



Frontiers of Extragalactic Astrophysics



- 10.10.08: Überblick über die Themen des Semesters
- 24.10.08: Kurze Einführung in die String-Theorie
- 07.11.08: Urknall
- 05.12.08: Inflation
- 19.12.08: Inflations-Experimente (& Multiversen)
- 09.01.09: Multiversen Teil I
- **30.01.09: Multiversen Teil II, Wurmlöcher**
- **Zeitreisen & Zeitmaschinen (Sommersemester 2009)**



- **Eichtheorie**: eine Feldtheorie, die einer *lokalen* Eichsymmetrie genügt
- Anschaulich: die von der Theorie vorhergesagten Wechselwirkungen ändern sich nicht, wenn eine bestimmte Größe lokal frei gewählt wird. Diese Möglichkeit, eine Größe an jedem Ort unabhängig festzulegen – **zu eichen wie einen Maßstab** – veranlaßte den Mathematiker Hermann Weyl in den 1920er Jahren zur Wahl des Names **Eichinvarianz** bzw. Eichsymmetrie
- Wichtig für Standardmodell (Quantenfeldtheorie des Elektromagnetismus, schwache Wechselwirkung, starke Wechselwirkung)
- Elektrodynamik: Coulomb-Eichung, Lorenz-Eichung
- Mathematik: Klassifikation 4-dimensionaler Mannigfaltigkeiten



- Multiversen
 - Kurzer Rückblick: Steinhardt und Linde
 - Quantentheoretische Deutungen der Multiversen (z.Bsp. Everett)
 - Darwinismus und Multiversen (z.Bsp. Smolin)
 - Multiversen und Kritische Gedanken
- Wurmlöcher
 - Definition
 - Bauanleitung
 - Wurmlöcher in der Astrophysik ?
 - (simulierter) Flug durch ein Wurmloch (von Tübingen nach Boulogne sur Mer)



