

Hawking: Eine kurze Geschichte der Zeit

Claus Grupen
SS 2008



Universität Siegen

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

Zeit



PTB Atomuhr

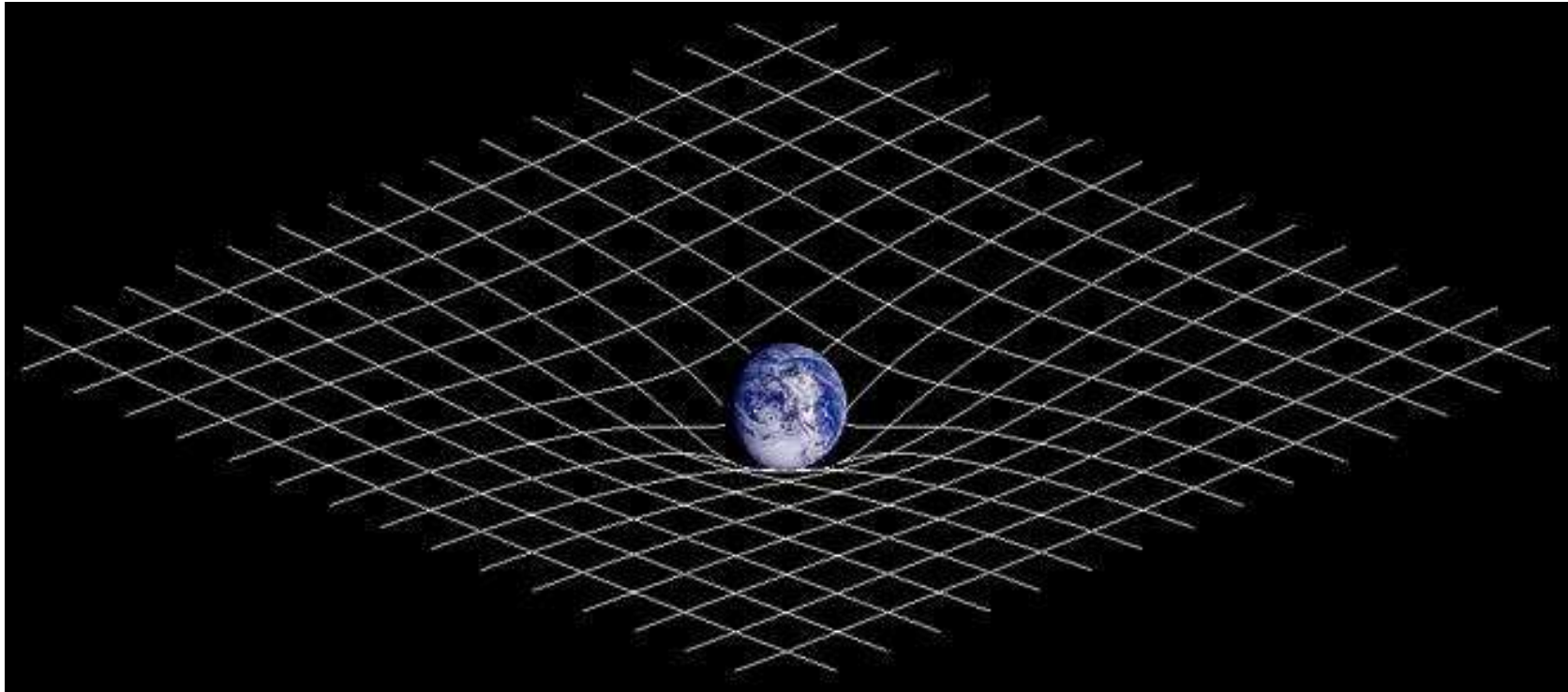


genaue Zeit: <http://www.atomzeit.eu/>

PTB Atomuhr



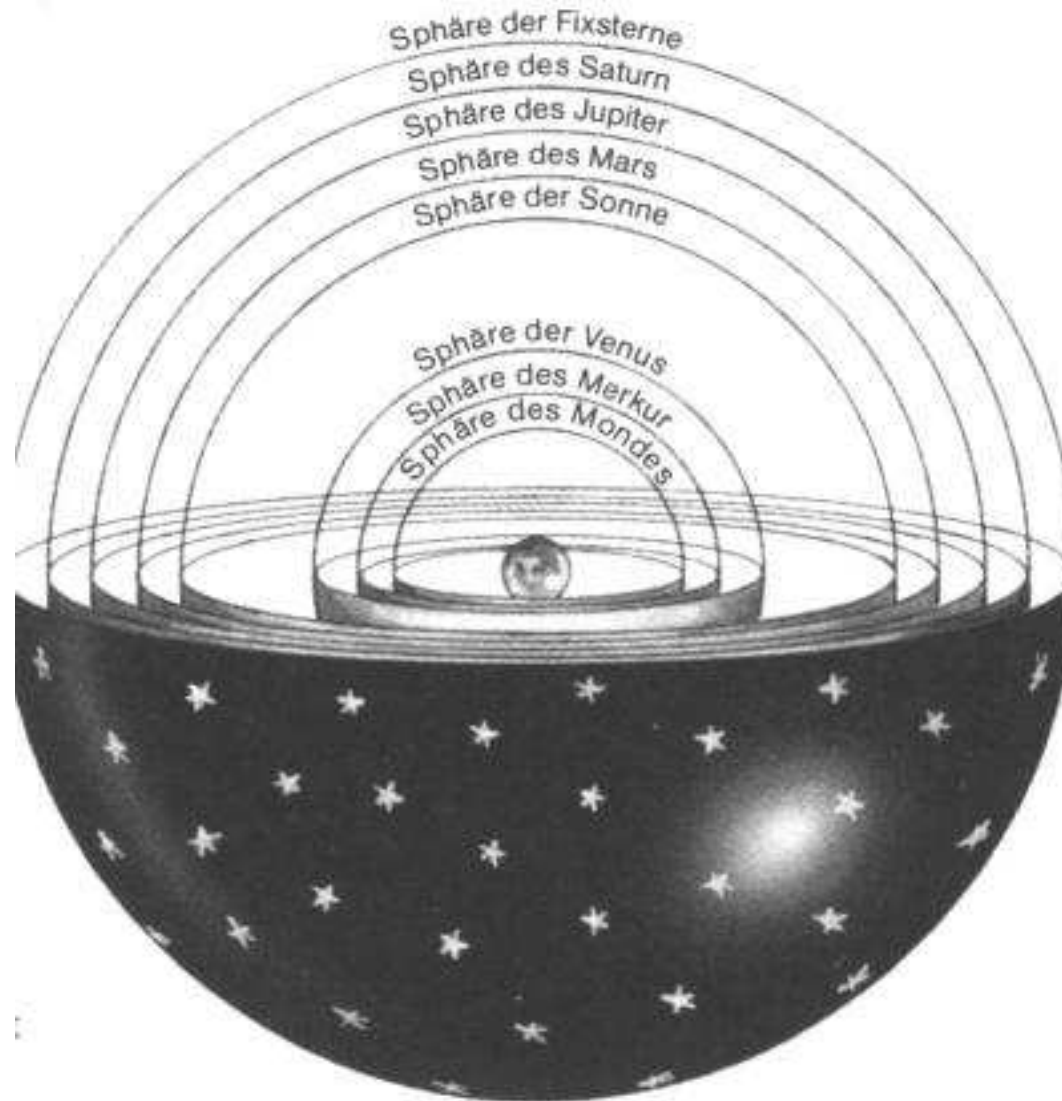
Die Erde in der Raumzeit



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 celestium 1543
- Kepler: Ellipsen (Tycho Brahe)
- Galileo Galilei: Jupitermonde, Fallgesetze

Wissenschaftliche Ansätze

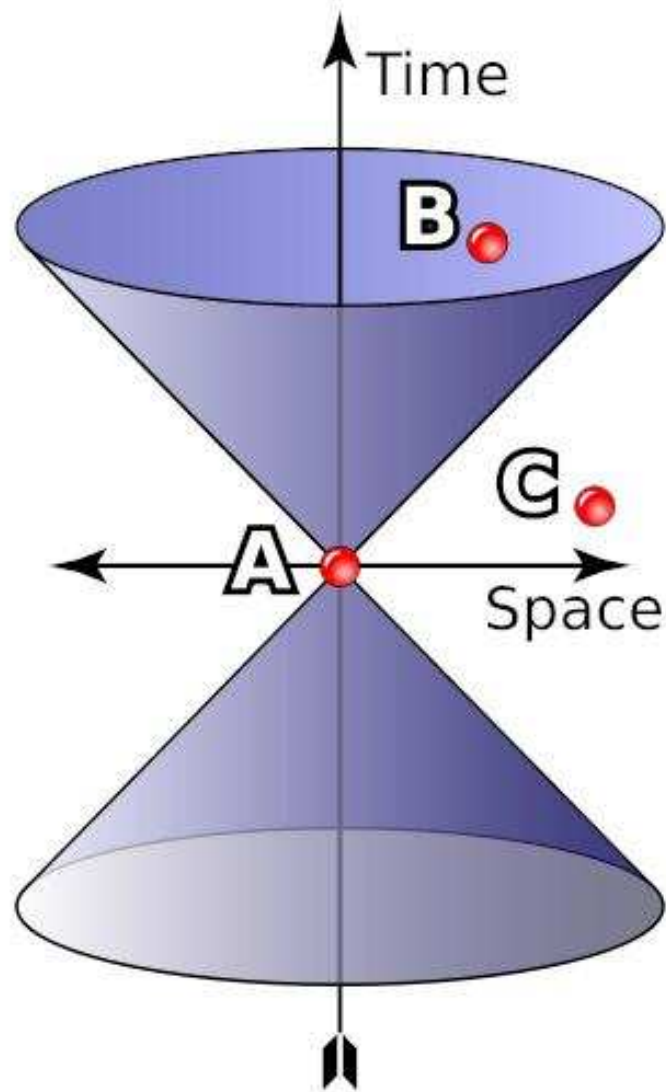
- Wer bewegt die Erde? Engel? Magnetische Kräfte?
- Newton: Philosophiae naturalis principia mathematica 1687
- Gibt es endlich viele Sterne? Dann müßten sie zusammenstürzen.
- Also gibt es unendlich viele Sterne!?
- Olbertsches Paradoxon
- Hat die Zeit einen Anfang? Augustinus!
- Edwin Hubble: Expansion

Augustinus



De Civitate Dei

Lichtkegelphysik



Spezielle Relativitätstheorie

Lorentz-Transformationen:

Translation entlang der x-Achse mit der Geschwindigkeit v

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

$$x' = \gamma(x - vt)$$

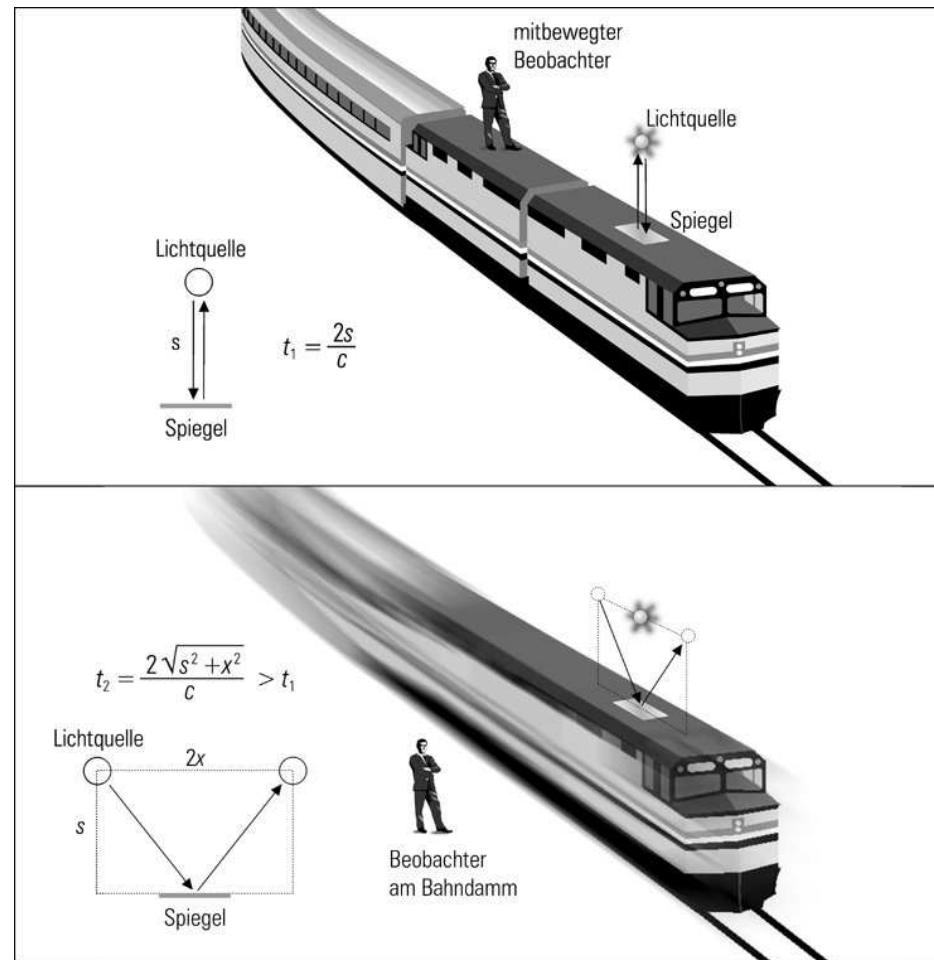
$$y' = y$$

$$z' = z$$

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

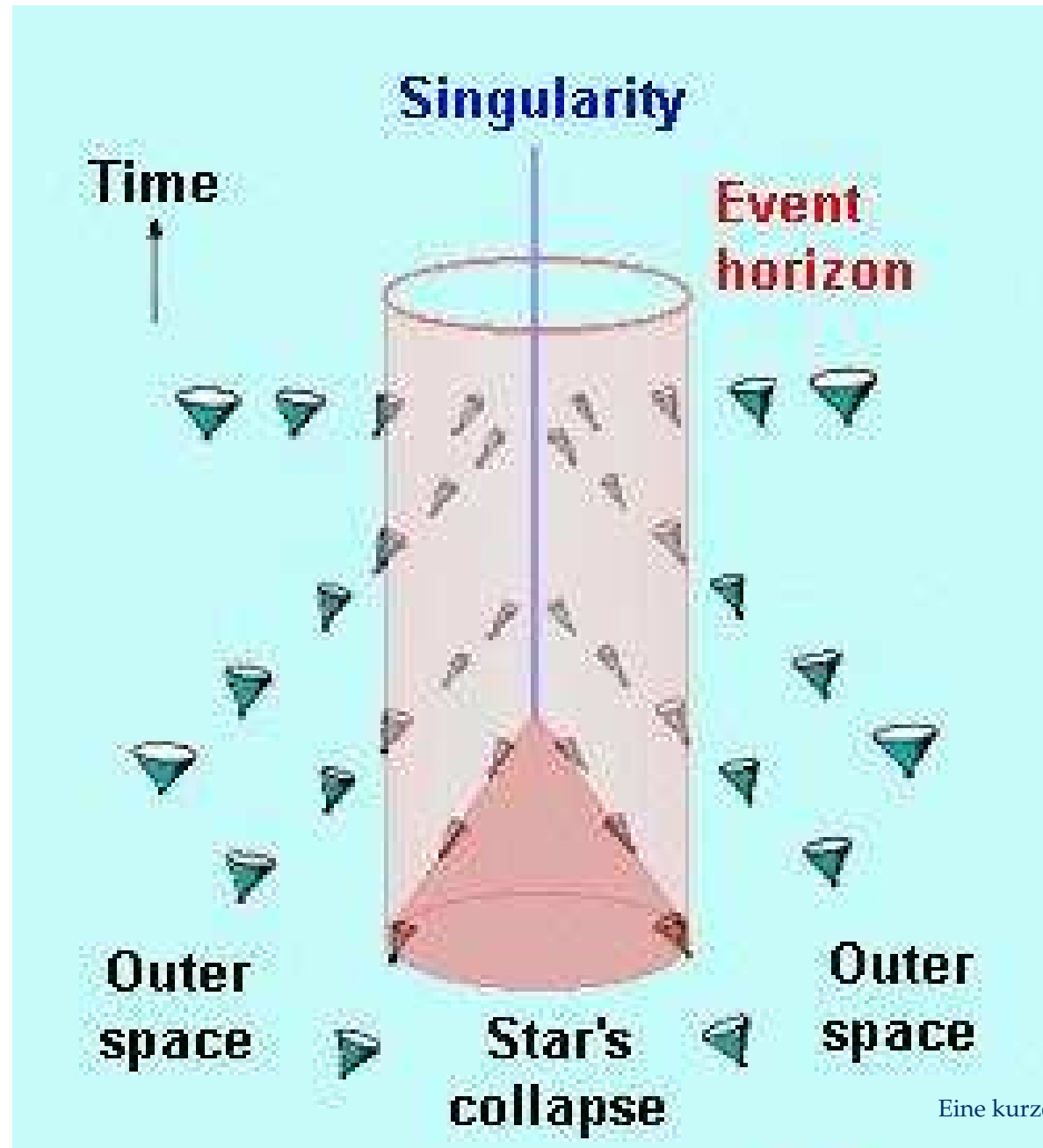
Doppler-Effekt

- c - Signalgeschwindigkeit, v - Geschwindigkeit des Beobachters
- klassische Näherung
- Beobachter bewegt sich in Bezug auf eine ruhende Quelle:
- $\nu = \nu_0 (1 \pm v/c)$
- 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
- $\Delta E = m_\gamma \cdot g \cdot h$
- $\rightarrow$ Frequenzerniedrigung
- Uhren im Schwerefeld gehen langsamer

