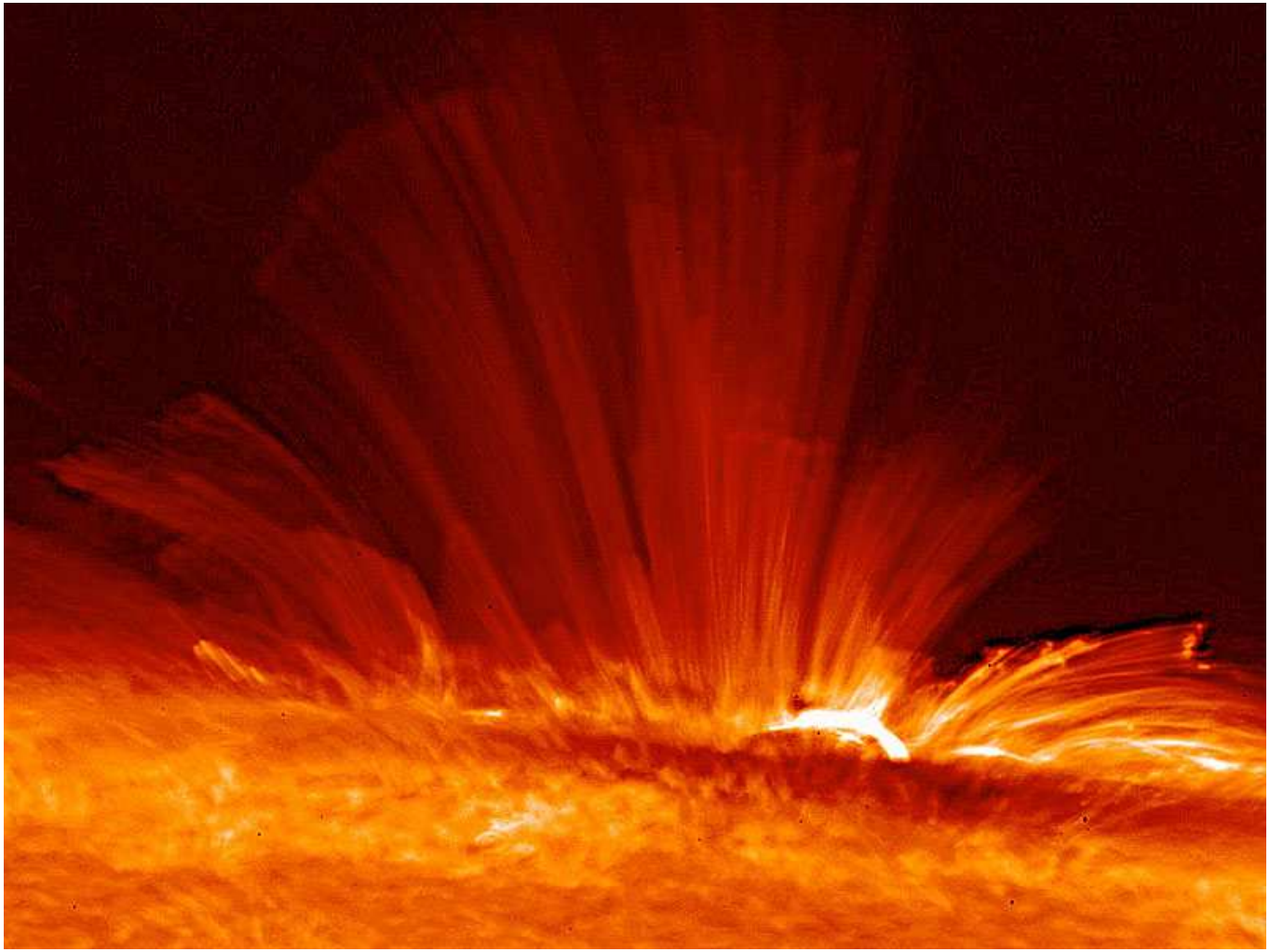
# Die Erde in der Raumzeit



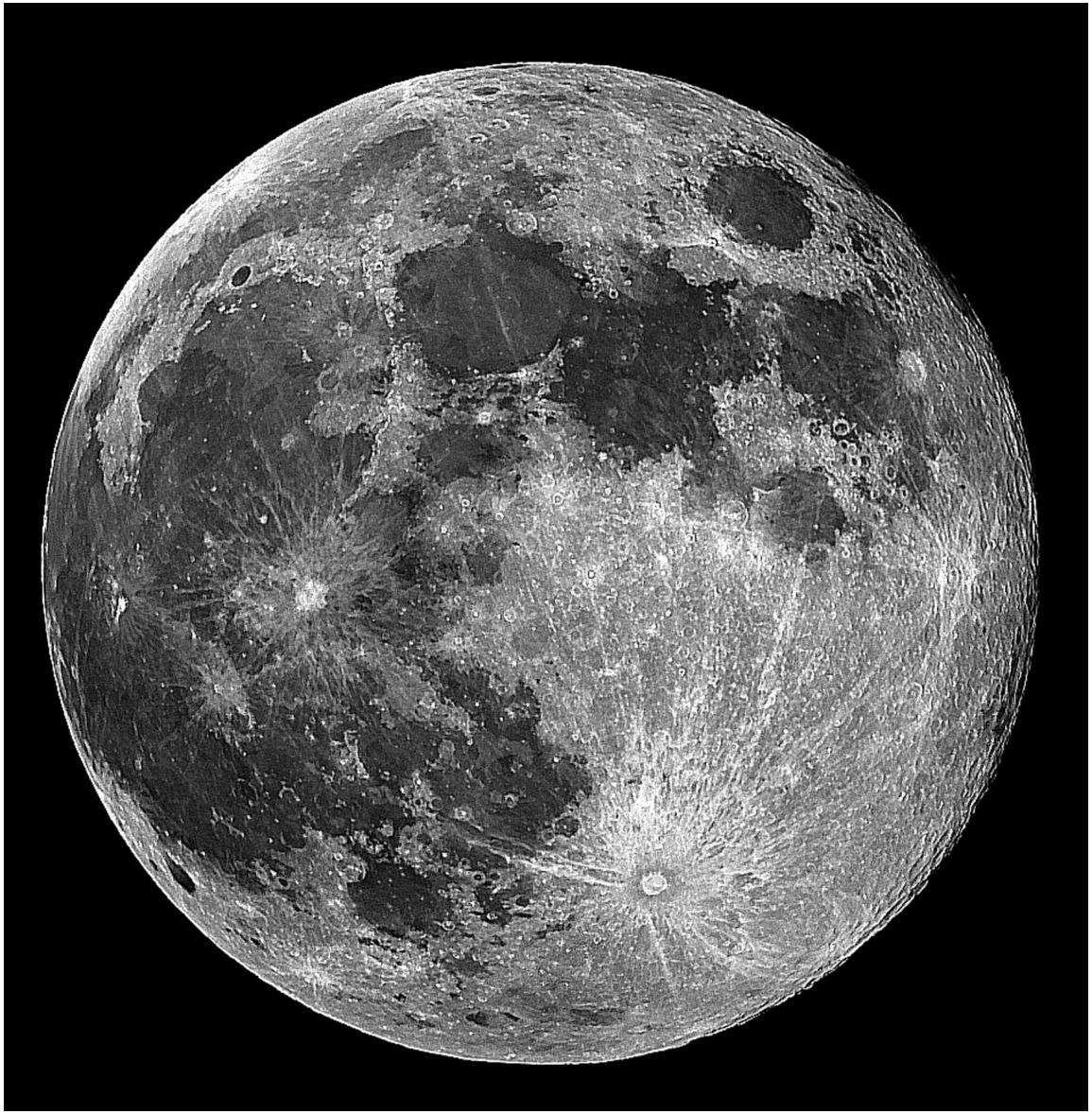
# Das Sonnensystem



# Sonneneruption



# Unser Mond



# Fragen über Fragen

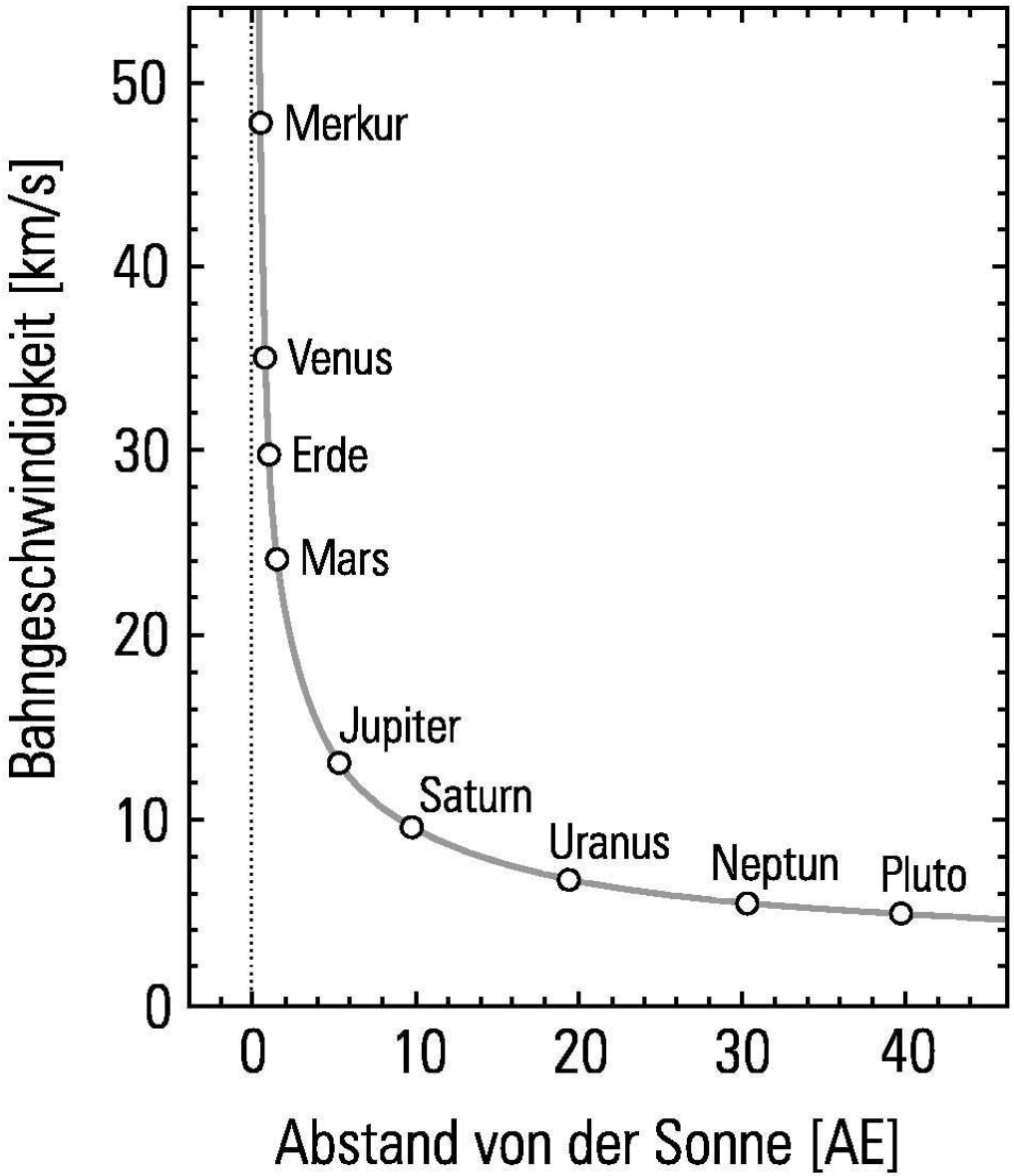
- Wir bewältigen unseren Alltag fast ohne das geringste Verständnis der Welt
- Woher kommt die (geringe) Ordnung in der Welt?
- Wieso kann Ordnung aus Chaos entstehen?
- Hat Gott eine Wahl gehabt?
- Gibt es einen Anfang der Welt?
- Was war davor?

# Das Weltbild des Ptolemäus

# Frühe Meinungen

- Aristoteles: der Erdschatten auf dem Mond ist immer rund!
- der Polarstern im Süden steht niedriger am Himmel
- Erdumfang: 400 000 Stadien ($\approx$ 40 000 km)
- Kopernikus: Heliozentrisches Bild, Kreisbahnen
- De revolutionibus orbium celestum 1543
- Kepler: Ellipsen (Tycho Brahe)
- Galileo Galilei: Jupitermonde, Fallgesetze

# Rotationsgeschwindigkeiten



# Wissenschaftliche Ansätze

- Wer bewegt die Erde? Engel? Magnetische Kräfte?
- Newton: Philosophiae naturalis principia mathematica 1687
- Gibt es endlich viele Sterne? Dann müßten sie zusammenstürzen.
- Also gibt es unendlich viele Sterne!?
- Olbertsches Paradoxon
- Hat die Zeit einen Anfang? Augustinus!
- Edwin Hubble: Expansion

# Augustinus

**De Civitate Dei**

# Spezielle Relativitätstheorie

## Lorentz-Transformationen:

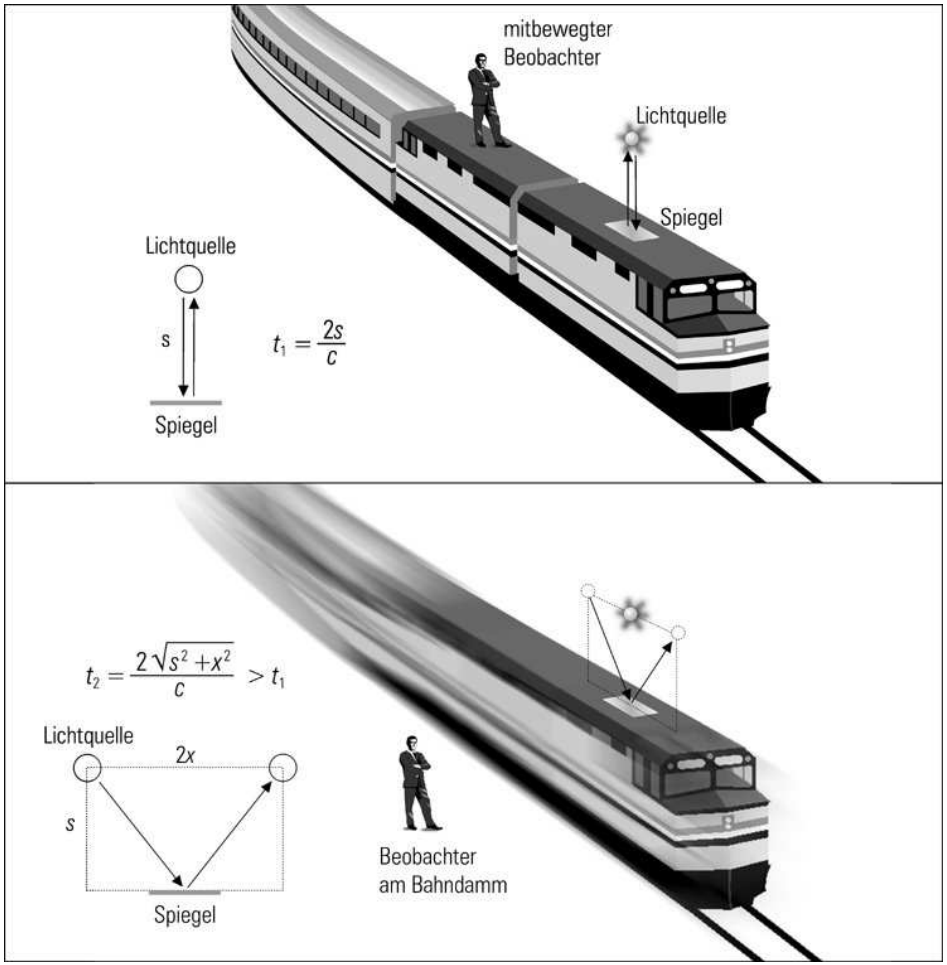
Translation entlang der x-Achse mit der Geschwindigkeit $v$

$$t' = \gamma\left(t - \frac{vx}{c^2}\right)$$
$$x' = \gamma(x - vt)$$
$$y' = y$$
$$z' = z$$

## Geschwindigkeitstransformation

$$v_{rel} = \frac{v_1 + v_2}{1 + v_1 \cdot v_2 / c^2}$$

# Uhren in verschiedenen Systemen



# Kontraktionen und Dilatationen

Lorentzfaktor $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

Massenzunahme $m = \gamma \cdot m_0 = \frac{m_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

Längenkontraktion $l = l_0\sqrt{1 - v^2/c^2}$

Zeitdilatation $t = \gamma \cdot t_0 = \frac{t_0}{\sqrt{1-v^2/c^2}}$

# Doppler-Effekt

- c - Signalgeschwindigkeit, v - Geschwindigkeit des Beobachters
- klassische Näherung
- Beobachter bewegt sich in Bezug auf eine ruhende Quelle:
- $\nu = \nu_0 \, ( 1 \pm \mathrm{v}/\mathrm{c})$
- Für Licht im Rahmen der SRT:
- $\nu = \nu_0 \cdot \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$

# Gravitative Frequenzverschiebung

- c - Signalgeschwindigkeit
- Allgemeine Relativitätstheorie
- Lichtemission von einer Masse
- z.B. von der Erde
- Energieverlust des Lichtes
- $\Delta \mathrm{E} = m_\gamma \cdot g \cdot h$
- $\rightarrow$ Frequenzerniedrigung
- Uhren im Schwerefeld gehen langsamer

# Das expandierende Universum

- Fixsterne? Parallaxen
- Kant: Galaxien
- Die Entfernungsleiter
- $\delta$-Cepheiden
- Supernovae als Standardkerzen
- Raumwinkelargumente
- Farben und Temperaturen
- Fraunhoferlinien

# Das expandierende Universum

- Fluchtgeschwindigkeit
- statisches Universum 1915?
- kosmologische Konstante
- Anti-Gravitationskraft
- Weltmodelle: Alexander Friedmann 1922
- Isotropie und Homogenität
- Edwin Hubble 1929

# Big Bang

- Penzias und Wilson
- George Gamow ($\alpha$ $\beta$ $\gamma$ Theorie)
- kritische Dichte
- die ART bricht am Urknall zusammen
- weil die Vorhersagefähigkeit dort endet
- Anfang der Zeit
- akzeptiert von der Kirche: Schöpfungsakt
- Hoyle und Bondi: Steady State Theory

# Big Bang

- Endstadien von Sternen
- Supernovae
- Neutronensterne
- Schwarze Löcher
- Penrose: Singularitäten
- ‘Kosmischer Zensor’
- Kann man auf die Singularität verzichten?
- Quanteneffekte der Gravitation?!

