

Schwarze Löcher im Universum!



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 1

Schwarze Löcher im Universum!

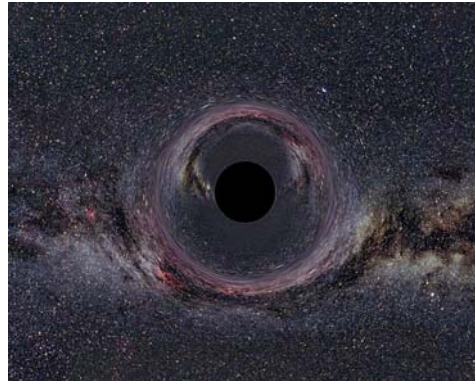
1. Schwarze Löcher im Universum!
 1. Definition
 2. Entstehen eines Schwarzen Loches
 - a. Leben eines Sternes
 - b. Ende eines Sternes
 3. Eigenschaften eines Schwarzen Loches
 4. Zusammenfassung
 5. Versagen der Theorien
 6. Nachweis Schwarzer Löcher
 7. Beispiele
 8. Zerfall eines Schwarzen Loches
 9. Lebensdauer
 10. Auswahl offener Fragen
2. Schwarze Löcher im Labor?
 1. Das Standardmodell der Teilchenphysik
 2. Die Bausteine der Welt
 3. Die Kräfte
 4. Die Fragen
 5. Die Stringtheorie – eine Theorie
 6. Mikroskopische Schwarze Löcher
 7. Kann man sicher sein?

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 2

Schwarze Löcher im Universum!

Definition

Ein Schwarzes Loch ist ein astronomisches Objekt, dessen Gravitation so hoch ist, dass aus ihm kein Objekt, auch kein Licht entweichen kann.



fiktives schwarzes Loch mit gekrümmtem Raum von der Erde aus vor der Milchstrasse gesehen

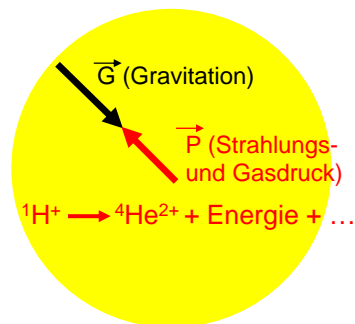
Graphics: Wikipedia

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 3

Schwarze Löcher im Universum!

Leben eines Sternes

- im Inneren eines Sternes laufen thermonukleare Reaktionen ab
 - „Wasserstoffbrennen“ (Kernfusion) erzeugt Wärme
 - hat Gas- und Strahlungsdruck zur Folge
- die Sterne haben eine Masse (Gravitation)
- Strahlungs- und Gasdruck, Fliehkraft und Gravitation halten sich die Waage, der Stern ist stabil in der Form (hydrostatisches Gleichgewicht)
- Das ist der gegenwärtige Zustand der Sonne.

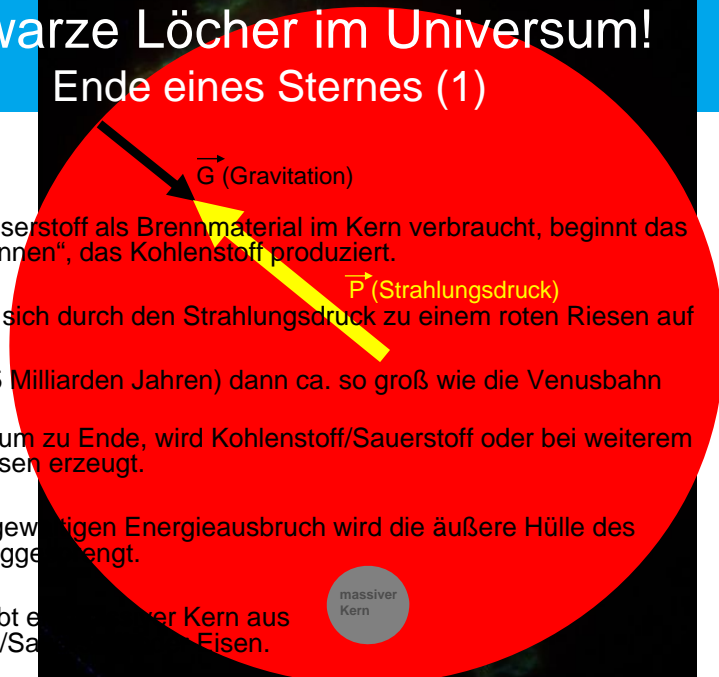


Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 4

Schwarze Löcher im Universum!