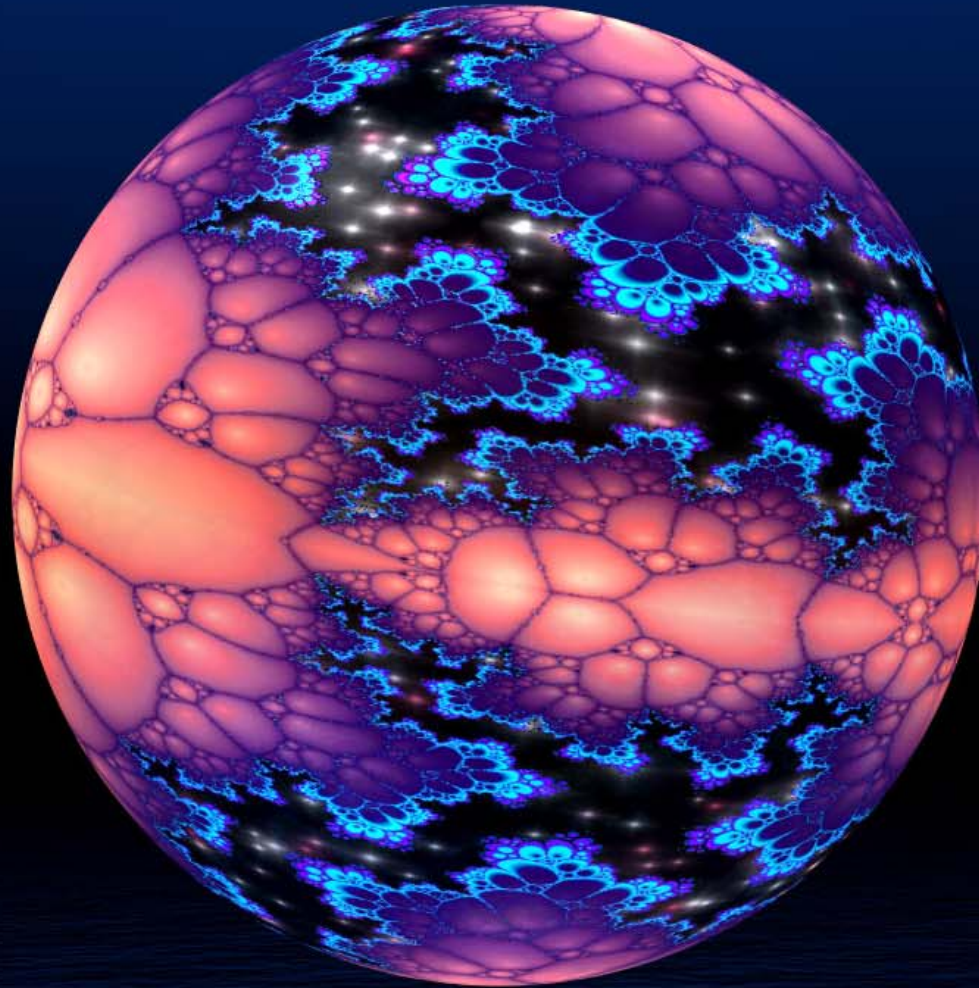
Linde: Inflationäres Multiversum



Andrei Linde

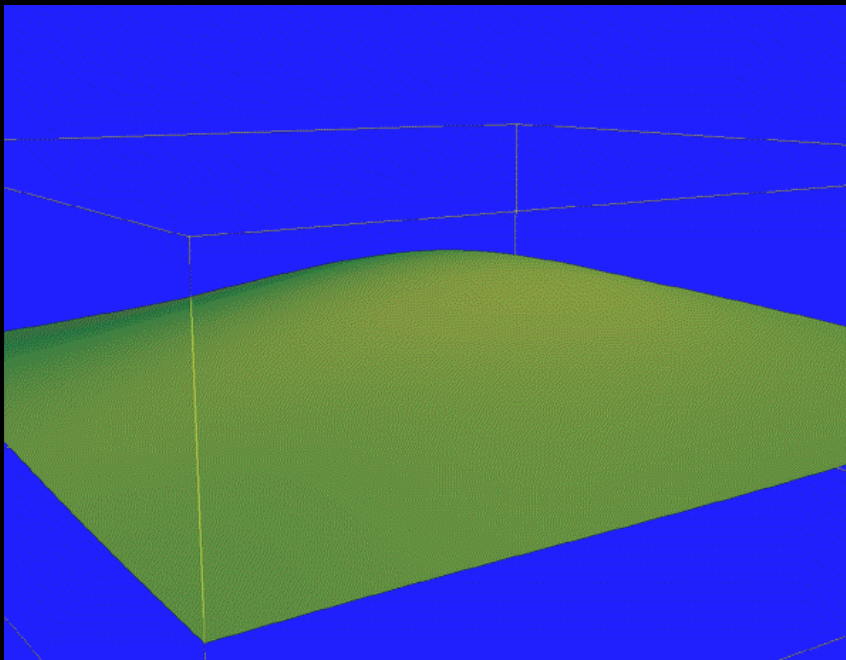
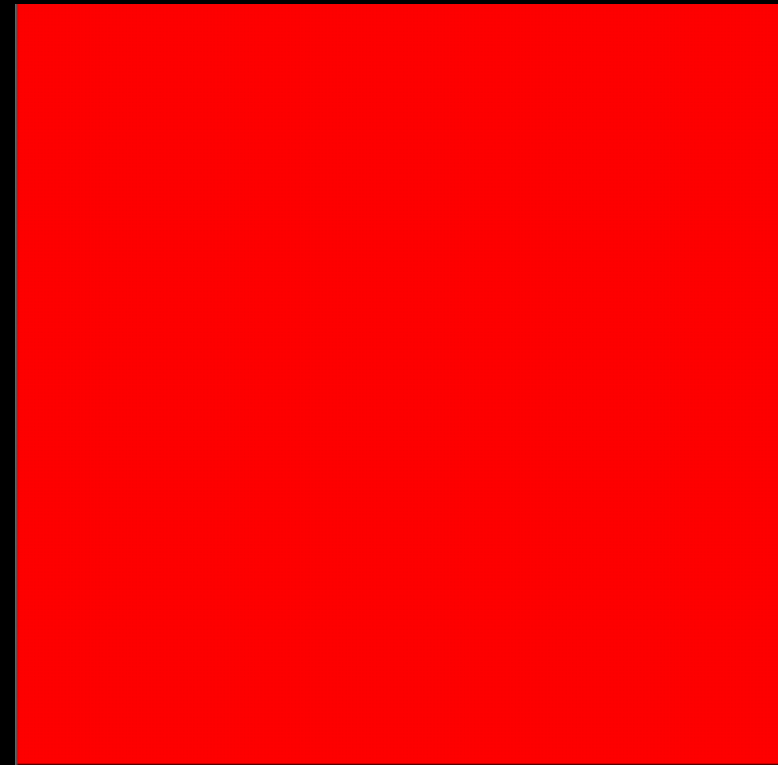
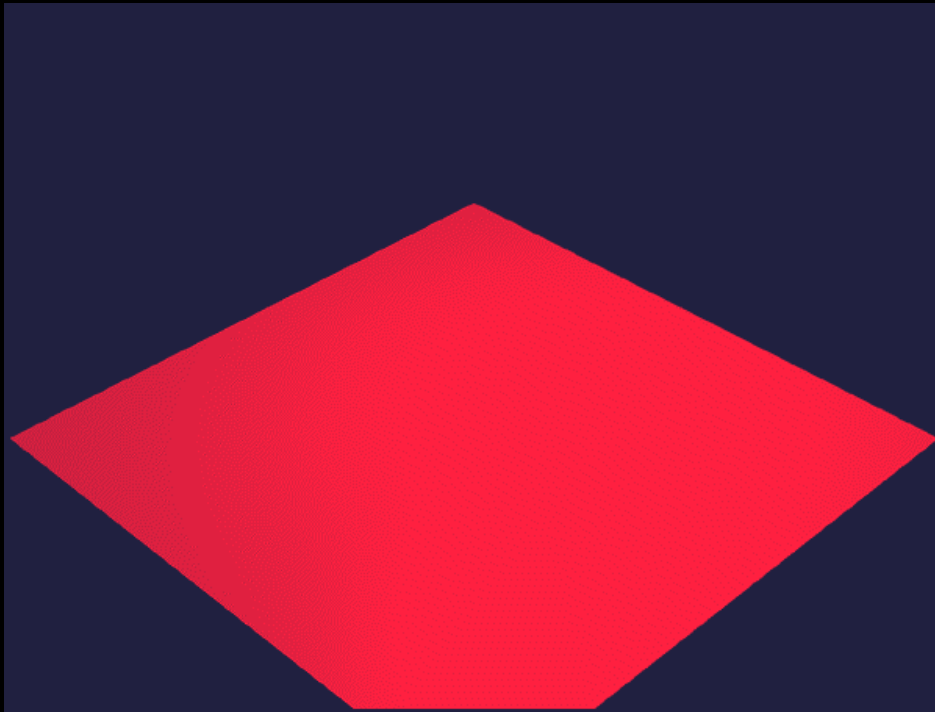


- *Für lange Zeit war die Inflationäre Phase Teil des Urknall-Modells* – Inflationsphase ist kurz und das Universum expandiert sehr stark in dieser Zeit – nur eine Phase, notwendig um einige kosmologische Probleme (Homogenitätsproblem, Flachheitsproblem, Monopolproblem, etc.) zu lösen
- *Nach und nach wurde die Urknall-Theorie zu einem Teil der Inflationären Kosmologie*
 - Universum sieht aus wie ein großes, wachsendes Fraktal (1975 von Mandelbrot geprägter Begriff, bezeichnet Muster mit einem hohen Grad an Selbstähnlichkeit) – viele inflationäre Blasen, die neue Blasen produzieren
 - Die Evolution des Universums hat kein Ende und vermutlich keinen Anfang
 - Universum als Multiversum – viele verschiedene Bereiche mit unterschiedlichen Elementarteilchen und unterschiedlicher Physik