# Der Anfang

- die ART ist unvollständig
- sie kann uns nichts über den Anfang des Universums mitteilen
- wenn das Universum anfangs so klein war
- muss man Quanteneffekte berücksichtigen
- aber wie?
- Randbemerkung: “Schwarze Löcher haben keine Haare”

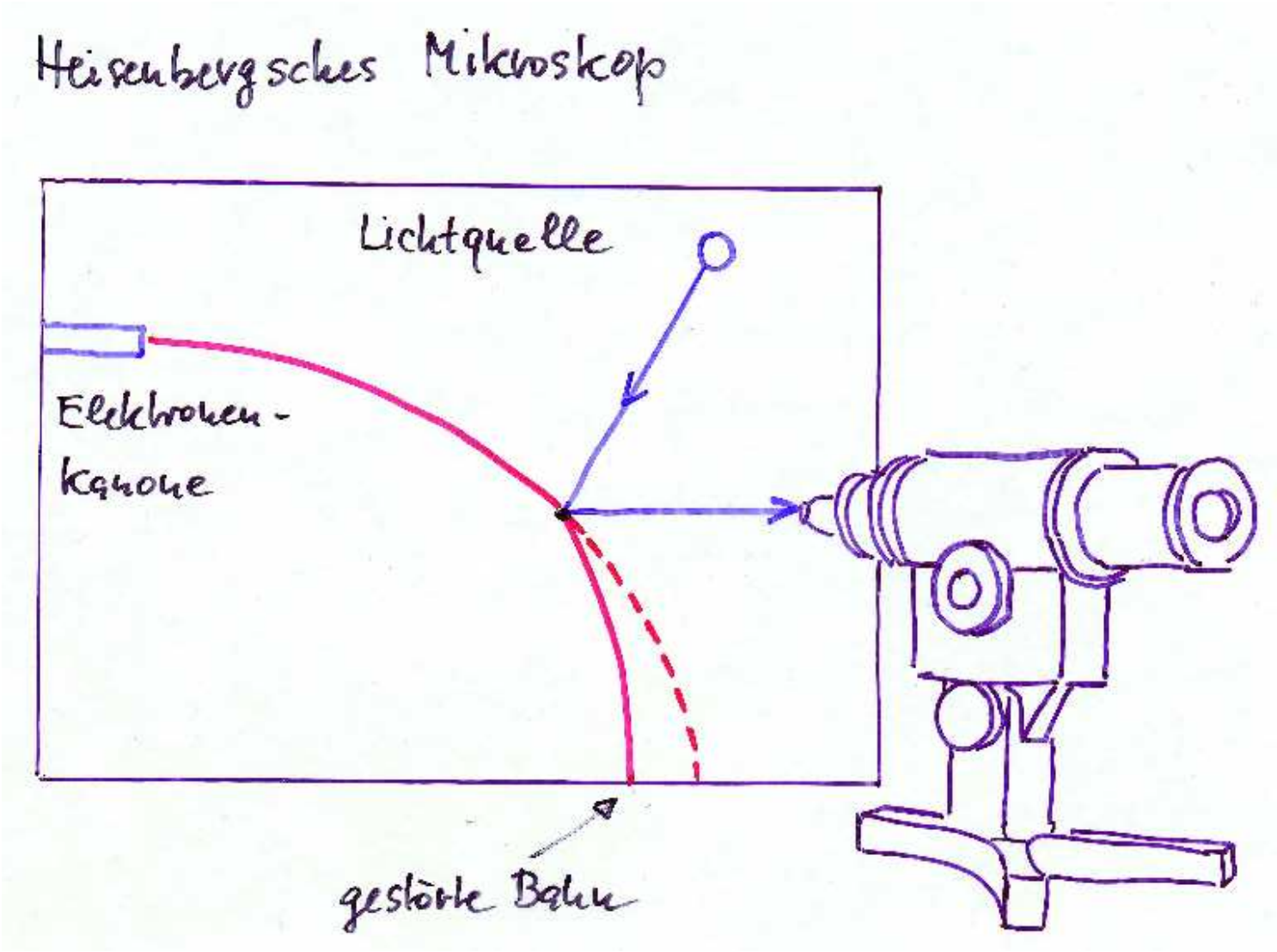
# Unschärferelation

- Marquis La Place: Determinismus?
- Ist auch das menschliche Verhalten determiniert?
- Rayleigh und Jeans: Strahlungsspektren?
- Max Planck! Quantenhypothese
- Heisenberg: $\Delta\, x \cdot \Delta\, p \geq \hbar/2$
- fundamentale, unausweichliche Eigenschaft
- keine exakte Vorhersage in der Quantenwelt
- keine exakte Messung in der Quantenwelt

# Unschärferelation

- Position und Geschwindigkeit sind nicht getrennt wahrnehmbar
- Element der Zufälligkeit
- $\rightarrow$ Gott würfelt!
- Max Planck! Quantenhypothese
- Problem der Gravitation: bisher keine Quantentheorie
- Doppelspalt-Experiment
- Lichtquelle wird durch Teilchenquelle ersetzt
- Interferemz verschwindet, wenn man hinschaut!

# Unschärferelation



# Interpretation Doppelspalt

- die Interfernzstreifen erscheinen auch, wenn die Elektronen einzeln durch die Spalte gehen
- $\rightarrow$ jedes Elektron geht durch BEIDE Spalte!
- die Interferenz verschwindet, wenn man versucht nachzuschauen, durch welchen Spalt die Elektronen gehen
- $\rightarrow$ Pfadintegralmethode von Feynman
- "sum over histories"

http://soundingfurious.blogspot.com/2007/06/
quantum-mechanics-explained-via-cartoon.html

# Doppelspalt-Experiment

http://soundingfurious.blogspot.com/2007/06/quantum-mechanics-explained-via-cartoon.html

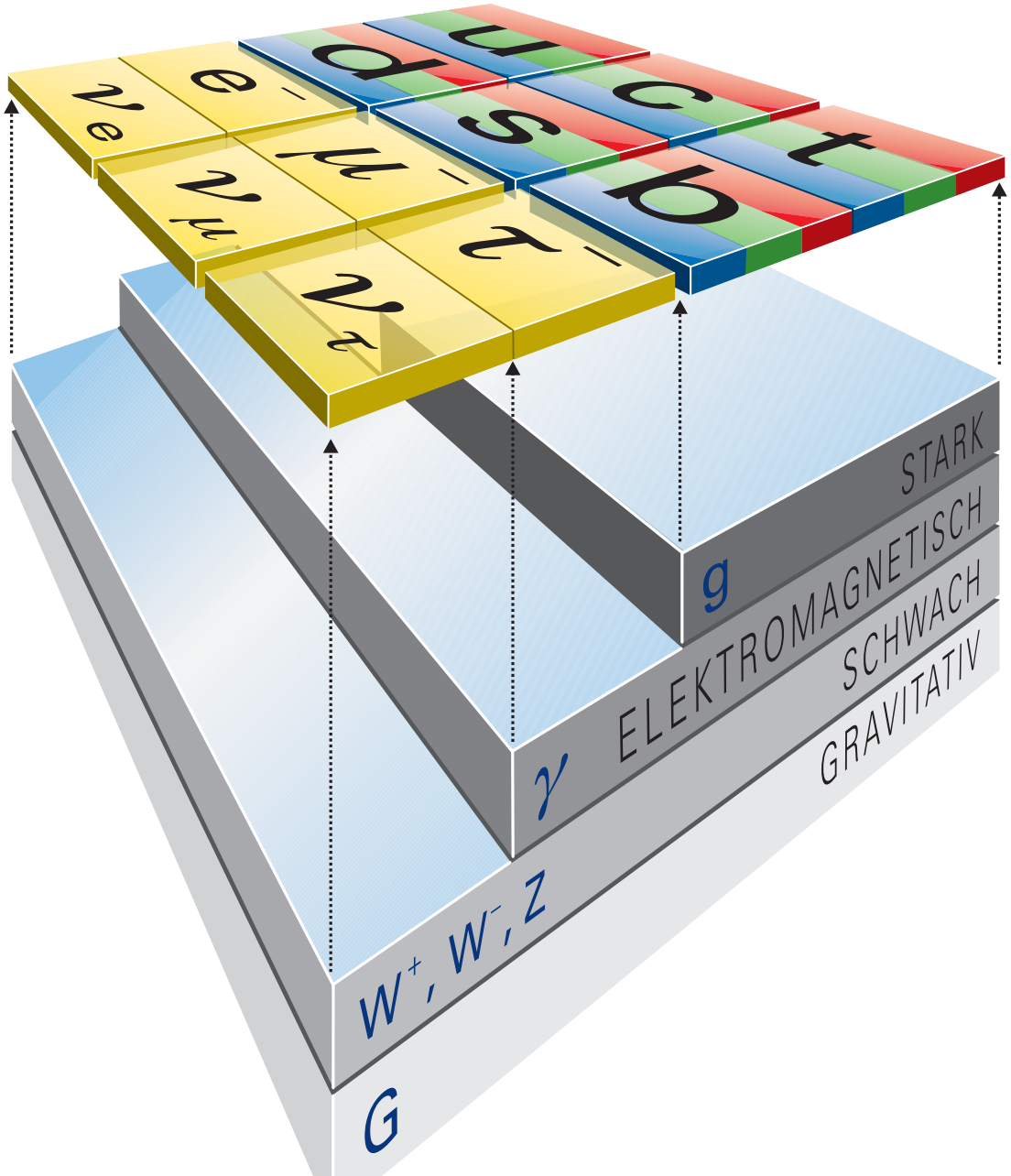
# Fundamentales Problem

- Einsteins SRT und ART sind “klassische Theorien”
- und damit unvereinbar mit der Quantenphysik!
- Wann braucht man Quantengravitation?
- Wenn Gravitation eine starke Kraft wird!
- wo ist das? beim Urknall und in Schwarzen Löchern

# Elementarteilchen und Naturkräfte

- Demokrit vs Aristoteles
- John Dalton (1803): $H_2O$; $CO_2$; $CH_4$; $C_2H_5OH$
- Experimentell: Brownsche Bewegung (Einstein 1905)
- Zweifel: J.J. Thomson: $m_{Elektron} \ll m_{Proton}$
- Rutherford: Streuung von $\alpha$ Teilchen an Goldfolien
- James Chadwick: Neutron
- Murray Gell-Mann und Georges Zweig: Quarks (1964)

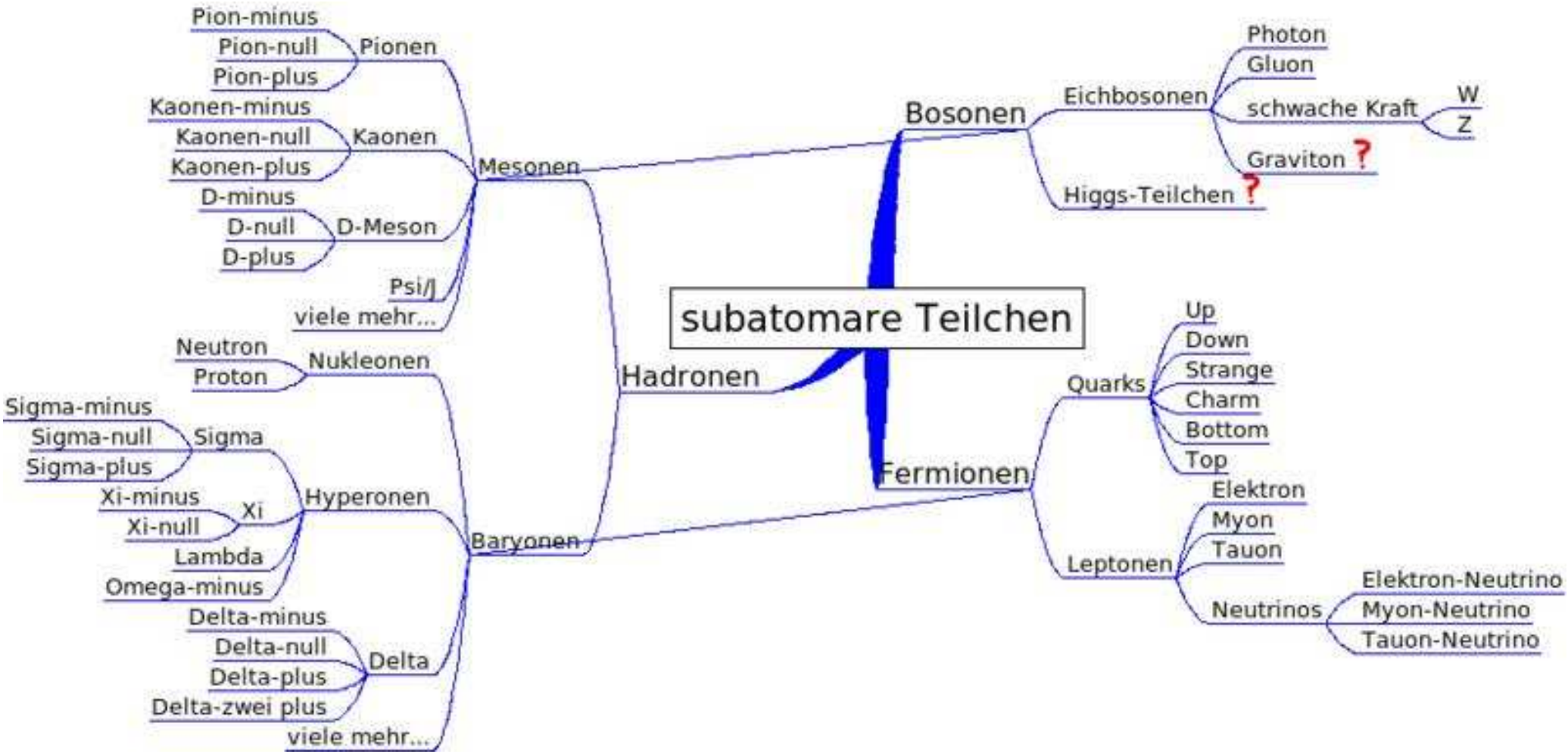
# Teilchen


$\nu_e$
$e^-$
$\nu_\mu$
$\mu^-$
$\nu_\tau$
$\tau^-$
d
u
s
c
b
t
STARK
ELEKTROMAGNETISCH
SCHWACH
GRAVITATIV
g
$\gamma$
$W^+, W^-, Z$
G

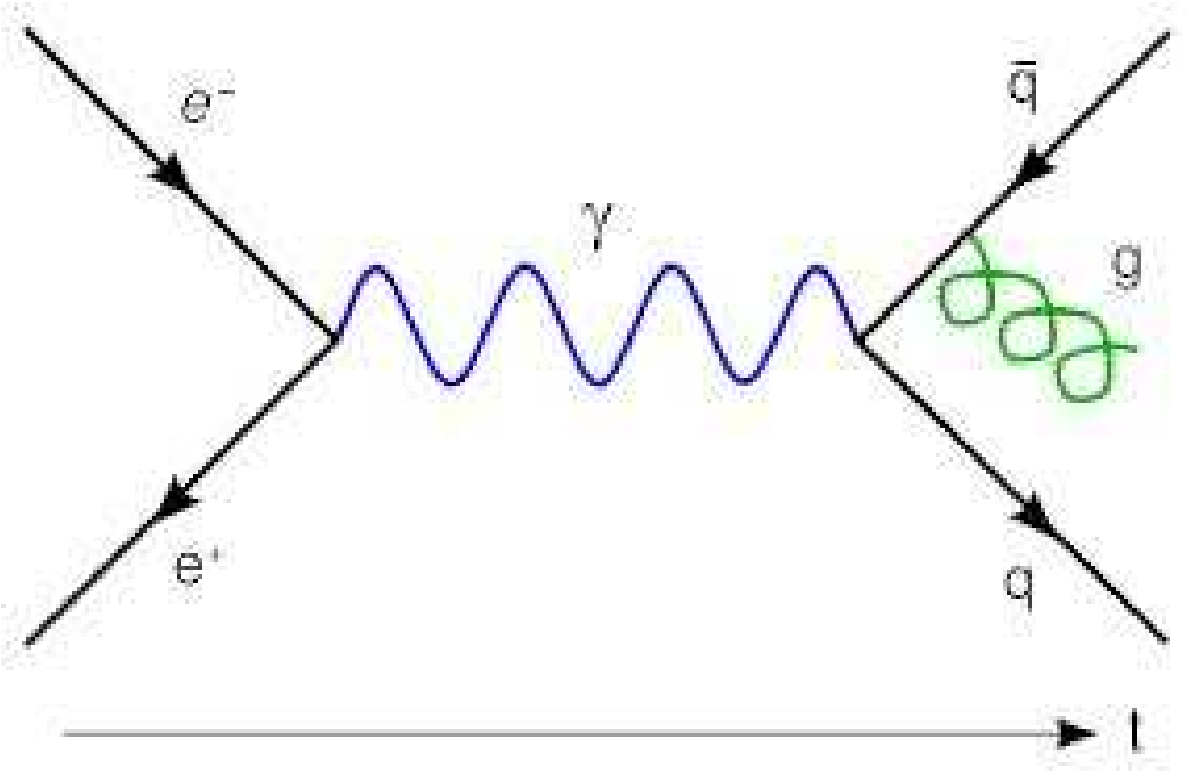
# Elementarteilchen und Naturkräfte

- Louis de Broglie: $\lambda = h/p$
- Beschleuniger: Mikroskope der Teilchenphysiker
- Konzept des Spins: Rotationssymmetrie
- Pauli-Prinzip (1925)
- Dirac: relativistische Wellengleichung; Antiteilchen (1928)
- Carl Anderson: Positron (1932)
- Kräfteteilchen: $\gamma$ und massive Austauschteilchen
- Reichweite

