

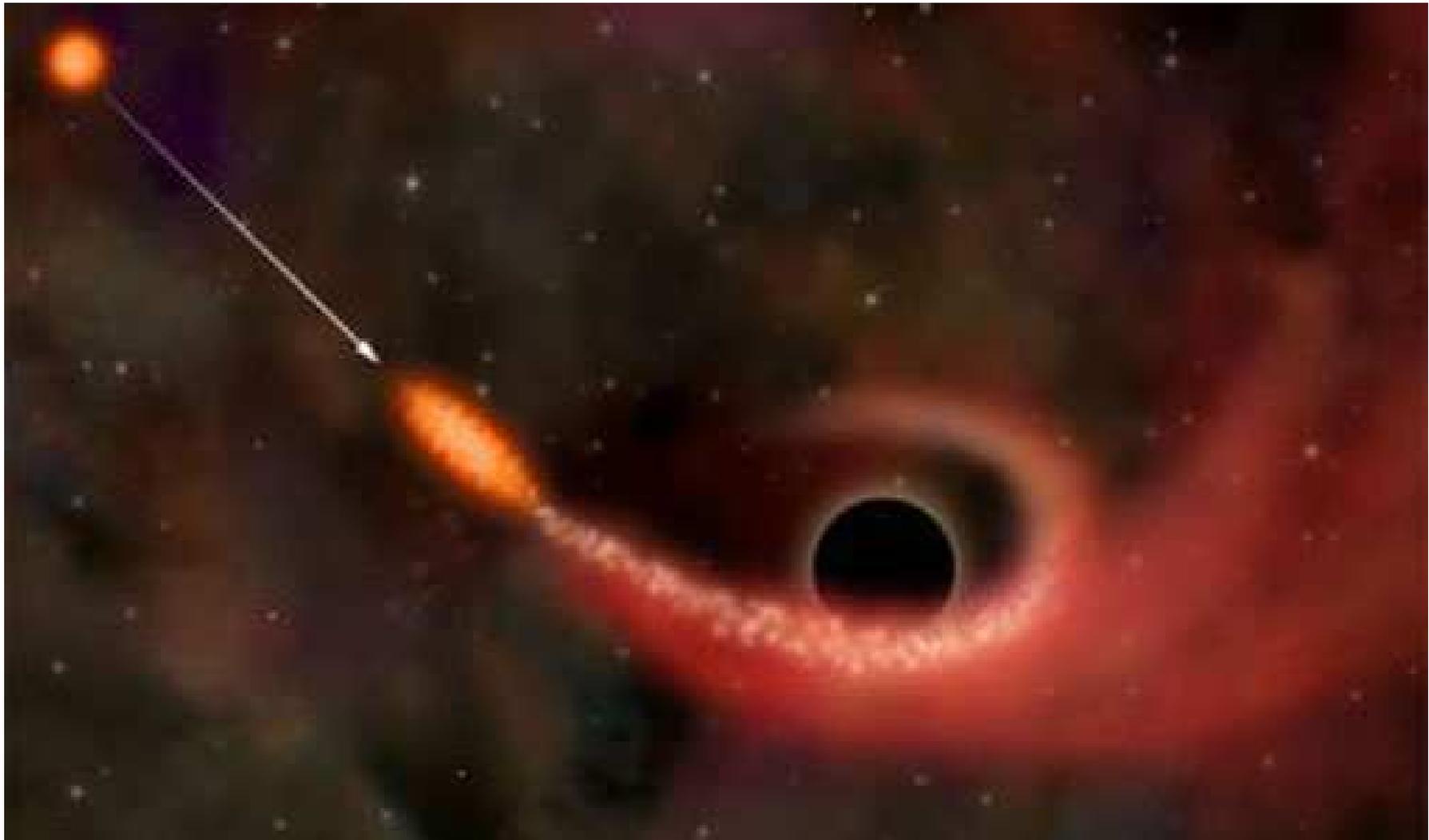
Große und kleine Schwarze Löcher

Jahr der Astronomie 2009



Universität Siegen
Claus Grupen

Monster: Schwarzes Loch



Übersicht

- Sternentwicklung
- Neutronensterne, Pulsare
- Pauli-Prinzip
- Wie entstehen **stellare** Schwarze Löcher?
- Der Schwarzschild-Radius
- Hawking-Strahlung
- Kleine Schwarze Löcher
- mögliche Erzeugung Schwarzer Löcher am LHC
- Kosmische Strahlung
- Gefahren durch Schwarze Löcher am LHC?

Energiestrudel



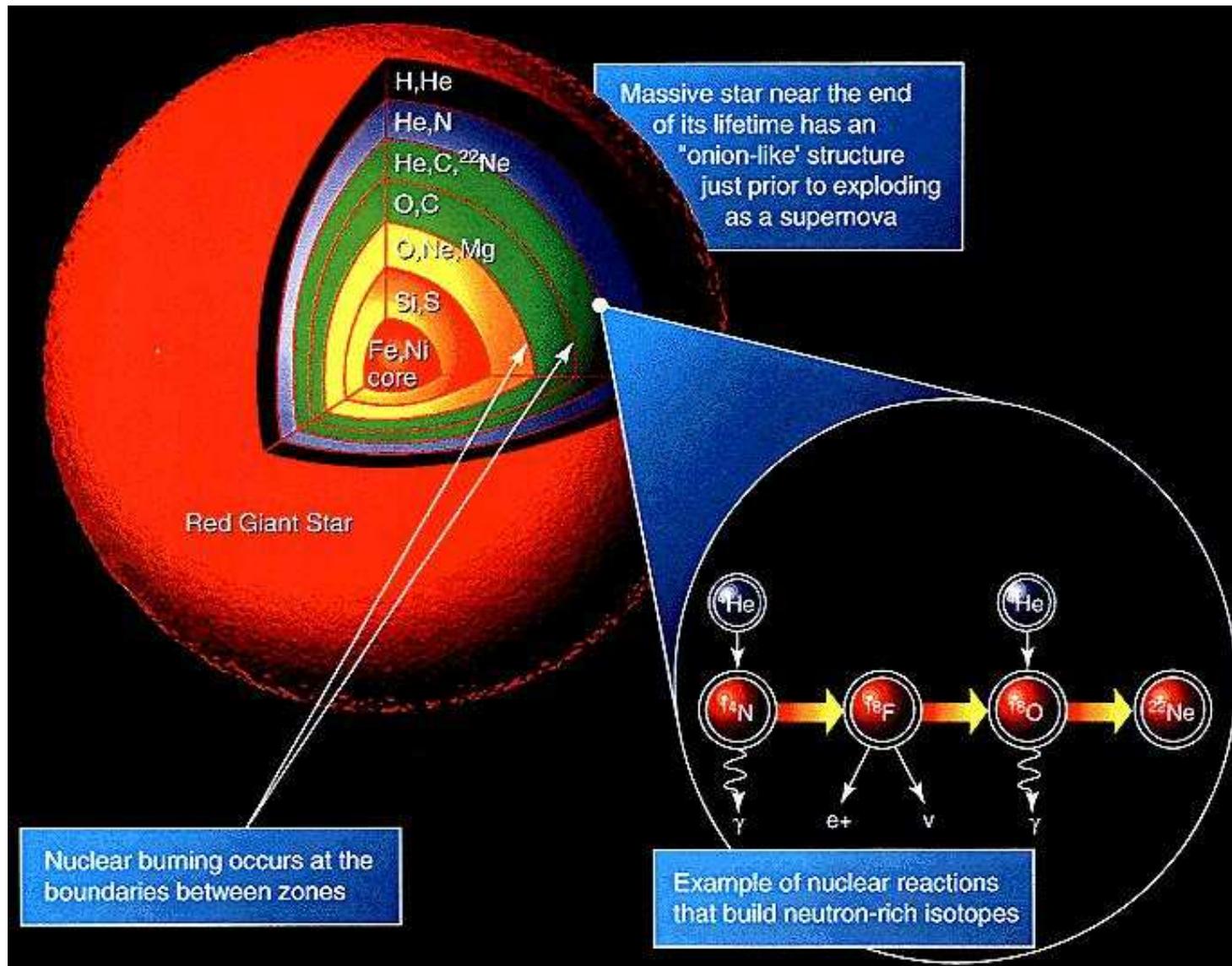
Newton'sches Gravitationsgesetz

- $F = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{r^2}$
- γ - Newton'sche Gravitationskonstante
- m - Masse eines Objektes, das dem Schwarzen Loch entkommen möchte
- M - Masse des Schwarzen Loches
- r - Abstand der Testmasse m vom Zentrum des Schwarzen Loches

Sternentwicklung

- Sterne sind Kernfusionsmaschinen
- Wasserstoffbrennen
- $p + p \rightarrow d + e^+ + \nu_e$
- $d + d \rightarrow He + \gamma$
- für massereiche Sterne folgt Heliumbrennen zum Kohlenstoff
- in sukzessiven Kernfusionen wird schließlich Eisen, Kobalt und Nickel synthetisiert
- und damit ist der Ofen aus