Lichtkegel, Minkowski-Welt



Das expandierende Universum

- Fixsterne? Parallaxen
- Kant: Galaxien
- Die Entfernungsleiter
- δ -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 (α β γ 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: $\Delta x \cdot \Delta p \geq \hbar$
- fundamentale, unausweichliche Eigenschaft
- keine exakte Vorhersage in der Quantenwelt
- keine exakte Messung in der Quantenwelt

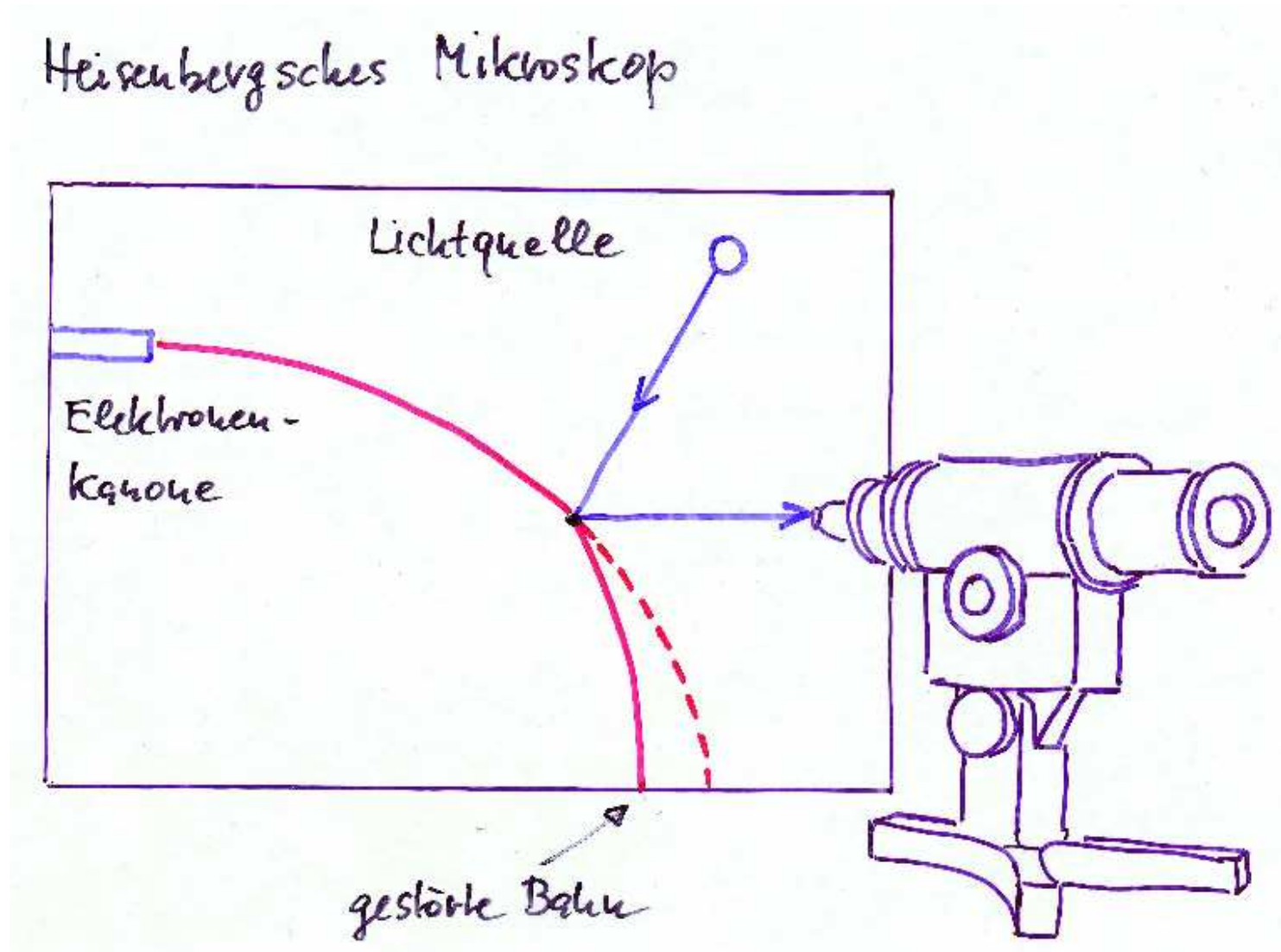
Rayleigh-Streuung



Unschärferelation

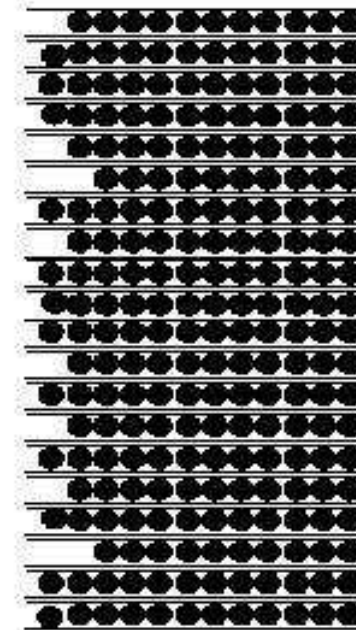
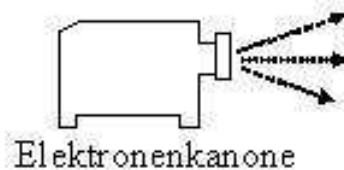
- Position und Geschwindigkeit sind nicht getrennt wahrnehmbar
- Element der Zufälligkeit
- → Gott würfelt!
- Max Planck! Quantenhypothese
- Problem der Gravitation: bisher keine Quantentheorie
- Doppelspalt-Experiment
- Lichtquelle wird durch Teilchenquelle ersetzt
- Interferenz verschwindet, wenn man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

Unschärferelation



Doppelspalt-Experiment

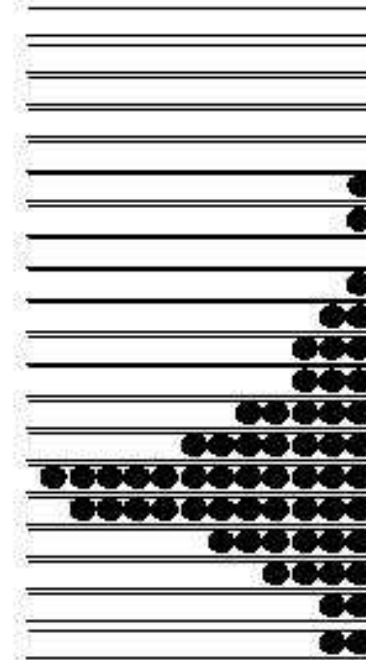
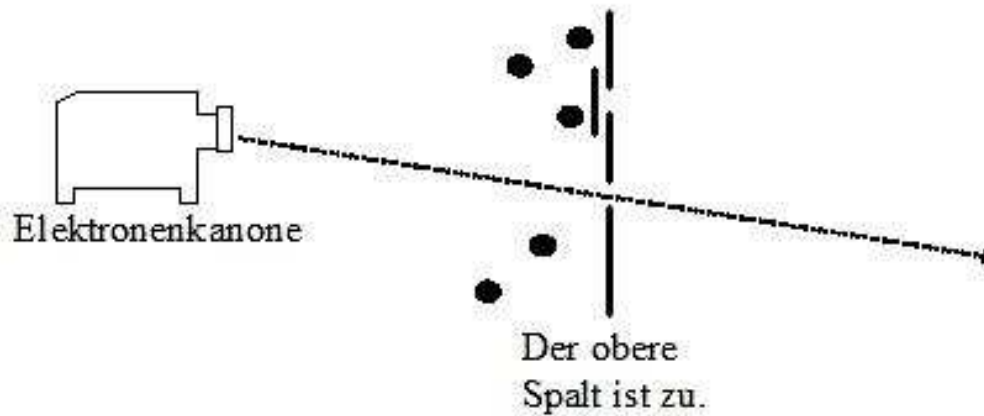
Eine 'Kanone' schießt Elektronen auf eine Reihe von Detektoren. Die registrierten Elektronen werden in den Detektoren als schwarze Kugeln gezeichnet.



Viele Elektronendetektoren nebeneinander. Die Elektronen sind als schwarze Kugeln gezeichnet.

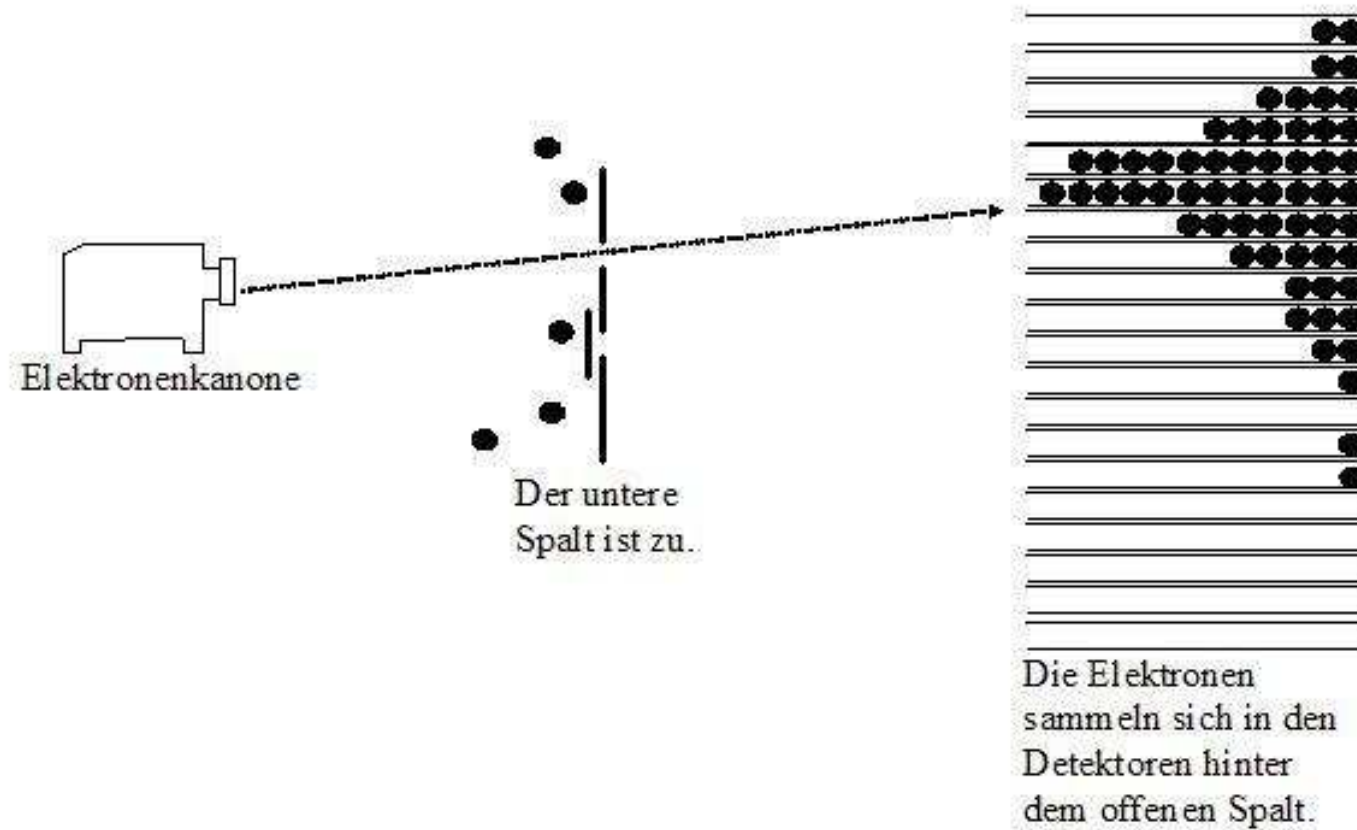
Doppelspalt-Experiment

Zwischen die Kanone und den Detektoren stellen wir eine Wand mit zwei Löchern (Doppelspalt), wobei wir den oberen Spalt schliessen.



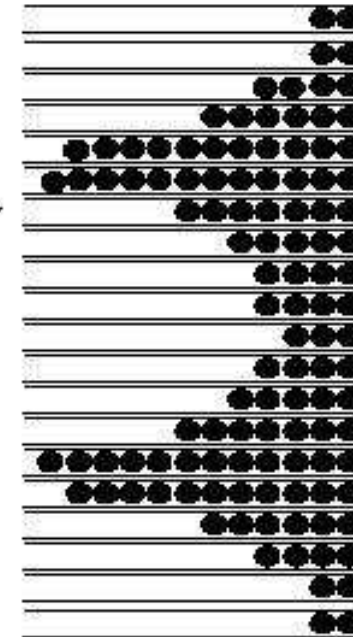
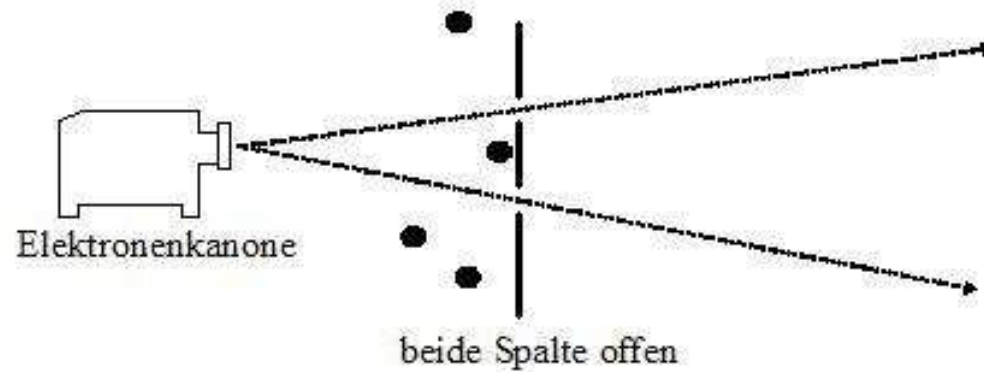
Die Elektronen sammeln sich in den Detektoren hinter dem offenen Spalt.