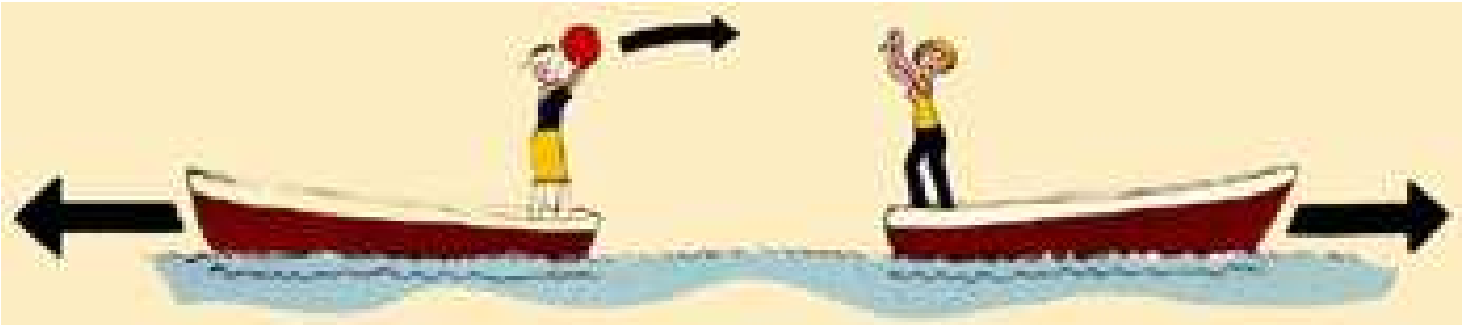
# Teilchen


subatomare Teilchen
Hadronen
Mesonen
Pionen
Pion-minus
Pion-null
Pion-plus
Kaonen
Kaonen-minus
Kaonen-null
Kaonen-plus
D-Meson
D-minus
D-null
D-plus
Psi/J
viele mehr...
Baryonen
Nukleonen
Neutron
Proton
Hyperonen
Sigma
Sigma-minus
Sigma-null
Sigma-plus
Xi
Xi-minus
Xi-null
Lambda
Omega-minus
Delta
Delta-minus
Delta-null
Delta-plus
Delta-zwei plus
viele mehr...
Fermionen
Bosonen
Eichbosonen
Photon
Gluon
schwache Kraft
W
Z
Graviton ?
Higgs-Teilchen ?
Quarks
Up
Down
Strange
Charm
Bottom
Top
Leptonen
Elektron
Myon
Tauon
Neutrinos
Elektron-Neutrino
Myon-Neutrino
Tauon-Neutrino

# Austauschteilchen



# Austauschteilchen



# Elementarteilchen und Naturkräfte

- Gravitation: immer anziehend!
- Graviton: Spin 2
- Warum kennt jeder die Gravitation und die anderen Wechselwirkungen nicht?
- Salam, Glashow und Weinberg 1967
- Carlo Rubbia, Simon van de Meer 1983
- Farbe
- Mesonen, Baryonen, Gluebälle
- laufende Kopplungskonstante: asymptotische Freiheit
- infrarote Sklaverei

# Symmetriebrechung

- rotierende Scheibe mit Spektralfarbsektoren
- bei hoher Energie (schneller Rotation): weiss
- bei niedriger ‘Temperatur’: Brechung in einzelne Farben
- oder: Roulette: schnelle Rotation: Kreisbewegungen der Kugel
- langsam: 37 verschiedene Zustände!

# Austauschteilchen

# Vereinigung

- GUT - Grand Unified Theory
- nicht im Labor überprüfbar
- Protonzerfall
- Lee und Yang; Madame Wu 1956
- Symmetrien: CPT
- Cronin und Fitch 1964
- Elektromagnetismus ($\Sigma \pm q_i = 0$) vs. Gravitation ($\Sigma M_i$ = viel)

# Schwarze Löcher

- Begriff von John Archibald Wheeler 1969
- Schwierigkeiten mit dem Wellencharakter
- John Mitchell 1783
- ... so schwer, dass ihm das Licht nicht entkommen könnte
- Kanonenkugeln und Licht???
- Konstante Geschwindigkeit des Lichtes!
- Entwicklung von Sternen bis zum Schwarzen Loch

# Gravitationsrotverschiebung

# Schwarze Löcher II

- Balasubrahmanyan Chandrasekhar m $\geq$ 1,4 $M_\odot$
- Druck des entarteten Elektronengases
- $\rightarrow$ weißer Zwerg (r $\approx$ 1000 km)
- Druck des entarteten Neutronengases
- $\rightarrow$ Neutronenstern (r $\approx$ 15 km)
- m $\geq$ 1,4 $M_\odot$ $\rightarrow$ Schwarzes Loch
- Ereignishorizont

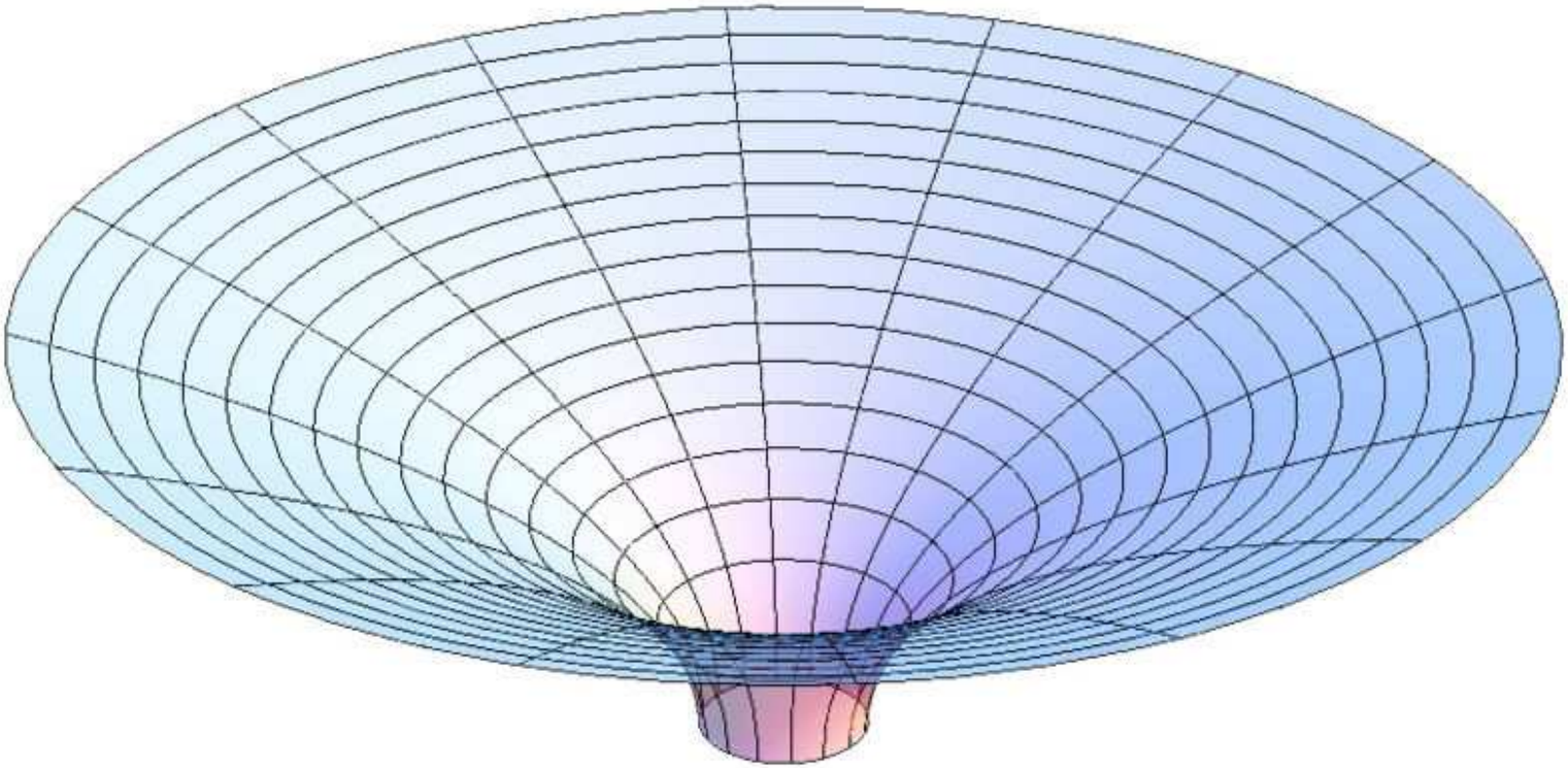
# Differenzielle Gravitation

- Spaghettifikation
- Oblatifikation
- Warum kann man Schwarze Löcher nicht sehen?
- Gott verabscheut nackte Singularitäten
- Er verbirgt sie hinter einem Ereignishorizont
- $\rightarrow$ "Kosmischer Zensor"
- Dante: "Die Ihr hier eintretet, lasset alle Hoffnung fahren."

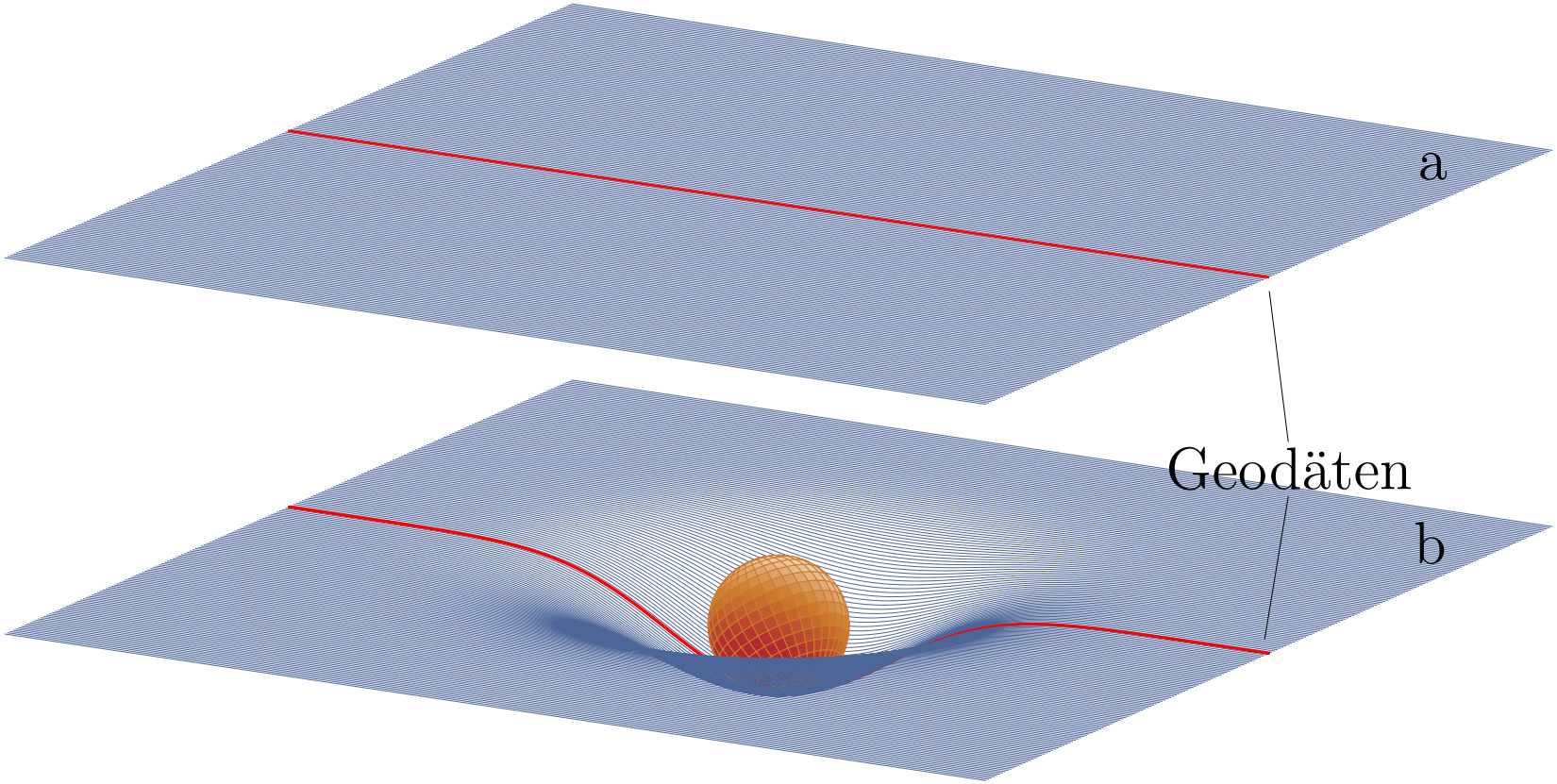
# Schwarze Löcher

| Objekt | Masse in kg | Radius in m | $R_S$ in m |
|---|---|---|---|
| Atom | $10^{-26}$ | $10^{-10}$ | $10^{-53}$ |
| Mensch | 100 | 1 | $10^{-25}$ |
| Berg | $10^{12}$ | 1000 | $10^{-15}$ |
| Erde | $6 \cdot 10^{24}$ | $6{,}378 \cdot 10^{6}$ | 0,01 |
| Sonne | $2 \cdot 10^{30}$ | $7 \cdot 10^{8}$ | 3000 |
| Neutronenstern | $10^{30}$ | 10 000 | 1500 |
| Milchstraße | $2 \cdot 10^{41}$ | $1{,}5 \cdot 10^{20}$ | $3 \cdot 10^{14}$ |
| Universum | $1 \cdot 10^{53}$ | $7{,}5 \cdot 10^{31}$ | $1{,}5 \cdot 10^{26}$ |