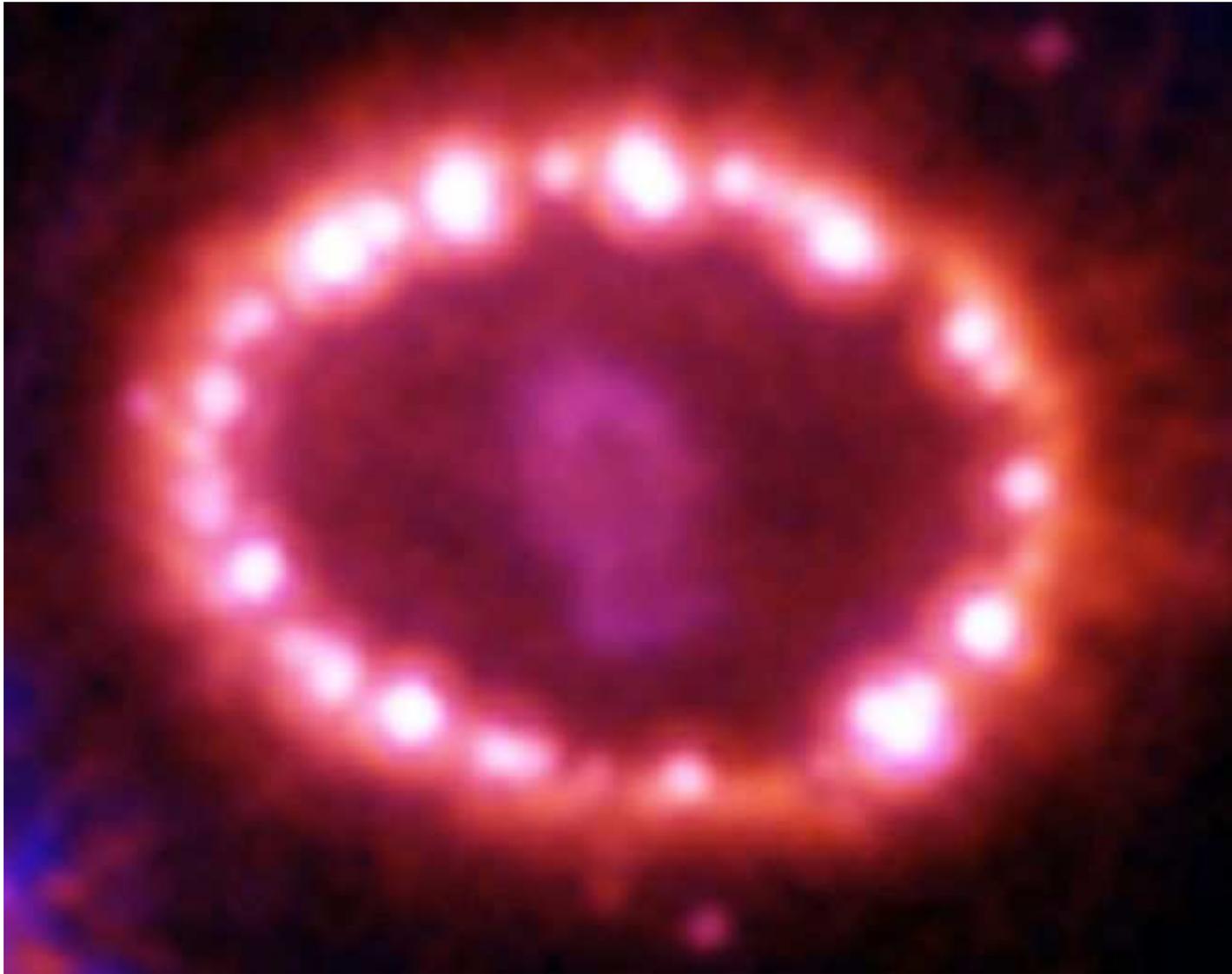
Fusionsprozesse



Tarantel-Nebel

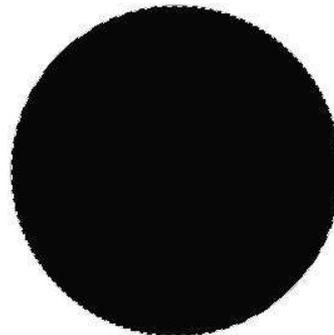


Supernova 1987A



Schwarze Löcher I

- Begriff von John Archibald Wheeler 1969
- John Mitchell 1783
- ... so schwer, dass ihm das Licht nicht entkommen könnte
- Fluchtgeschwindigkeiten
- Entwicklung von massiven Sternen über Neutronensterne und Pulsare bis zum Schwarzen Loch



Schwarze Löcher II

- $Masse \geq M_{krit}$: Sterne werden letztlich zu einem Schwarzen Loch
- Balasubrahmanyan Chandrasekhar $M_{krit} \geq 1,4 M_{\odot}$
- \rightarrow Überwindung des Druckes des entarteten Elektronengases
- Elektronen und Protonen und Neutronen sind Fermionen und unterliegen dem Pauli-Prinzip
- $p + e^{-} \rightarrow n + \nu_e$; Neutronensterne, Pulsare
- Überwindung des Druckes des entarteten Neutronengases
- $m \geq 1,4 M_{\odot} \rightarrow$ Schwarzes Loch

Schwarzschild-Radius

- Fluchtgeschwindigkeit von der Erde:
- $\frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \gamma \cdot \frac{m \cdot M}{R}$
- m - Raketenmasse, M - Erdmasse, R - Erdradius
- $v = \sqrt{\frac{2 \cdot \gamma \cdot M}{R}}$
- $\rightarrow = 11,2 \text{ km/s}$ für die Erde
- Setzen wir hier $v = c$ (Achtung: unzulässige Annahme)
- $R = \frac{2 \cdot \gamma \cdot M}{c^2}$
- \rightarrow Schwarzschild-Radius

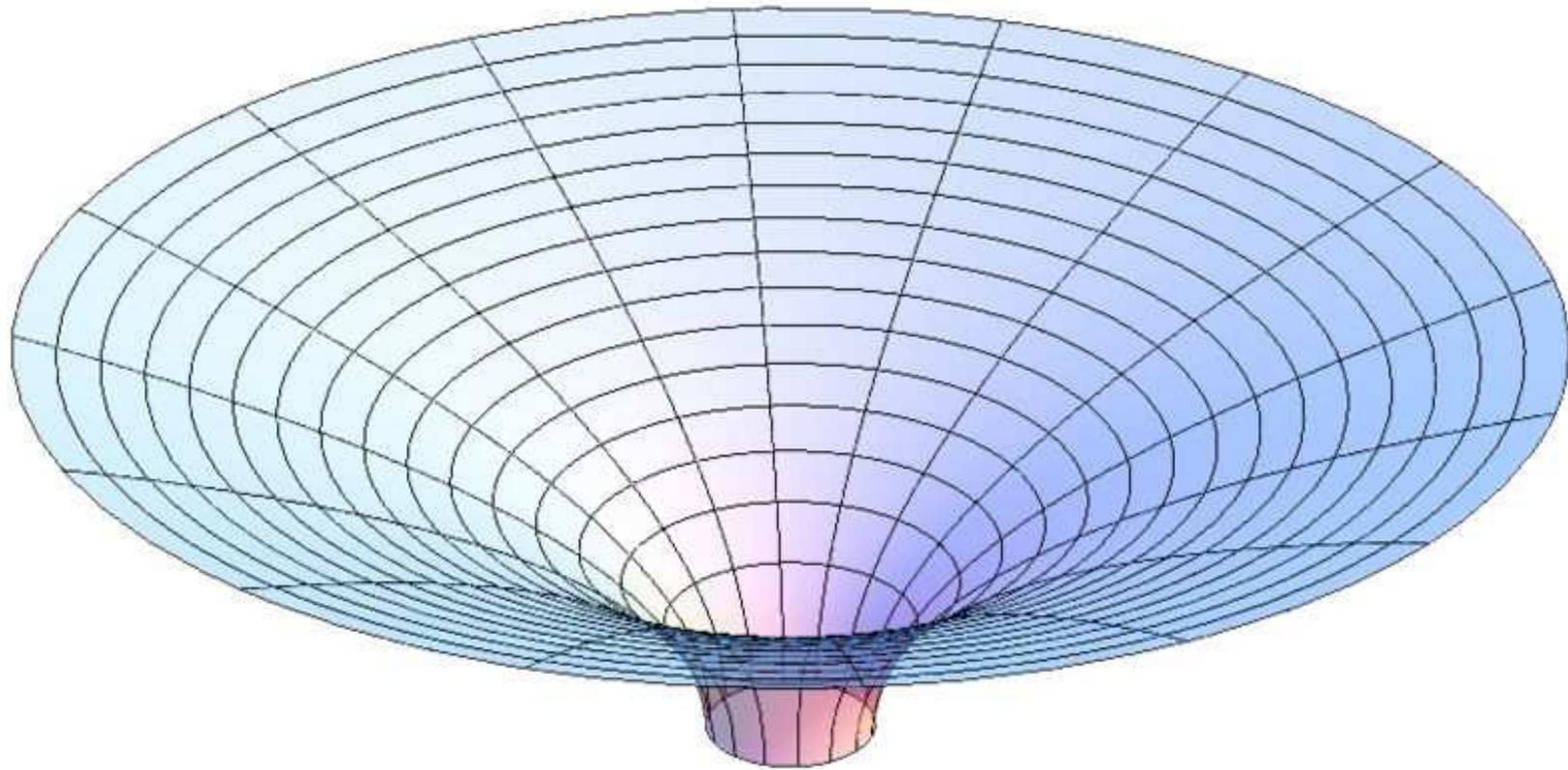
Schwarzschild-Radien

| 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 | $1 \cdot 10^{53}$ | $7,5 \cdot 10^{31}$ | $1,5 \cdot 10^{26}$ |