Doppelspalt-Experiment



Doppelspalt-Experiment

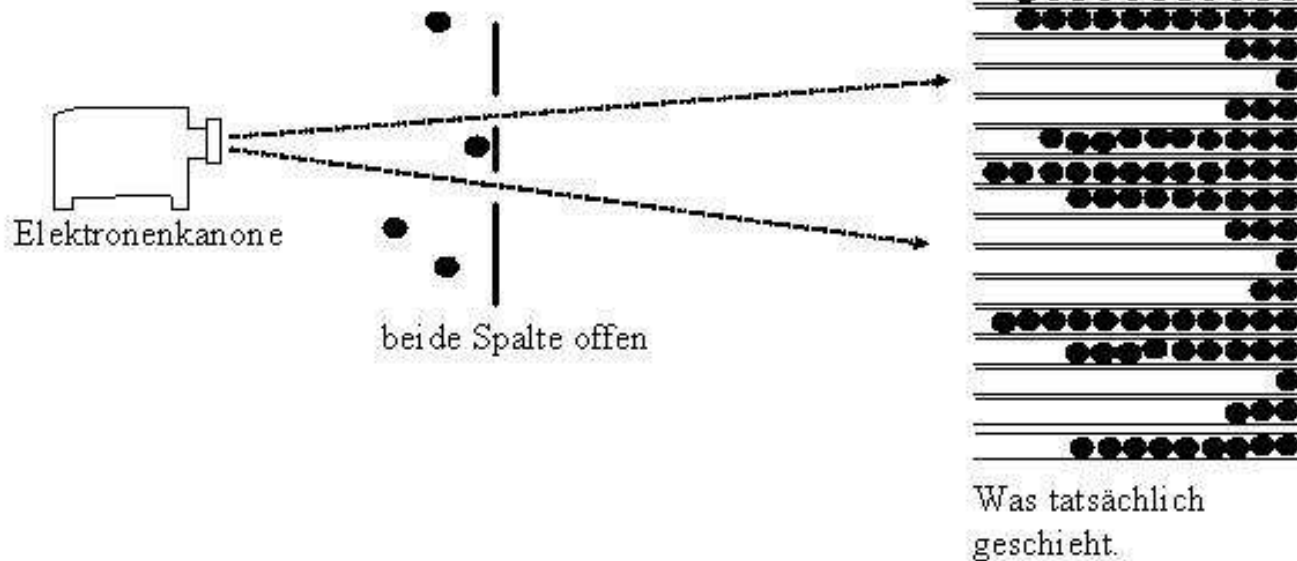
Was wir erwarten würden, wenn beide Spalte offen sind.



Was wir erwarten würden.

Doppelspalt-Experiment

Was tatsächlich geschieht, wenn beide Spalte offen sind. Die Elektronen sammeln sich nicht mehr direkt hinter den Löchern, sondern zum Teil an Orten, an die fast nie ein Elektron hingelangt, wenn nur ein Spalt offen ist (egal welcher). Umgekehrt finden sich hinter den Spalten plötzlich praktisch keine Elektronen mehr. Das zusätzliche Loch behindert also manche Wege mehr, als ein Verschluss vor dem Spalt.



Interpretation Doppelspalt

- die Interferenzstreifen erscheinen auch, wenn die Elektronen einzeln durch die Spalte gehen
- → jedes Elektron geht durch BEIDE Spalte!
- die Interferenz verschwindet, wenn man versucht nachzuschauen, durch welchen Spalt die Elektronen gehen
- → Pfadintegralmethode von Feynman
- “sum over histories”

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

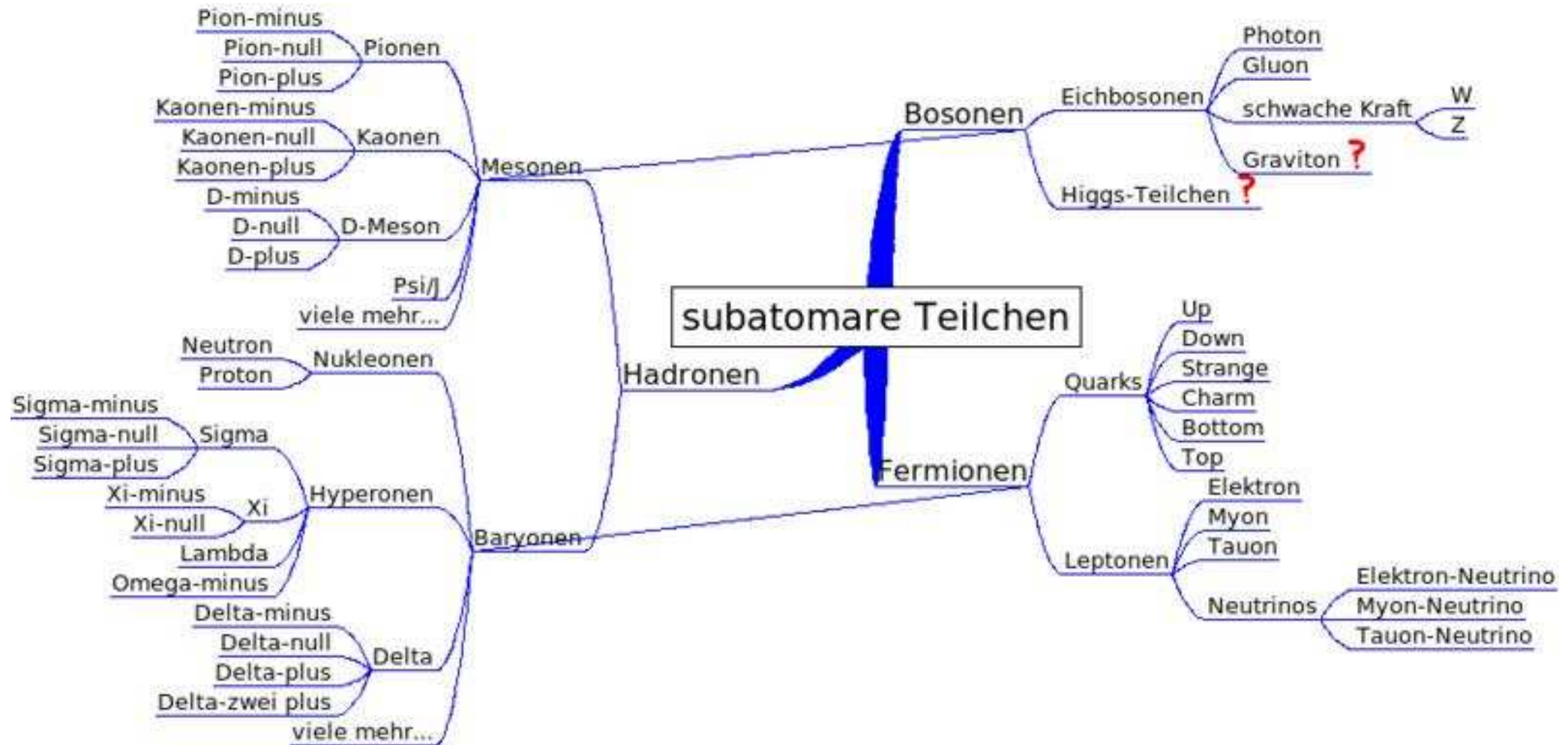
Elementarteilchen und Naturkräfte

- 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 α Teilchen an Goldfolien
- James Chadwick: Neutron
- Murray Gell-Mann und Georges Zweig: Quarks (1964)

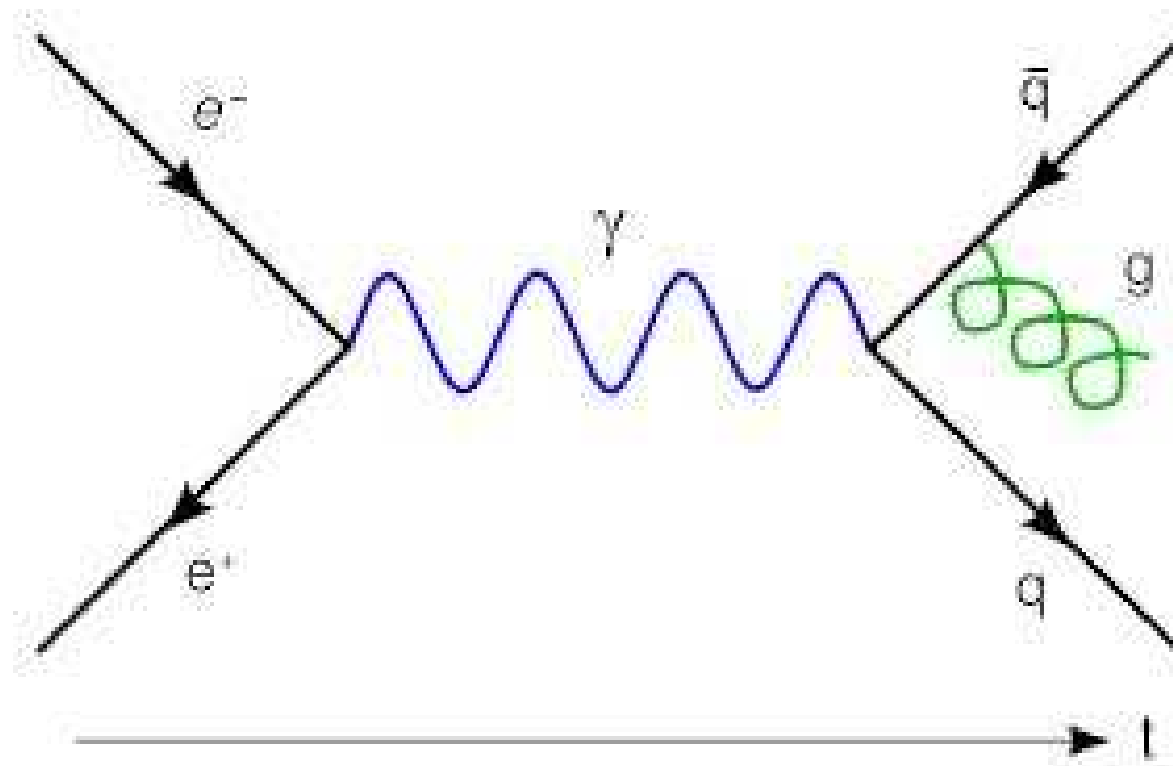
Elementarteilchen und Naturkräfte

- 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)
- Kräfterteilchen: γ und massive Austauschteilchen
- Reichweite

Teilchen



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



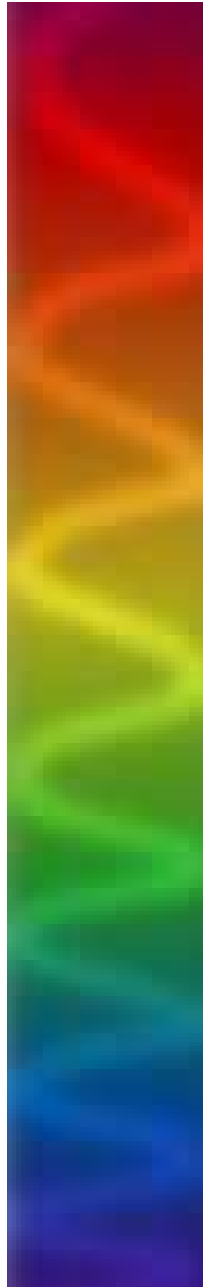
Vereinigung

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

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 ($r \approx 1000 \text{ km}$)
- Druck des entarteten Neutronengases
- $\rightarrow$ Neutronenstern ($r \approx 15 \text{ km}$)
- $m \geq 1,4 M_{\odot} \rightarrow$ Schwarzes Loch
- Ereignishorizont

Kippende Lichtkegel

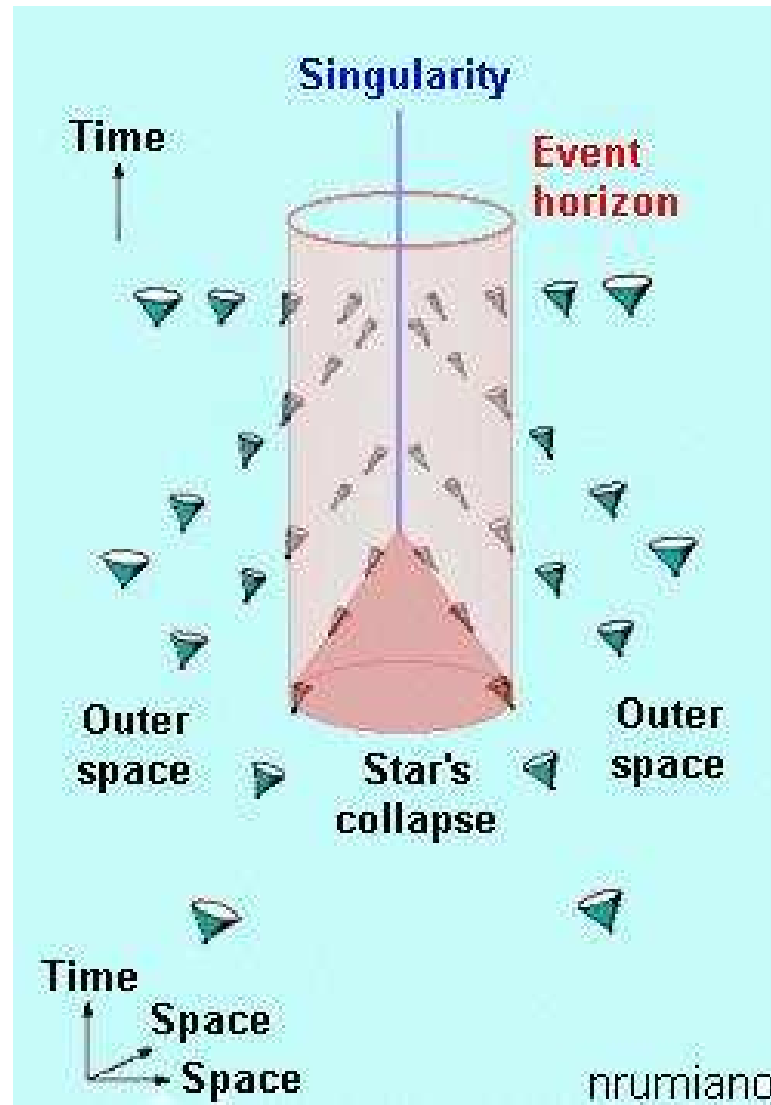
Wie sieht ein Lichtkegeldiagramm in der Nähe eines Schwarzen Loches aus? Die Raum-Zeit in der Nähe eines Schwarzen Loches ist gekrümmt. Licht bewegt sich NICHT auf geraden Linien!

Deshalb neigen sich die Lichtkegel zum Loch hin.

Am Ereignishorizont haben sich die Lichtkegel um 90° gedreht.

Raum und Zeit sind vertauscht!