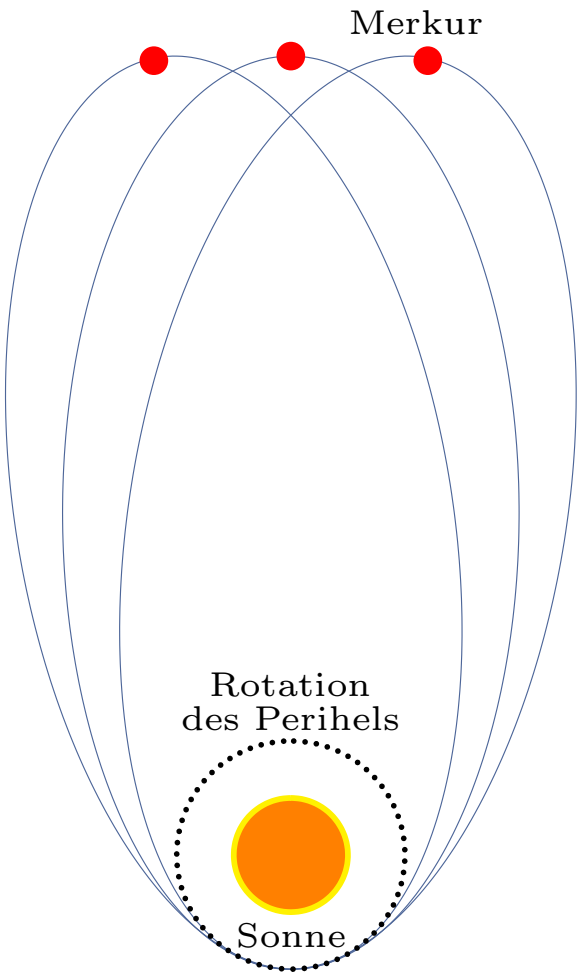
# Gekrümmter Raum



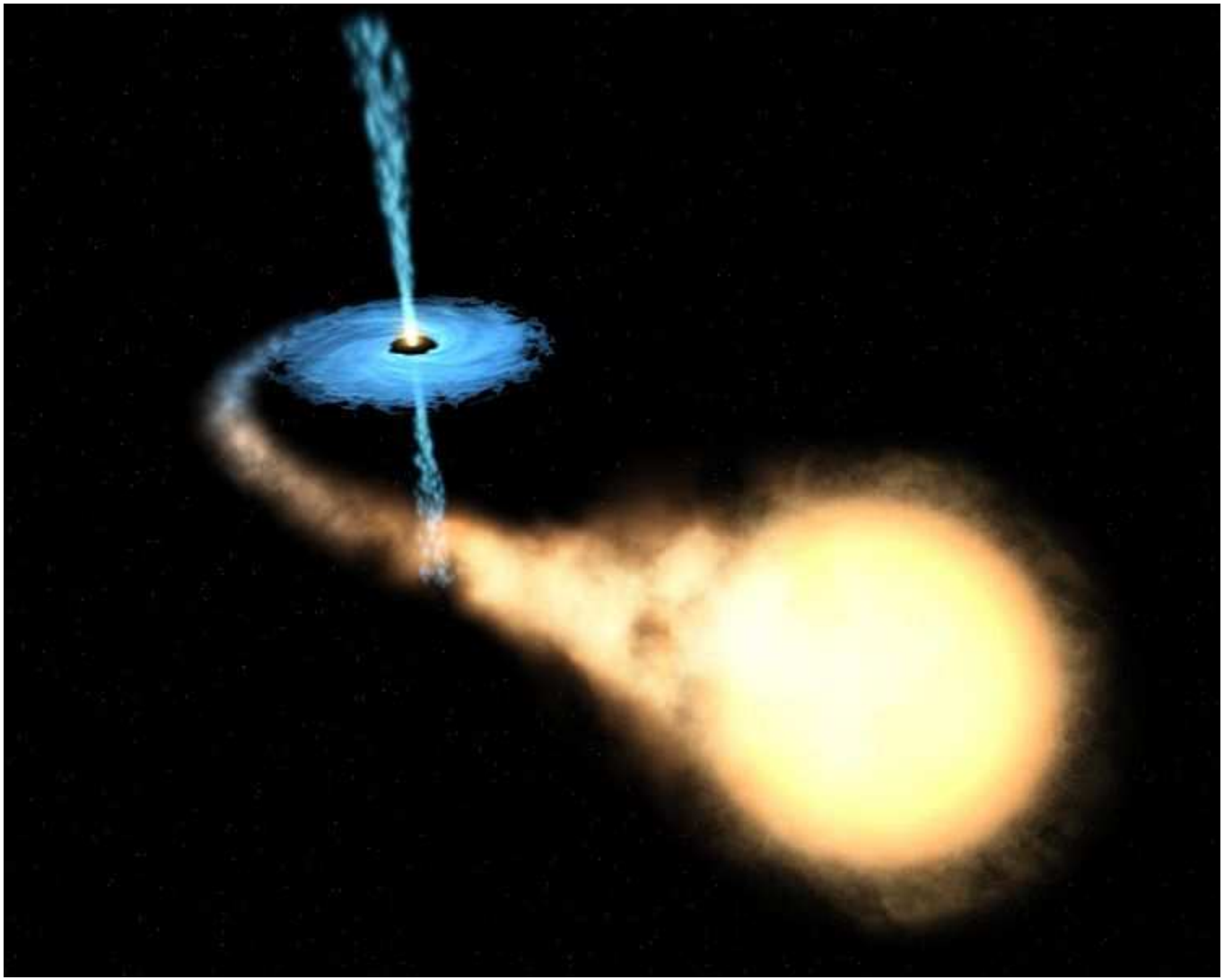
# Gekrümmter Raum



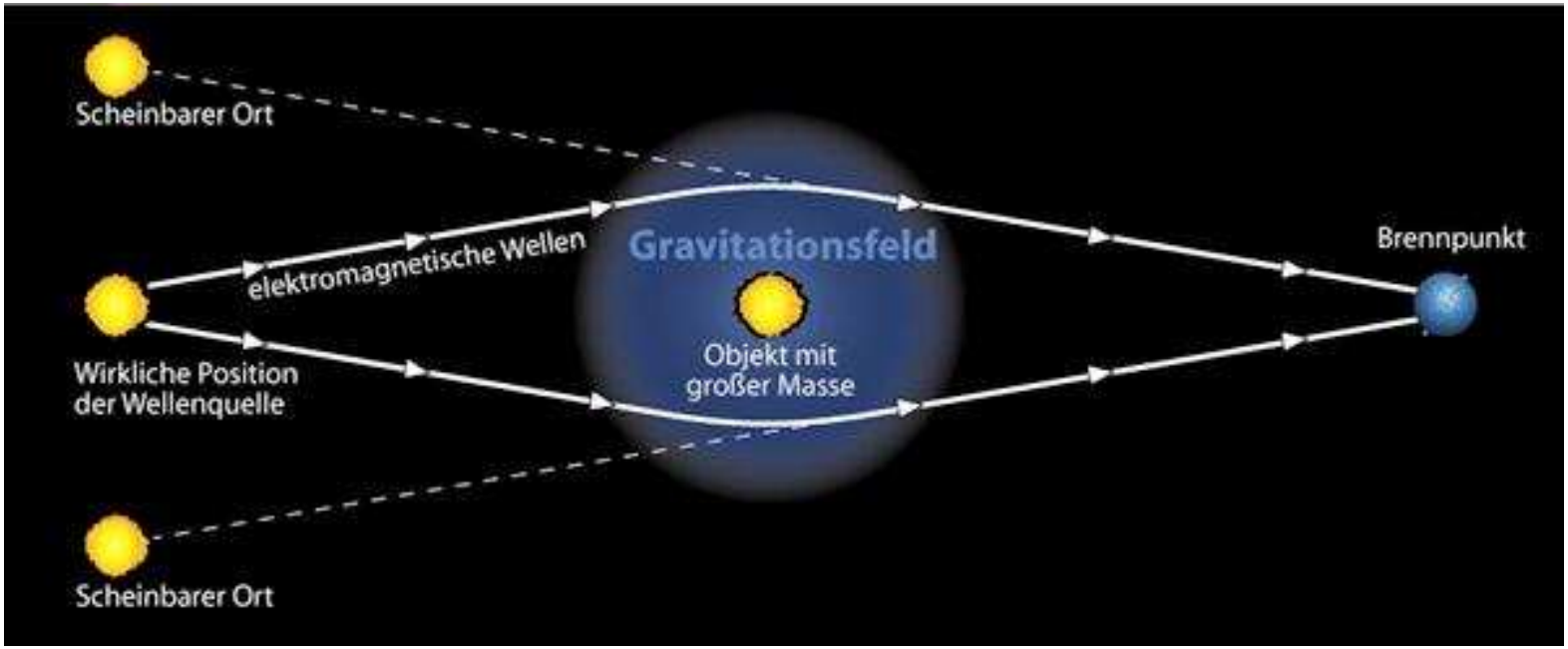
# Periheldrehung



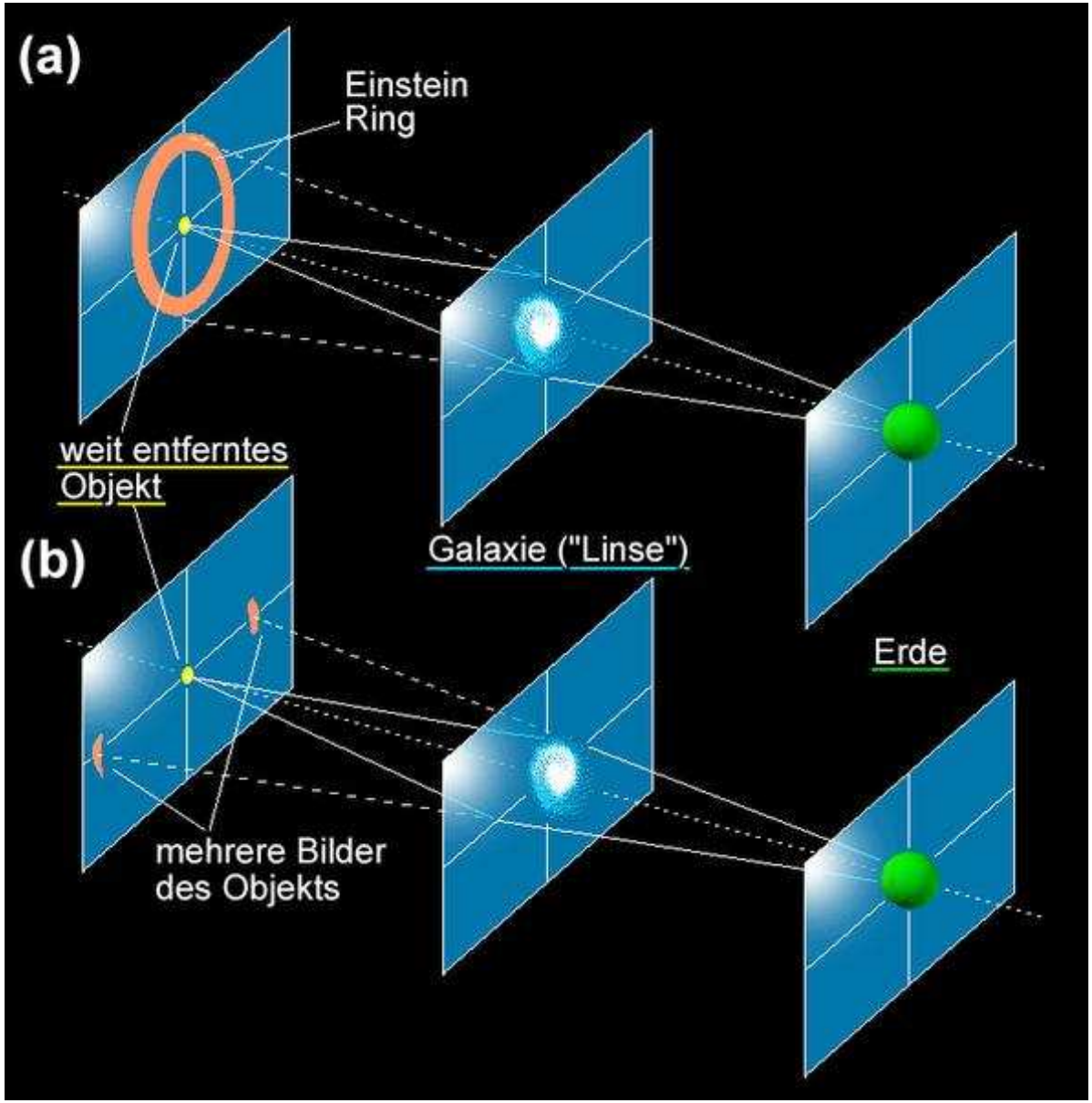
# Akkretionsscheibe und Jets



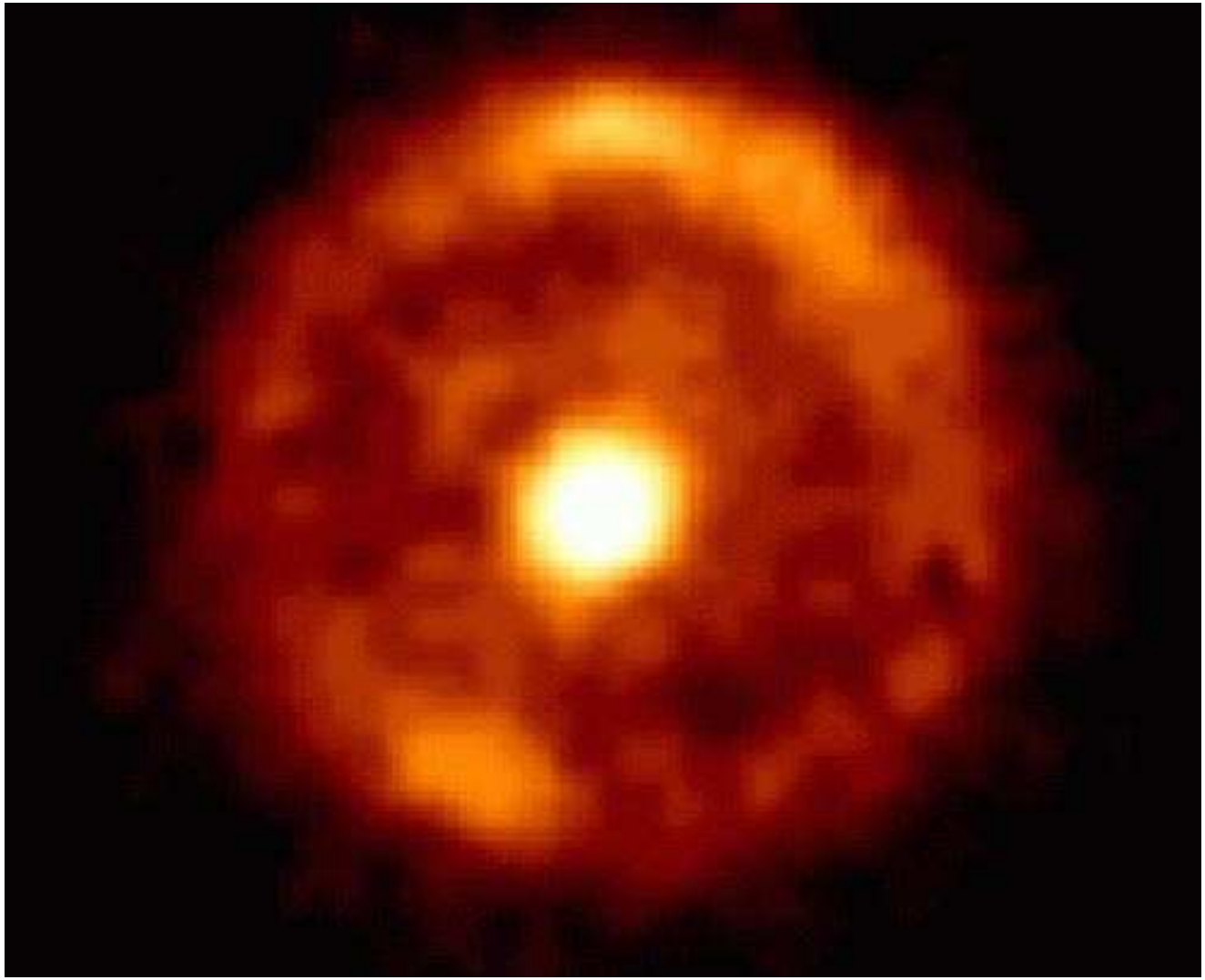
# Gravitationslinsen



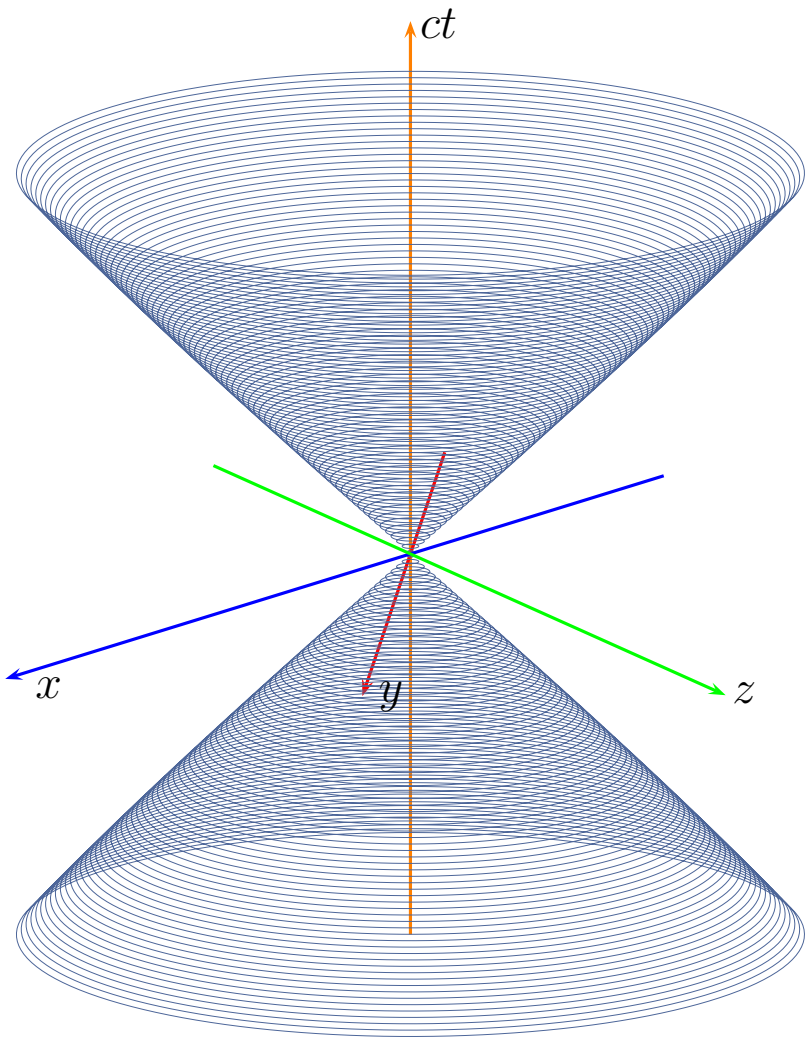
# Einsteinring



# Einsteinring



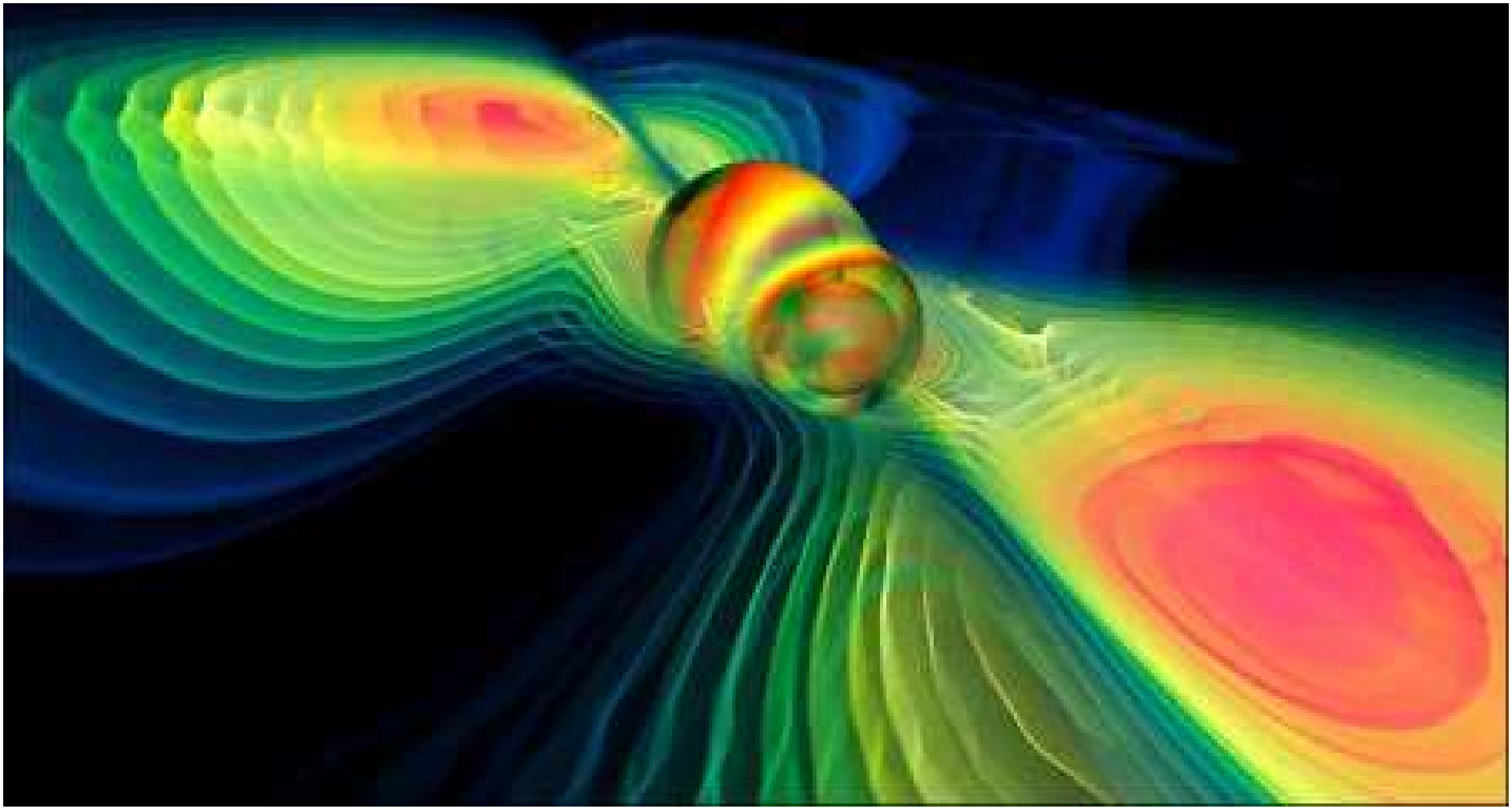
# Lichtkegel



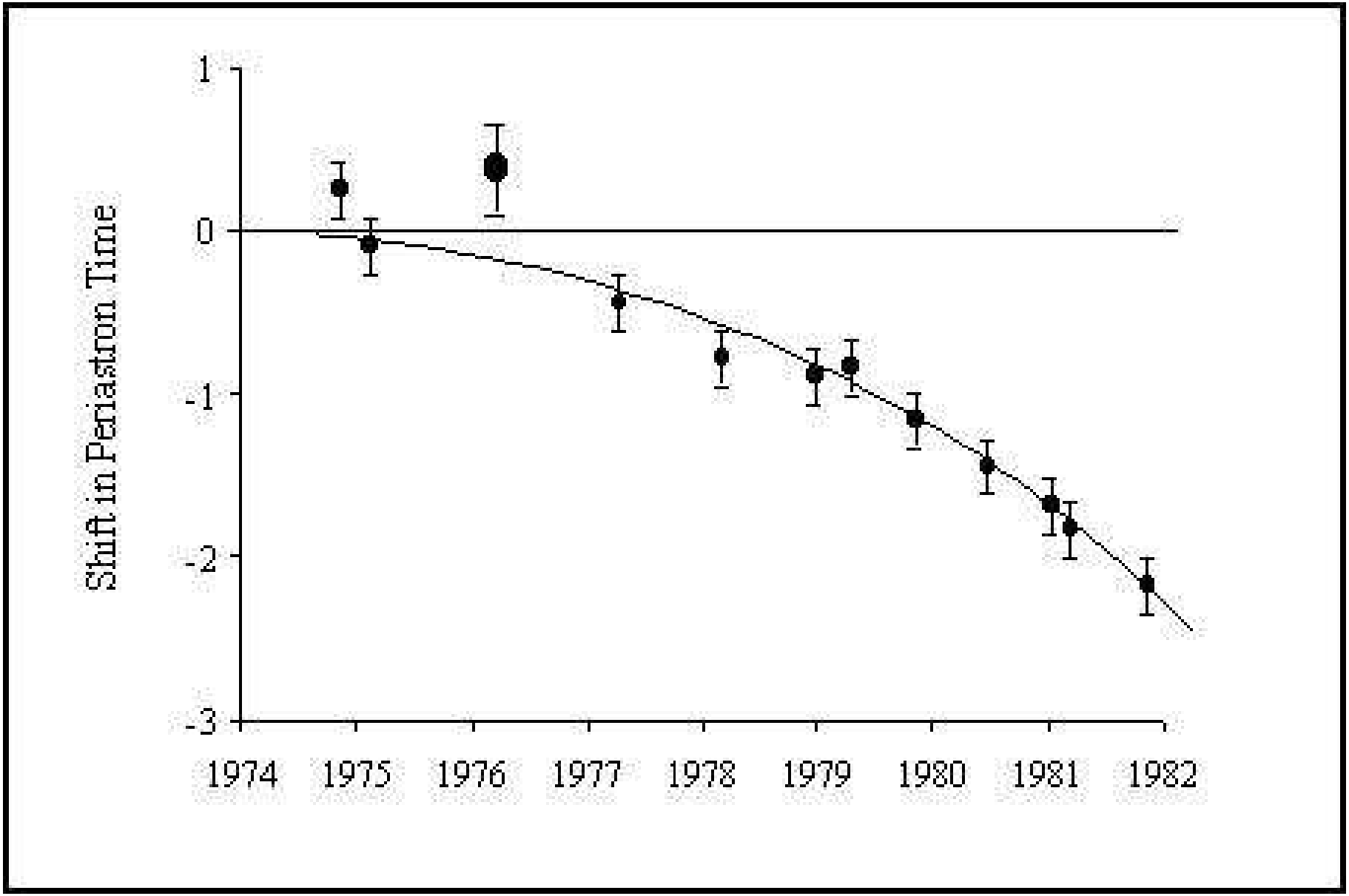
# Gravitationswellen

- beschleunigte Ladungen erzeugen elektromagnetischen Wellen
- beschleunigte Massen erzeugen Gravitationswellen
- PSR 1913+16 Doppelpulsar
- Taylor und Hulse 1993
- Präzisionstest der Allgemeinen Relativitätstheorie
- direkte Messung schwierig
- “Antenne”, Laserinterferometer

# Kollision von Schwarzen Löchern



# Test der ART


Shift in Periastron Time
1