Ende eines Sternes (1)

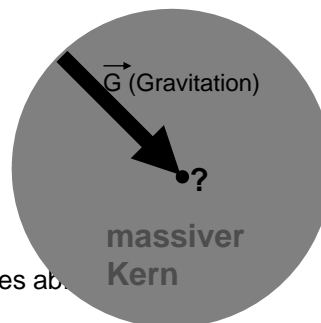
- Ist der Wasserstoff als Brennmaterial im Kern verbraucht, beginnt das „Heliumbrennen“, das Kohlenstoff produziert.
- Stern bläht sich durch den Strahlungsdruck zu einem roten Riesen auf
- Sonne (in 5 Milliarden Jahren) dann ca. so groß wie die Venusbahn
- Ist das Helium zu Ende, wird Kohlenstoff/Sauerstoff oder bei weiterem Brennen Eisen erzeugt.
- Mit einem gewaltigen Energieausbruch wird die äußere Hülle des Sternes weggeblasen.
- Zurück bleibt ein kleinerer Kern aus Kohlenstoff/Sauerstoff oder Eisen.



Schwarze Löcher im Universum!

Ende eines Sternes (2)

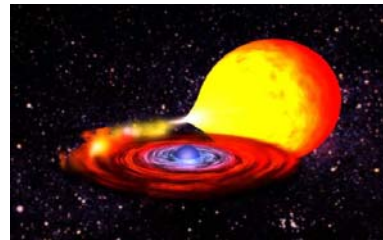
- es gibt keinen Strahlungsdruck mehr
- die Gravitation gewinnt die Überhand
- der Stern fällt in sich zusammen
- Sonne in ca. 12,5 Milliarden Jahren
- Was dann passiert, hängt von der ursprünglichen Masse des Sternes ab.



Schwarze Löcher im Universum!

Ende eines Sternes (3)

- Stern mit weniger als 1,44 Sonnenmassen:
 - über den **Weißen Zwerg**
 - entartetes Elektronengas
 - Durchmesser 10.000 km
 - 1 Tonne pro cm^3
 - strahlt noch mit stark verminderter Leuchtdichte
 - zum **Schwarzen Zwerg**
 - strahlt nicht mehr
 - gibt es noch nicht, Universum zu jung
- Stern mit 1,44 bis 3 Sonnenmassen:
 - **Neutronenstern**
 - entartete Neutronen
 - Elektronen in die Atomkerne gepresst
 - Durchmesser ca. 20 km
 - 1 Milliarde Tonnen pro cm^3
 - strahlt noch mit stark verminderter Leuchtdichte



Graphics: Wikipedia/NASA

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 7

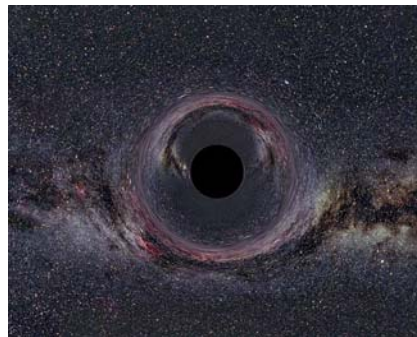
Schwarze Löcher im Universum!

Ende eines Sternes (4)

- Stern mit mehr als 3 Sonnenmassen:

Schwarzes Loch

- Gravitation kann durch nichts mehr aufgehalten werden
- innerhalb von Sekunden (!) stürzt der Stern in sich zusammen
- es bleibt kein einziges, noch so kleines Stück Materie übrig
- der Zusammensturz endet erst in einer Singularität:
 - ohne Ausdehnung
 - ein Punkt im Raum, der kein räumlicher Punkt ist
 - physikalische Gesetze verlieren ihre Gültigkeit
 - wir haben keine Mittel, diesen Zustand zu beschreiben



Graphics: Wikipedia

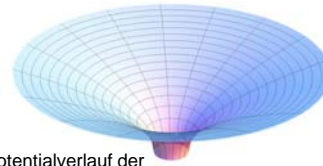
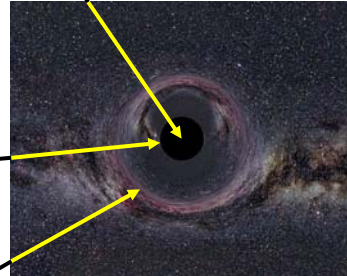
Die Gravitation hat gewonnen.