Lichtkegel



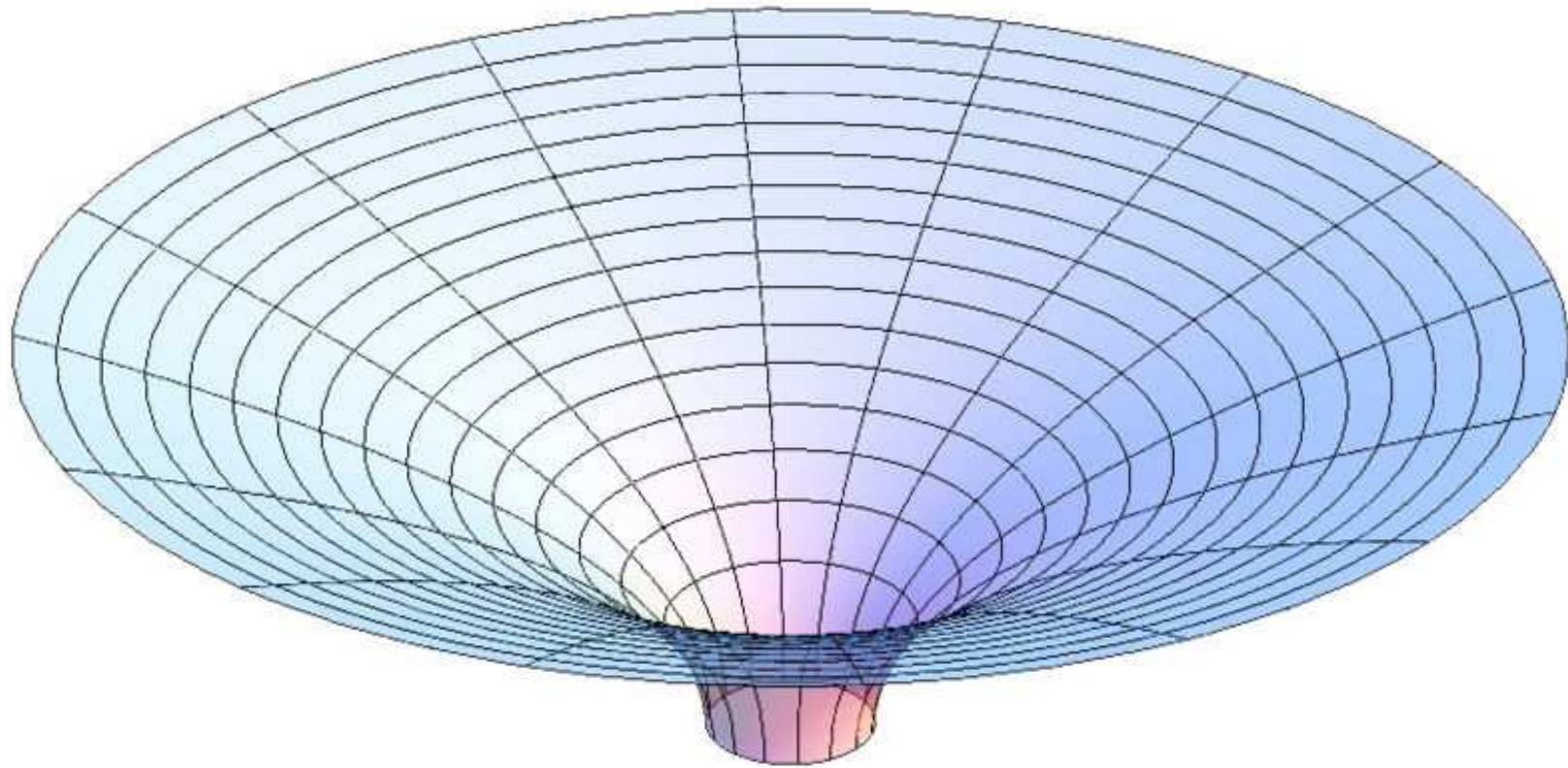
Differenzielle Gravitation

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

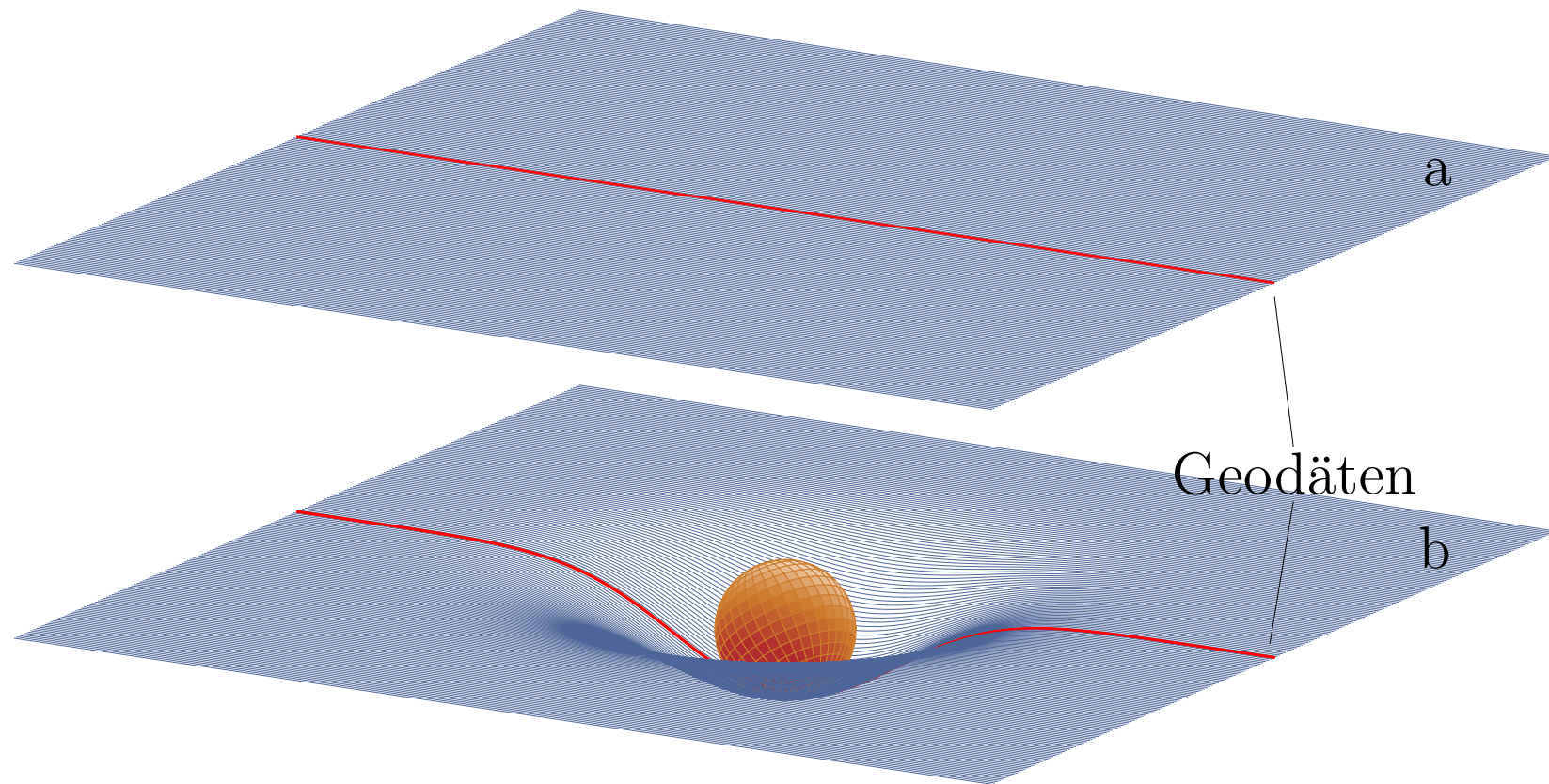
Schwarze Löcher

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	$2 \cdot 10^{30}$	$7 \cdot 10^6$	3000
Neutronenstern	10^{30}	10 000	1500
Milchstraße	$2 \cdot 10^{41}$	$1,5 \cdot 10^{20}$	$3 \cdot 10^{14}$
Universum	$1 \cdot 10^{53}$	$7,5 \cdot 10^{31}$	$1,5 \cdot 10^{26}$