Conceptual Issues in Inflation





Andrei Linde: Inflationäre Kosmologie



P. Steinhardt: Zyklisches Universum

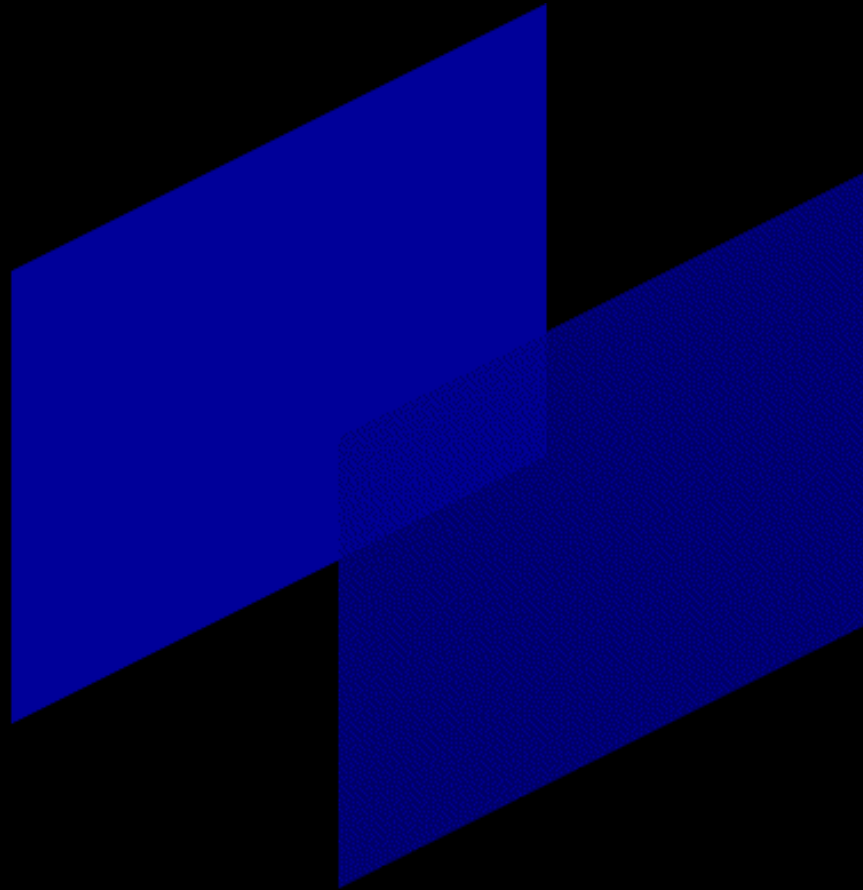


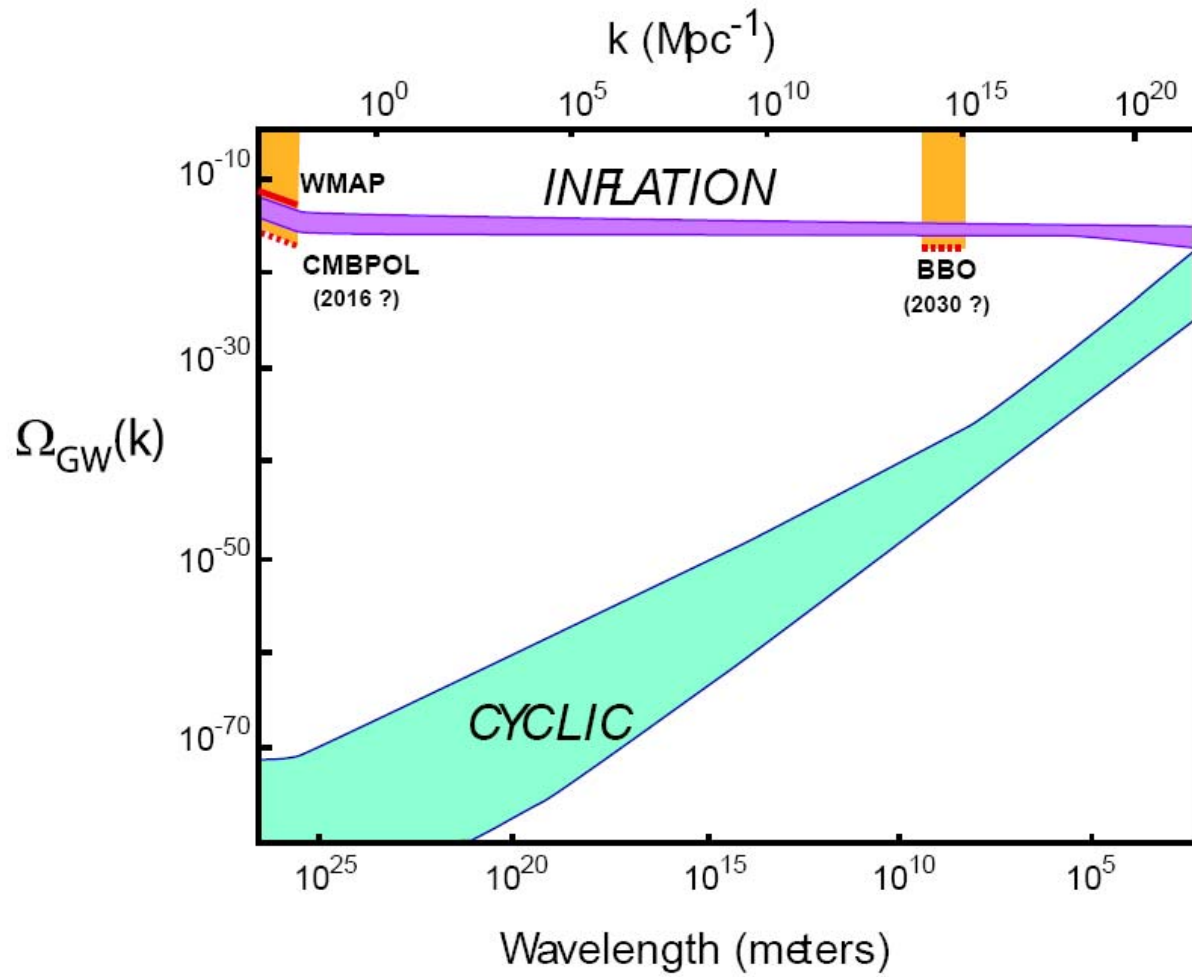
<http://www.phy.princeton.edu/~steinh/>

- Paul Steinhardt propagiert ein alternatives Modell zum Urknall und der Inflation:
 - Raum und Zeit haben immer existiert in einem endlosen Kreis von Expansion und Wiedergeburt
 - Die Expansion des Universums ist beschleunigt
 - Irgendwann wird die Expansion zum Halt kommen, neue Materie und Strahlung werden erzeugt werden und der Kreis beginnt von vorne
 - Der Urknall ist nicht der Beginn der Zeit sondern eine Brücke zu einer vorher existierenden Ära
 - Es gab keine Inflation; die existierende Homogenität und Flachheit wurden durch Ereignisse erzeugt, die vor dem letzten Urknall geschahen
- Zyklisches Universum kann alles erklären, was die inflationäre Theorie erklärt und kann weit mehr Fragen beantworten und Vorhersagen machen:
 - Was passierte bei der ersten Singularität?
 - Was ist das Schicksal des Universums?
 - Was ist die Rolle der Dunklen Energie?
 - Existiert die Zeit, der Zeitvektor vor dem Urknall?



Paul Steinhardt: Zyklisches Universum





Ockhams Rasiermesser



- OCKHAM, Wilhelm von (auch Occam), spätscholast. Philosoph, Theologe und kirchenpolit. Schriftsteller, * um 1285 in Ockham (Grafschaft Surrey), † 9.4. zwischen 1347 und 1349 in München, beigesetzt in der Franziskanerkirche
- Sparsamkeitsprinzip in der Wissenschaft: *von mehreren Theorien, die den gleichen Sachverhalt erklären, ist die einfachste zu bevorzugen.*

Die Idee, die einfachste Erklärung zu bevorzugen, ist sehr viel älter und reicht zurück bis zu Aristoteles.

Meist wurde sie damit begründet, dass die **Natur immer den einfachsten Weg wählen würde.**

Ockham dagegen lehnte diese Argumentation ab, da sie die Allmacht Gottes limitieren würde, Gott könne nämlich genauso gut den kompliziertesten Weg wählen.

Er richtete den Fokus auf die Theorien und benutzt **Sparsamkeit als ein Kriterium der Theorienkonstruktion, wo überflüssige Elemente eliminiert werden sollten und die einfachere von zwei Theorien, welche beide dasselbe Phänomen erklären können, gewählt werden soll.**



- Wie misst man die „Einfachheit“ eines Universum-Modells im Vergleich zu Multiversen-Modellen?



Multiversen / Ockhams Rasiermesser

- Gregory Benford:
 - Die Physik hofft dennoch, strenge und ein für alle Mal gültige Gesetze zu finden, wie Einstein sich fragte, ob Gott bei der Schöpfung des Universums eine Wahl hatte. Eine beliebte Ausflucht aus dem Problem der Wahlfreiheit liegt in der Behauptung, daß es unendlich viele Universen gibt, die streng voneinander abgegrenzt sind und allen möglichen Gesetzen mit beliebigen Parametern und Konditionen unterliegen können. Dieses Konzept der „Multiversen“ zeugt vom Scheitern unserer großen Pläne und scheint mir der angestrebten Einfachheit des Prinzips von Ockhams Rasiermesser zu widersprechen, indem es unser Unverständnis zu überwinden trachtet durch eine endlose Vervielfältigung unsichtbarer Entitäten.



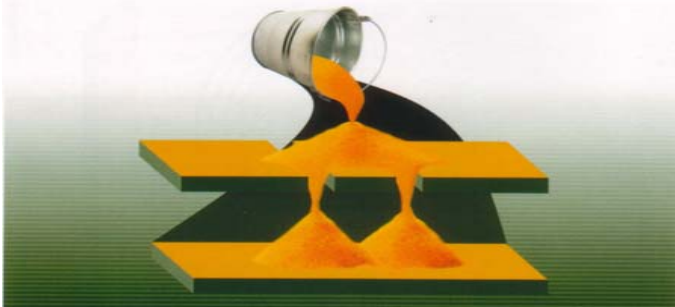
Multiversen

Teil II – quantentheoretische Deutungen



Viele-Welten-Theorie

Teilchen



Welle



Solange die Teilchen unbeobachtet sind, befinden sie sich in einer Art

Schwebezustand, in dem sich mehrere Möglichkeiten bzw. Wahrscheinlichkeiten "überlagern" = Wellenfunktion.