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 8

Schwarze Löcher im Universum!

Eigenschaften eines Schwarzen Loches

- um die Singularität herum gibt es einen Raumbereich (Schwarzschildradius), in dem die Gravitation so stark ist, dass nichts entweichen kann:
 - kein Objekt
 - kein Licht
 - keine Information
- der Bereich erscheint „schwarz“
- Objekte, die an den Rand dieses Bereiches geraten, „fallen hinein“
- die Gravitation der Singularität krümmt einen Bereich des Raumes (die Raumzeit) darüber hinaus stark
 - Licht erscheint abgelenkt
- Masse (supermassiver) Schwarzer Löcher: bis zu einigen Milliarden Sonnenmassen



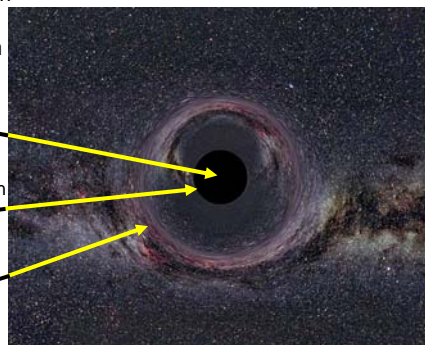
Potentialverlauf der Gravitation eines Schwarzen Loches

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 9

Schwarze Löcher im Universum!

Zusammenfassung

- ein astronomisches Schwarzes Loch:
 - entsteht aus einem sterbenden Stern
 - nimmt weiter Materie auf
- ein astronomisches Schwarzes Loch besteht aus:
 - der Singularität
 - Dichte unendlich groß
 - Volumen unendlich klein
 - ist „Masse ohne Materie“
 - jede heutige Physik bricht zusammen
 - dem Raum, aus dem es kein Entweichen gibt (Schwarzschildradius)
 - dem durch Gravitation gekrümmten Raum darum
- 3 physikalische Größen charakterisieren es:
 - Masse
 - elektrische Ladung
 - Drehimpuls



Graphics: Wikipedia

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 10

Schwarze Löcher im Universum!

Versagen der Theorien

- Allgemeine Relativitätstheorie :
 - zuständig für das Größte:
 - Universum
- Quantentheorie:
 - zuständig für das Kleinste:
 - Bausteine der Welt
 - Kräfte
- beide Theorien sind sehr gut experimentell gesichert
- bei der Beschreibung eines Schwarzen Loches geraten beide in Widersprüche
 - (auch z.B. beim Urknall, bei Vorgängen auf der Planck-Skala, ...)
- neue Theorie notwendig, die beide enthält und verbindet
- das könnte die Quantengravitation sein
 - Stringtheorie
 - Schleifen-Quantengravitation
 - Quantengeometrie

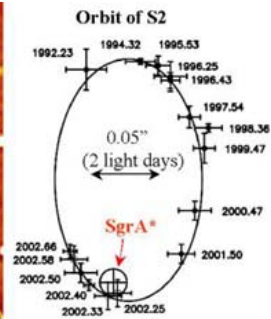
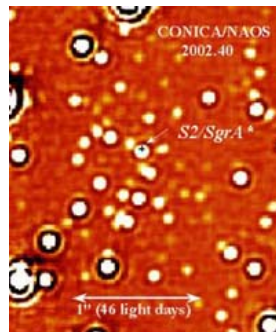
Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 11

Schwarze Löcher im Universum!