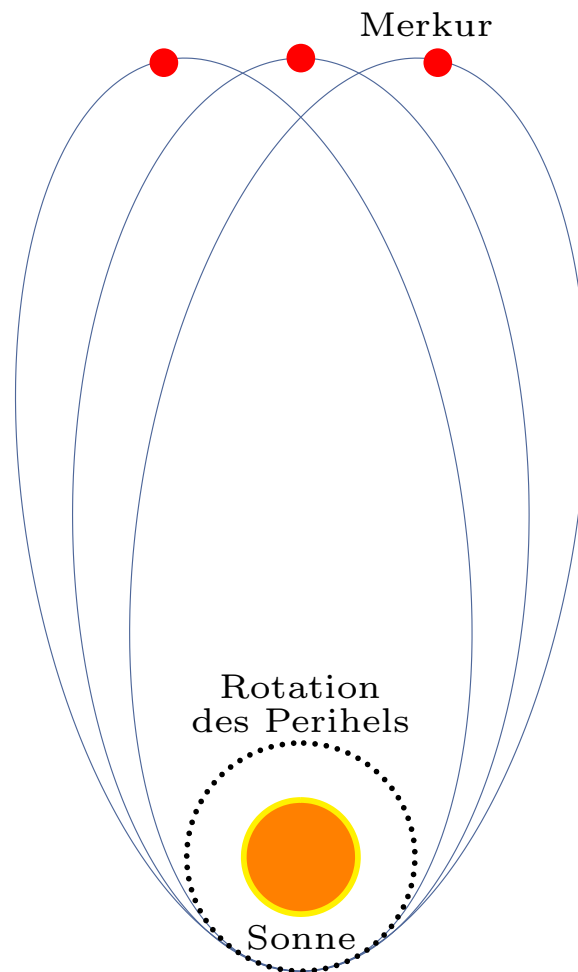
Gekrümmter Raum



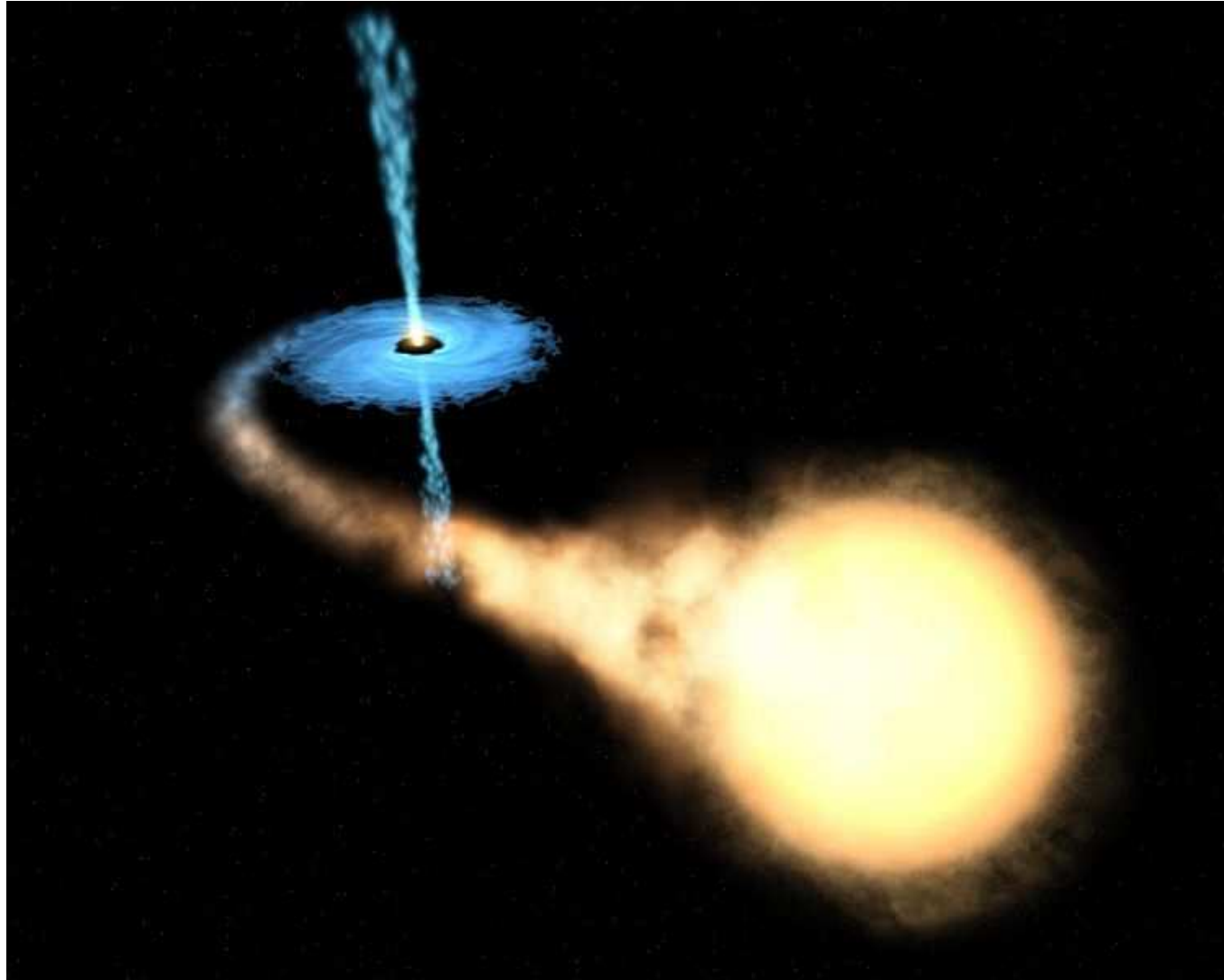
Gekrümmter Raum



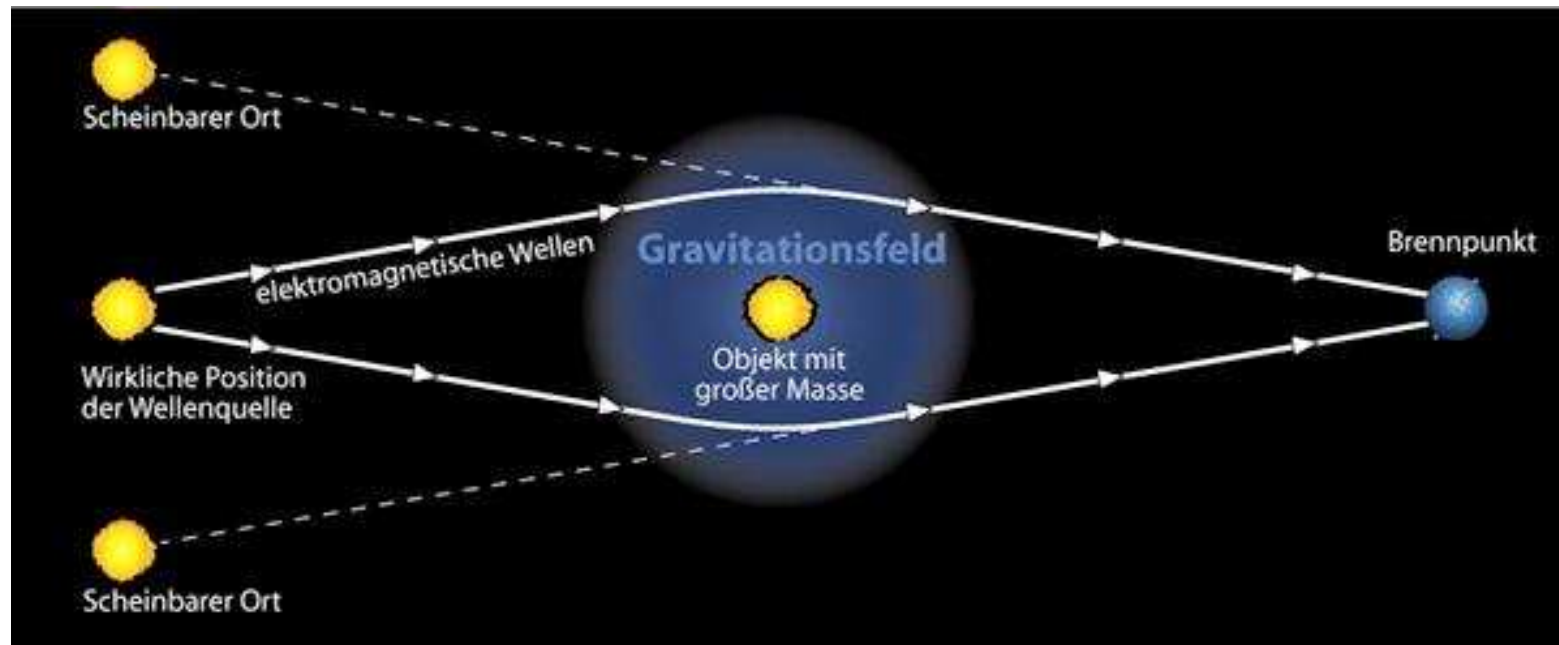
Periheldrehung



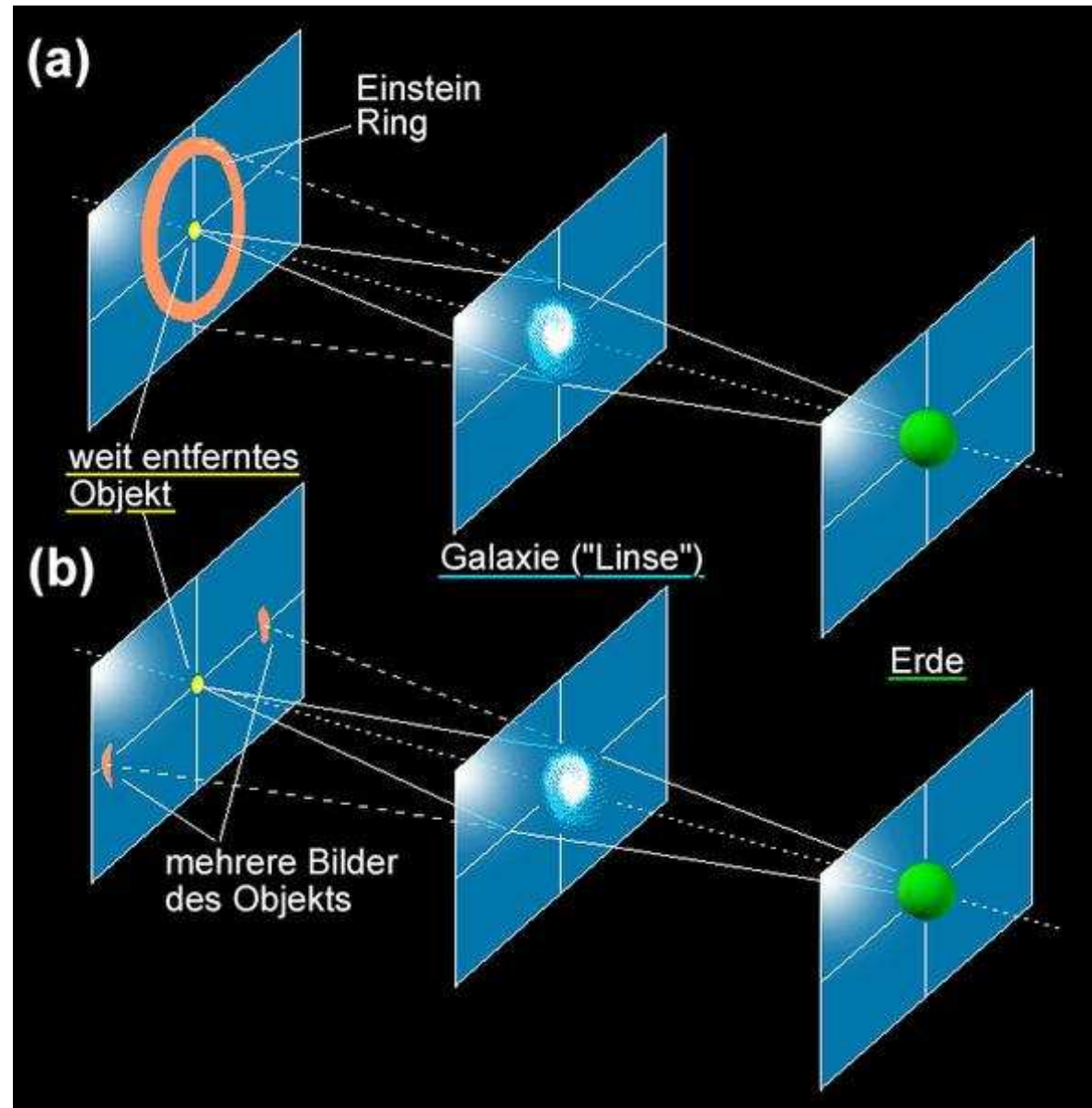
Akkretionsscheibe und Jets



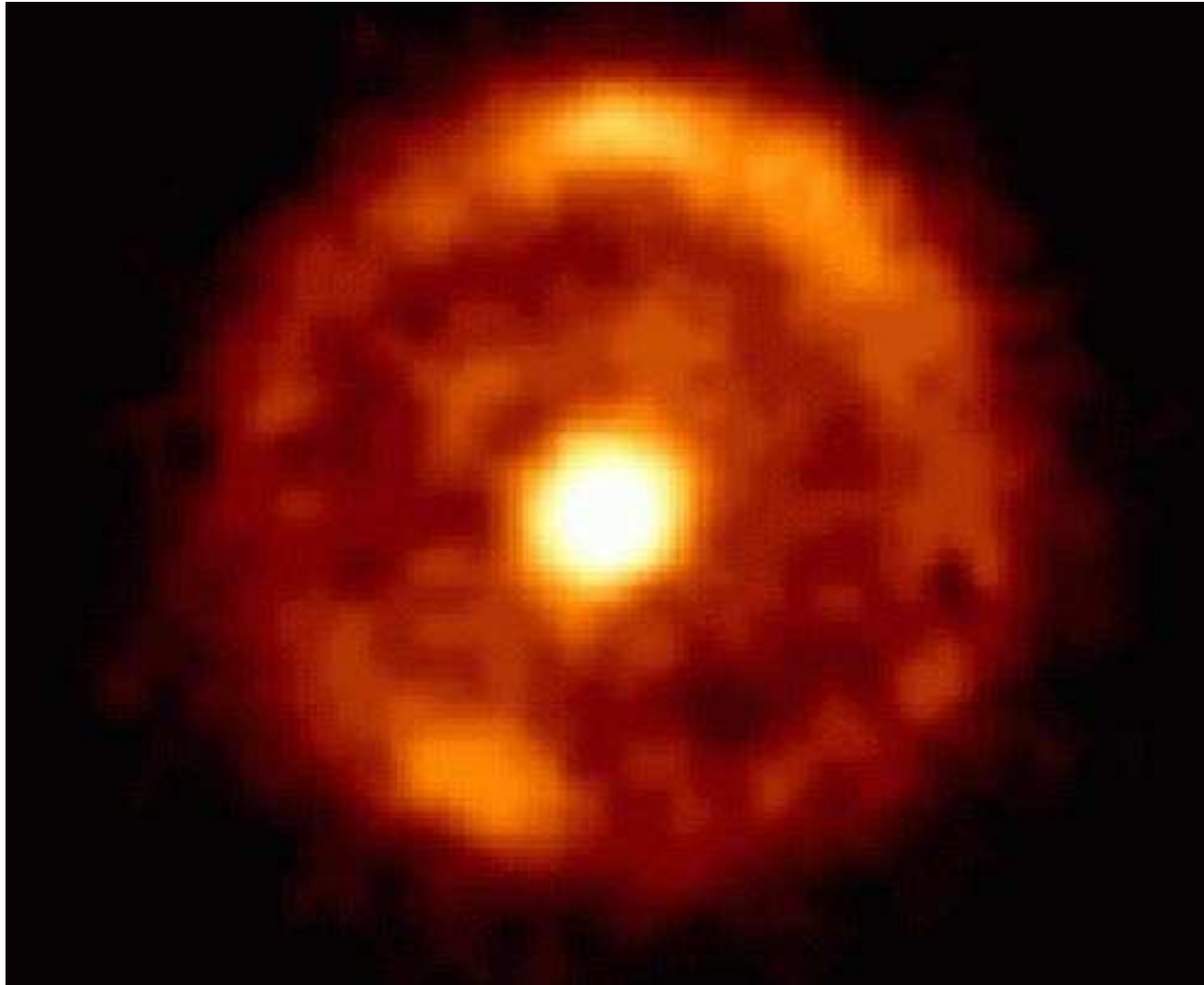
Gravitationslinsen



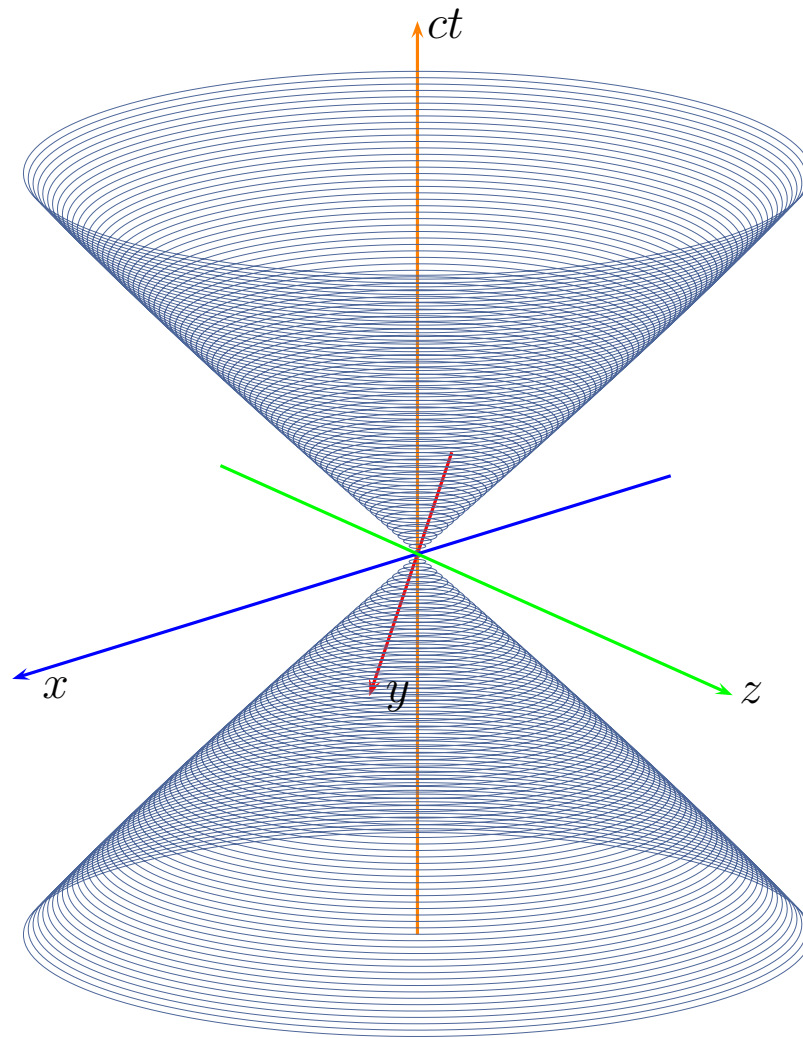
Einsteinring



Einsteinring



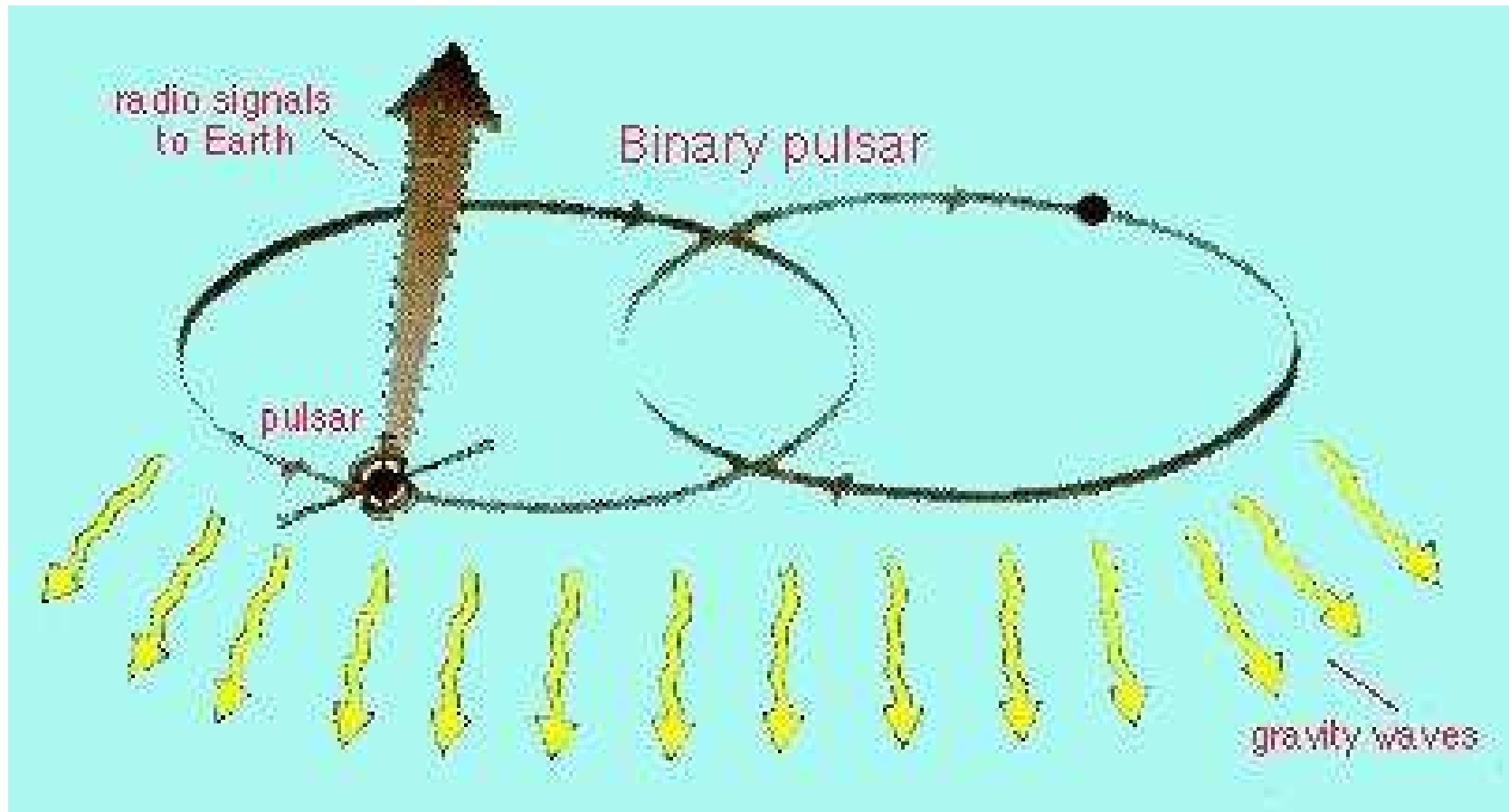
Lichtkegel



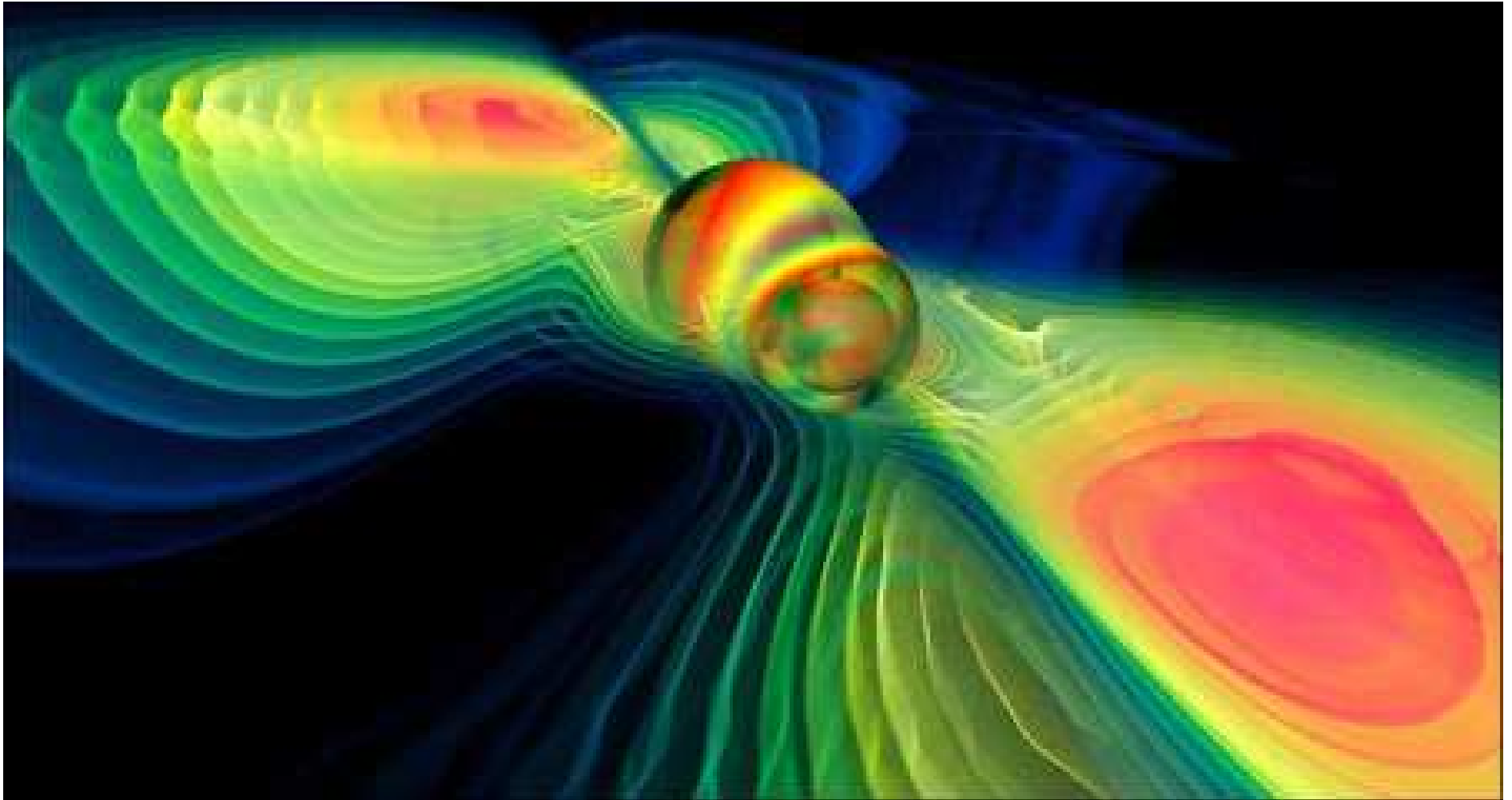
Gravitationswellen

- 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