Was geschieht bei der Messung?

Kopenhagener Deutung:
Quantenprozesse sind
beobachter-relativ.

Dieser Schwebezustand löst sich auf, sobald man Messungen anstellt. Die Wellenfunktion kollabiert oder "bricht zusammen". Von den verschiedenen Wahrscheinlichkeiten wird durch die Messung gewissermaßen eine "wirklich".



Erwin
Schrödinger
(1887-1961)



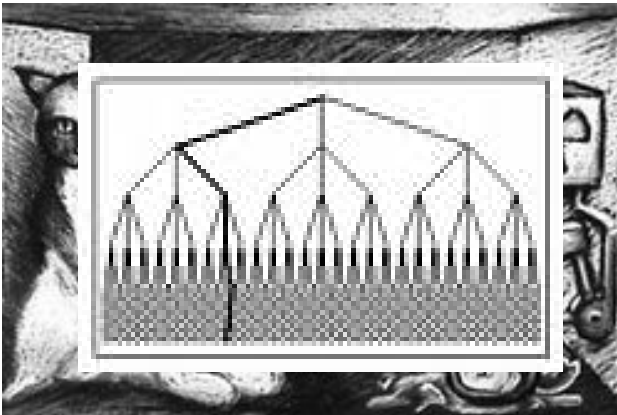
Wie lassen sich
derart absurde
Schlussfolgerungen
vermeiden?

Wenn Quantenprozesse beobachter-relativ sind, ist erst entschieden, ob die Katze lebt oder tot ist, wenn wir die Kiste öffnen.

Was aber war die Katze vorher?

Elementarteilchen können sich in einem "Schwebezustand" befinden, der erst bei der Messung "kollabiert"!

Kann sich auch eine Katze in einem solchen "Schwebezustand" befinden?



Viele-Welten-Theorie

Es gibt keinen "Schwebezustand" mit einer sowohl toten als auch lebendigen Katze, sondern mehrere parallele Welten: In einer dieser Welten ist das radioaktive Atom zerfallen und die Katze tot; in der anderen Welt ist das Atom nicht zerfallen und die Katze lebendig.

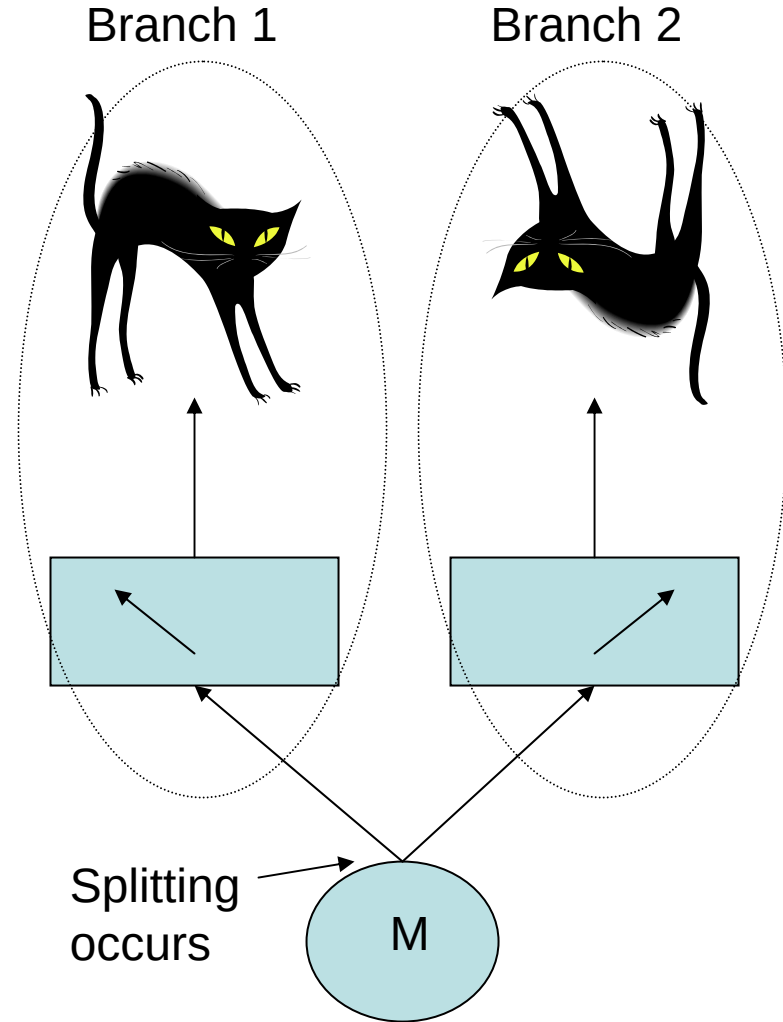
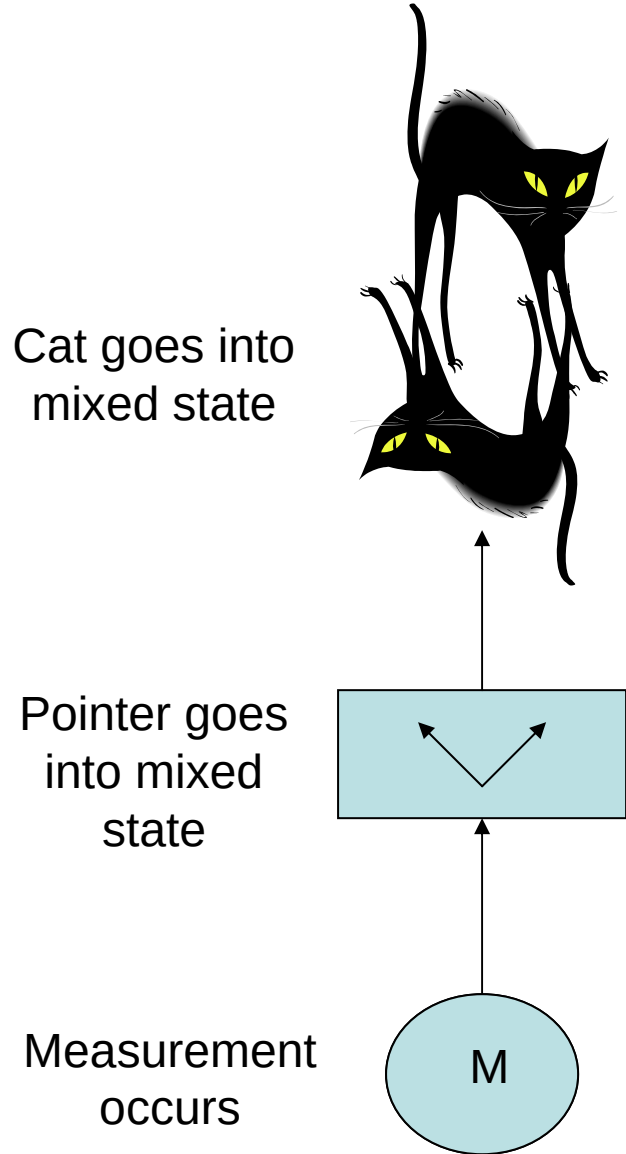
Von einer Welt führt kein Weg zur anderen Welt. In diesem Modell hat sich die Welt gleichsam in zwei Versionen oder "Geschichten" aufgespalten. Gleiches geschieht bei jedem Quantenereignis. Folglich gibt es parallel zu unserer Welt zahllose andere Welten, die aber für immer voneinander abgeschnitten sind.