Nachweis Schwarzer Löcher (1)

Nachweis durch Bewegungen eines anderen Sternes

- großer Stern umkreist ein unsichtbares Objekt
- aus seiner Bahn kann die Masse des unbekanntes Objektes abgeschätzt werden
- Beispiel:
 - Stern S2 kreist im Zentrum der Milchstraße mit 5.000 km/s
 - Masse des unbekanntes Partners etwa 4,3 Millionen Sonnenmassen
 - das kann nur ein schwarzes Loch sein



Grafik: ESO/MPI für extraterrestrische Physik

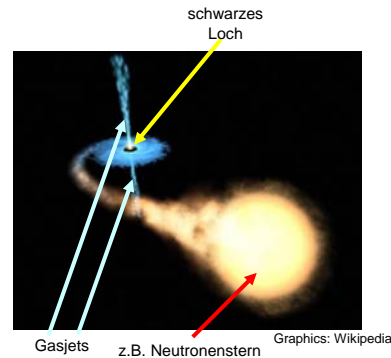
Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 12

Schwarze Löcher im Universum!

Nachweis Schwarzer Löcher (2)

Nachweis durch Strahlung

- ein Schwarzes Loch bildet mit einem Stern ein Doppelsternsystem
- es saugt von diesem Materie ab
- diese umkreist auf enger werdenden Bahnen das Schwarze Loch (Akkretionsscheiben)
- Materie beschleunigt dabei
- heizt sich durch Reibung extrem auf
- sendet charakteristische Strahlung aus (Gas, Röntgen- und Gammastrahlen)
- effektivste Energiequelle im Universum
 - 20% (!) der Masse des Sternes werden in Strahlung umgesetzt ($E=m \cdot c^2$)



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 13

Schwarze Löcher im Universum!

Nachweis Schwarzer Löcher (3)

Nachweis durch Beobachtung der Raumkrümmung

- von der Erde aus gesehen bewegt sich eine Galaxie hinter einem Schwarzen Loch vorbei
- deren Lichtstrahlen treffen auf den vom Schwarzen Loch gekrümmten Raum
- sie folgen der Krümmung
- Teile der Galaxie sind für uns verschoben, „eher“ zu sehen



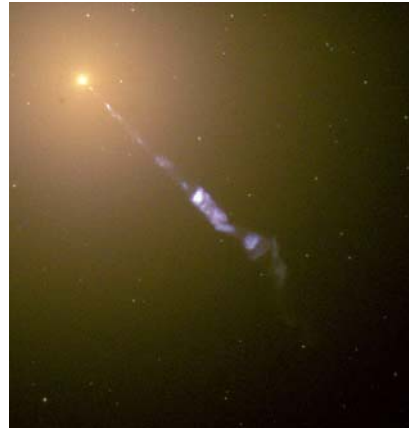
Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 14

Schwarze Löcher im Universum!

Beispiele (1)

- **Galaxie M87**

- im Sternbild Jungfrau
- im Kern ein sehr aktives, supermassives Schwarzes Loch
- Masse 6,4 Milliarden Sonnenmassen
- Schwarzschildradius größer als die Plutobahn (6 Milliarden km)
- stößt Materie und Strahlung verschiedener Art ab
- Jet mit Millionen Lichtjahren Länge (Ø Milchstraße: ~ 100.000 Lichtjahre)



Graphics: Hubble/Wikipedia

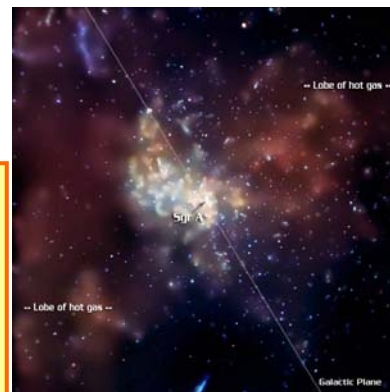
Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 15

Schwarze Löcher im Universum!