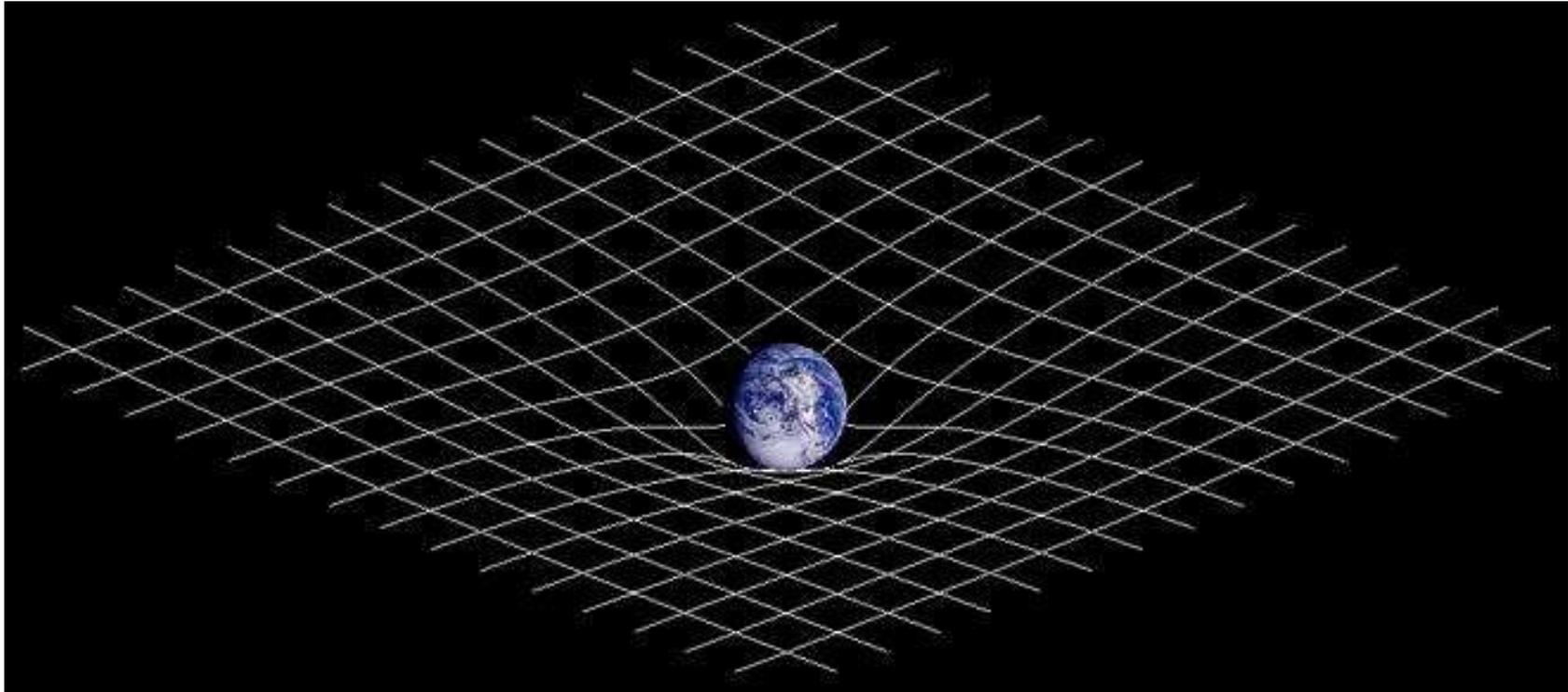
Gravitationsrotverschiebung



Gekrümmter Raum



Gekrümmter Raum



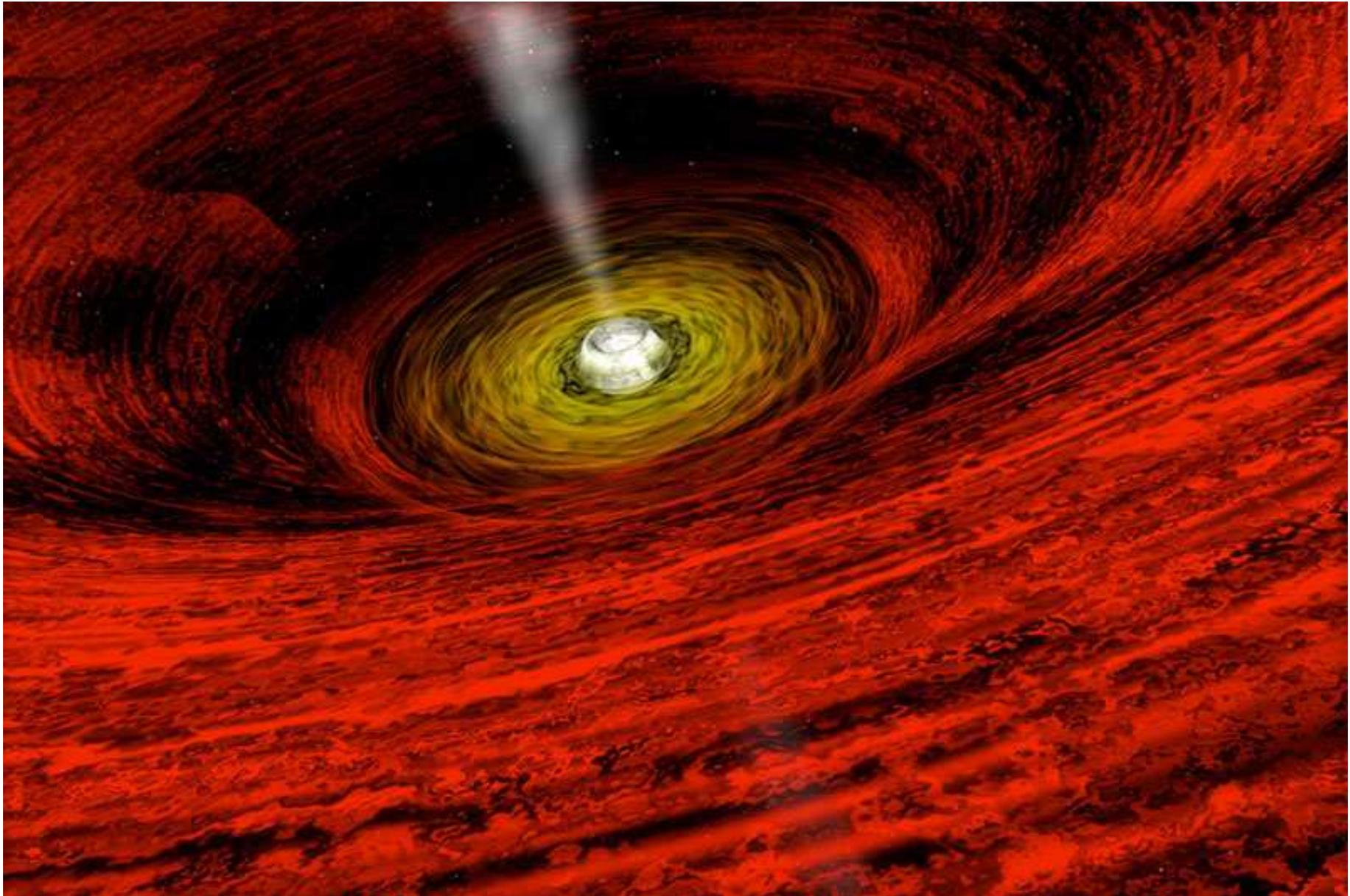
Differenzielle Gravitation

- 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.”
- Bojowald: Quantengravitation vermeidet Singularitäten

Spaghettifikation



Mahlstrom

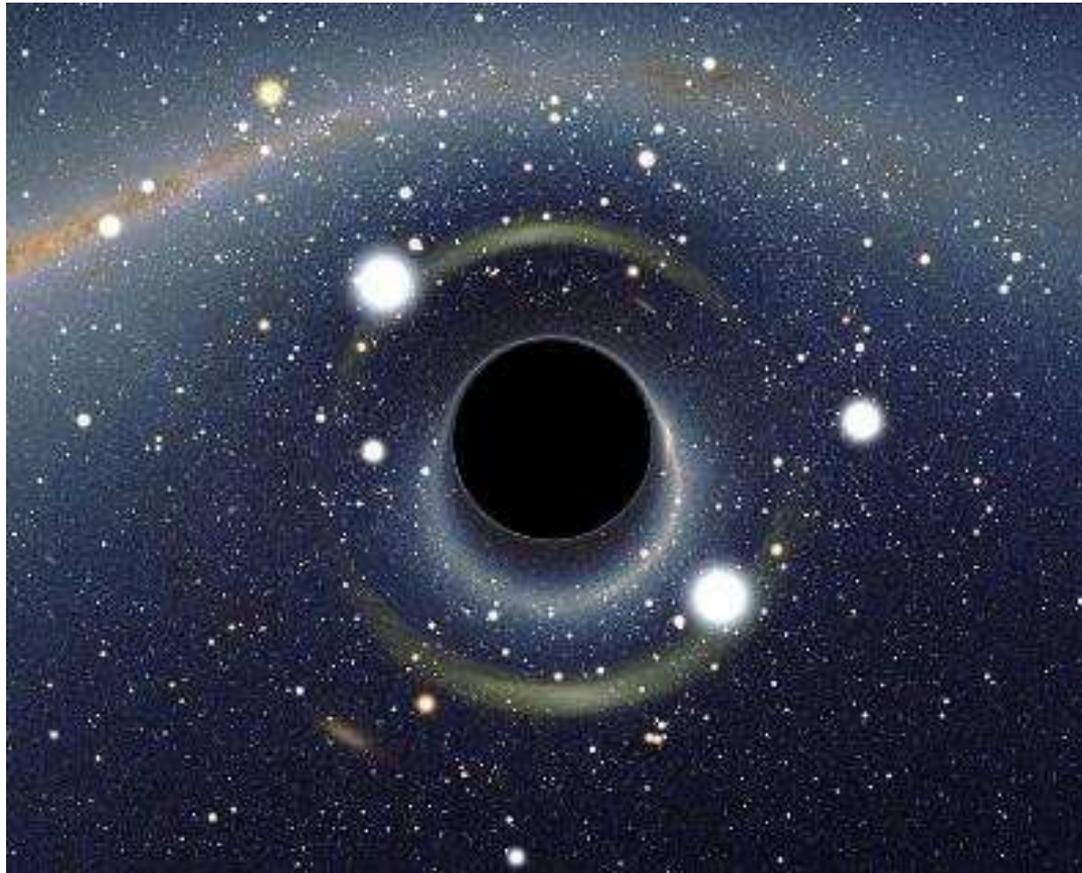


Schwarzschild-Radius

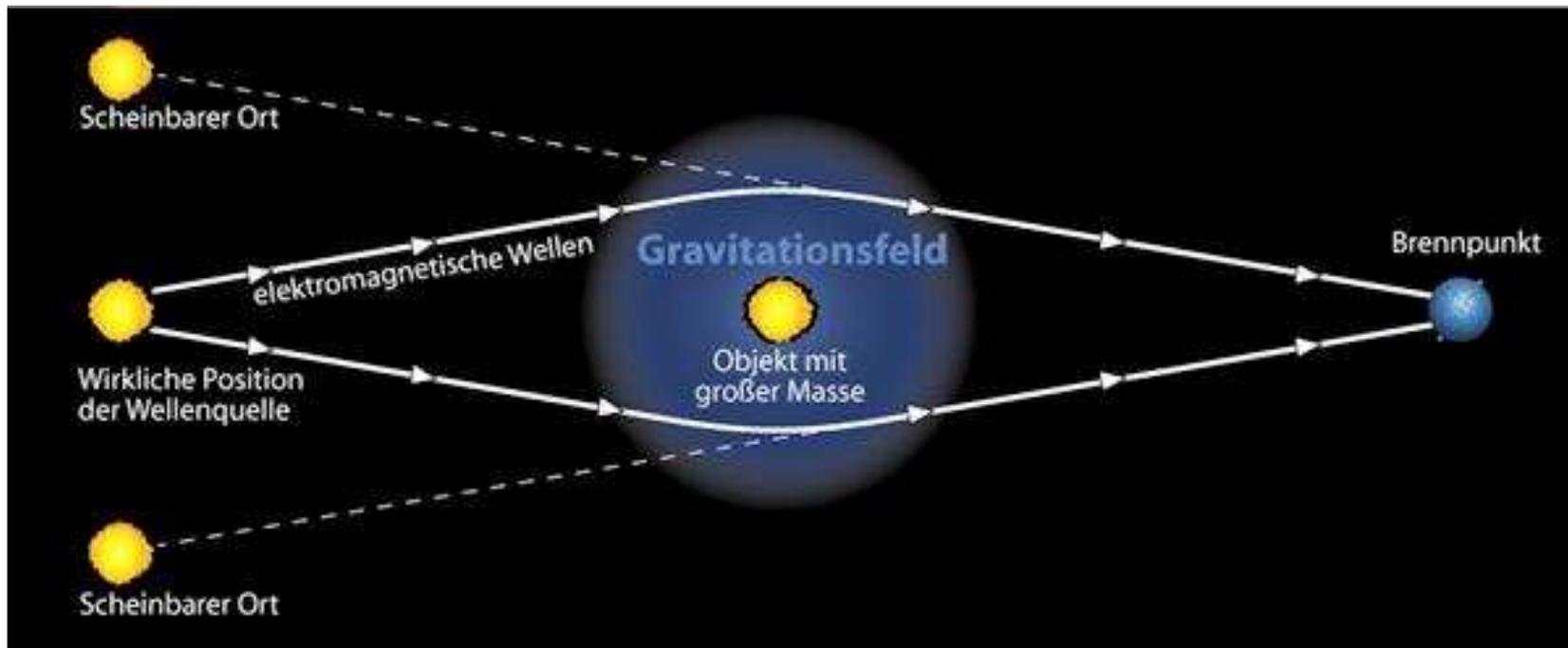
- Maßgeblich ist die kritische Dichte eines Körpers
- Sobald eine Masse diese Dichte überschreitet, stürzt sie zu einem Schwarzen Loch zusammen.
- Der Schwarzschild-Radius bildet einen Ereignishorizont.
- Abweichungen ergeben sich für rotierende und geladene Schwarze Löcher
- 'Schwarze Löcher haben keine Haare.'