Konsequenzen für das Problem der Feinabstimmung

Wenn unsere Welt nur eine "neben" unzählig vielen parallelen Welten ist, dann ist sie nicht mehr besonders unwahrscheinlich. Im Gegenteil: Aus der Viele-Welten-Theorie könnte folgen, dass sogar jede physikalisch mögliche Welt tatsächlich existiert. Wenn alles, was physikalisch möglich ist, auch tatsächlich existiert, dann ist es nicht mehr verwunderlich oder unwahrscheinlich, dass auch unsere Welt existiert – dies ist dann geradezu zwangsläufig.



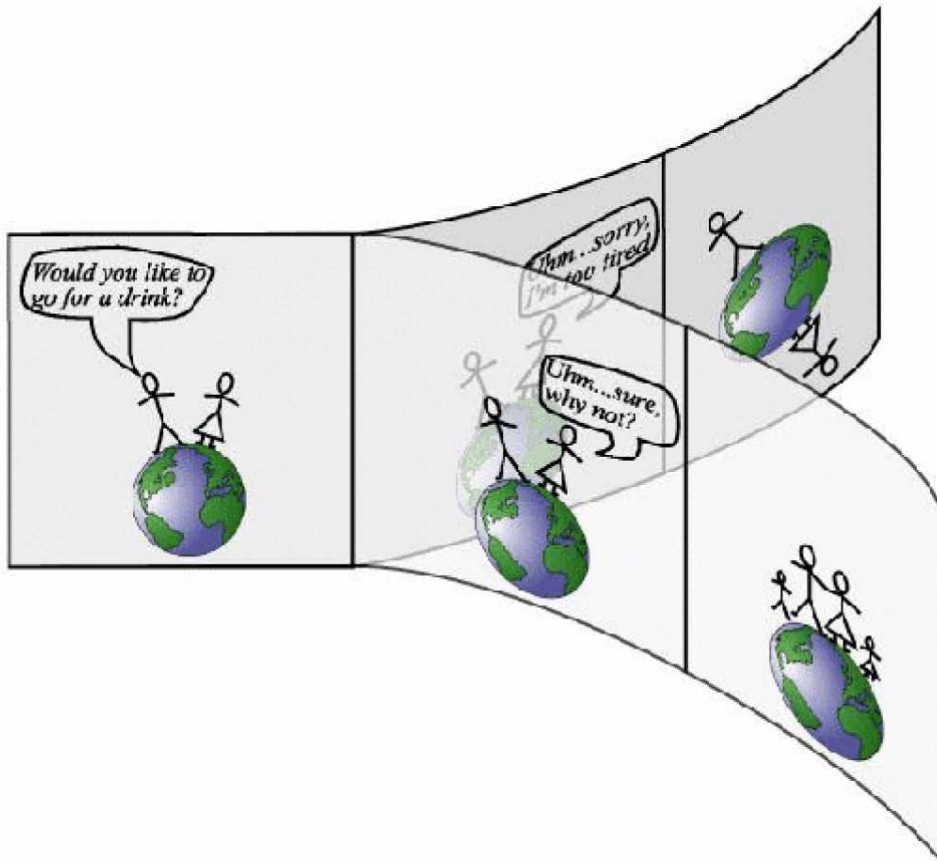
Viele-Welten-Theorie



LEVEL 1



LEVEL 3



- **Quantenkosmologie (Hugh Everett)**: Relativität und Quantenmechanik verbinden, die Wellenfunktion bricht nicht zusammen, Universen tunneln in die Existenz und entwickeln sich dann weiter klassisch



Hugh Everett / Quantenkosmologie

- Viele-Welten-Interpretation (many-worlds interpretation, MWI) ist realistische Interpretation der Quantenmechanik von Hugh Everett III: versteht die *unterschiedlichen überlagerten Zustände*, die sich in der Zeitentwicklung eines quantenmechanischen Systems üblicherweise zwischen zwei Beobachtungen ergeben, *als in unterschiedlichen, real existierenden Welten realisiert*
- Motiviert wurde Everett durch die Kopenhagener Deutung, die Existenz überlagerter Zustände bis zum sogenannten Kollaps der Wellenfunktion.

Die Kopenhagener Deutung war die erste abgeschlossene und in sich konsistente Interpretation des mathematischen Gebäudes der Quantenmechanik.

Sie führte zu stärkeren philosophischen Diskussionen.

Das Grundkonzept baut auf folgenden drei Prinzipien auf:

- Unverzichtbarkeit klassischer Begriffe
- Komplementarität
- Ganzheitlichkeit der Quantenphänomene

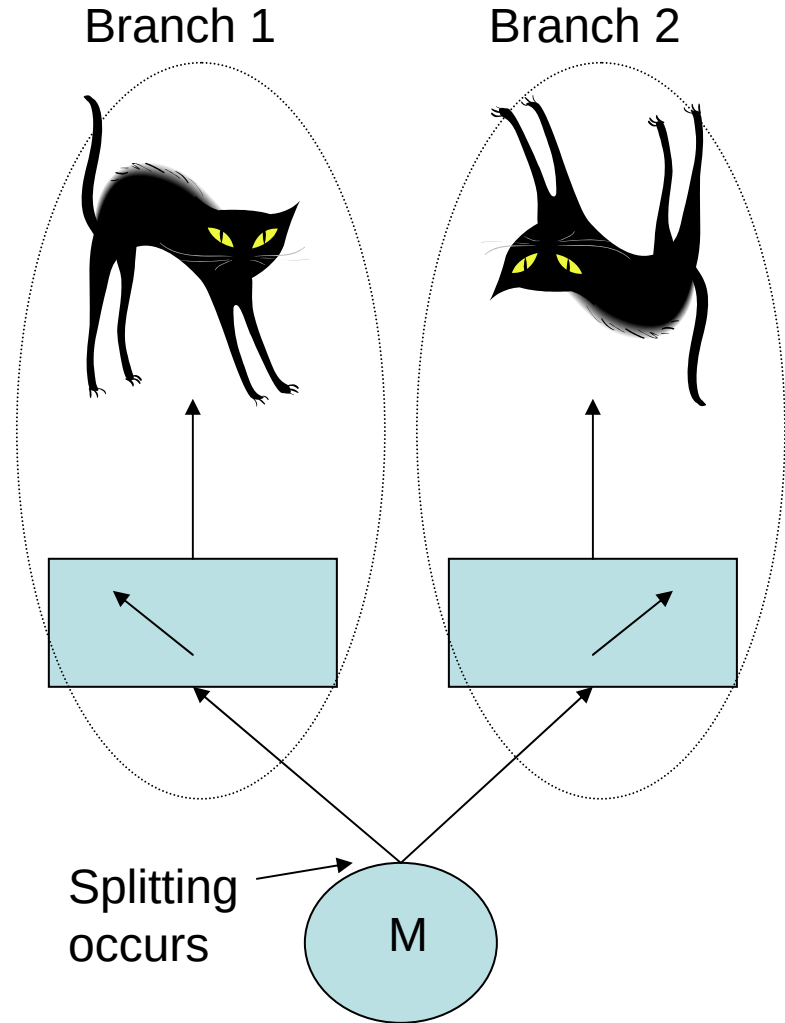
In der Kopenhagener Deutung kann die Zeitentwicklung eines Systems auf zwei verschiedene Arten erfolgen:

- I) Kontinuierlich, der Schrödinger-Gleichung gehorchend
- II) Diskontinuierlich bei einem Messprozess



- Kritik:
 - Einstein: bezeichnet den Kollaps als „spukhafte Fernwirkung“, empfindet den postulierten Kollaps als unelegant
 - Im Rahmen der Kopenhagener Interpretation gibt es keine klare Definition, ab wann ein Prozess als Messung zählt, also einen Kollaps herbeiführt, und wann man noch mit der Schrödinger-Gleichung rechnen kann
- Ansatz von Everett (publiziert in der „Theorie der universalen Wellenfunktion“ 1957):
 - Kollaps der Wellenfunktion ist nur eine Illusion:
 - Die Wellenfunktion ist nicht nur eine Beschreibung des Zustands eines Objektes, sondern sie **ist** das Objekt
 - Die unterschiedlichen Eigenzustände, die sich gemäß der Wellenfunktion überlagern, sind in unterschiedlichen Welten realisiert (Viele-Welten-Theorie, Begriff stammt von Bryce DeWitt)
 - Beobachtung spielt keine spezielle Rolle, anders als in der Kopenhagener Interpretation

- Die Schrödingergleichung gilt immer und uneingeschränkt, eine Beobachtung oder Messung eines Objekts durch einen Beobachter wird beschrieben, indem die Schrödingergleichung auf das Gesamtsystem aus Beobachter und Beobachtetem angewendet wird
- -> jede Beobachtung bringt die Wellenfunktion dazu, in mehrere nicht miteinander wechselwirkende „Zweige“ oder „Welten“ zu dekohärieren -> eine enorme Menge gleichzeitig existierender Welten





Hugh Everett / Quantenkosmologie

- Neben den Produktzuständen (werden durch die Produkte der Einzelsystemzustände dargestellt) gibt es weiterhin **verschränkte Zustände** (Superpositionen der Produktzustände, in denen die Teilsysteme für sich keinen definierten Zustand besitzen)
- Problem: viele nicht beobachtbare alternative Universen Ockhams Rasiermesser
- Bis heute keine praktischen Experimente, die zwischen der Kopenhagener und der Viele-Welten-Interpretation entscheiden könnten
- „It may never be entirely clear precisely what Everett himself had in mind, but his work in trying to make sense of quantum mechanics without the collapse postulate was both heroic and suggestive. Puzzling over how one might reconstruct Everett's theory continues to hold promise insofar as one is committed to finding a satisfactory no-collapse formulation of quantum mechanics.“

Jeffrey Barrett
Stanford Encyclopedia of Philosophy



Multiversen Teil II

Darwinismus



Multiversen und Darwinismus

Evolving constants of nature?...



Paul Davies



Lee Smolin

**Cosmological
Natural Selection?**

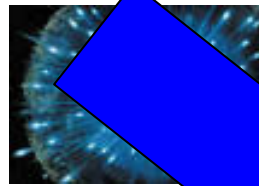


Das sich fortpflanzende Universum

Lee Smolin: neue Universen werden durch Schwarze Löcher erzeugt.



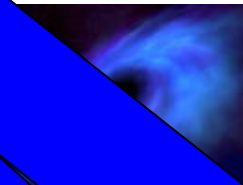
Lee Smolin



Urknall



Univer



Schwar



knall



Universum

Universen mit vielen
schwarzen Löchern
haben einen
Selektionsvorteil!

Universen
pflanzen sich
fort!



Kosmologische Natürliche Selektion



Lee Smolin
Pennsylvania State
University

- Geht davon aus, dass die Gesetze der Biologie auch auf den größten Skalen gelten
- Baby-Universum-Modell
- Parallele zwischen der Urknall-Singularität und den Bedingungen und Verhältnissen in Schwarzen Löchern: herrscht in beiden Singularitäten ein- und derselbe dichte Zustand vor? Entsteht dann nicht hinter jedem Horizont eines Schwarzen Lochs ein neues Universum?
- Ein kollabierendes Schwarzes Loch erzeugt ein neues Universum auf der „anderen Seite“ – die fundamentalen Konstanten (Lichtgeschwindigkeit, etc.), Massenspektrum der Elementarteilchen, Stärke der Wechselwirkungen können sich leicht unterscheiden von denen im Ursprungsuniversum; ein kollabierender Stern soll aus einem sehr dichten Zustand „an einen bestimmten Punkt“ heraus explodieren und somit eine Umkehrung des Kollapses der Sternmaterie einleiten.
- Dieser expandierende Bereich könnte eine inflationäre Phase durchmachen und sich zu einem neuen Universum aufblähen, das unserem stark ähnelt. Ein neu kreierter Bereich von Raum und Zeit aber Teil jenes Universums, in dem das Schwarze Loch eingebettet wäre.



Kosmologische Natürliche Selektion



Lee Smolin
Pennsylvania State
University

- Jedes Universum erzeugt genau so viele neue Universen wie es Schwarze Löcher hat
- Theorie enthält die evolutionäre Idee der „Reproduktion“ und „Mutation“ von Universen aber hat keine direkte Analogie zur „natürlichen Selektion“ – aber: einige könnten durch unglückliche Parameter wieder verschwinden, bevor sie neue Universen erzeugt hätten
- John A. Wheeler ist ursprünglicher Vater des Gedankens (1973)
- Spekulativ, weder verifizierbar noch falsifizierbar
- Smolins Abschätzung nach hat unser Universum gerade solche Eigenschaften, die die Entstehung von Schwarzen Löchern begünstigen – es gibt also viel mehr Universen unseren Typs als andere
- Smolin erklärt nicht, warum es unsere Welt gibt, nur, warum unsere Welt die Eigenschaften hat, die wir vorfinden
- Eine ständig wachsende Gemeinschaft von Universen
- Modell muß sich nicht auf anthropisches Prinzip berufen sondern postuliert einen dynamischen Mechanismus, „der im Durchschnitt die Parameter jeder nächsten Generation von Universen immer näher an bestimmte Werte heranzführt“. Und zwar zu jenen Werten, die für die Produktion Schwarzer Löcher „optimal“ sind



Darwinismus und Multiversen

- G. Benford:
 - Die natürliche Selektion bescherte uns eine kunstvoll strukturierte Biosphäre, und vielleicht ist ein vergleichbares evolutionäres Prinzip auch in der Entstehung von Universen am Werk. Unser Universum könnte aus einer Selektion zugunsten von Intelligenzen hervorgegangen sein, die neue Universen schaffen können, zum Beispiel in Experimenten der Hochenergiephysik oder in der Nähe schwarzer Löcher (wie es Lee Smolin vorschwebte), wo sich die Raumzeit zu derart plastischen Formen krümmt, dass aus ihr neue Raumzeiten hervorgehen können. Ein Ur-Universum mit Intelligenz könnte andere erzeugen, und diese Reproduktion, mit vielleicht geringer „genetischer“ Variation, würde die Evolution physikalischer Gesetze vorantreiben. Ähnliche Ideen hat der Astrophysiker Edward Harrison formuliert.
 - Selektion komme auf, weil nur feste Gesetze konstant günstige Bedingungen für neues Leben schaffen können.



Multiversen

Abschließend



“Multiverses and Cosmology: Philosophical Issues”

W. R. Stoeger, G. F. R. Ellis, U. Kirchner

<http://xxx.arXiv.org/abs/astro-ph/0407329>

George F. R. Ellis (* 11. August 1939 in Johannesburg, Südafrika) ist Professor für angewandte Mathematik an der Universität Kapstadt in Südafrika.