Beispiele (2)

- **Sagittarius A***

- supermassives Schwarzes Loch im Zentrum der Milchstraße
- Quelle elektromagnetischer Strahlung, zur Zeit nicht sehr aktiv
- 4,3 Millionen Sonnenmasse
- Schwarzschildradius: 10 Millionen Kilometer
- wird von einem zweiten Schwarzen Loch (IRS 13, 1300 Sonnenmassen) in 3 Lichtjahren Entfernung umkreist (2004: Hubble und Chandra)
- weitere 10.000-20.000 Schwarze Löcher umkreisen es in ca. 70 Lichtjahren Entfernung (2005: Chandra)
- *diese kleinen Schwarzen Löcher sammeln Sterne und füttern damit Sagittarius A**
- *alle eine Million Jahre verschluckt Sagittarius A* ein kleines schwarzes Loch*



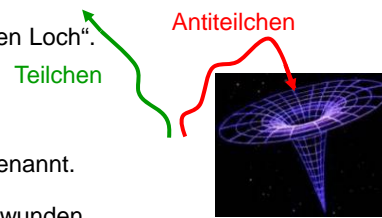
Graphics: Röntgensatellit Chandra

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 16

Schwarze Löcher im Universum!

Zerfall eines Schwarzen Loches

- Nach der Quantenfeldtheorie bilden sich im Vakuum ständig Teilchen-Antiteilchen-Paare, die sofort wieder zerfallen.
- Das geschieht auch in der Umgebung eines Schwarzen Loches.
- Die Gravitationskraft des Schwarzen Loches trennt dieses Teilchen-Antiteilchen-Paar.
- Damit ist ein Teilchen „entstanden“.
- Dessen Masse „stammt aus dem schwarzen Loch“.
- Demzufolge hat das schwarze Loch Masse verloren.
- Dieser Vorgang wird Hawking-Strahlung genannt.
- Irgendwann ist das Schwarze Loch verschwunden, „verdampft“.

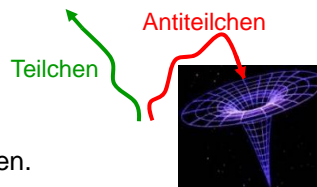


Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 17

Schwarze Löcher im Universum!

Lebensdauer

- Die Lebensdauer eines Schwarzen Loches ist eine Funktion seiner Masse.
- Die Lebensdauer für ein kleines Schwarzes Loch mit ca. einer Sonnenmasse ist sehr hoch, aber nicht unendlich.
- In 10^{66} Jahre ist es durch Hawking-Strahlung verdampft.
- Irgendwann wird auch das letzte Schwarze Loch aufhören zu existieren.
- *Das Sterben dieses letzten Schwarzen Loches ist ein weiterer Schritt auf dem Weg zum Ende des Universums ...*



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 18

Schwarze Löcher im Universum!

Auswahl offener Fragen

- Was passiert mit Objekten, die in ein Schwarzes Loch fallen?
- Sind Schwarze Löcher an der Entstehung der Galaxien beteiligt, was war eher da, das Schwarze Loch oder die Galaxie?
- Wie entstehen massive Schwarze Löcher?

- Was passiert am Ende des Verdampfens?
 - Explodiert das Schwarze Loch und Restmasse und Information erscheinen wieder?
 - Oder trennt sich die Raumzeit in der Singularität auf und ein Tochteruniversum entsteht?

- Was ist die Singularität?
- Ist ein Schwarzes Loch ein Punkt im Raum oder in der Zeit?
- Kann die Quantengeometrie das Problem „Singularität“ lösen?
- Gibt es eine TOE (Theory of everything), die alles beschreibt?

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 19

Schwarze Löcher im Labor?



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 20

Schwarze Löcher im Labor?

Das Standardmodell der Teilchenphysik

Das Standardmodell der Teilchenphysik

ist eine Sammlung von Annahmen und Theorien, mit denen praktisch alle heute beobachtbaren materiellen Vorgänge korrekt beschrieben werden können.

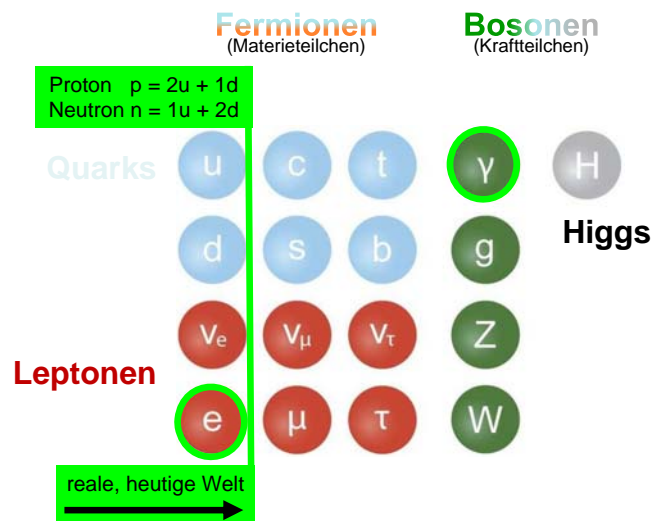
3 Grundaussagen:

1. Materie besteht aus Quarks und Leptonen.
2. Diese Teilchen tragen (verallgemeinerte) Ladungen.
3. Kräfte und Umwandlungen zwischen den Teilchen sind durch Bindeteilchen zwischen den Ladungen darstellbar.

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 21

Schwarze Löcher im Labor?

Die Bausteine der Welt



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 22

Schwarze Löcher im Labor?

Die Kräfte



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 23

Schwarze Löcher im Labor?

Die Fragen (1)

Die Gravitation - warum ist sie so schwach?

- dominiert die großräumigen Strukturen des Universums
- unendliche Reichweite
- schwächste aller Wechselwirkungen
- im Vergleich zur starken Wechselwirkung 38 (!) Größenordnungen schwächer

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 24

Schwarze Löcher im Labor? Die Fragen (2)

Grundkraft	Austauschteilchen	Masse (GeV/c ²)	relative Stärke	Reichweite (m)	Abstands- wirkung (Kraft)	Potentialverlauf
Starke	Gluonen	0	1	2,5·10 ⁻¹⁵	1/r ⁷	αr ⁻¹ + βr
Elektromagnetische	Photon	0	10 ⁻² [A]	∞	1/r ²	1/r
Schwache	W ⁺ , W ⁻ , Z ⁰	80, 80, 91	10 ⁻¹³	10 ⁻¹⁸	1/r ⁵ bis 1/r ⁷	δ(r)
Gravitation	Graviton? (postuliert)		10 ⁻³⁸	∞	1/r ²	1/r

Quelle: Wikipedia



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 25

Schwarze Löcher im Labor? Die Stringtheorie – eine Theorie (1)

- Die Gravitationskraft ist gar nicht so klein, sie ist in Wirklichkeit viel größer.
- In „unseren“ 4 Dimensionen spüren wir nur einen Bruchteil der gesamten Stärke der Gravitationskraft.
- Der „Rest“ steckt in anderen Dimensionen.
- Die **Stringtheorie** sagt, dass es mehr als die uns bekannten 4 Dimensionen (11 oder gar mehr!) gibt.
- Die Gravitationskraft wirkt über alle n (n>4) Dimensionen.
- Sie ist in Summe über alle Dimensionen gesehen „gleich“ stark, wie jede andere elementare Kraft.
- Wir kennen die anderen Dimensionen nicht, da diese „aufgerollt“ sind.

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 26

Schwarze Löcher im Labor? Die Stringtheorie – eine Theorie (2)

- Die Stringtheorie mit ihren n Dimensionen ist nur eine der diskutierten Antworten auf die Schwäche der Gravitationskraft.
- Als „Nebeneffekt“ postuliert sie unter bestimmten Randbedingungen die Möglichkeit des Entstehens
mikroskopischer Schwarzer Löcher.
- Die Gültigkeit der Stringtheorie ist nicht erwiesen. Sie wird, wie alle Theorien, zumindest kontrovers diskutiert.

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 28

Schwarze Löcher im Labor? Mikroskopische Schwarze Löcher (1)

- Die „überzähligen“ Dimensionen sind in jedem Punkt unseres Raumes unendlich klein aufgerollt, dadurch uns nicht zugänglich.
- Es kann sein, dass eine dieser „überzähligen“ Dimensionen nicht unendlich klein aufgerollt, sondern unseren Messungen zugänglich ist.
- Dann könnte sich in diesem immer noch extrem kleinen, dennoch makroskopischen Raum ein großer Teil der „fehlenden“ Gravitationskraft konzentrieren.
- Dieser Raum würde in unserer Welt als **mikroskopisches** Schwarzes Loch erscheinen, das auf Grund von Quanteneffekten sofort wieder zerfallen würde.
- Dieser Zerfall hätte eine charakteristische Signatur.
- Wenn im Labor, z.B. am CERN, eine solche Signatur gesehen würde, wäre das ein starker Hinweis auf die Gültigkeit der Stringtheorie.