Schwarzschild-Radius

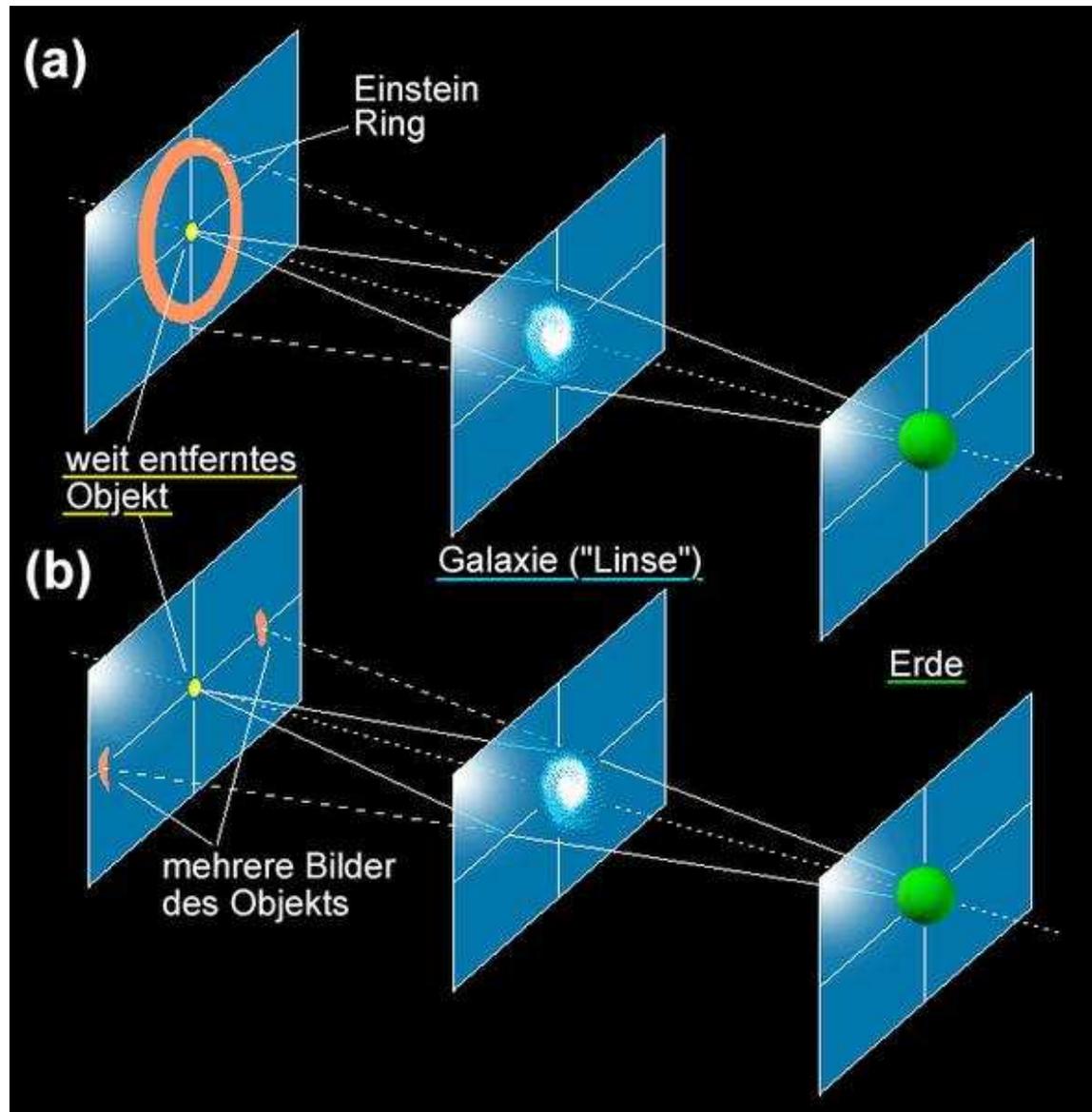
Der Ereignishorizont ist keine gegenständliche Grenze ist, d.h. ein frei fallender Beobachter könnte nicht direkt feststellen, wann er den Ereignishorizont passiert.