Neben seinen über 200 wissenschaftlichen Veröffentlichungen über Kosmologie und Relativitätstheorie ist Ellis (zusammen mit Stephen Hawking) der Co-Autor von The Large scale Structure of Space Time. Als aktiver Quäker und Anti-Apartheid-Aktivist gewann er 2004 den Templeton-Preis für seine Beiträge zur Beziehung zwischen Religion und Wissenschaft. Er gilt als der bedeutendste Kritiker der Omegapunkttheorie von Frank Tipler. Im Mai 2007 wurde er zum Mitglied der Britischen Royal Society berufen.

Abweichend vom Standardmodell der Kosmologie schlägt Ellis ein Modell des Universums vor, das eine nackte Singularität als Aufbereitungseinheit enthält, von der er behauptet, genauso gut mit den Beobachtungsdaten übereinzustimmen wie das Urknall-Modell. Das Universum Ellis' ist zylinderförmig, statisch – auf der einen Stirnseite die Erde, gegenüber die Singularität. Die Galaxien drängen sich um die Singularität, nur wenige sind nahe der Erde. Der Effekt solch einer Verteilung der Materie soll – wegen des gravitativen Ungleichgewichts – wie bei einem sich ausdehnenden Universum eine Rotverschiebung des Lichts von erdfernen Objekten zur Folge haben. (Quelle: Wikipedia)

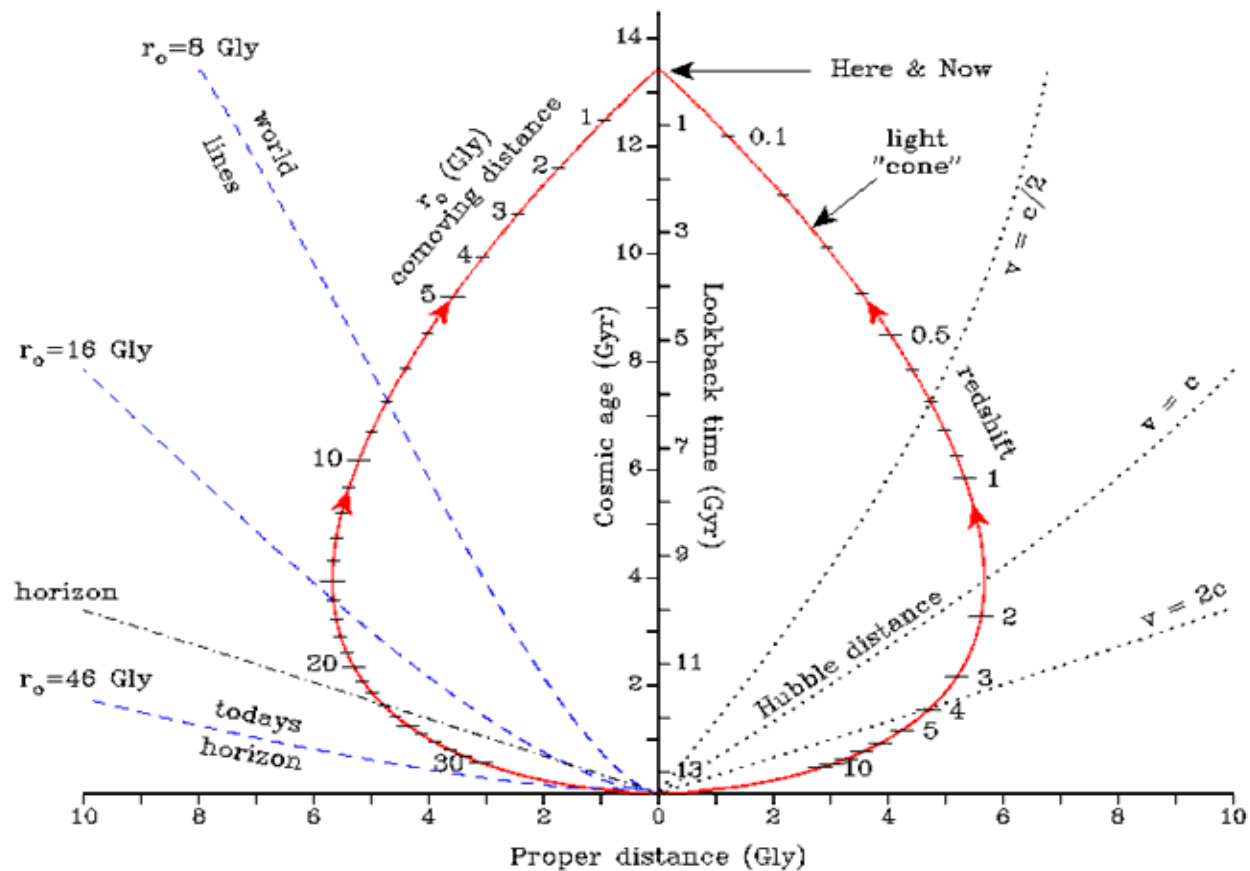


1. N = electrical force/gravitational force $= 10^{36}$
2. E = strength of nuclear binding $= 0.007$
3. Ω = normalized amount of matter in universe $= 0.3$
4. Λ = normalised cosmological constant $= 0.7$
5. Q = seeds for cosmic structures $= 1/100,000$
6. D = number of spatial dimensions $= 3$



Jenseits des Horizonts

Space-time diagram: normal distance & time





Kritik der Multiversen-Theorien

1: Es gibt Galaxien hinter dem Horizont, die wir nicht sehen können – also kann es viele expandierende Universen geben, die wir nicht sehen können

Nicht-testbare Extrapolation: setzt Kontinuität voraus die wahr aber auch nicht wahr sein kann!

2: Aus bekannter Physik auf Multiversen zu extrapolieren?

3: Aus bekannter Physik auf hypothetische Physik und dann auf Multiversen extrapolieren?

4: Einige Inflationsmodelle sagen Multiversen voraus – aber, Inflation ist bis heute noch keine wohldefinierte und akzeptierte Theorie (bislang wurde noch kein skalares Feld physikalisch nachgewiesen). Nicht alle Inflationsmodelle führen notwendigerweise zu einer chaotischen Inflation und zur Entstehung von Multiversen.

5: Wie haben bislang nur “handfeste” Beweise für die Existenz eines einzigen Universums (unseres eigenen) – mit einem Universum kann man keine statistischen Tests und Hochrechnungen machen ...

6: Was ist wichtiger in der Physik – die Theorie (mögliche Erklärung) oder die Beobachtung?



Nachgedanken (in Anlehnung an den Vortrag von G. Ellis)

- Die Ideen zu Multiversen sind als empirisch-basierte philosophische Vorschläge über die Natur dessen, was existiert zu sehen. Aber diese Ideen gehören nicht wirklich zur Wissenschaft, da sie nicht nachprüfbar sind !
- Diese Multiversen- Spekulationen sind notwendig, müssen aber als solche (als Spekulationen) gekennzeichnet werden.
- Es ist ein Schritt rückwärts wenn wir glauben, die Natur des Universums alleine durch die Macht unserer Gedanken darüber etablieren zu können und die Theorien nicht durch Beobachtungen oder experimentelle Tests prüfen zu müssen.
- Die Multiversen-Theorien können vieles erklären, gehören aber zur Zeit in den Bereich der Spekulation oder des Glaubens. Multiversen sind nützliche Hypothesen.



Gibt es eine philosophisch bevorzugte Variante der Multiversen-Theorien?