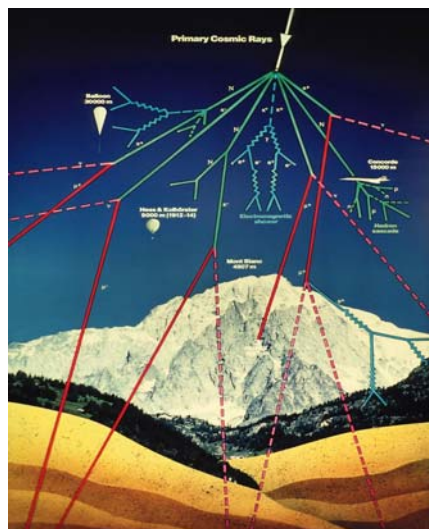
Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 29

Schwarze Löcher im Labor? Mikroskopische Schwarze Löcher (2)

- Mikroskopische Schwarze Löcher (MSL), die hypothetisch an Beschleunigern mit 14 TeV entstehen könnten, hätten die Masse zweier Mücken.
- MSL würden, wie alle anderen instabilen Teilchen, die an Beschleunigern erzeugt werden, zerfallen.
 - z.B. durch Hawking-Strahlung
- Die Zerfallszeit von MSL ist so kurz ($\sim 10^{-27}$ s), dass das MSL in dieser Zeit nicht einmal einen Atomdurchmesser weit geflogen ist.
- Ein MSL hat keine Zeit, Materie aufzusaugen und zu wachsen.
- Die Eddington-Grenze begrenzt den Größenzuwachs eines MSL pro Zeiteinheit.
- Diese Zustände haben mit kosmischen Schwarzen Löchern kaum etwas gemeinsam.

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 30

Schwarze Löcher im Labor? Kann man sicher sein? (1)



Graphics: CERN

Ja, denn:

- Es gibt die Kosmische Strahlung.
- Deren „Teilchenbeschleuniger“ stellen den LHC bei weitem in den Schatten:
 - Teilchenenergien bis 108 TeV beobachtet
 - Kollisionsenergien in der Erdatmosphäre 30 mal höher als beim LHC
- Die Erde wäre schon mit Schwarzen Löchern aus einem Äquivalent von 100.000 LHC-Programmen bombardiert worden!
- Diese müssten in der Erde stecken geblieben sein und sie inzwischen „aufgefressen“ haben.
- **Die Erde aber existiert.**

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 31

Schwarze Löcher im Labor? Kann man sicher sein? (2)

- Schwarze Löcher, die in der Nähe sehr dichter Sterne erzeugt werden, müssten in diesen stecken bleiben und den Stern „fressen“:
 - Weiße Zwerge:
 - Endstadium einer Sonne
 - ~10.000 km Radius, ~1 Sonnenmasse
 - Neutronensterne:
 - Endstadium schwerer Sterne
 - ~20 km Radius, einige Sonnenmassen
- Es gibt viele sehr alte Weiße Zwerge und sehr alte Neutronensterne im Universum.
- Diese sind mithin nicht von mikroskopischen Schwarzen Löchern „aufgefressen“ worden.
- Es werden keine stabilen Schwarzen Löcher in Teilchenkollisionen erzeugt.
- **Unser Weltall sähe sonst anders aus!**



Images: STScI/NASA



Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 32

Schwarze Löcher im Universum!

Vielen Dank
für Ihre Aufmerksamkeit!