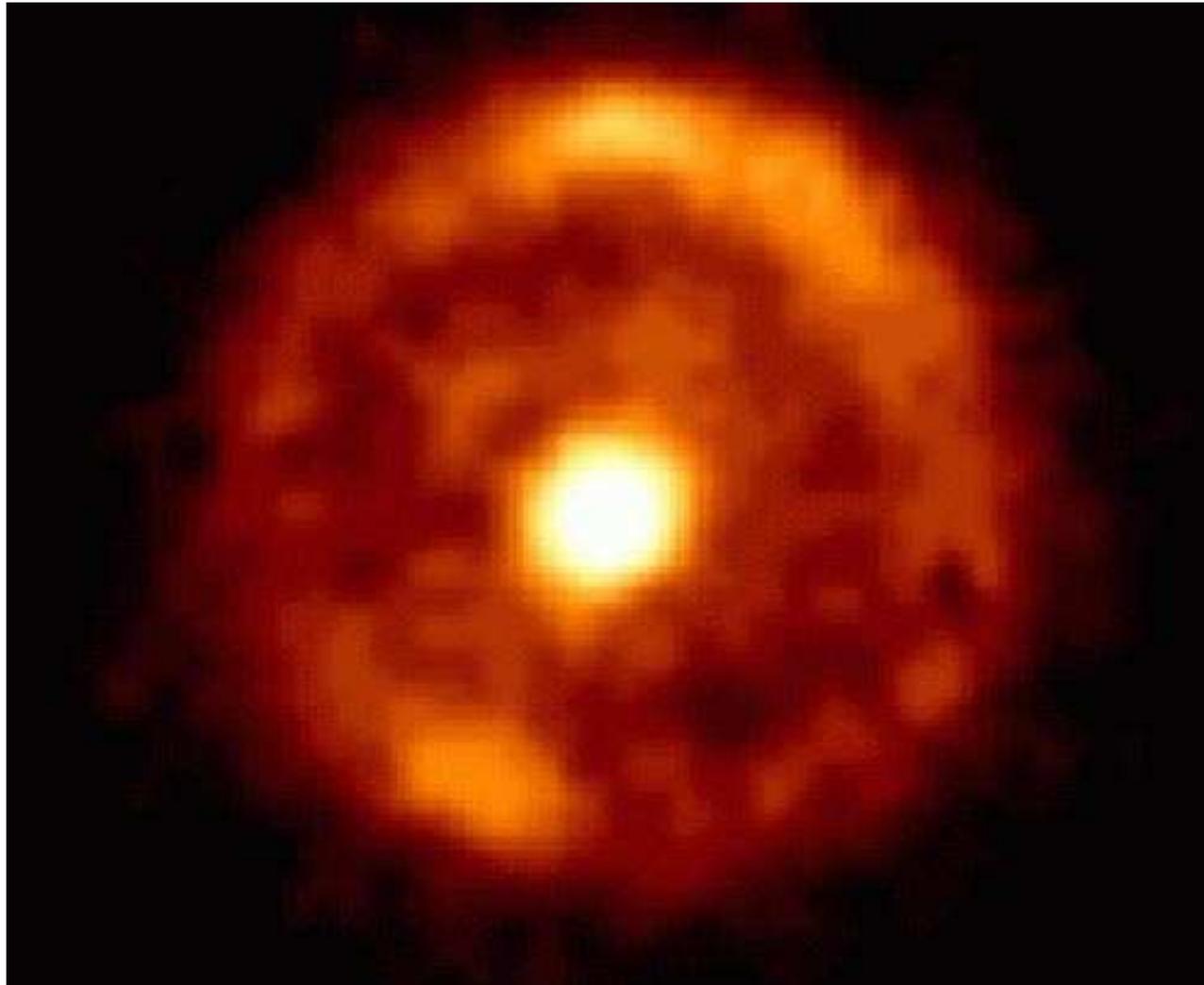
Gravitationslinsen



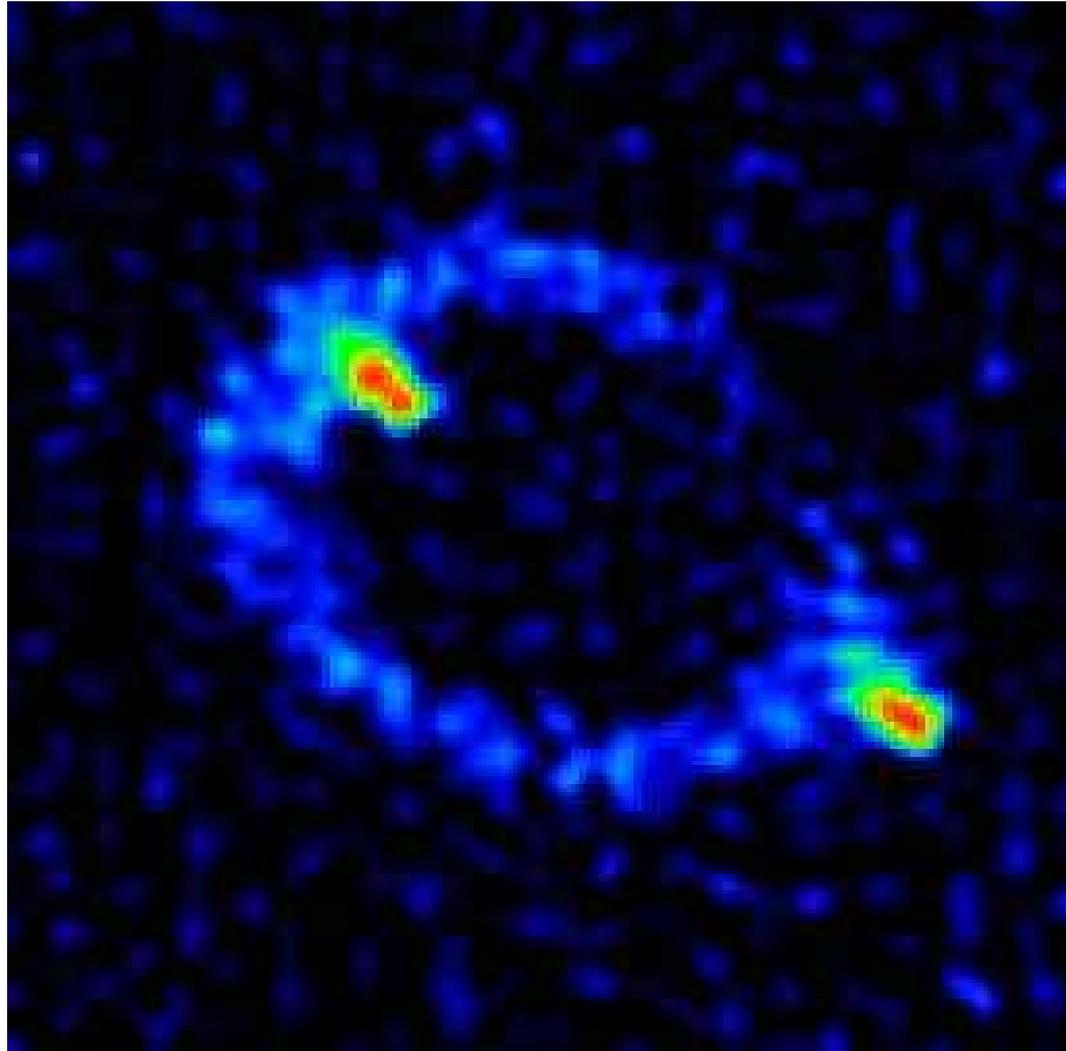
Gravitationslinsen



Bull's Eye



Einsteinring



VLA Radioteleskop; 1987

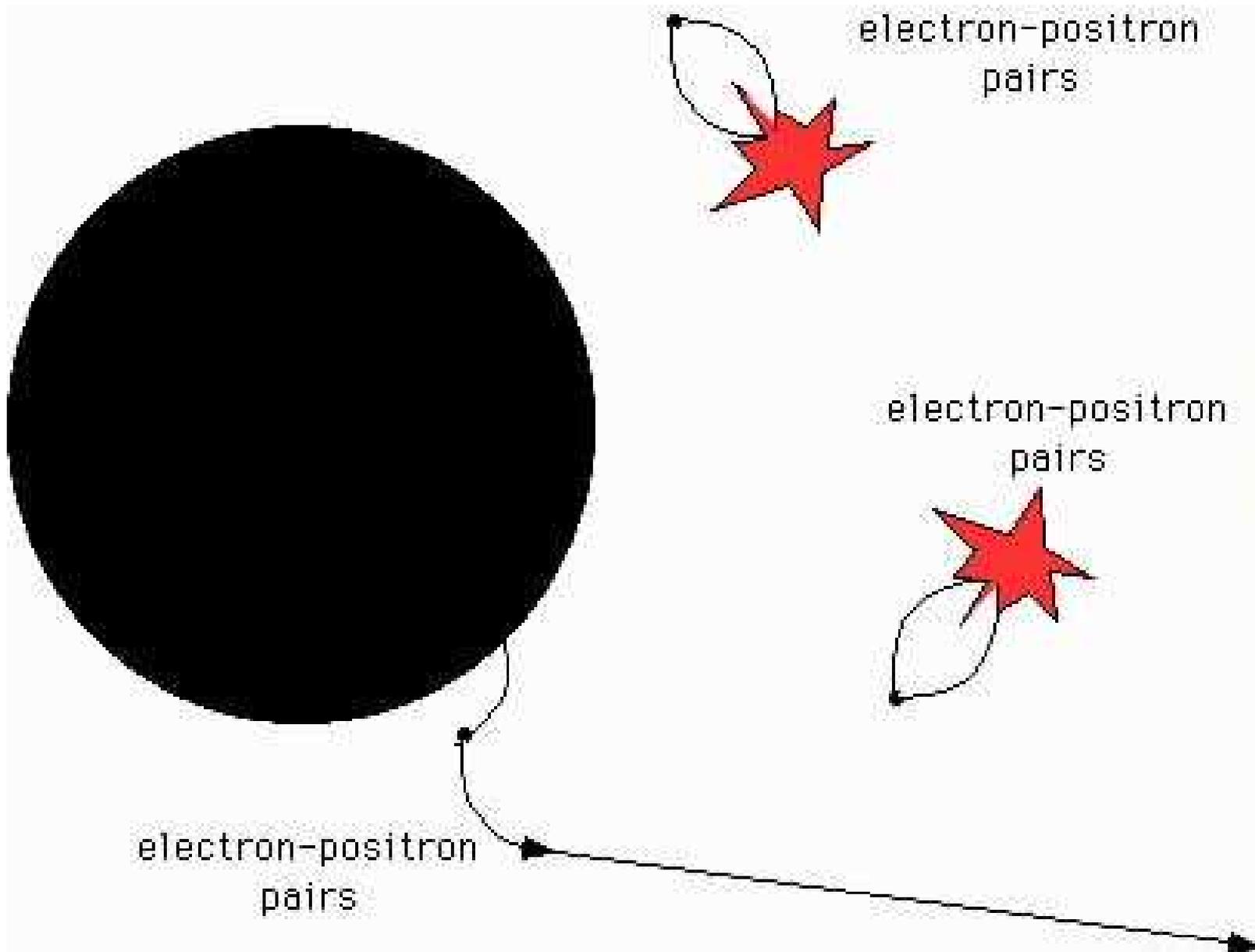
Hawking-Strahlung

Das Vakuum ist kein leeres 'Nichts', sondern ein kompliziertes Gebilde von Vakuumfluktuationen. Diese Vakuumfluktuationen bestehen aus virtuellen Teilchen-Antiteilchenpaaren, die nach der quantenmechanischen Unschärferelation für kurze Zeit existieren können.

Die Erzeugung und Vernichtung von virtuellen Teilchen findet insbesondere in der unmittelbaren Nähe des Ereignishorizontes statt.

Dabei kann es vorkommen, dass einer der beiden Partner vom Schwarzen Loch verschluckt wird, und der zweite Partner als reales Teilchen in den freien Raum entkommt.

Hawking-Effekt



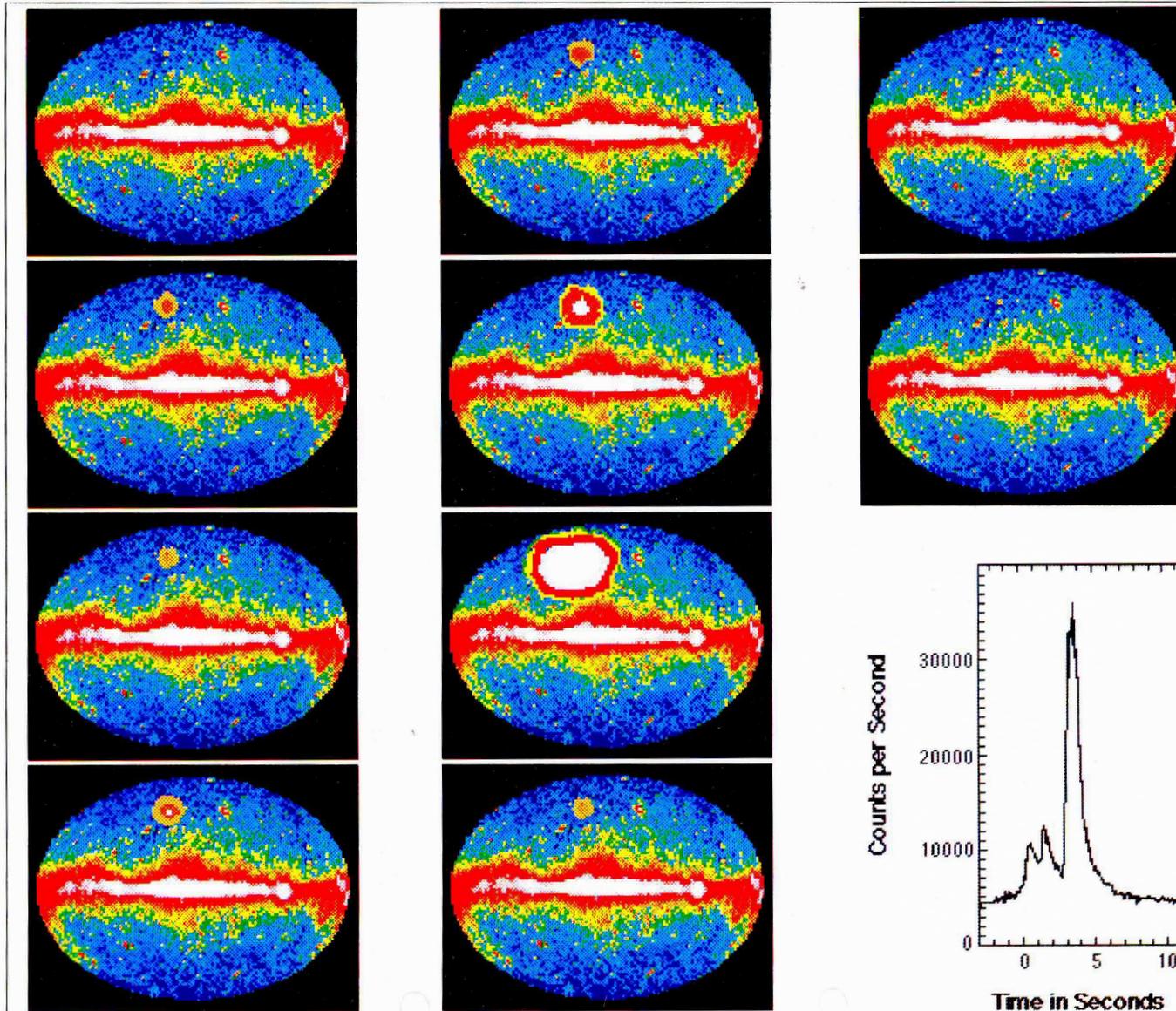
Schwarze Löcher sind nicht schwarz!

- 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!

Gibt es kleine Schwarze Löcher?