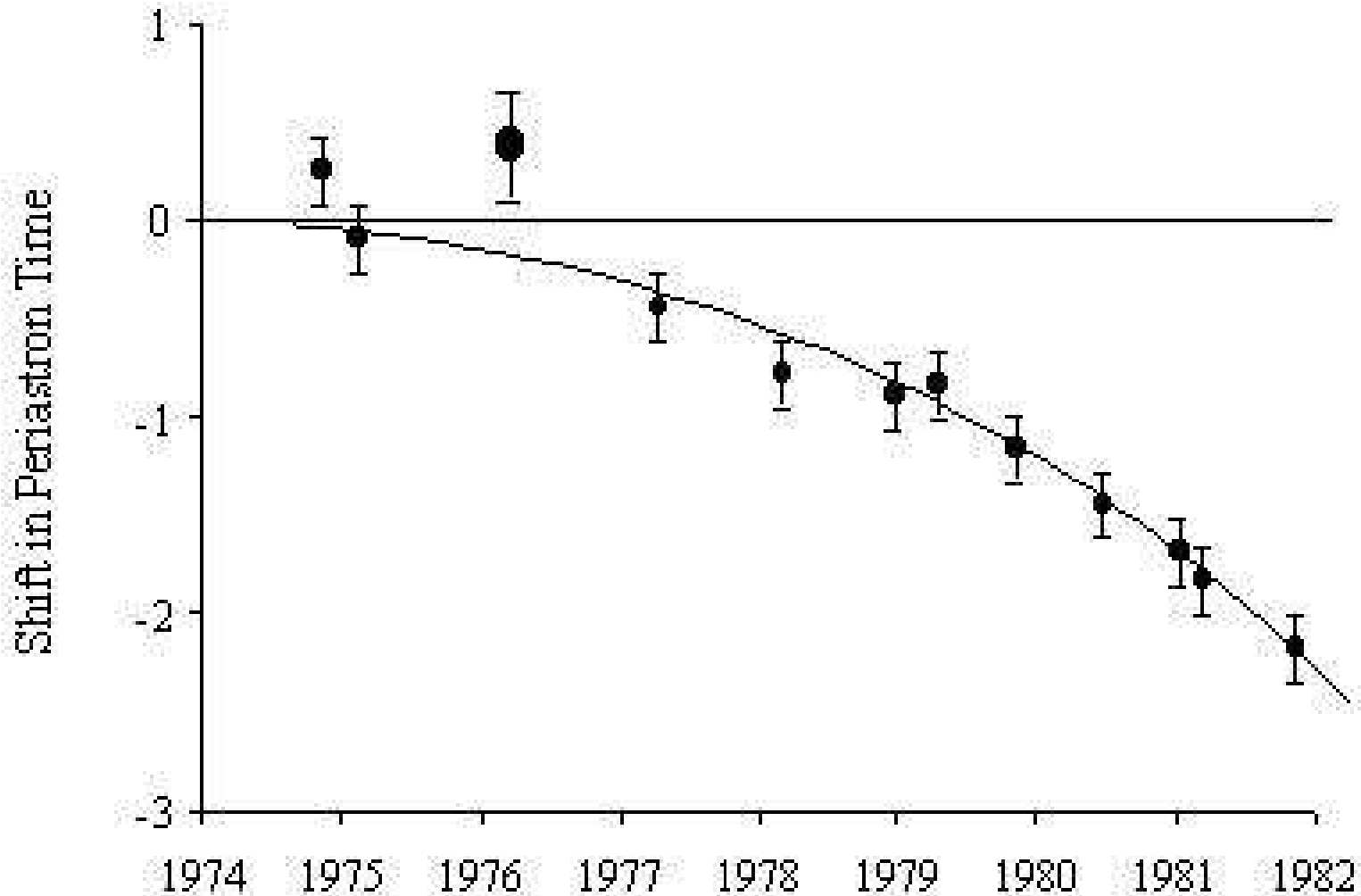
Binärpulsar



Kollision von Schwarzen Löchern



Test der ART



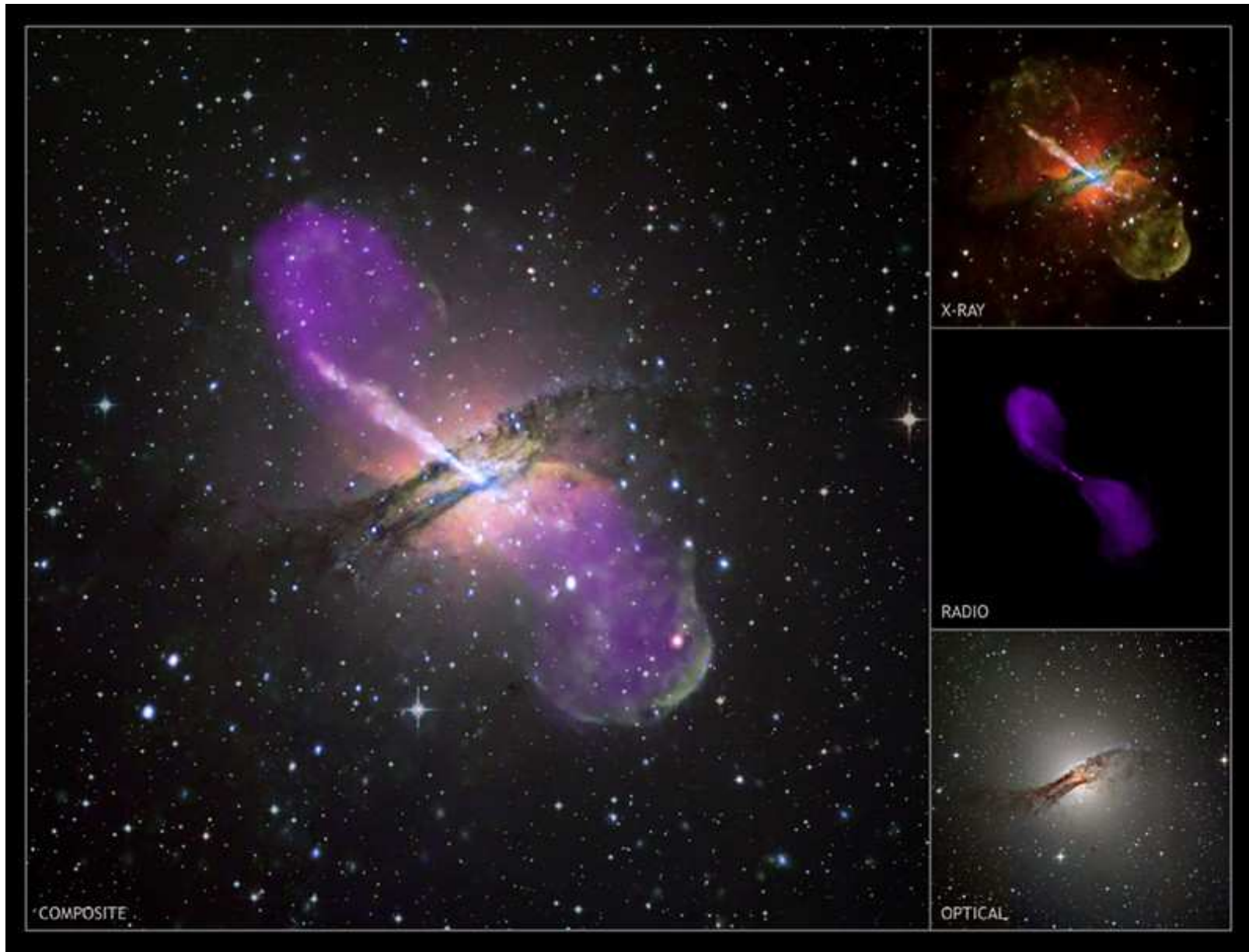
Typen von Schwarzen Löchern

- 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?

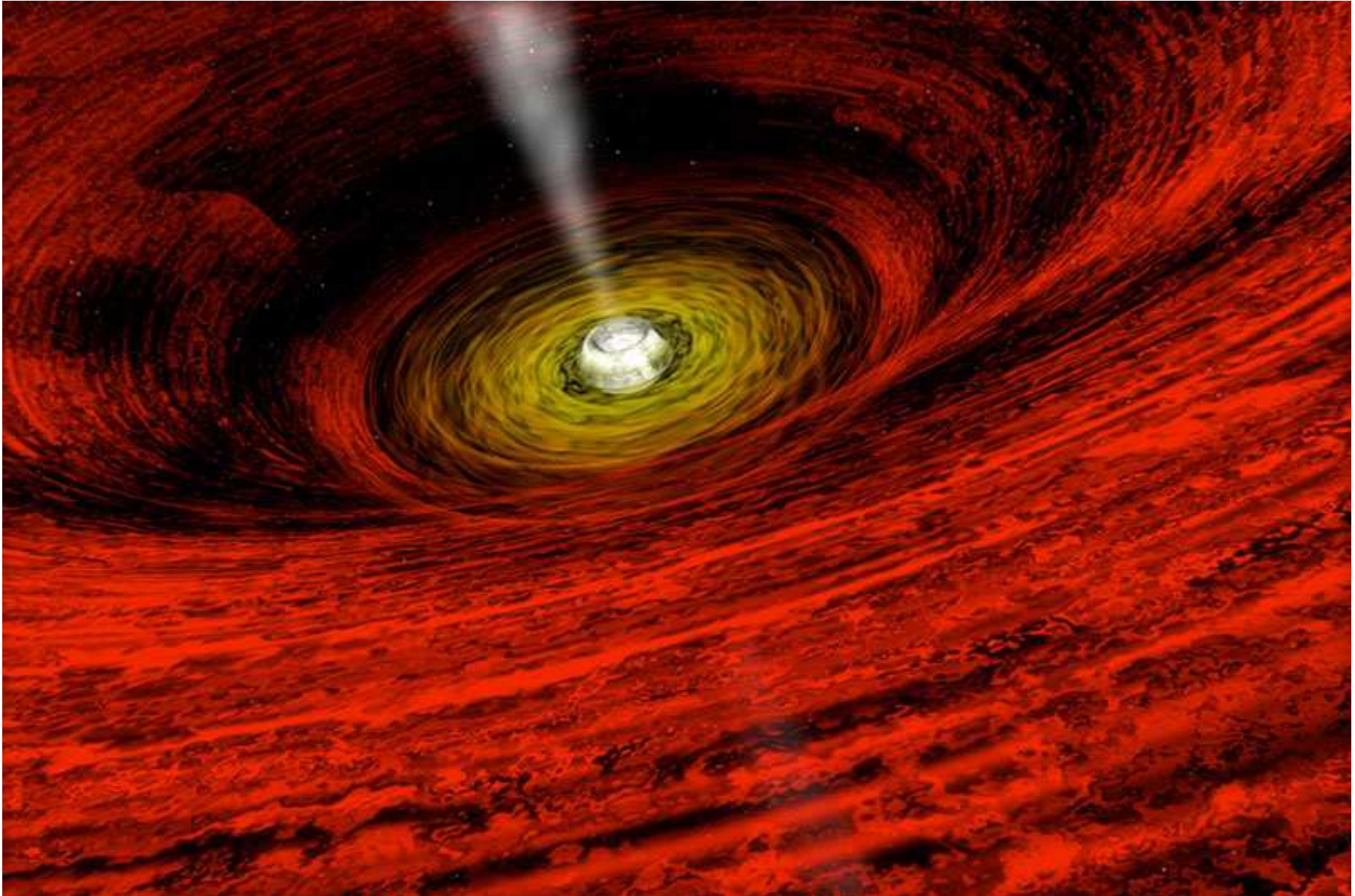
Sagittarius A

- Fliehkraft $F_1 = \frac{m \cdot v^2}{r}$
- Gravitationskraft $F_2 = \gamma \frac{m \cdot M}{r^2}$
- im Gleichgewicht $F_1 = F_2 \rightarrow$
- $v = \sqrt{\frac{\gamma \cdot M}{r}}$
- 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