0
-1
-2
-3
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982

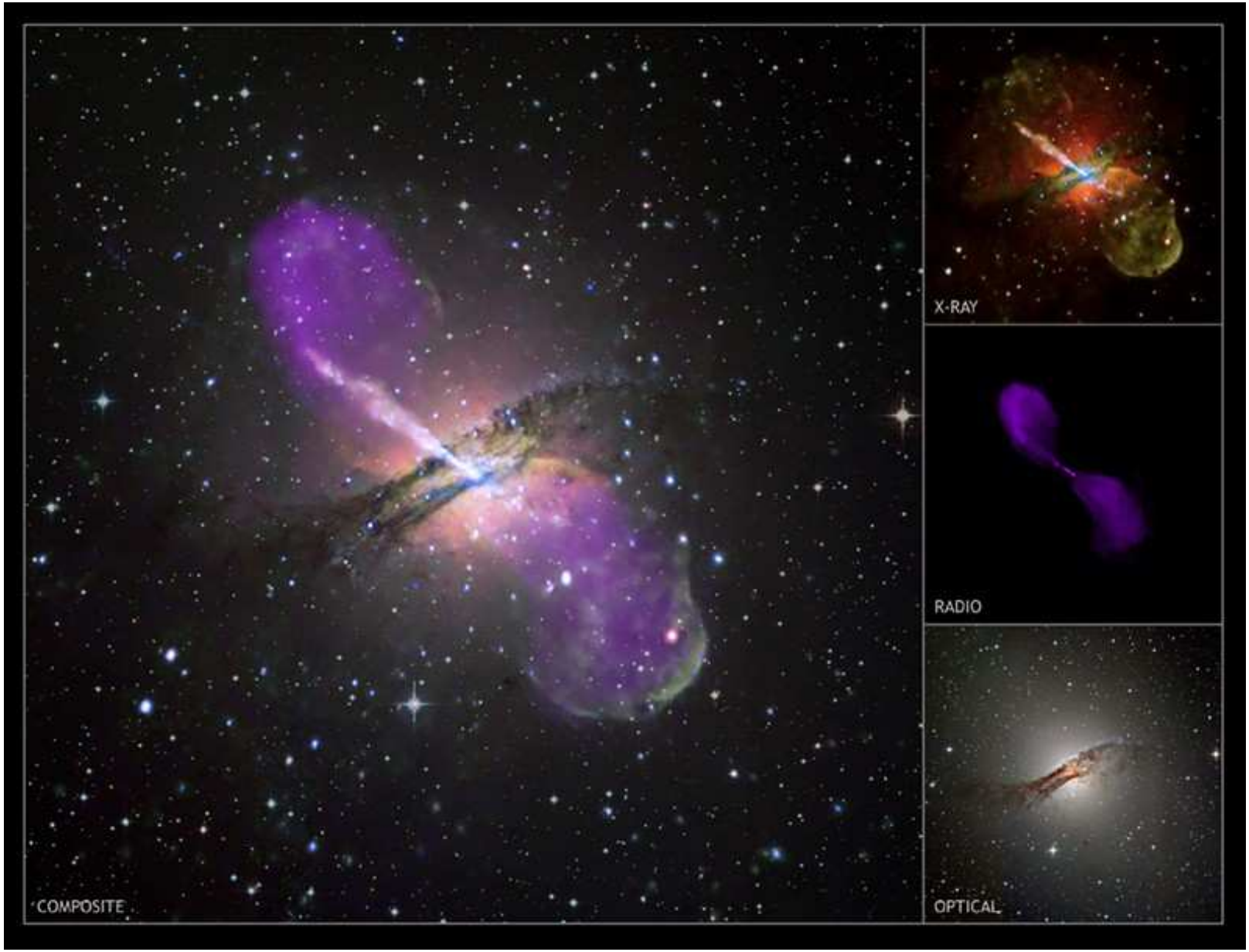
# Typen von Schwarzen Löchern

- sphärische, ruhende Schwarze Löcher
- rotierende Schwarze Löcher
- elektrisch geladene Schwarze Löcher
- Schwarze Löcher haben keine Haare
- Bei der Entstehung eines Schwarzen Loches geht eine Menge an Informationen verloren
- was ist mit der Entropie dabei?
- Gibt es direktere Evidenzen für Schwarze Löcher?

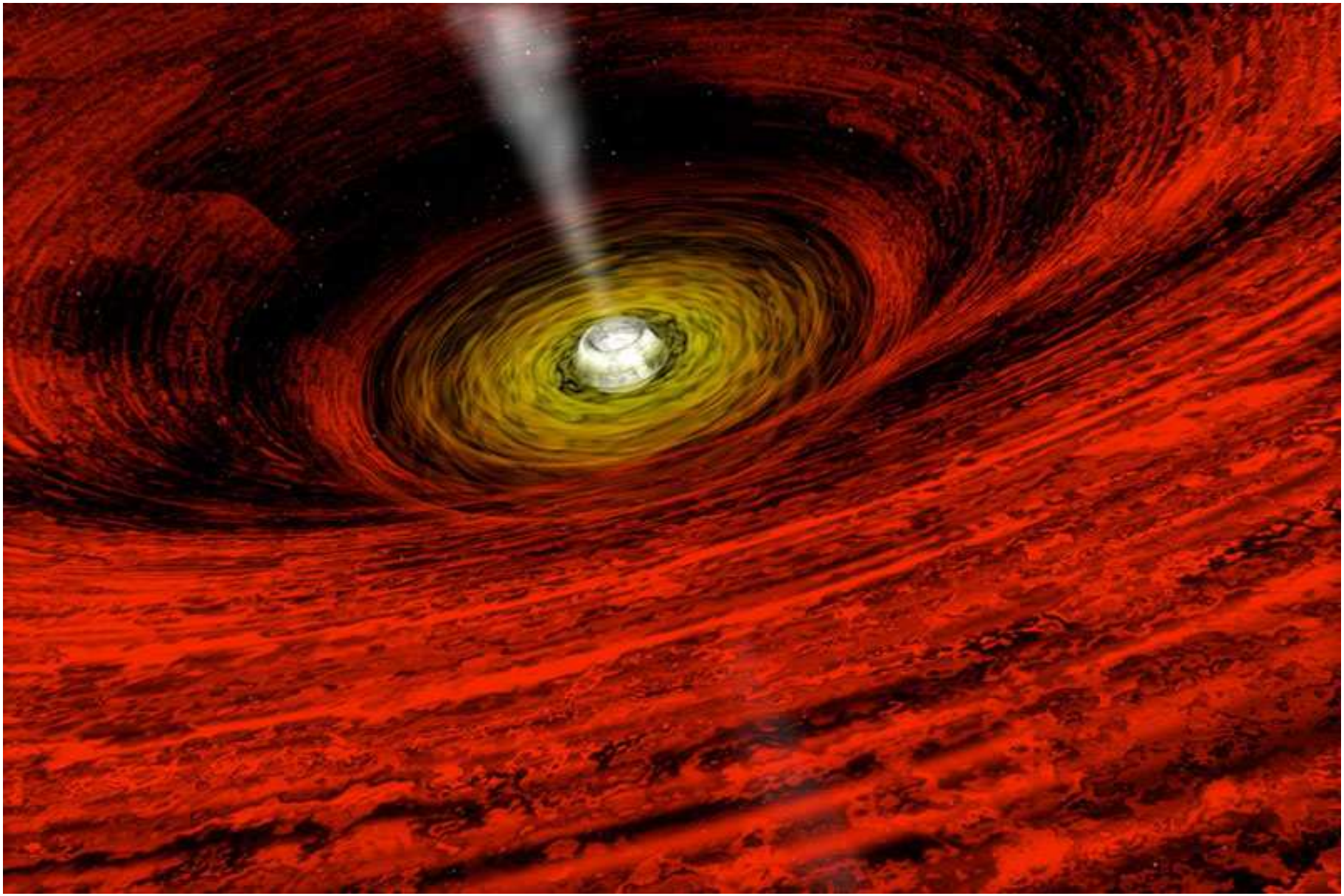
# Sagittarius A

- Fliehkraft $F_1 = \frac{m \cdot v^2}{r}$
- Gravitationskraft $F_2 = \gamma \frac{m \cdot M}{r^2}$
- im GleichgewichtL $F_1 = F_2 \rightarrow$
- $v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{r}}$
- oder $M = \frac{r \cdot v^2}{\gamma}$
- $M_{gal.Zentrum} \approx$ einige Millionen Sonnenmassen
- 3C273: Gravitationskollaps der Zentralregion einer Galaxie