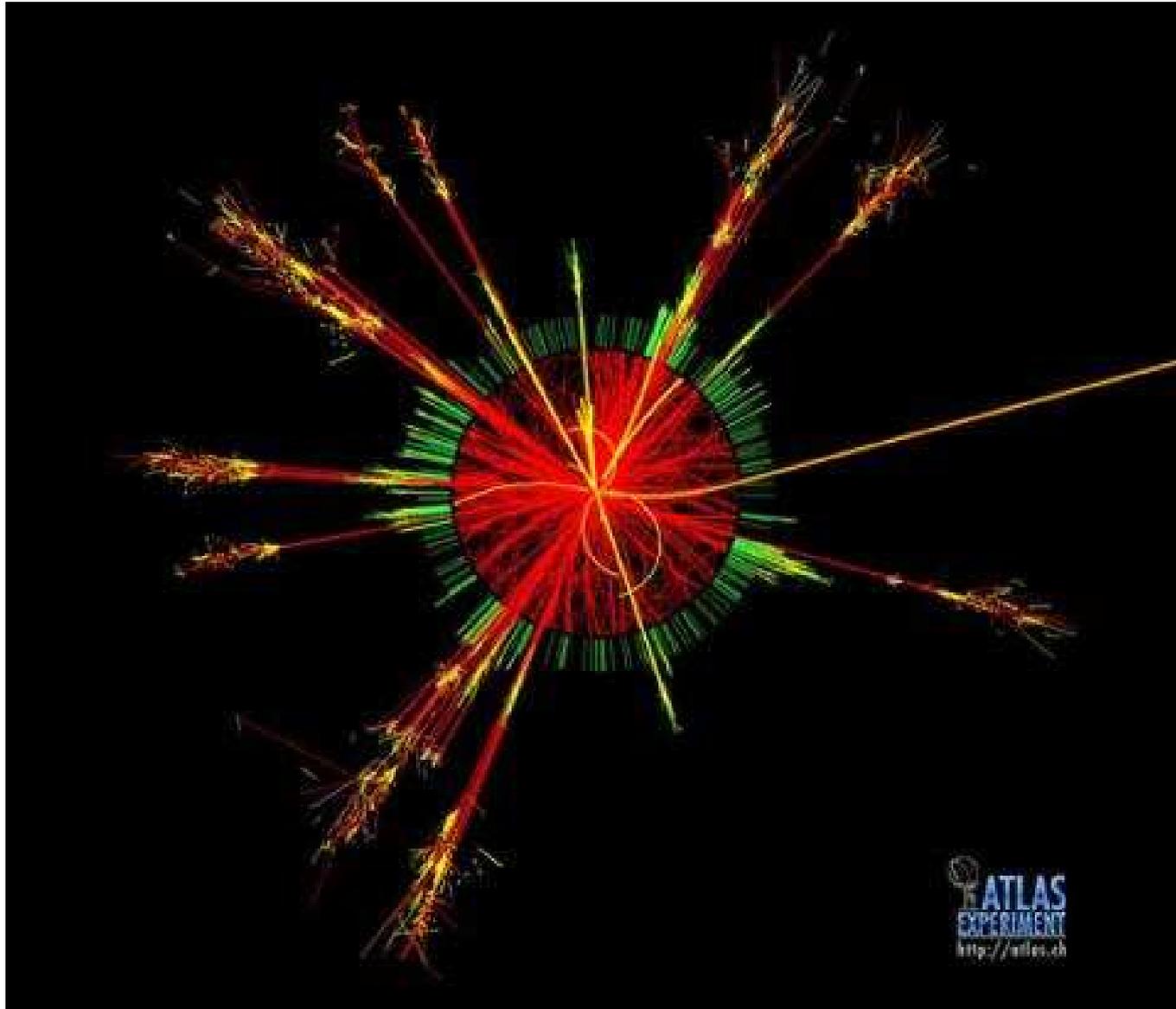
- Entstehung kurz nach dem Urknall?
- Evidenz für explodierende Mini-Black Holes?
- γ -Strahlen Hintergrund!
- Gamma-Ray-Bursts (GRB)
- Mini-Black Holes: Gefahr für die Erde?
- Pico-Black-Holes in der Kosmischen Strahlung produziert?
- Femto-Black-Holes am LHC???

Gamma-Ray Burst

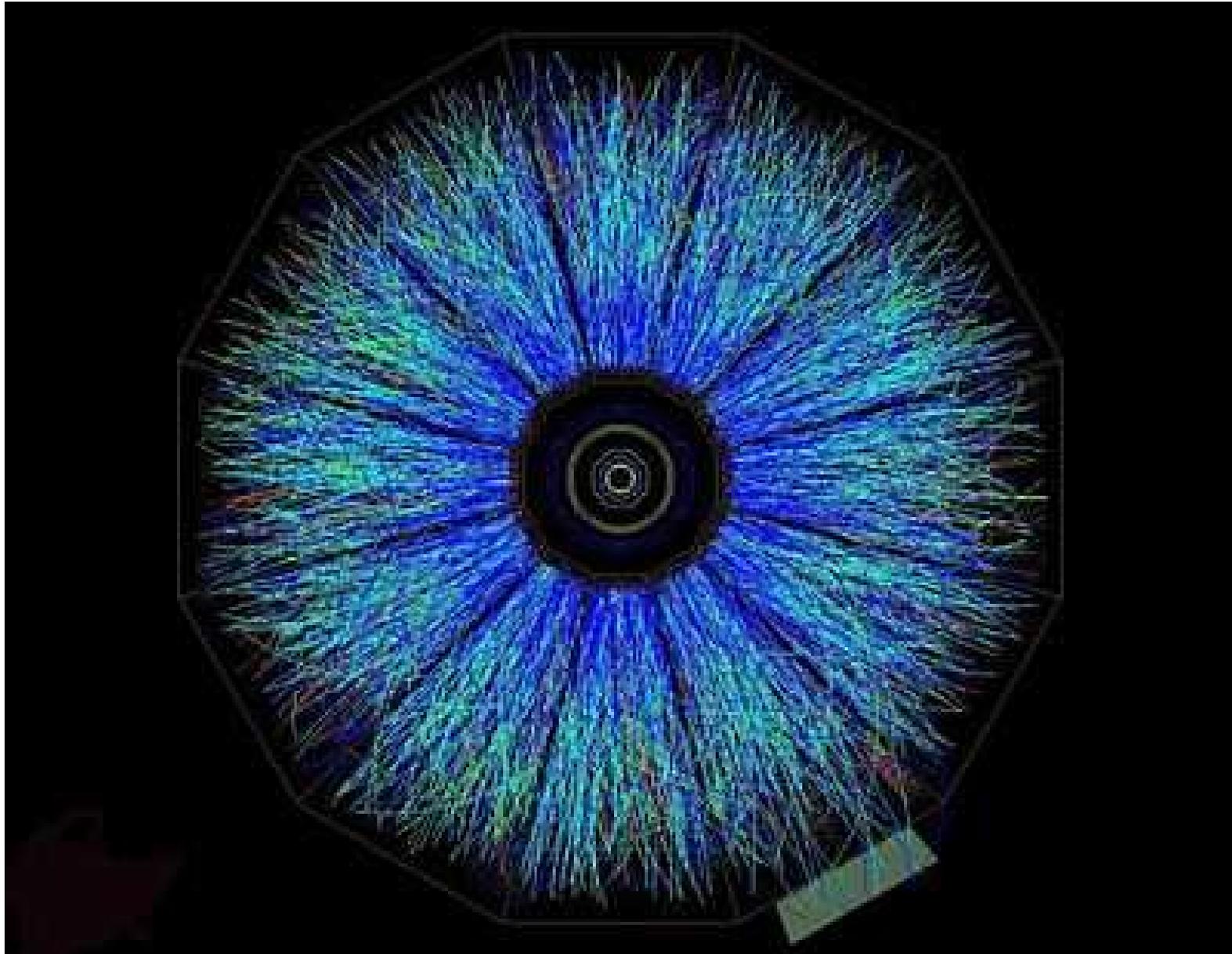


http://image.gsfc.nasa.gov/docs/science

Explosion eines Mini-Black-Holes



Explosion eines Mini-Black-Holes



persönliches Schwarzes Loch



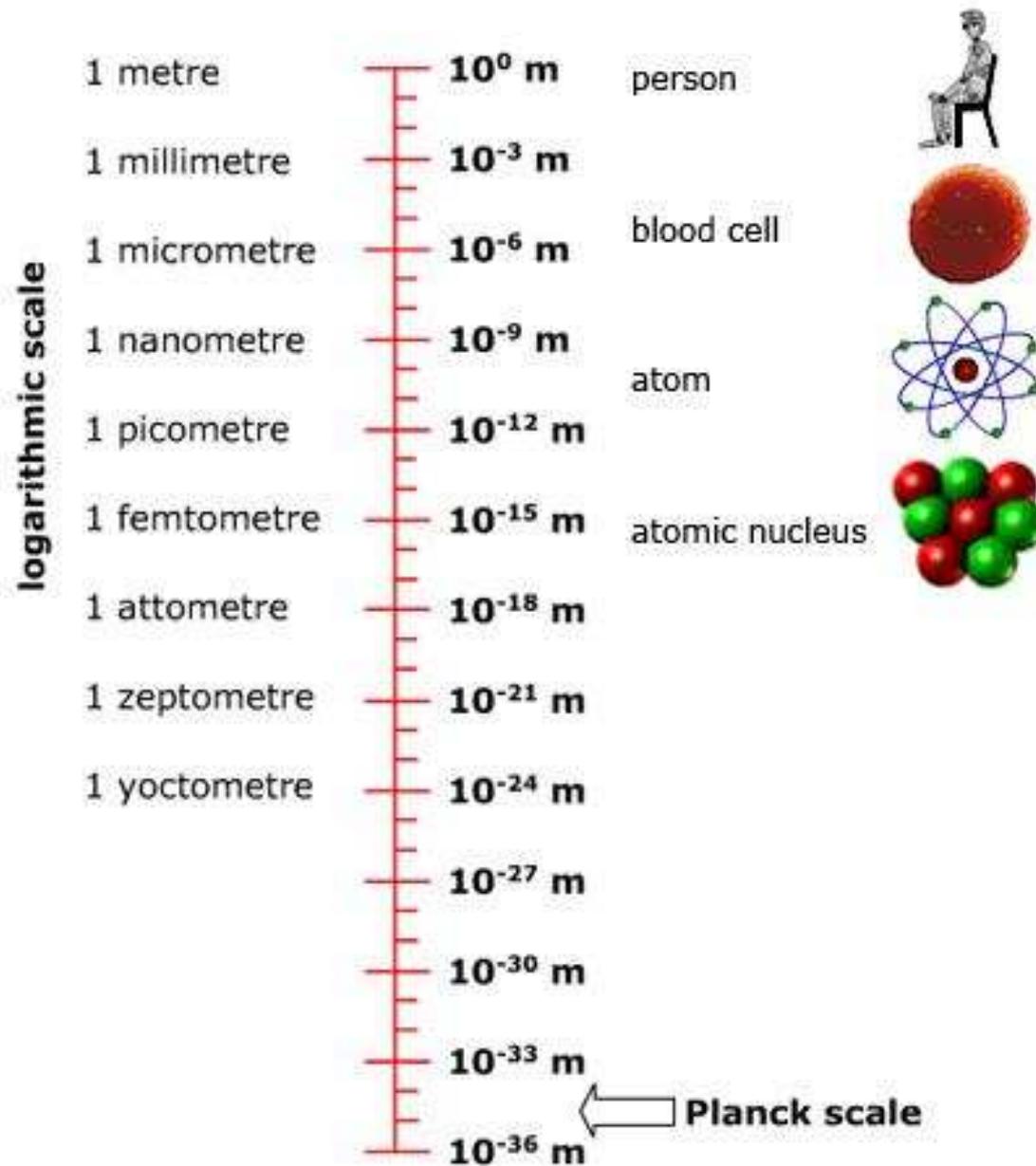
Lebensdauern

- Die Stärke der Vakuumfluktuationen wird durch eine starke Krümmung der Raumzeit begünstigt. Deshalb ist die Verdampfung besonders bei Schwarzen Löchern kleiner Masse begünstigt.
- Lebensdauer des Schwarzen Loches $\tau \approx 10^{66} \frac{M^3}{M_{\odot}^3}$ Jahre
- z.B. $\tau_{\odot} = 10^{66}$ a
- $\tau_{Erde} \approx 3 \cdot 10^{49}$ a
- $\tau_{1\text{Gramm}} = 10^{-34}$ Sekunden
- $\tau_{LHC-Loch} = 6 \cdot 10^{-86}$ s
- das ist unphysikalisch, denn diese Zeit ist kleiner als die Planck-Zeit

Planck-Skalen I

- l_{Pl} ist das kleinste Quantum der Länge
- vermeidet Singularitäten in den Kraftgesetzen
- Um kleine Schwarze Löcher am LHC zu erzeugen, muss die Gravitation so stark werden wie die anderen Wechselwirkungen. Das passiert aber erst bei viel höheren Energien.
- \Rightarrow klassische Mini-Black-Holes können am LHC nicht erzeugt werden.
- Wenn aber doch aus irgendeinem Grunde solche Schwarzen Löcher entstehen, dann würden sie praktisch sofort explosionsartig verdampfen.