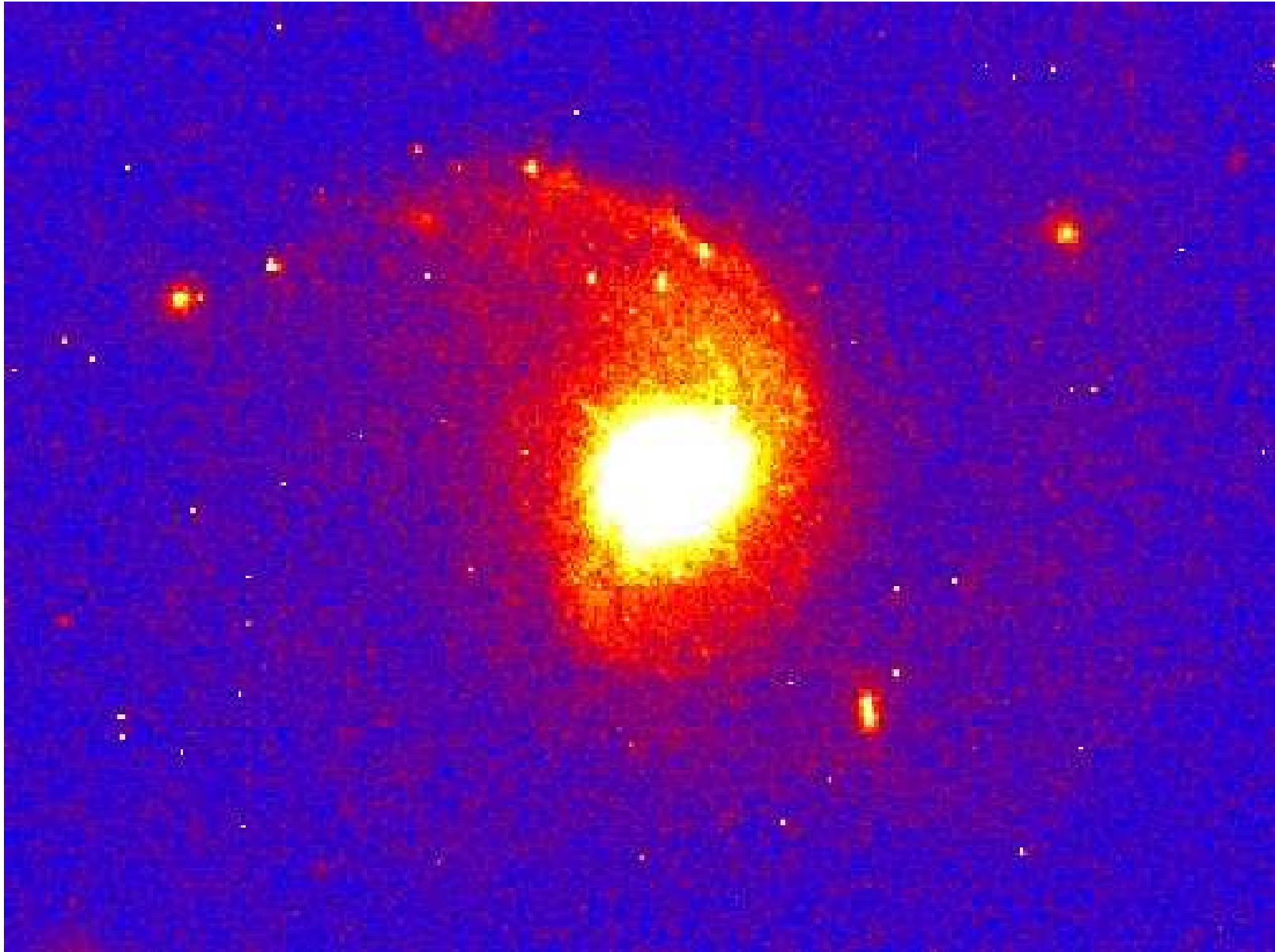
Chandra-Aufnahme



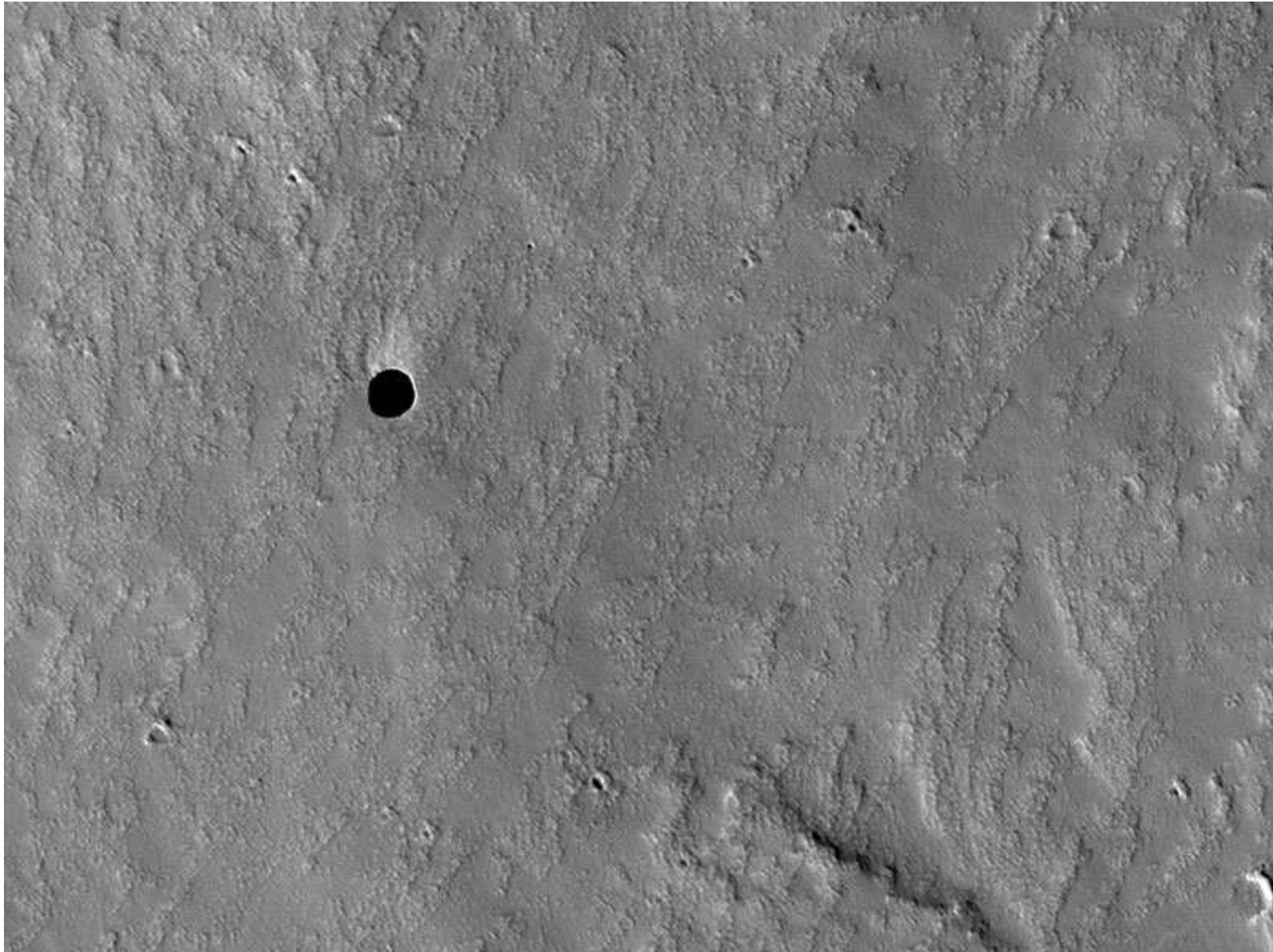
Rotierendes Schwarzes Loch



Quasar



Loch auf dem Mars



Jets und Mini Black Holes

- Rotation von Plasma $\rightarrow$ Magnetfeld
- $\rightarrow$ Beschleunigung $\rightarrow$ 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 ΔE 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?
- γ -Strahlen Hintergrund!
- Gamma-Ray-Bursts (GRB)
- Nachweis über Luftschauder oder Cherenkov-Effekt
- Kaskaden in der Atmosphäre
- Auger-Experiment in Argentinien
- HiRes-Experiment in Utah
- Mini-Black Holes: Gefahr für die Erde?

Auger-Experiment



Fly's Eye Experiment



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: γ 's, ν 's und Elektronen

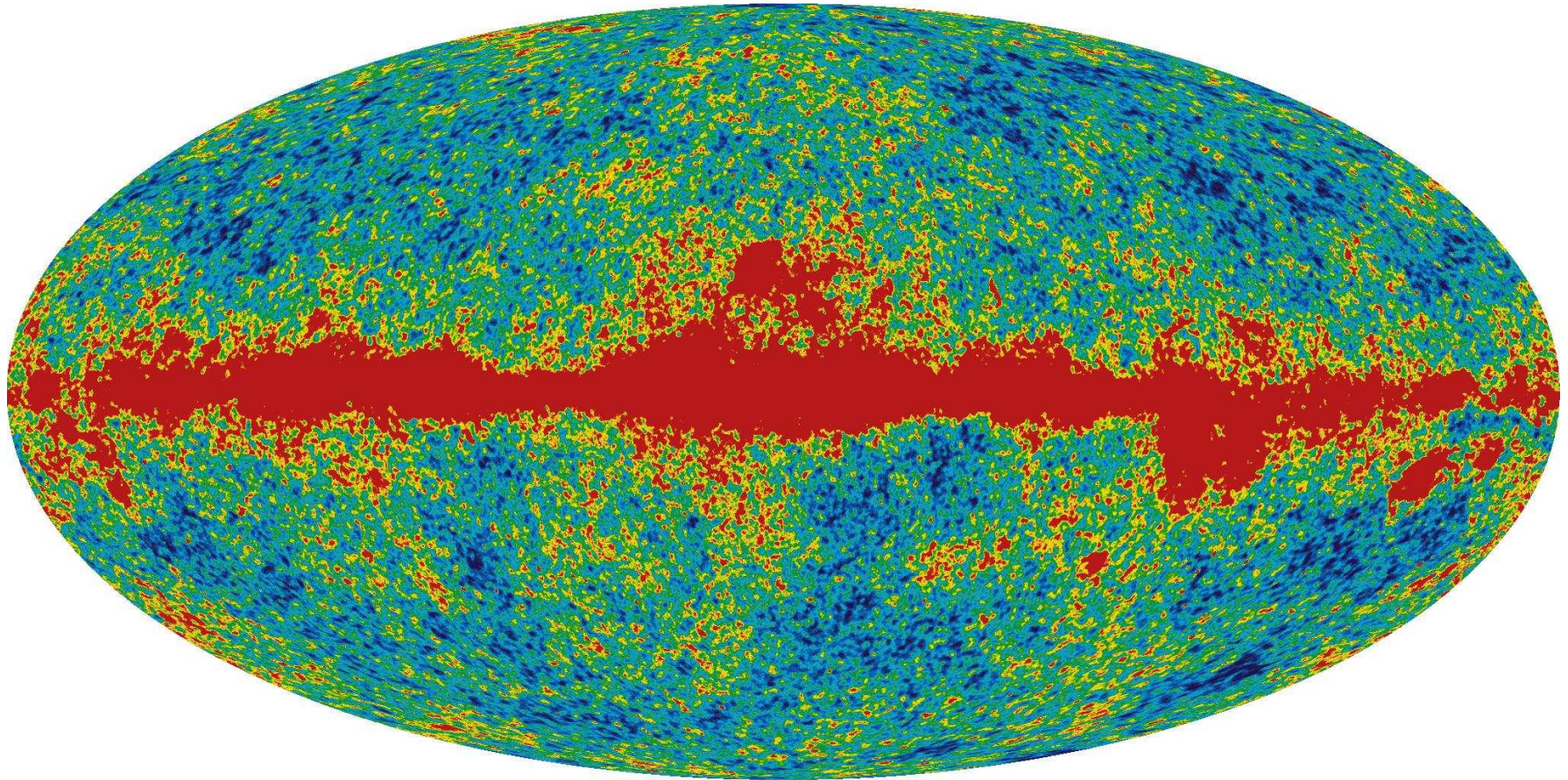
Ursprung des Universums

- ν 's und $\bar{\nu}$'s vernichten sich nicht gegenseitig
- primordiale ν 's wären ein guter Beweis für den Urknall
- γ '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
- α β γ Theorie
- Alpher, Bethe und Gamov
- Steady State Theorie?

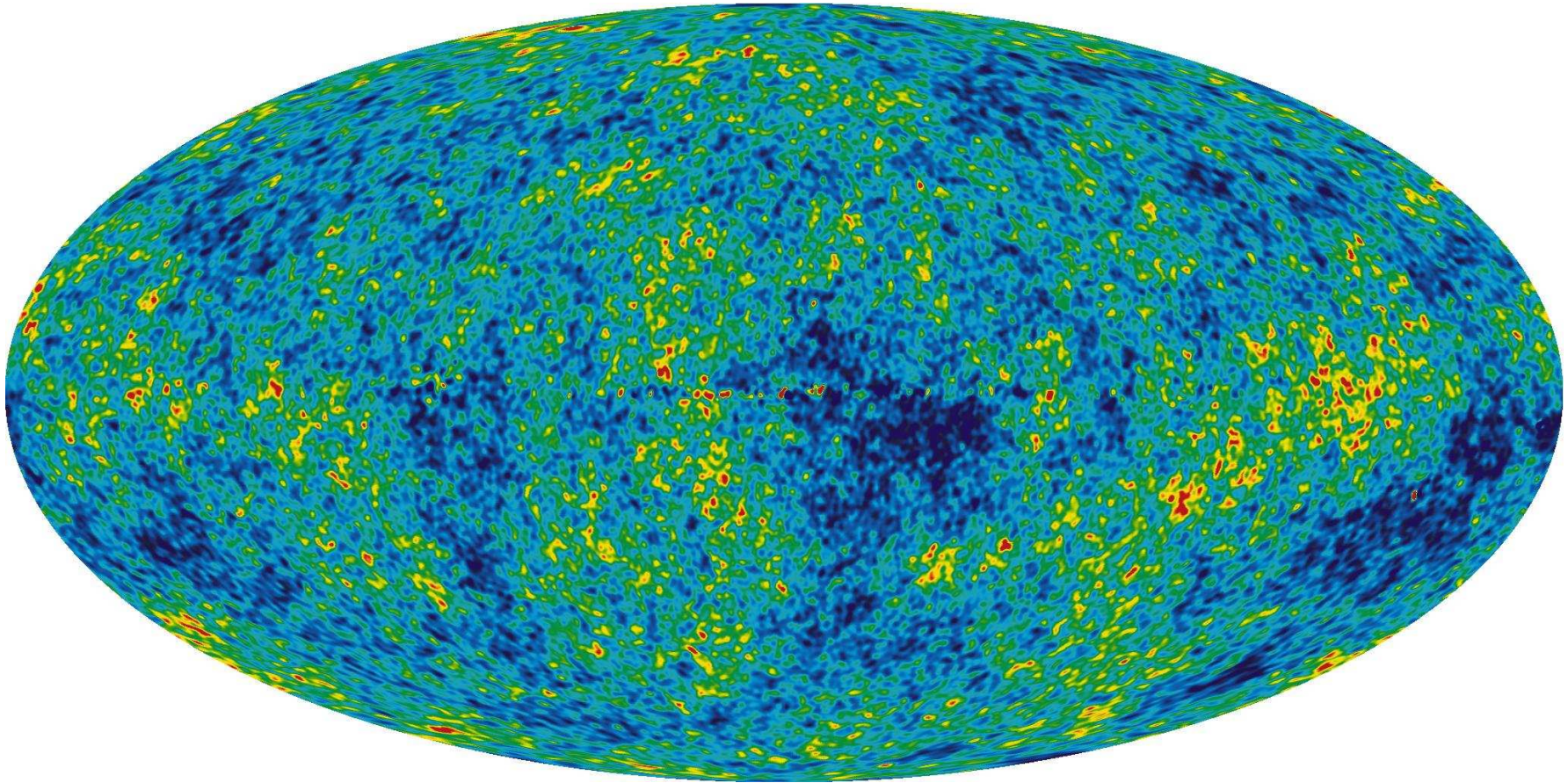
Ursprung des Universums

- 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 ν 's zu messen

380 000 Jahre nach dem Urknall



380 000 Jahre nach dem Urknall



Sternentwicklung

- Leichte Sterne leben länger
- Gleichgewicht: Gravitation und Strahlungsdruck
- Supernovae
- Weiße Zwerge
- Neutronensterne
- Pulsare
- Galaxien
- Quasare
- kosmische Evolution?

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?
- → 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 α
- relative Temperaturfluktuationen
- kosmologische Konstante Λ
- Weitere Parameter: Quarkmassen
- Wirkungsquerschnitt $3 \alpha \rightarrow \text{Kohlenstoff}$

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?