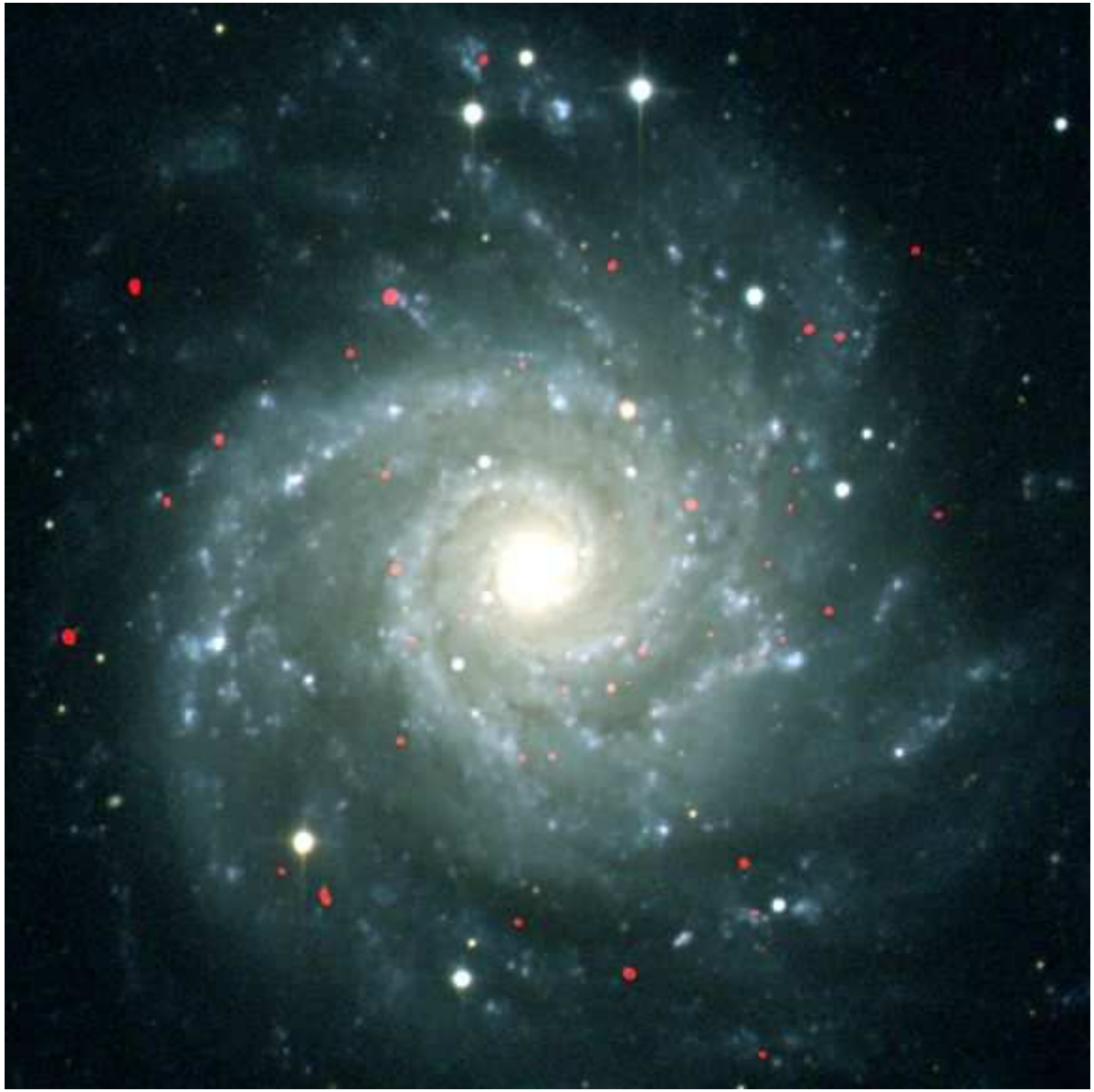
# Schwarze Löcher, Centaurus A



# Mahlstrom

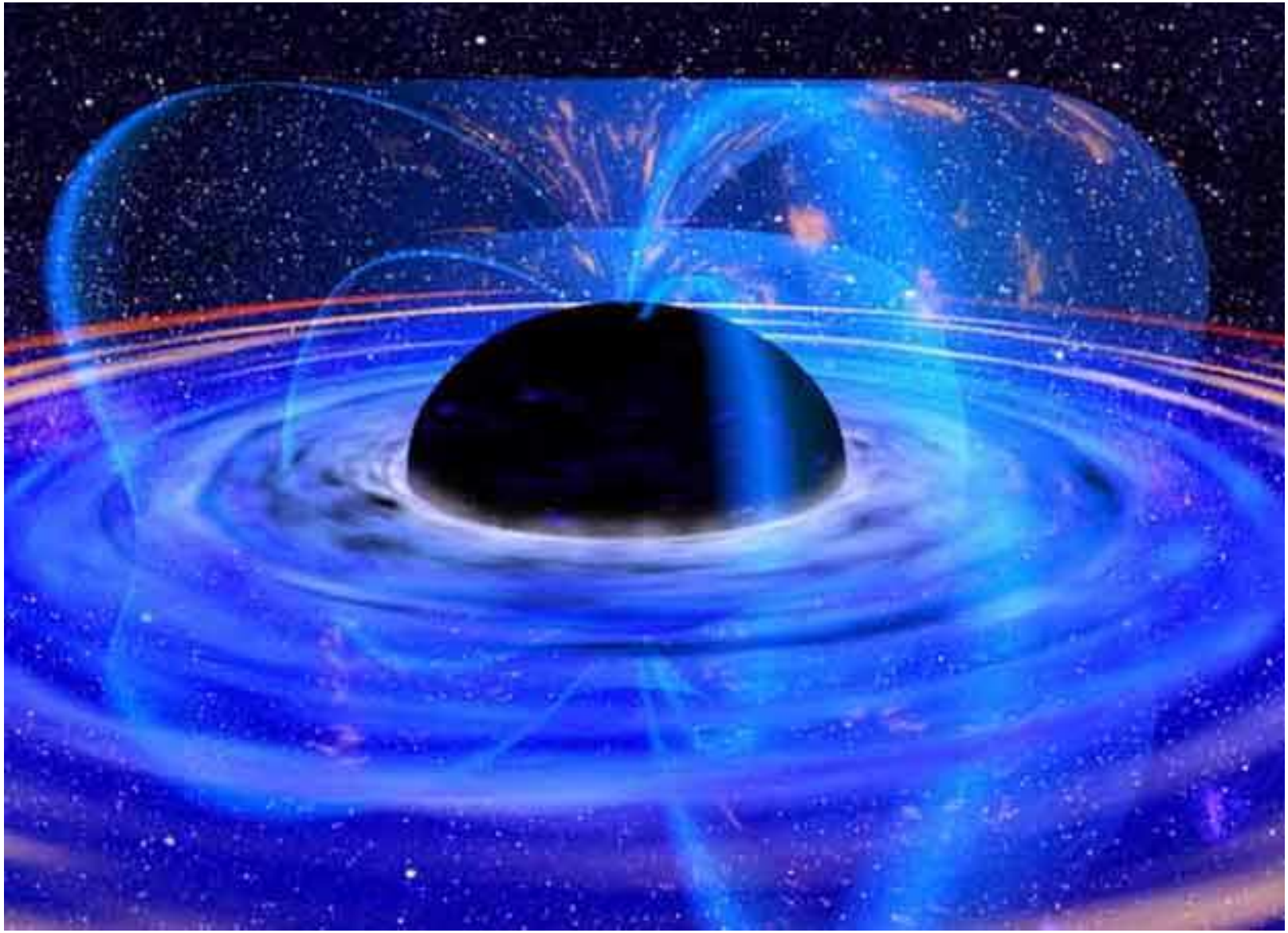


# M74

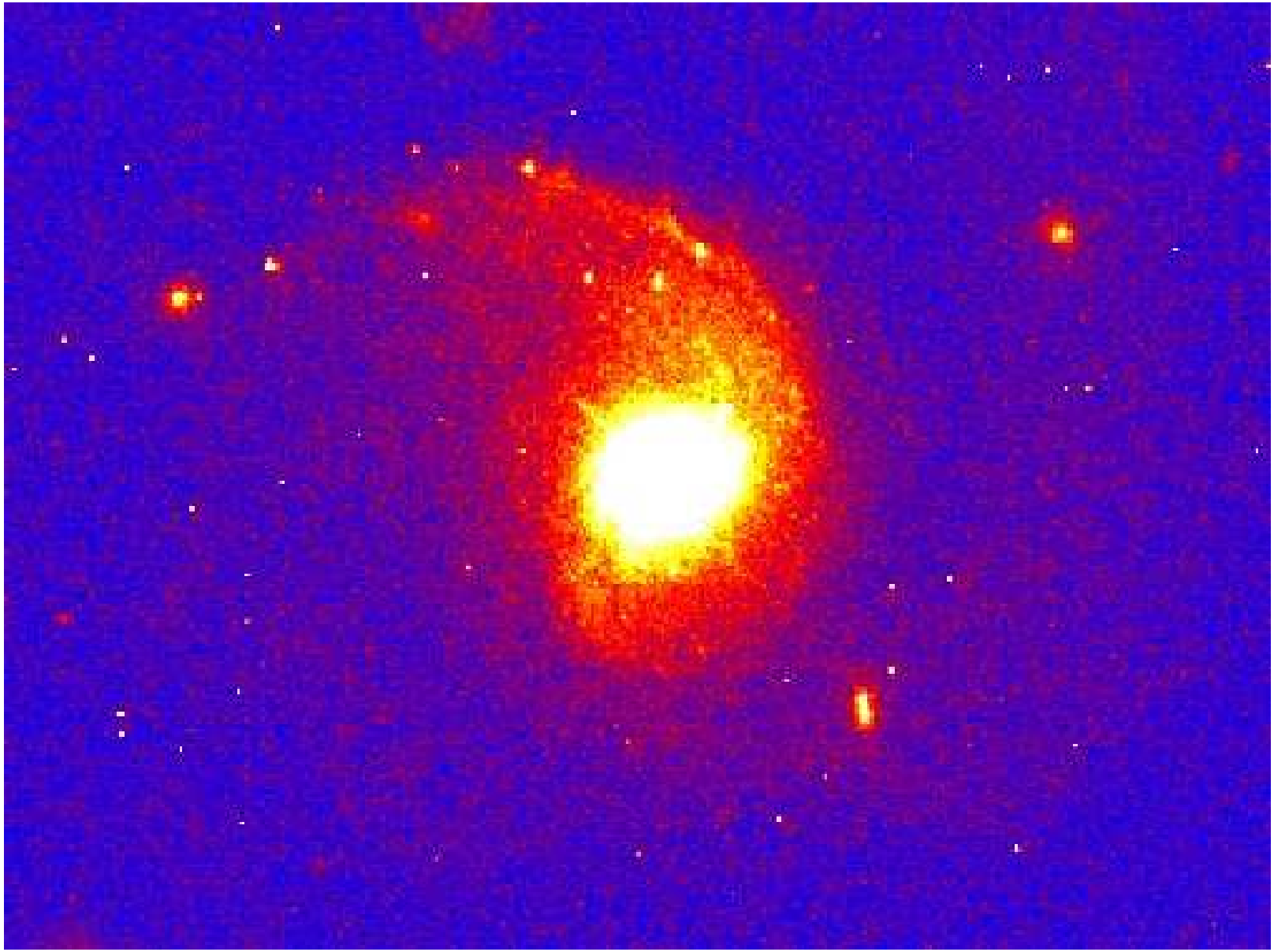


# Chandra-Aufnahme

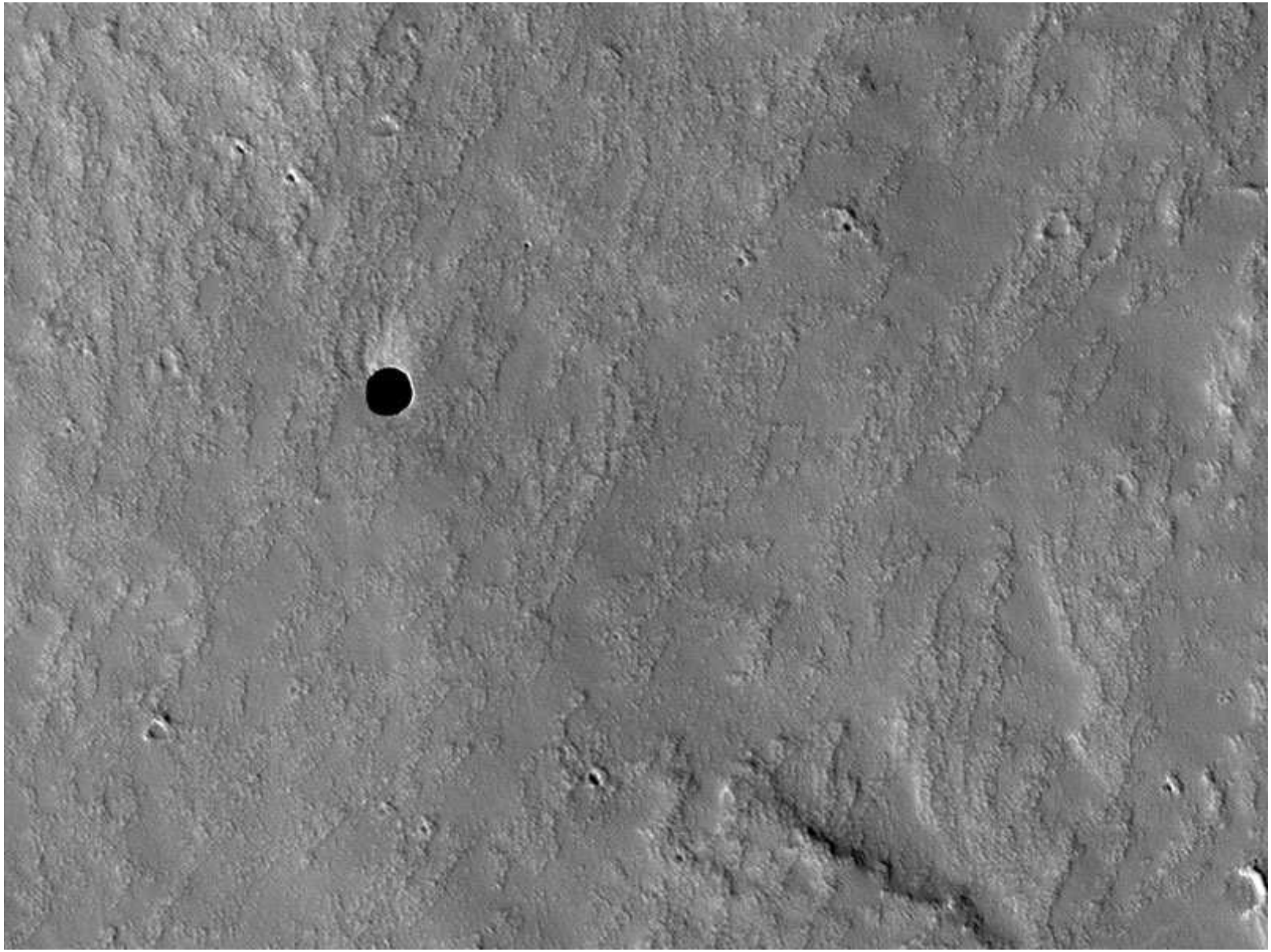
# Rotierendes Schwarzes Loch



# Quasar



# Loch auf dem Mars



# Jets und Mini Black Holes

- Rotation von Plasma $\longrightarrow$ Magnetfeld
- $\longrightarrow$ Beschleunigung $\longrightarrow$ Jets
- Lebensdauer Schwarzer Löcher?
- primordiale Schwarze Löcher?
- Mini Black Holes
- kleine Schwarze Löcher sind einfacher zu entdecken
- Haben Schwarze Löcher eine Temperatur?

# Schwarze Löcher sind nicht schwarz!

- Was passiert, wenn ein Stern in ein Schwarzes Loch fällt?
- Was passiert mit der Entropie des Sterns?
- Das Schwarze Loch wird größer.
- Sein Ereignishorizont wächst.
- Die Fläche des Ereignishorizontes ist ein Maß für die Entropie.
- Wenn ein Schwarzes Loch Entropie besitzt, hat es auch eine Temperatur!
- Wenn es eine Temperatur hat, strahlt es!

# Schwarze Löcher sind nicht schwarz!

- Schwarzschild-Radius $R_S = \frac{2\gamma \cdot M}{c^2}$
- Je größer die Masse, desto kleiner die Temperatur
- $dS = dQ/T; S \sim M$
- Paarerzeugung außerhalb des Ereignishorizontes
- Heisenberg: Feld $\Delta E$ und Änderungsrate $\frac{\Delta E}{\Delta t}$ sind komplementär
- Temperatur von stellaren Schwarzen Löchern: $10^{-7} K$
- Lebensdauer: $10^{70}$ Jahre
- primordiale Mini Black Holes

# Schwarze Löcher sind nicht schwarz!

- Evidenz für explodierende Mini-Black Holes?
- $\gamma$-Strahlen Hintergrund!
- Gamma-Ray-Bursts (GRB)
- Nachweis über Luftschauer oder Cherenkov-Effekt
- Kaskaden in der Atmosphäre
- Auger-Experiment in Argentinien
- HiRes-Experiment in Utah
- Mini-Black Holes: Gefahr für die Erde?

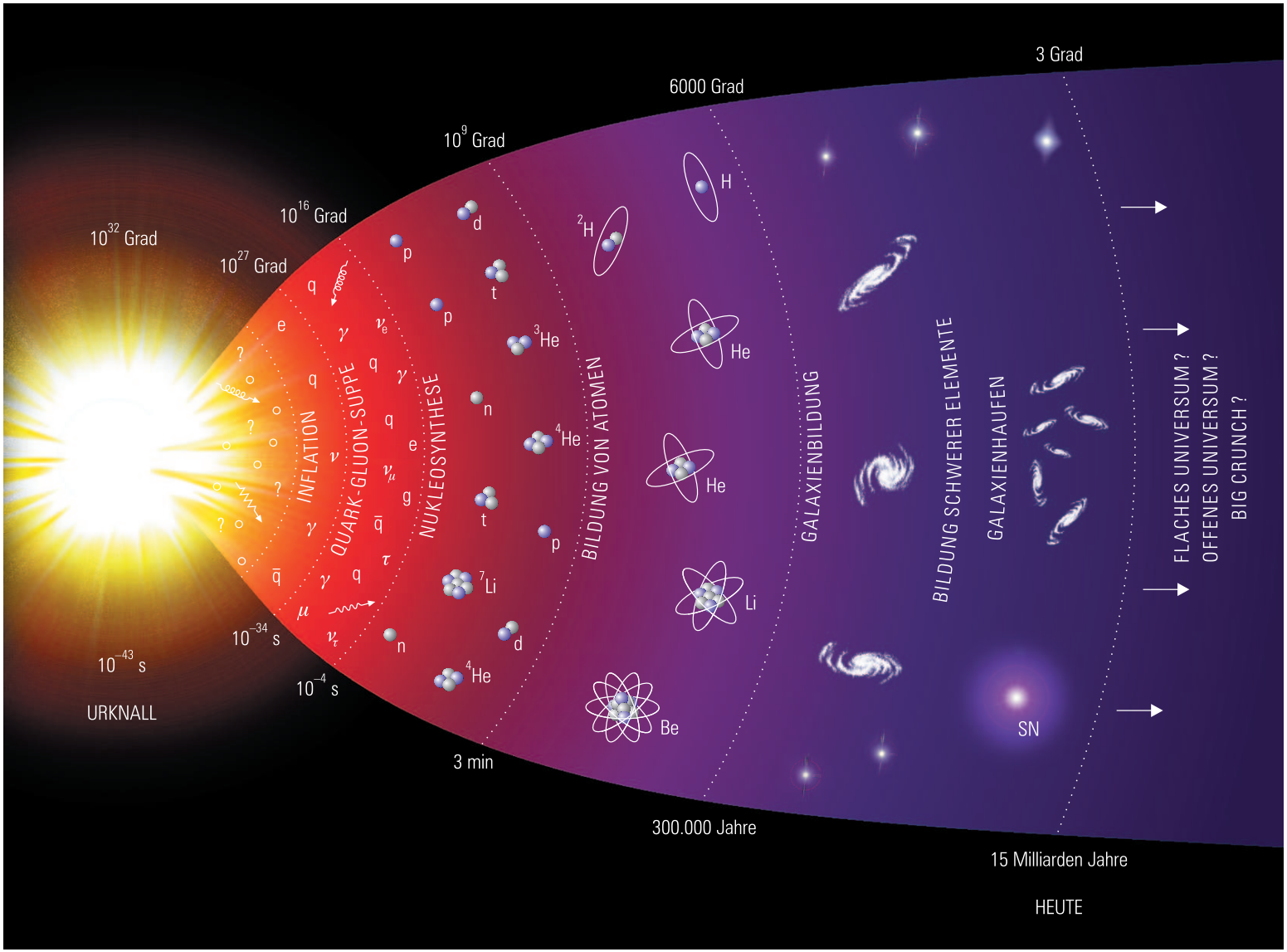
# Ursprung des Universums?

- Beim Urknall sind die Gravitationskräfte sehr stark
- Quanteneffekte der Gravitation müssen berücksichtigt werden
- Papst: Urknall = Schöpfung
- aber: bitte den Urknall selbst nicht erforschen
- denn: das ist das Werk Gottes
- Modell des heißen Urknalls
- Erzeugung und Vernichtung von Teilchen
- ursprünglich: $\gamma$'s, $\nu$'s und Elektronen

# Ursprung des Universums

- $\nu$'s und $\bar{\nu}$'s vernichten sich nicht gegenseitig
- primordiale $\nu$'s wären ein guter Beweis für den Urknall
- $\gamma$'s sind mit ihren Antiteilchen identisch
- 100 Sekunden nach dem Urknall ($10^9$ Grad):
- Protonen und Neutronen bilden sich
- 1 bis 3 Minuten nach dem Urknall: Elementsynthese
- $\alpha$ $\beta$ $\gamma$ Theorie
- Alpher, Bethe und Gamov
- Steady State Theorie?