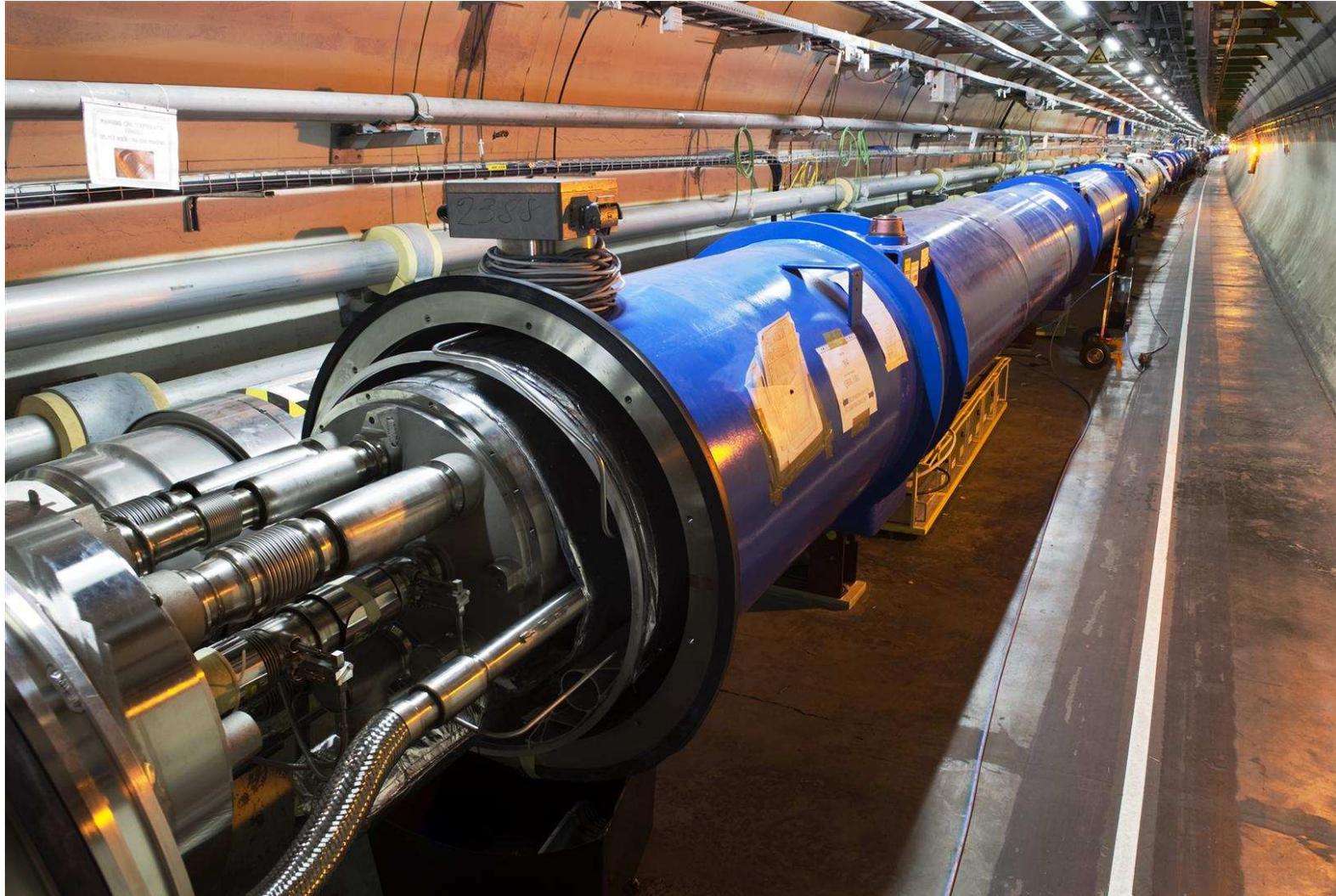
Planck-Skalen II



LHC bei Genf



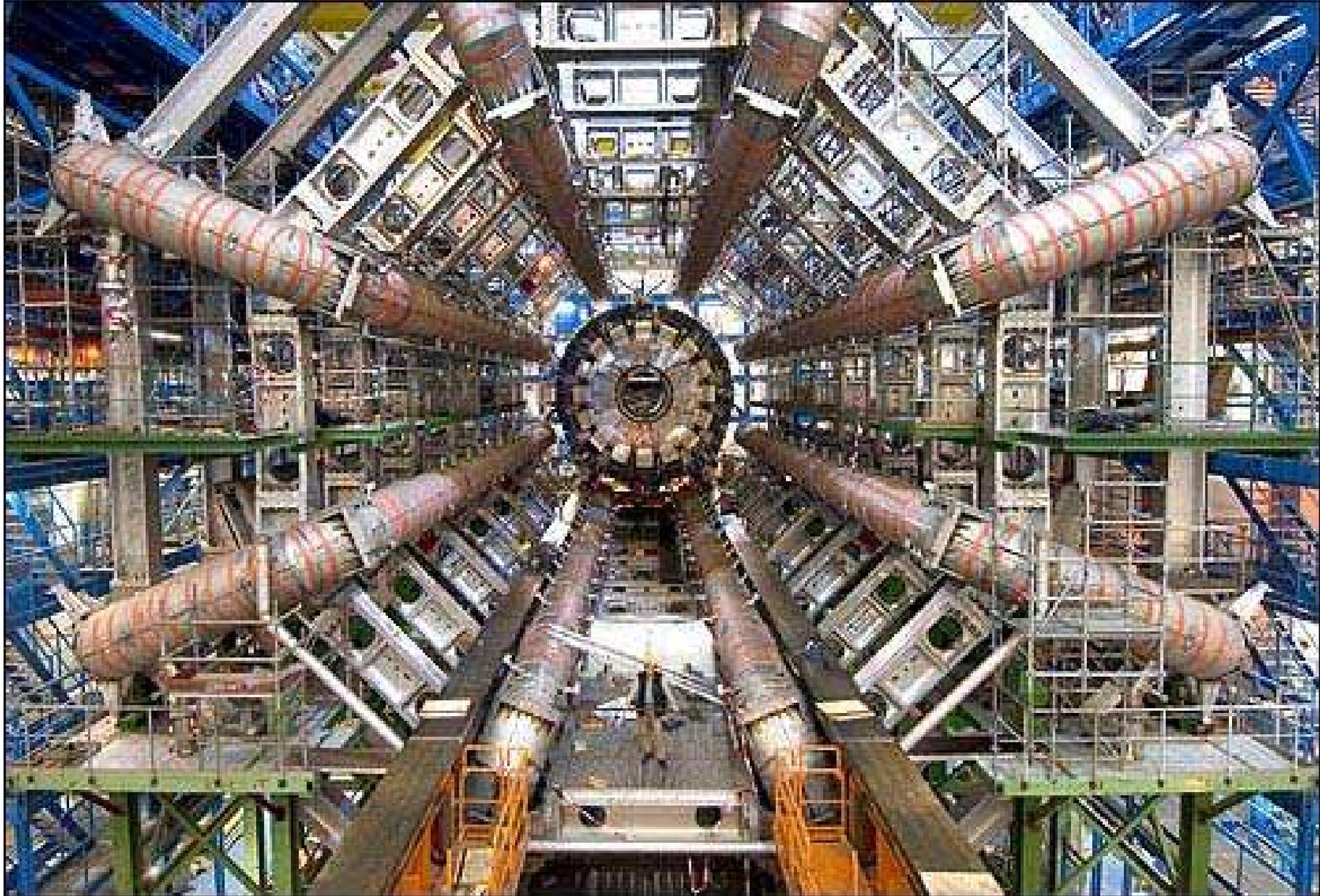
LHC-Speicherringbeschleuniger



LHC-Speicherringbeschleuniger



ATLAS-Detektor

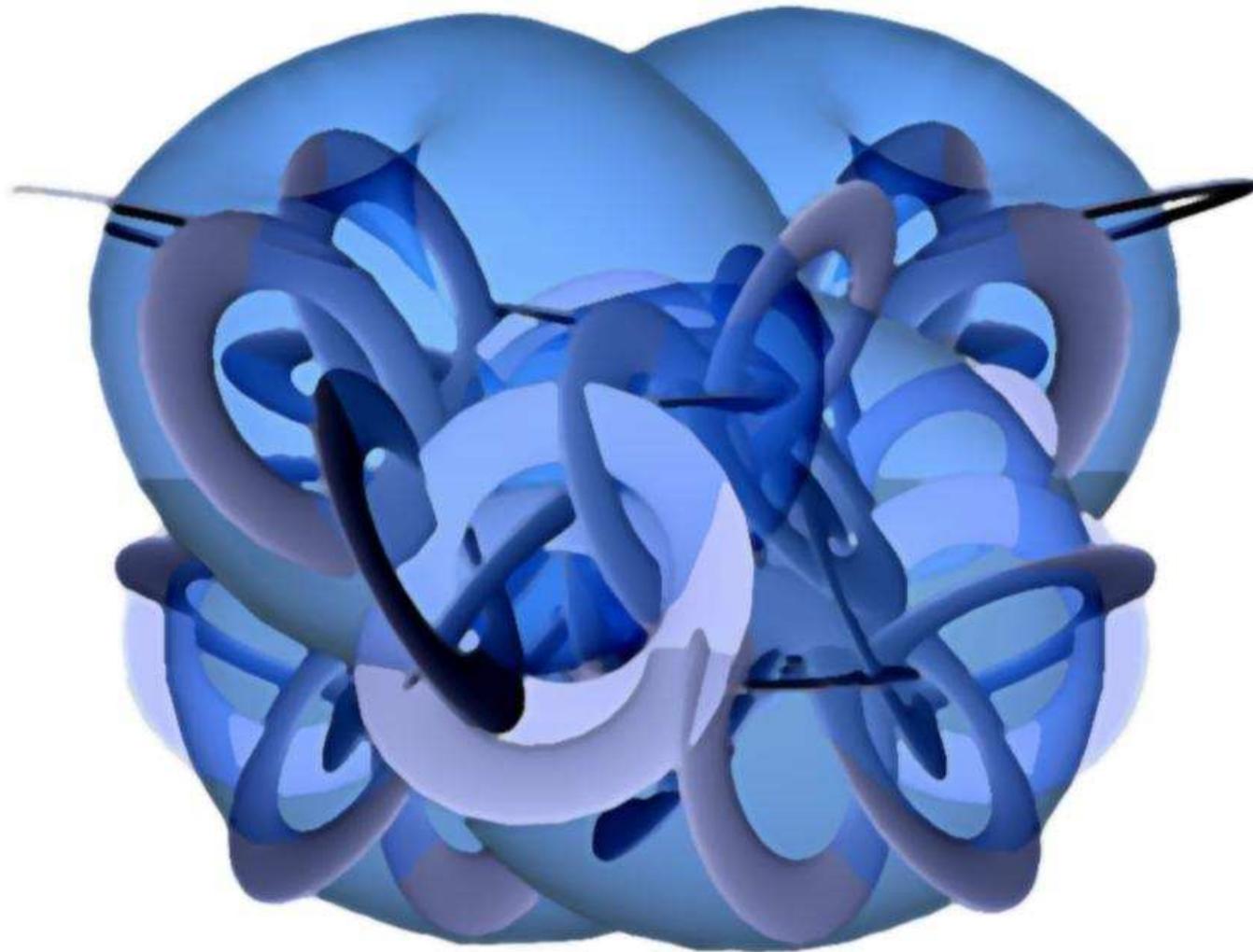


Vereinigung der Wechselwirkungen

Um ein Schwarzes Loch mit der Planck-Masse zu erzeugen, bräuchte man eine Energie von 10^{16} TeV! Klassische Schwarze Löcher kann der LHC (14 TeV) also nicht erzeugen.