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 33

Schwarze Löcher im Universum! Literatur (1)

- Bojowald, Martin: **„Zurück vor den Urknall“** (2008)
- Hasinger, Günther: **„Das Schicksal des Universums
– Eine Reise vom Anfang zum Ende“** (2007)
- Fritzsich, Harald : **„Das absolut Unveränderliche: Die letzten
Rätsel der Physik“** (2007)
- Fritzsich, Harald: **„Quarks “** (2006)
- Davies, Paul: **„Die letzten drei Minuten“** (1996)
- Spiering, Christian: **„Auf der Suche nach der Urkraft“** (1986)
- Fritzsich, Harald : **„Vom Urknall zum Zerfall“** (1983)
- Weinberg, Steven: **„Die ersten drei Minuten“** (1975)
- Spektrum der
Wissenschaft: **„Rätsel Kosmos“** (Spezial 2/13)

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 34

Schwarze Löcher im Universum! Literatur (2)

- Kraus, Ute: **„Reiseziel: Schwarzes Loch“**
Sterne und Weltraum, November 2005
- Kauffmann, G.; White, S.: **„Aufbau und Zerstörung“**
Sterne und Weltraum, April 2009
- Müller, Andreas: **„Schwarze Löcher“**
Sterne und Weltraum, Mai 2010
- Börner, Gerhard: **„Giganten im All“**
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2013
- Abramowicz, M.; Tjus, J.: **„Zeugen des Urknalls“**
Spektrum der Wissenschaft, Mai 2013
- Klanner, R.; Wilhelmson, U. **„Die Vereinheitlichung der Naturkräfte“**
Helmholtz-Gemeinschaft, Jahresheft 2001
- Weinberg, Steven **„Eine Theorie für alles?“**
Spektrum der Wissenschaft , Spezial,
Forschung im 21. Jahrhundert

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 35

Schwarze Löcher im Universum!

Literatur (3)

- <http://www.weltderphysik.de/lhc>
- www.quantenwelt.de
- www.elementarteilchen.info
- <http://abenteuer-universum.de/>
- www.kosmologs.de
- www.astronews.com
- www.wissenschaft-online.de/astrowissen/downloads/Web-Artikel/SchwarzeLoecher_AMueller2007.pdf
- **Kasper, Werner: "Die bunte Welt der schwarzen Löcher" (2006)**
<http://abenteuer-universum.de/stersterne/s.html>
oder als pdf-Datei
<http://abenteuer-universum.de/pdf/Blackhole.pdf>

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 36

Schwarze Löcher im Universum!

Literatur (4)

Zentrum Milchstrasse, Schwarze Löcher

- http://chandra.harvard.edu/press/05_releases/press_011005.html
- http://chandra.harvard.edu/photo/2005/gctr_bin/more.html#gctr_bin_xray_3panel
- www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/0,1518,327154,00.html
- www.spiegel.de/wissenschaft/weltall/0,1518,336294,00.html
- <http://www.wissenschaft.de/wissenschaft/news/298253.html>
- www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-milchstrasse-1999-ID1209388468095.xml
- www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-zentrum-2003-ID1208269177021.xml
- www.br-online.de/br-alpha/alpha-centauri/alpha-centauri-schwarzes-loch-2006-ID1208178745177.xml

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 37

Schwarze Löcher im Universum!

Literatur (5)

- www.kosmologs.de/kosmo/blog/einsteins-kosmos/allgemein/2008-06-21/neuer-lhc-sicherheitsbericht
- CERN-PH-TH/2008-025
Astrophysical implications of hypothetical stable TeV-scale black holes
Steven B. Giddingsa, Michelangelo L. Manganob
- **Exclusion of black hole disaster scenarios at the LHC**
Benjamin Koch, Marcus Bleicher, Horst Stöcker
- **On the potential catastrophic risk from metastable quantum-black holes produced at particle colliders**
R. Plaga
- CERN-PH-TH/2008-184
Comments on claimed risk from metastable black holes
Steven B. Giddingsa and Michelangelo L. Manganob
- **THE BLACK HOLE CASE: THE INJUNCTION AGAINST THE END OF THE WORLD**
Eric E. Johnson

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 38

Schwarze Löcher im Universum!

Literatur (6)

- Phoenix – November 2008 – "**Sternstunden**"
 1. Die Geburt des Universums
 2. Schwarze Löcher
 3. Suche nach neuen Sonnensystemen
 4. Das Schicksal des Universums
- dradio Dezember 2008 – "**Vishnus Verwirrung**"
 1. Kosmos und Zeit
 2. Kosmos und Energie
 3. Kosmos und Materie

Bert Schöneich | Schwarze Löcher ... | Zeuthen 2013 | Seite 39