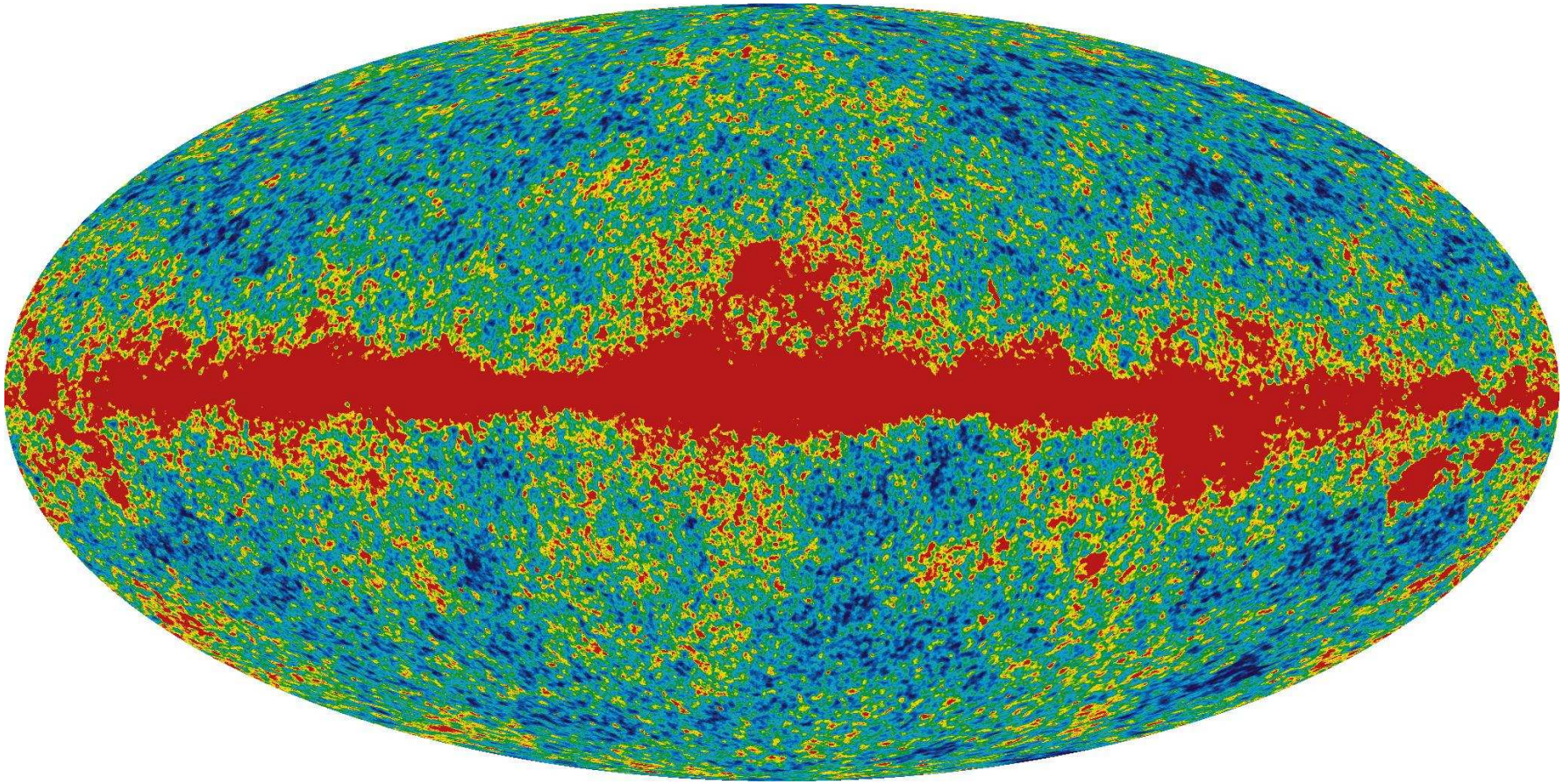
# Entwicklung des Kosmos



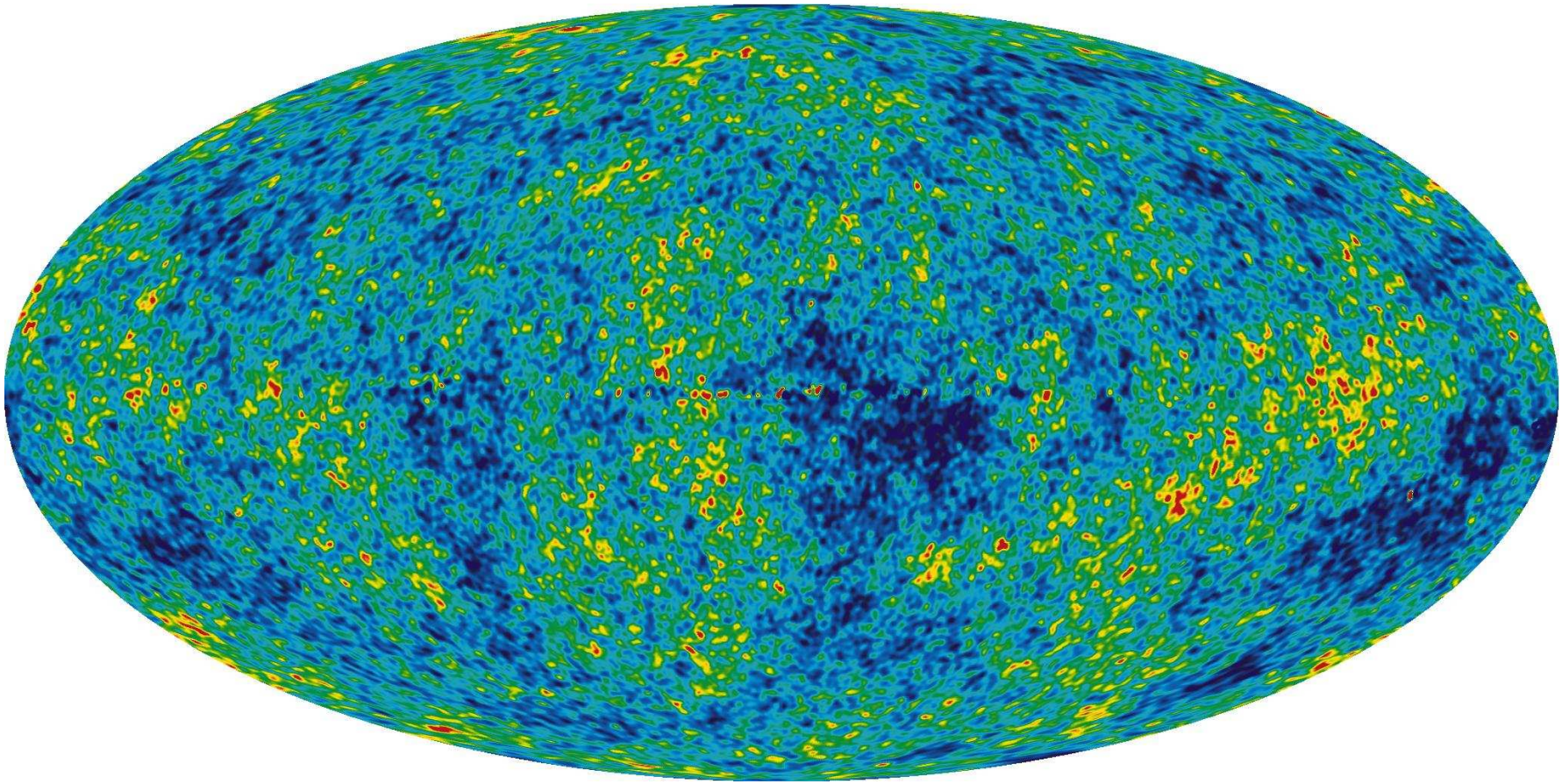
# Ursprung des Universums

- Penzias und Wilson
- Planckspektrum der Schwarzkörperstrahlung
- $2.725 \pm 0{,}001$ Kelvin
- Temperaturschwankungen
- ‘Saat’ für Galaxienbildung
- 336 Neutrinos pro Kubikzentimeter
- 56 von jedem Flavour
- $T_\nu = 1{,}9$ Kelvin
- keine bekannte Technik, solche $\nu$’s zu messen

# 380 000 Jahre nach dem Urknall



# 380 000 Jahre nach dem Urknall

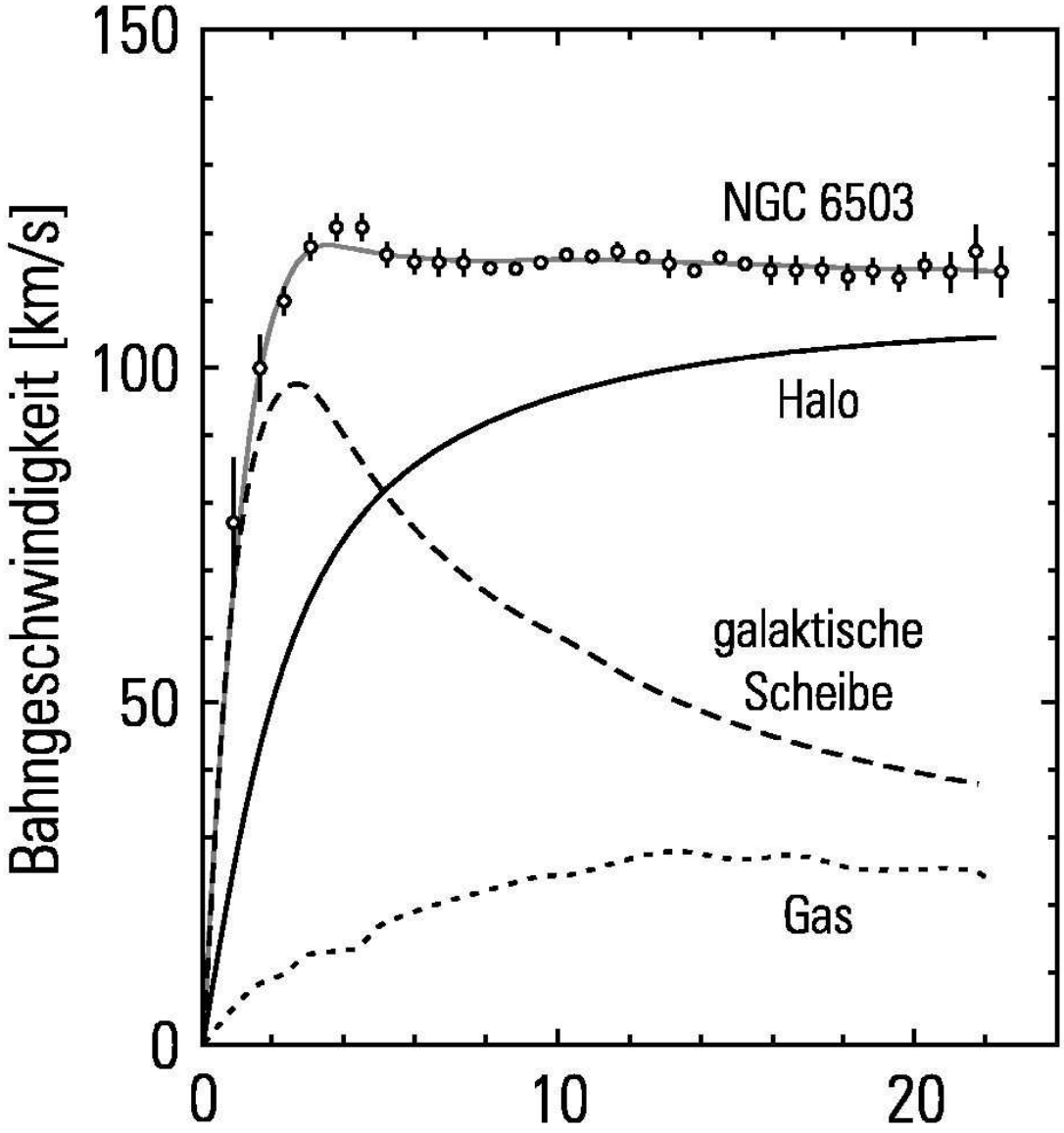


# Zusammensetzung des Universums

- sichtbare Materie $\approx 1\ \%$
- baryonische Materie $\approx 4\ \%$
- Dunkle Materie $\approx 23\ \%$
- Supersymmetrische Teilchen?
- Dunkle Energie $\approx 73\ \%$
- kosmologische Konstante? Vakuumenergie!

# Rotationskurven von Sternen

# Rotationskurven von Sternen



# Fünf kosmologische Fragen

- Warum war das frühe Universum so heiß?
- Warum ist das Universum so gleichförmig?
- (Isotropie und Uniformität)
- Warum hat das Universum genau die kritische Dichte?
- Warum sind die physikalischen Parameter so fein abgestimmt?
- Welchen Ursprung haben primordiale Dichtefluktuationen?

# Grenzwerte

- Chaotische Grenzbedingungen?
- $\rightarrow$ Multiversum
- Unser Universum hat zufällig die richtigen Parameter
- Wir sehen das Universum, wie es ist, weil wir existieren.
- Anthropisches Prinzip
- Viele Welten Theorie

# Parameterwahl

- Just six numbers (Martin Rees)
- $\Omega = 1$
- $\epsilon = 0{,}005$ Bindungsverhältnisse
- 3 Raumdimensionen
- Gravitationskonstante G und Sommerfeldkonstante $\alpha$
- relative Temperaturfluktuationen
- kosmologische Konstante $\Lambda$
- Weitere Parameter: Quarkmassen
- Wirkungsquerschnitt $3\,\alpha \rightarrow$ Kohlenstoff

# Anthropisches Prinzip

Schwaches AP: .. wir müssen vorbereitet sein, die Tatsache in Betracht zu ziehen, dass unser Ort im Universum in dem Sinne notwendig privilegiert ist, dass er mit unserer Existenz als Beobachter vereinbar ist.

Starkes AP:.. das Universum (und deswegen die fundamentalen Parameter, von welchen es abhängt) muss derart sein, dass es die Entstehung von Beobachtern in ihm in manchen Phasen erlaubt.

# Viele Welten Theorie

Problem der Quantenphysik: Die Quantenphysik beschreibt den Mikrokosmos, aber wir sind im Makrokosmos und werden klassisch beschrieben.

Probleme beim Übergang der Quantenphysik zur Messung.

Kollaps der Wellenfunktion? Muss der Beobachter oder das Messinstrument nicht auch quantenmechanisch mit einbezogen werden?

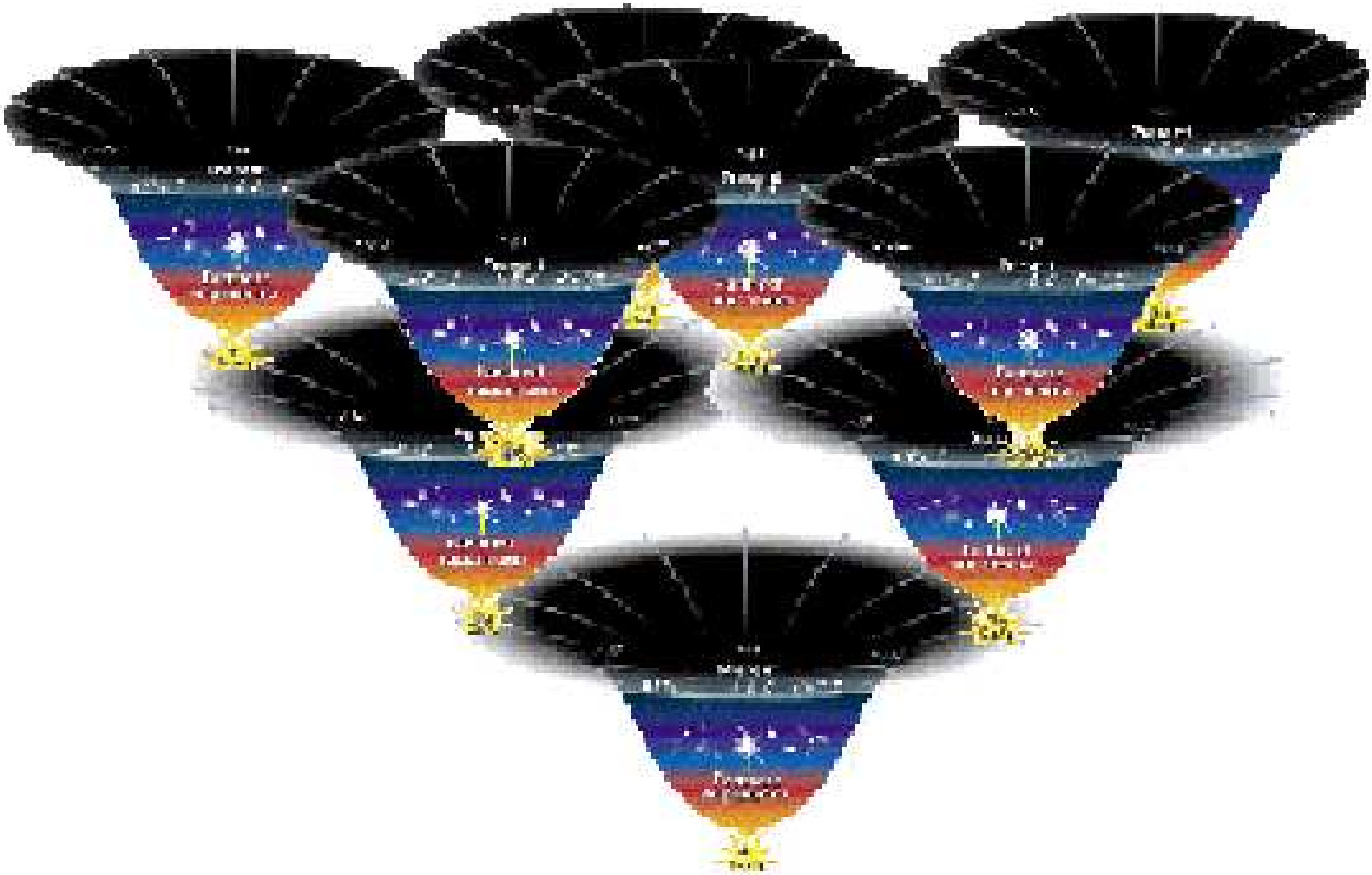
Objekt und Beobachter bilden ein integrales System.

Warum sollen die vielen möglichen Zustände durch die Beobachtung bis auf einen alle verschwinden?

$\rightarrow$ Alle Zustände (Zweige) sind real.

Die verschiedenen Zustände sind orthogonal zueinander, und können sich nicht wechselseitig beeinflussen.