- In einem Universum mit mehr Dimensionen (z.B. 11 in Superstringtheorien) könnte die Gravitation viel stärker sein.
- Das Newtonsche Gravitationsgesetz würde bei kleinen Abständen anders aussehen.
- Der Schwarzschild-Radius wäre dann größer.

Calabi-Yau Räume

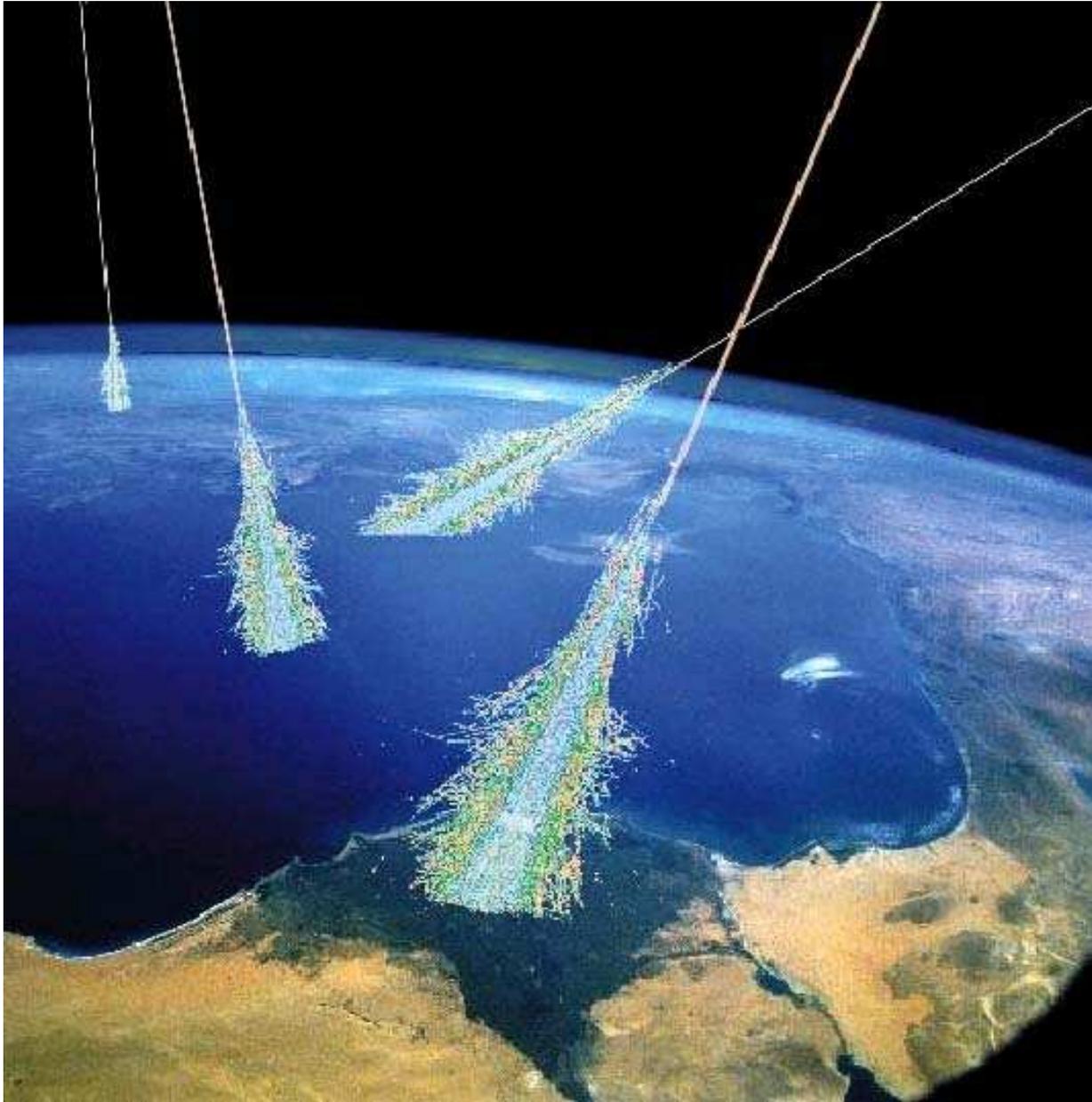


The Elegant Universe, Brian Greene

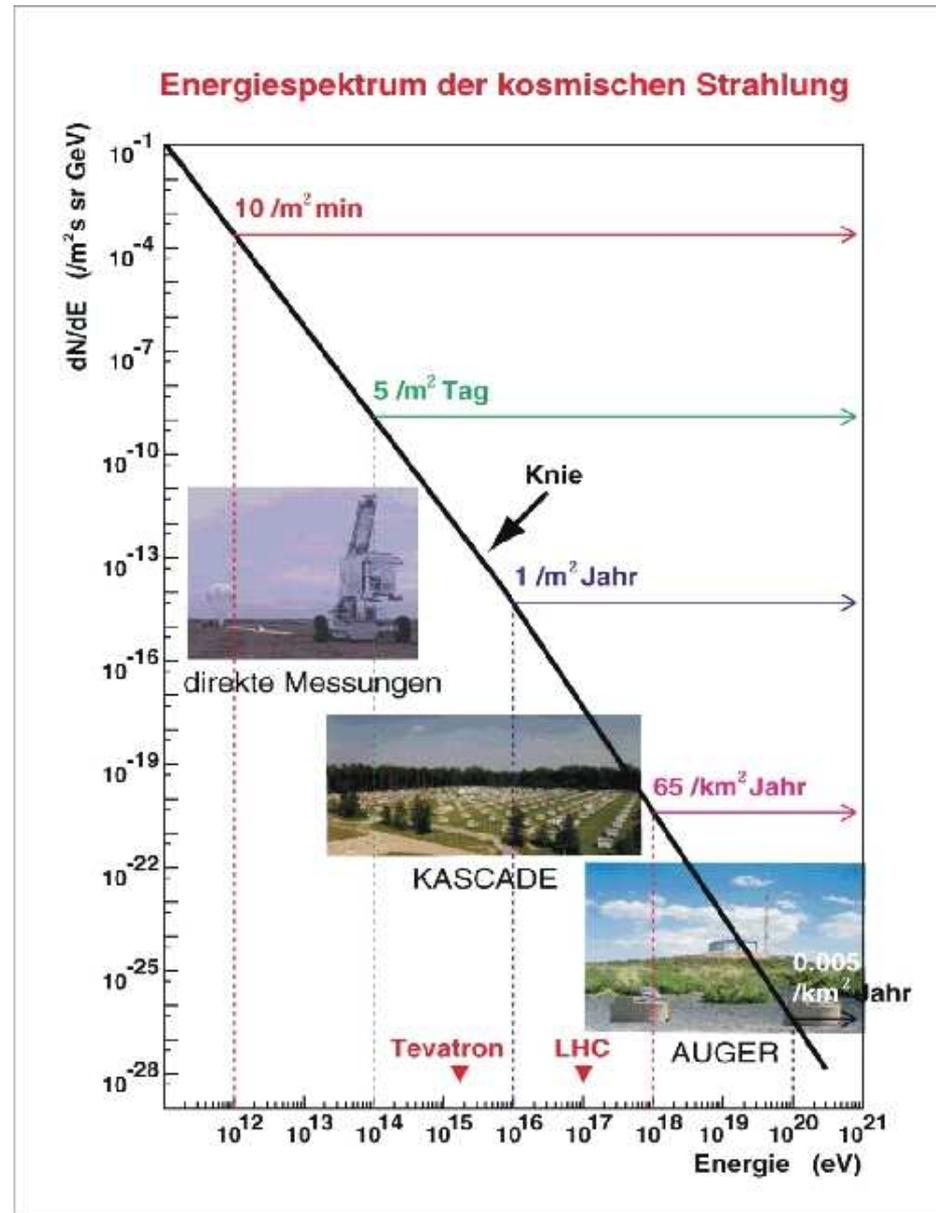
Es gibt solide Messdaten!

- In der kosmischen Strahlung kommen Energien vor, die viel höher als am LHC sind!
- Es würden also dauernd Schwarze Löcher in der Kosmischen Strahlung entstehen, und das schon seit 4,5 Milliarden Jahren!
- Die Erde und die anderen Himmelskörper wären längst weg!
- Wenn die LHC-Löcher gefährlich wären, wären wir schon lange aufgeschlürft worden!

Kosmische Schauer



Energiespektrum



Kosmische LHC-Rate

Es fallen 50 Milliarden kosmische Teilchen, die der Schwerpunktsenergie des LHC entsprechen, pro Jahr auf die Erde.

Das sind 1500 pro Sekunde auf die gesamte Erde.

Das entspricht 120 000 Teilchen pro Siegen-Wittgenstein pro Jahr.

Entsprechend 10 pro Tag auf den Stadtbereich von Siegen.

Schlußbemerkungen Himmel

- Schwarze Löcher sind die Endstadien von sehr massiven Sternen.
- Stellare Schwarze Löcher sind eindeutig (indirekt) beobachtet.
- Im Zentrum unserer Milchstraße sitzt ein massives Schwarzes Loch. Das kann man aus der Bewegung von Sternen um dieses Schwarze Loch erschließen.
- Alle Galaxien beherbergen Schwarze Löcher in ihren Zentren.

In sicherem Abstand



Schlußbemerkungen Erde

- Es ist sehr unwahrscheinlich, dass am LHC Mini-Schwarze Löcher entstehen werden.
- Wenn Sie entstehen sollten, würden sie in Bruchteilen von Sekunden verdampfen.
- Auf jeden Fall werden sie völlig harmlos sein, denn die Natur hätte die Möglichkeit, sie in der kosmischen Strahlung zu erzeugen.
- Und da haben sie keinen Schaden angerichtet!

Das Ende