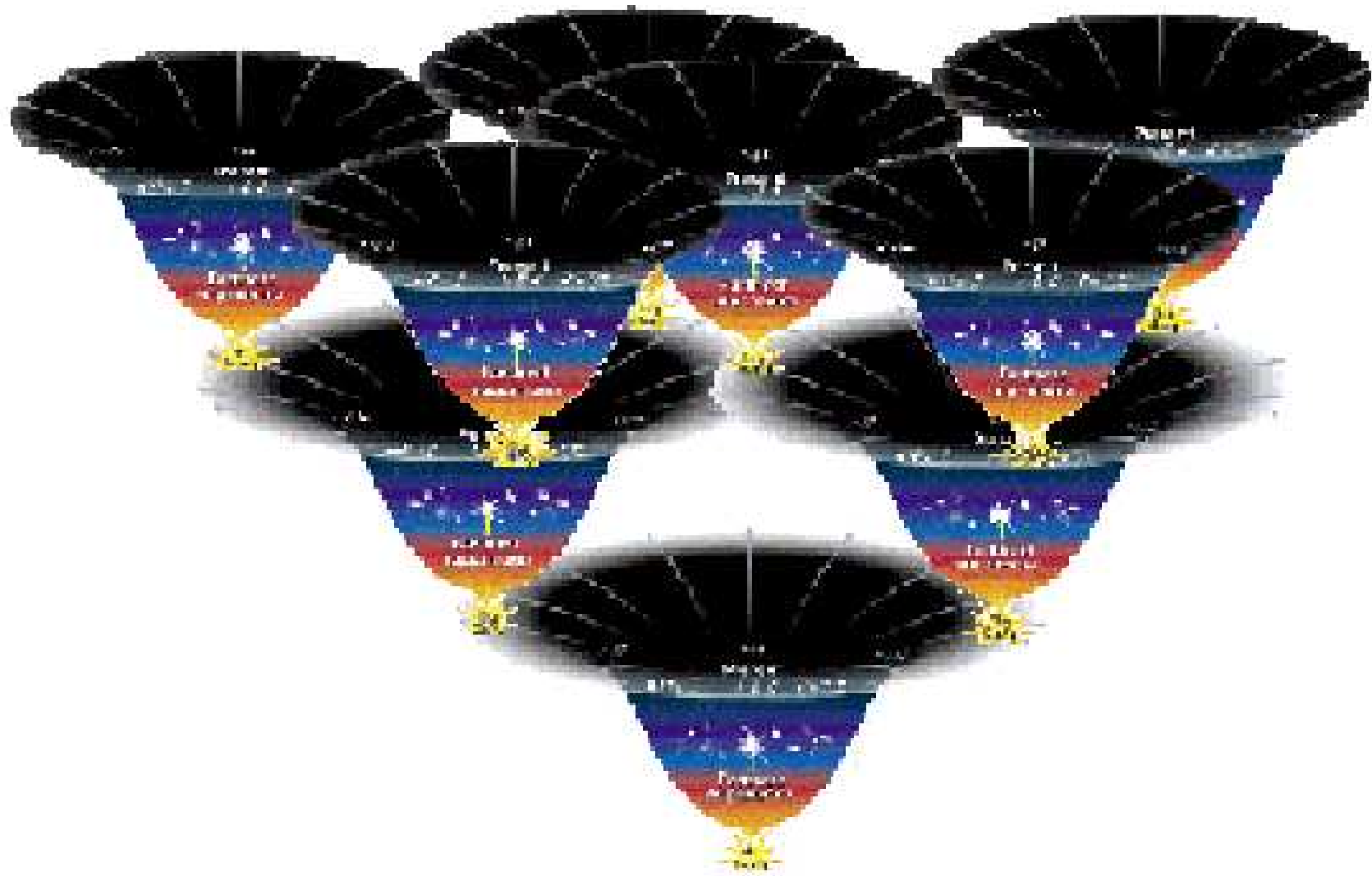
Objekt und Beobachter bilden ein integrales System.

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

→ Alle Zustände (Zweige) sind real.

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

Multiversum



Imaginäre Zeit

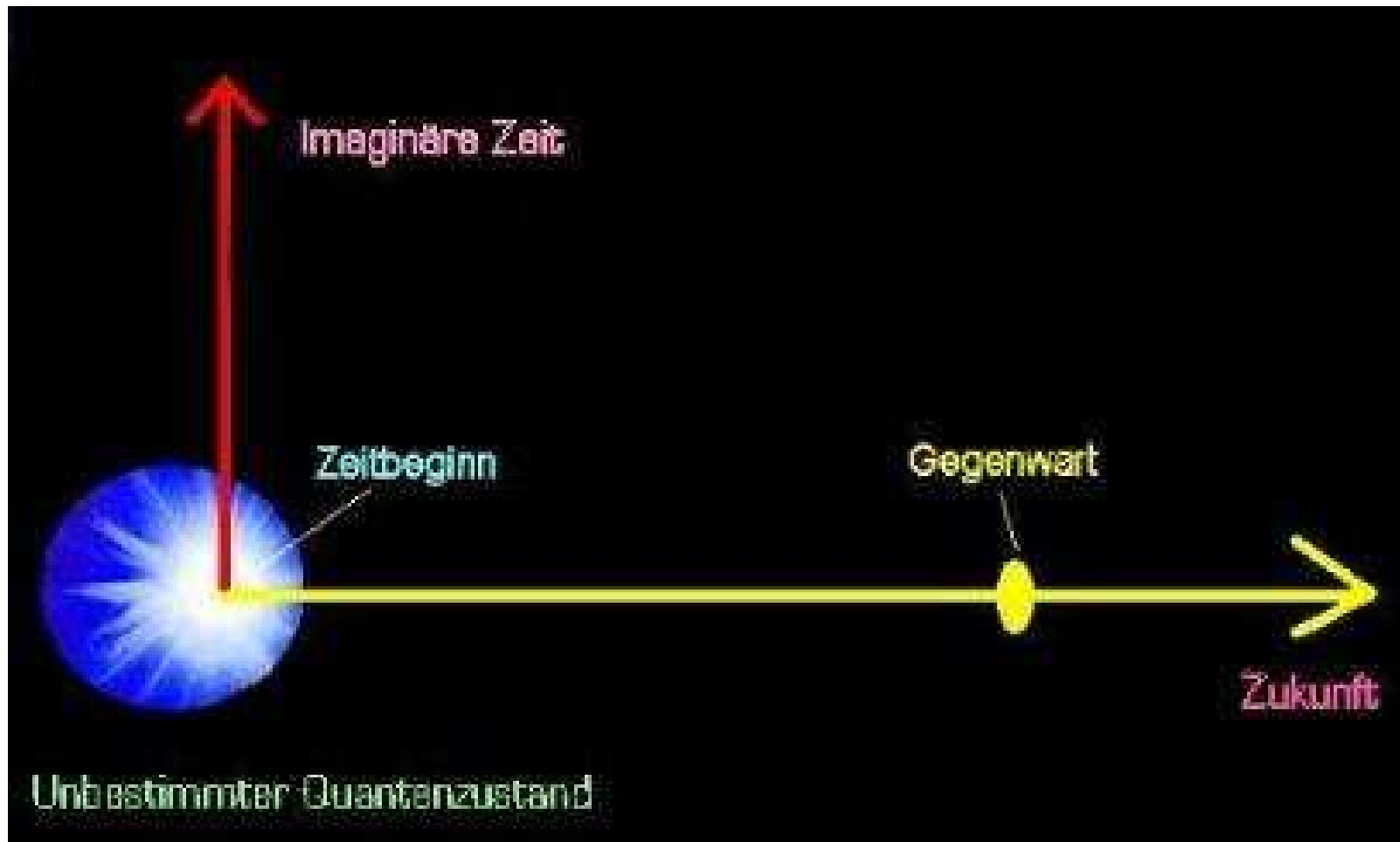
- Das Quadrat jeder Zahl ist immer positiv.
- Zahlen, deren Quadrate negativ sind, heißen imaginär
- $i^2 = -1$
- Ausbreitung einer Lichtwelle in drei Dimensionen:
- $r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} = c \cdot t$
- $x^2 + y^2 + z^2 - c^2 \cdot t^2 = 0$
- ersetze $t \rightarrow i \cdot t$ (imaginäre Zeit)
-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

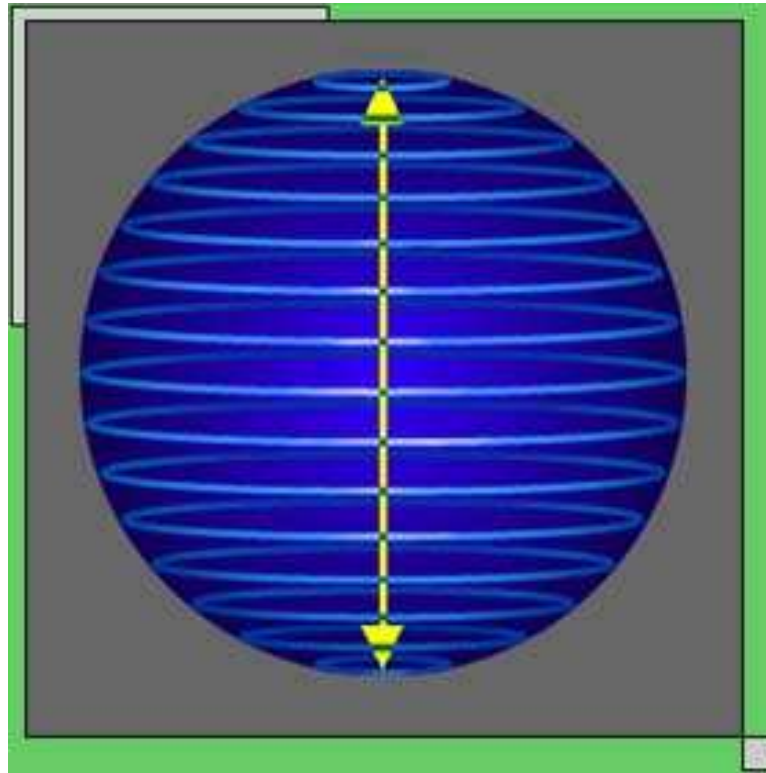


- zweidimensionaler Abstand: $r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2}$
- vierdimensionaler Raumzeitabstand: $r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2 + \Delta w^2}$
- Analogon: betrachte die zweidimensionale Oberfläche der Erde als Raumzeit
- was ist nördlich vom Nordpol?
- In dieser Raumzeit mit imaginärer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

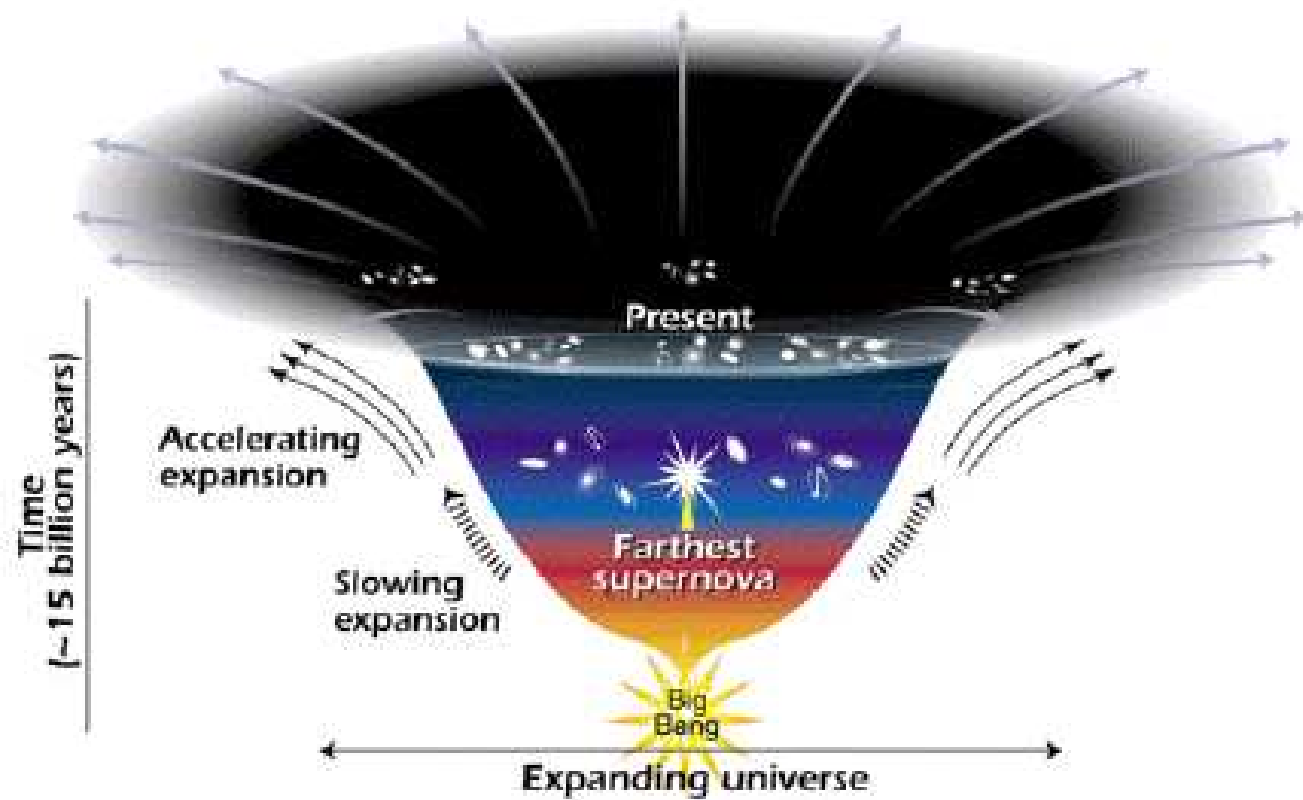
Energiefrage

- 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
- Λ entspricht einer abstoßenden Gravitation

Universum



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 letztlich 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

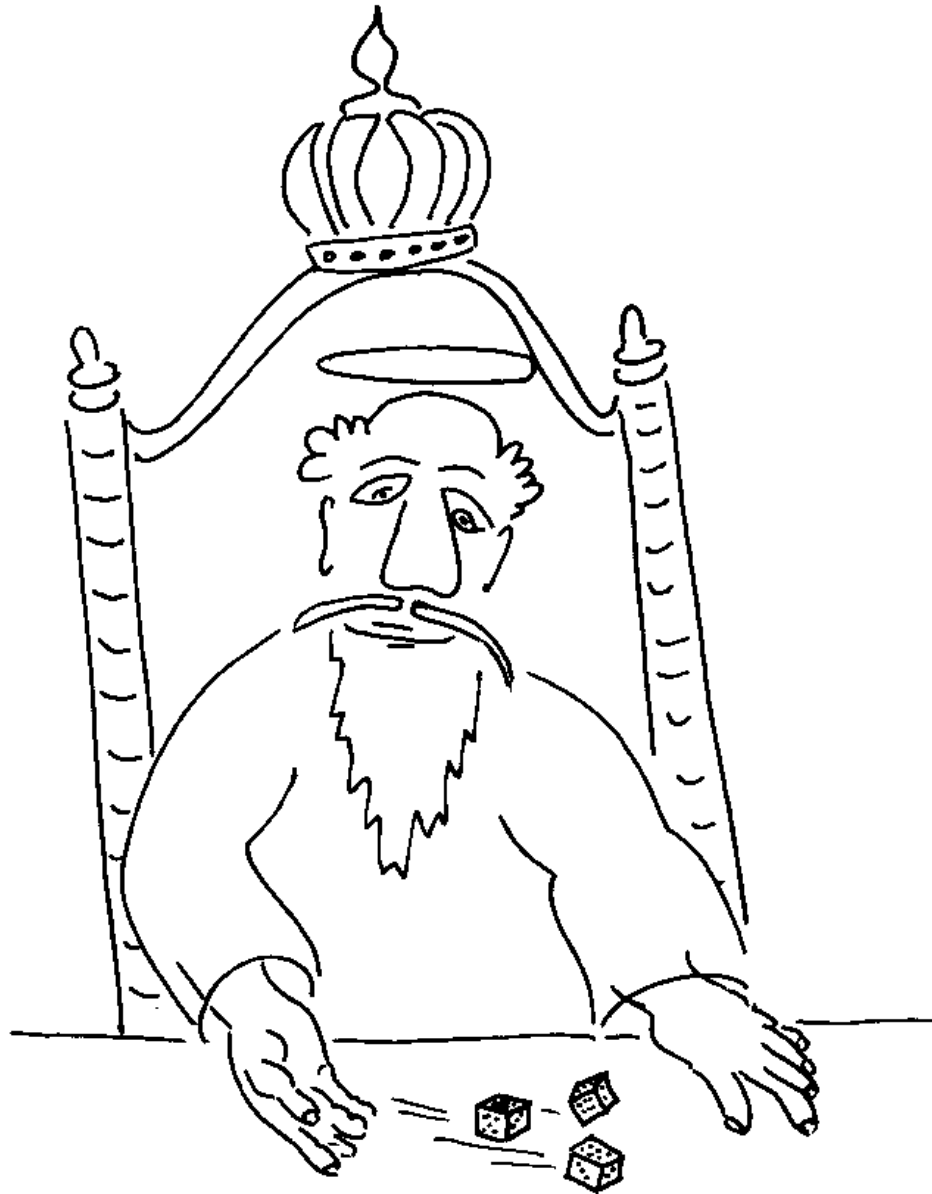
Probleme der Vereinheitlichung

- 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 eine vollständige Theorie von allem??
- es gibt keine vollständige Theorie von allem, sondern nur ein Folge von Theorien, die immer besser werden.
- es gibt keine Theorie des Universums. Ereignisse 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?