# Multiversum



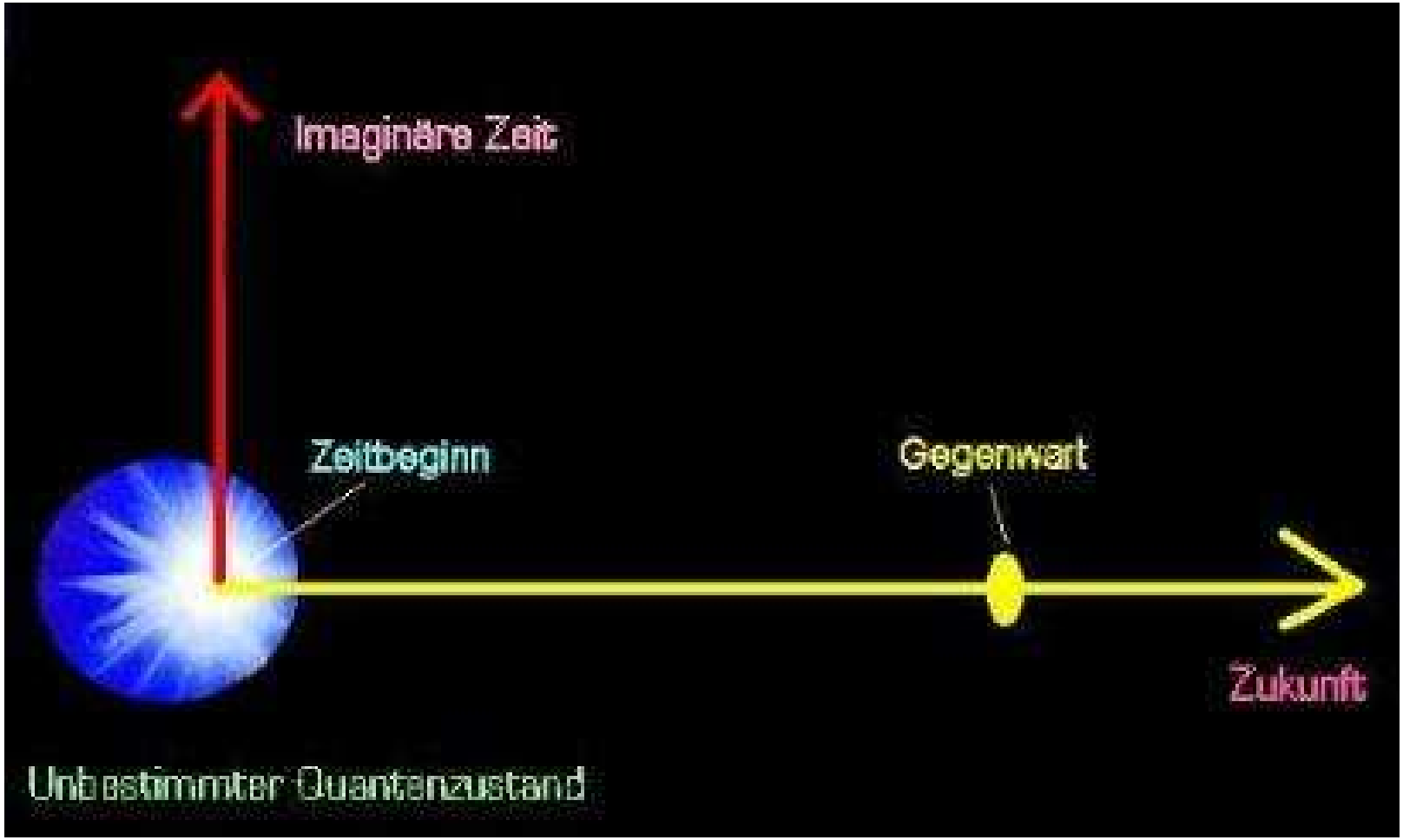
# Imaginäre Zeit

- Das Quadrat jeder Zahl ist immer positiv.
- Zahlen, deren Quadrate negativ sind, heißen imaginär
- $i^2$ = -1
- Ausbreitung einer Lichtwelle in drei Dimensionen:
- r = $\sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = c \cdot t$
- $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 \cdot t^2 = 0$
- ersetze $t \longrightarrow i \cdot t$ (imaginäre Zeit)
- betrachte $c \cdot t = w$ als neue Raumdimension
- $x^2 + y^2 + z^2 - i^2 \cdot c^2 \cdot t^2 = 0$
- $x^2 + y^2 + z^2 + w^2 = 0$

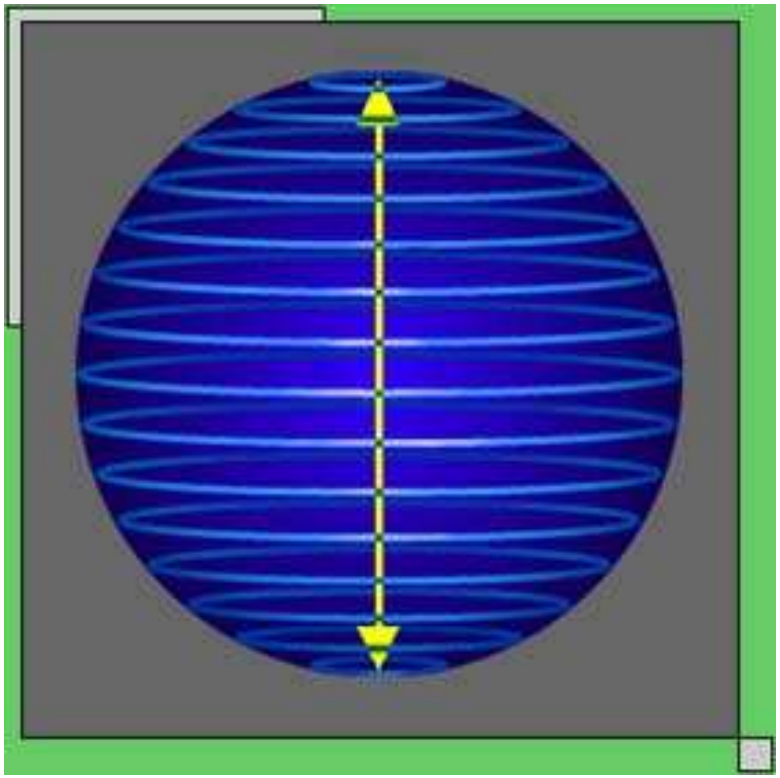
# Imaginäre Zeit

- zweidimensionaler Abstand: r = $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
- vierdimensionaler Raumzeitabstand: r = $\sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 + \Delta w^2}$
- Analogon: betrachte die zweidinensionale Oberfläche der Erde als Raumzeit
- was ist nördlich vom Nordpol?
- In dieser Raumzeit mit imaginärer Zeit gibt es keine Singularitäten.

# Imaginäre Zeit



# Imaginäre Zeit



Raum und imaginäre Zeit bilden eine gemeinsame Fläche.
Die Geometrie des Keine-Grenzen-Universums wäre der Oberfläche einer Kugel ähnlich (allerdings in vier, statt in zwei Dimensionen). In dieser Analogie mit der imaginären Zeit stellt der Nordpol den Urknall dar. Der Nordpol ist aber keine Singularität.

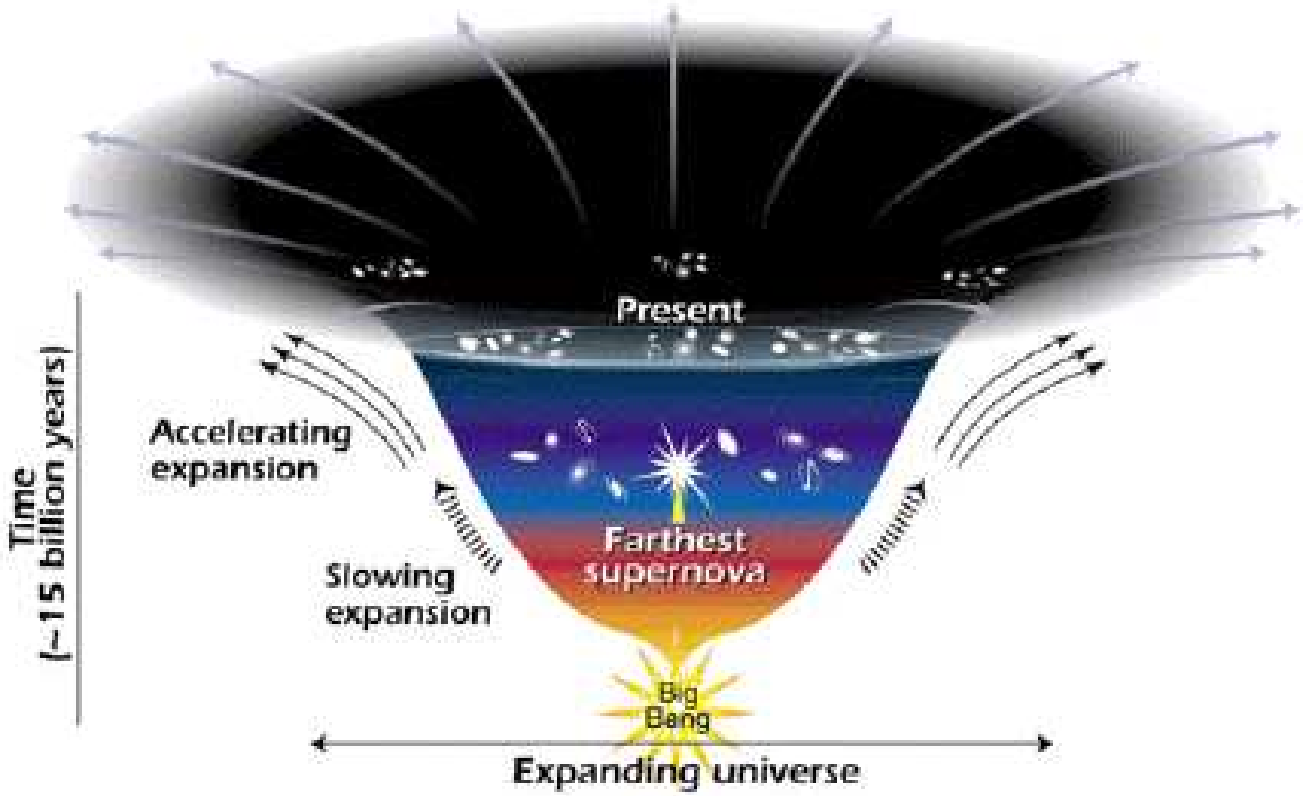
# Energiefrage

- kinetische Energie ist positiv
- Gravitationsenergie ist negativ
- zwei Massen $m_1$ und $m_2$ im Abstand a haben die Energie E
- dieselben Massen im größeren Abstand haben weniger Energie
- weil man Energie aufwenden muss, um sie weiter zu trennen
- Gravitationsenergie ist also negativ

# Inflationstheorie

- Das Universum ist flach und homogen
- exponentielle Expansion im Frühstadium des Universums
- dadurch werden alle Unregelmäßigkeiten ausgebügelt
- es gibt nicht nur *eine* Inflationstheorie
- Inflation garantiert ein uniformes Universum
- die Inflation wird durch die Kosmologische Konstante angetrieben
- $\Lambda$ entspricht einer abstoßenden Gravitation

# Universum


Present
Accelerating expansion
Slowing expansion
Farthest supernova
Big Bang
Time (~15 billion years)
Expanding universe

# Singularitäten und Quantentheorie

- in der Quantentheorie gibt es keine Singularitäten
- nach Heisenberg kann man keine Masse exakt lokalisieren
- jeder Weg ist möglich
- man muss alle Möglichkeiten aufsummieren
- um das mathematisch durchführen zu können, hat man die imaginäre Zeit eingeführt

# Der Zeitpfeil

- Newton: absolute Zeit
- Einstein: Zeit beobachterabhängig
- Die Naturgesetze unterscheiden nicht zwischen Vergangenheit und Zukunft.
- C,P,T Symmetrien
- Paritätsverletzung
- CP-Verletzung
- CPT-Invarianz

# Thermodynamischer Zeitpfeil

- erst die Ursache, dann die Wirkung
- reversible und irreversible Prozesse
- Entropiebegriff
- es gibt mehr ungeordnete Zustände als geordnete
- psychologische Zeit: Gefühl, dass die Zeit fortschreitet
- kosmologische Zeit: das Universum dehnt sich aus und zieht sich nicht zusammen

# Thermodynamischer Zeitpfeil

- Die Unordnung wächst mit der Zeit, weil wir die Zeit in der Richtung messen, in der die Unordnung wächst.
- Anfangsentropie des Universums: geordneter als jetzt
- Die mögliche Entropie wächst mit dem Volumen des Universums
- auch in einer möglichen Kontraktionsphase würde die Entropie wachsen.

# kosmologischer Zeitpfeil

- Damit Leben entsteht, muss die Entropie zunehmen
- Nahrung ist geordnete Energie
- Nahrungsaufnahme führt zur Entropievermehrung und letzlich zur Wärme, also einer ungeordneten Form der Energie
- am 2. Hauptsatz kommt keiner vorbei

# Vereinheitlichung der Physik

- Vier Theorien:
- starke Wechselwirkung
- elektromagnetische Wechselwirkung
- schwache Wechselwirkung
- Gravitation
- Elektroschwache Wechselwirkung, GUT
- Superstringtheorien
- Planck Skala

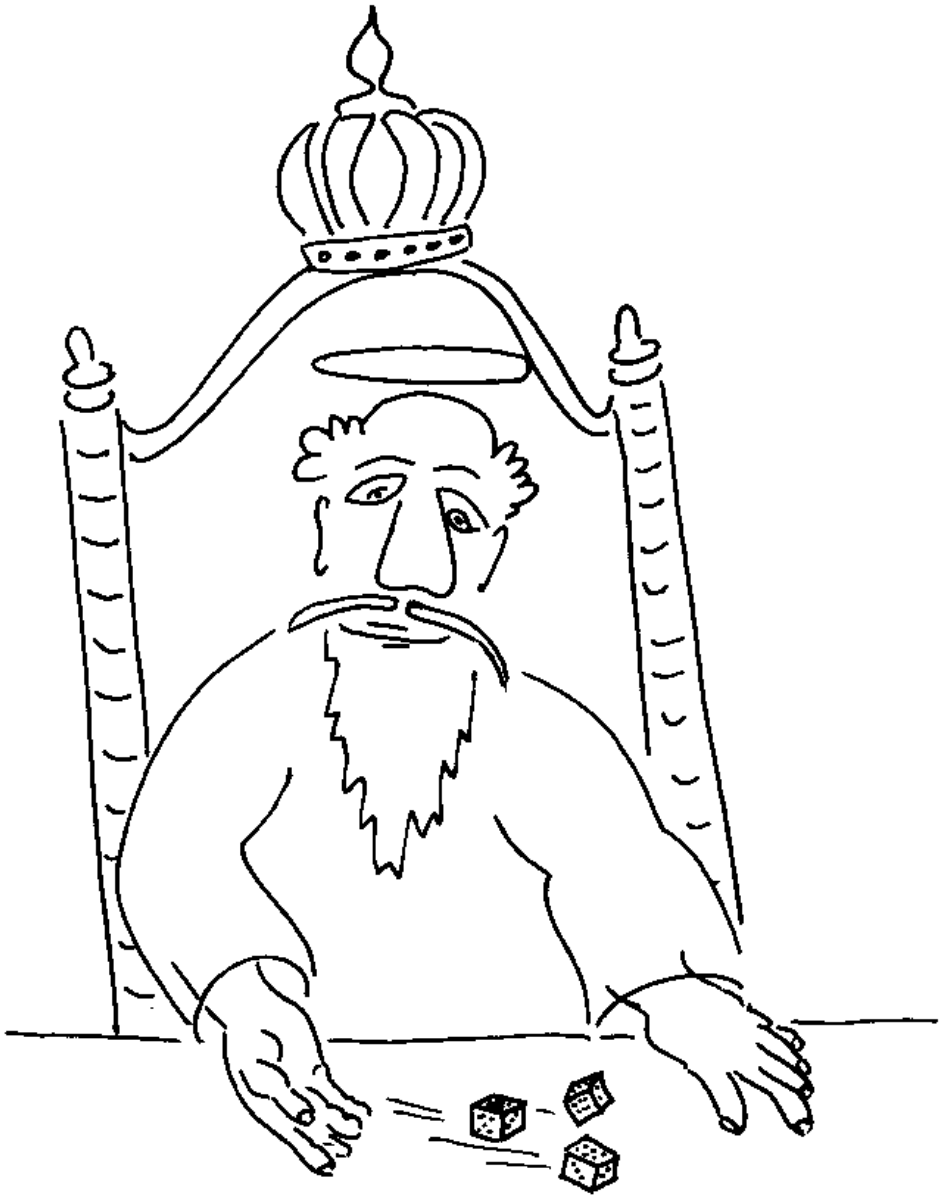
# Probleme der Vereinheitlichung

- Allgemeine Relativitätstheorie: klassische Theorie
- Quantenphysik: Heisenbergsche Unschärferelation
- Anzahl der Dimensionen? n = 2 geht nicht!
- Abkürzung durch zusätzliche Dimensionen?
- zusätzliche große Dimensionen???
- Gravitationsgesetz in höheren Dimensionen?
- Gravitationskraft $\sim 1/r^{n-1}$
- Begründung: Oberfläche eines n-dimensionalen Körpers $\sim r^{n-1}$

# Offene Fragen

- es gibt keine vollständige Theorie von allem, sondern nur ein Folge von Theorien, die immer besser werden.
- es gibt keine Theorie des Universums. Ergeignisse können nicht über ein gewisses Maß an Genauigkeit vorhergesagt werden (liegt an Heisenberg). Jenseits dessen herrscht der Zufall.
- der mathematische Aufwand für Vielteilchensysteme ist enorm.
- schon das Dreikörperproblem ist nicht geschlossen lösbar.
- Theorien lassen sich nicht beweisen, sondern nur falsifizieren

# Gott würfelt



# Schlußfolgerungen/Ausblick

- nur ein kleiner Teil der beobachtbaren Welt ist physikalisch verstanden
- Allgemeine Relativitätstheorie und Quantenphysik passen nicht zusammen
- bzgl. der Dunklen Materie gibt es Ideen
- bzgl. der Dunklen Energie tappen wir buchstäblich im Dunklen
- Warum gibt es drei Generationen?
- Gibt es mehr als drei Raumdimensionen?

# Schlußfolgerungen/Ausblick

- Wer hat die Naturkonstanten so abgestimmt, dass Leben sich entwickeln konnte?
- anthropisches Prinzip?
- Leben wir in einem Multiversum?
- Haben wir eine Chance, Gottes Plan zu erkennen?
- Würde eine vollständige Theorie des Universums Gott arbeitslos machen?