Lee Smolin's Idee eines Darwinschen evolutionären Prozesses [L. Smolin, *The Life of the Cosmos*, Crown Press, 1997]:

Führt die Idee der Darwinschen natürlichen Selektion in die Kosmologie ein: eine Weiterentwicklung der physikalischen Fundamente um biologische Prinzipien
Ist aber nicht wirklich komplett.

Weiterentwicklung durch G. Benford: nur das Universum entwickelt sich weiter und erzeugt weitere Universen, wo die physikalischen Gesetze stabil sind und nicht variabel

Martin Gardner puts it this way: "There is not the slightest shred of reliable evidence that there is any universe other than the one we are in. No multiverse theory has so far provided a prediction that can be tested. As far as we can tell, universes are not even as plentiful as even two blackberries" (*Are Universes Thicker than Blackberries?* (Norton .2003).

For defence of the idea, see Rees, Tegmark, Susskind, Vilenkin, Deutsch: *The Fabric of reality: The science of parallel universes* (1998), and Lewis: *On the Plurality of Worlds* (2000).



Multiversen & Wurmlöcher

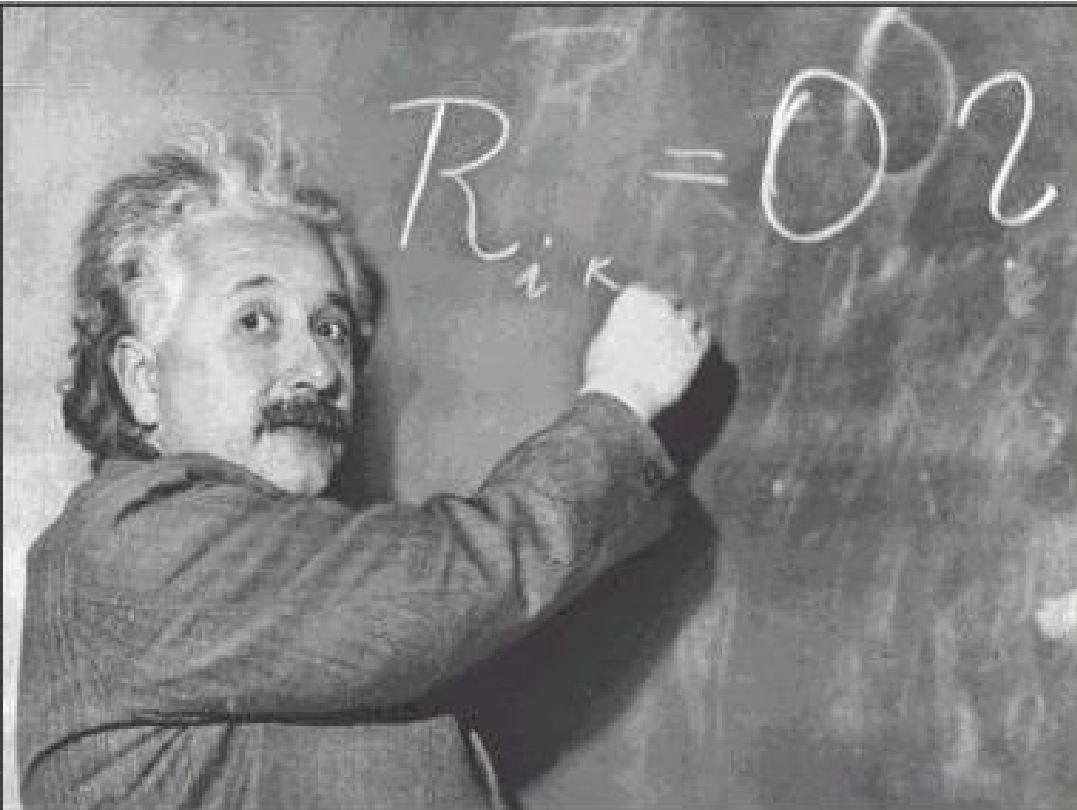
<http://www.answers.com/topic/wormhole>



- Questions and Answers about Wormholes
- <https://webfiles.uci.edu/erodrigo/www/WormholeFAQ.html>



1915, Einstein gibt der Welt die *Allgemeine Relativitätstheorie*



Einstein and the Ricci Tensor

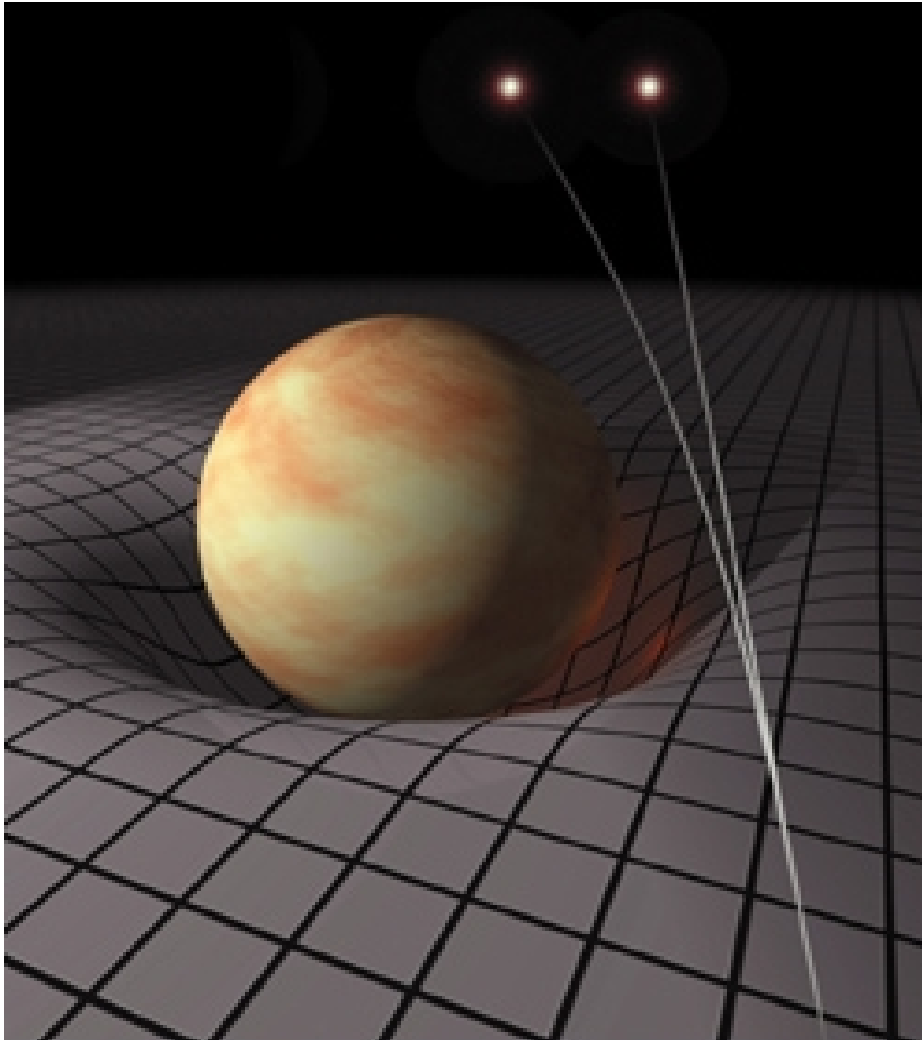
$$G_{\mu\nu} = 8\pi G T_{\mu\nu}$$

$G_{\mu\nu}$ Beschreibt die Krümmung
des Raums

$T_{\mu\nu}$ Beschreibt die Materie
und Energie



Gekrümmte Raumzeit

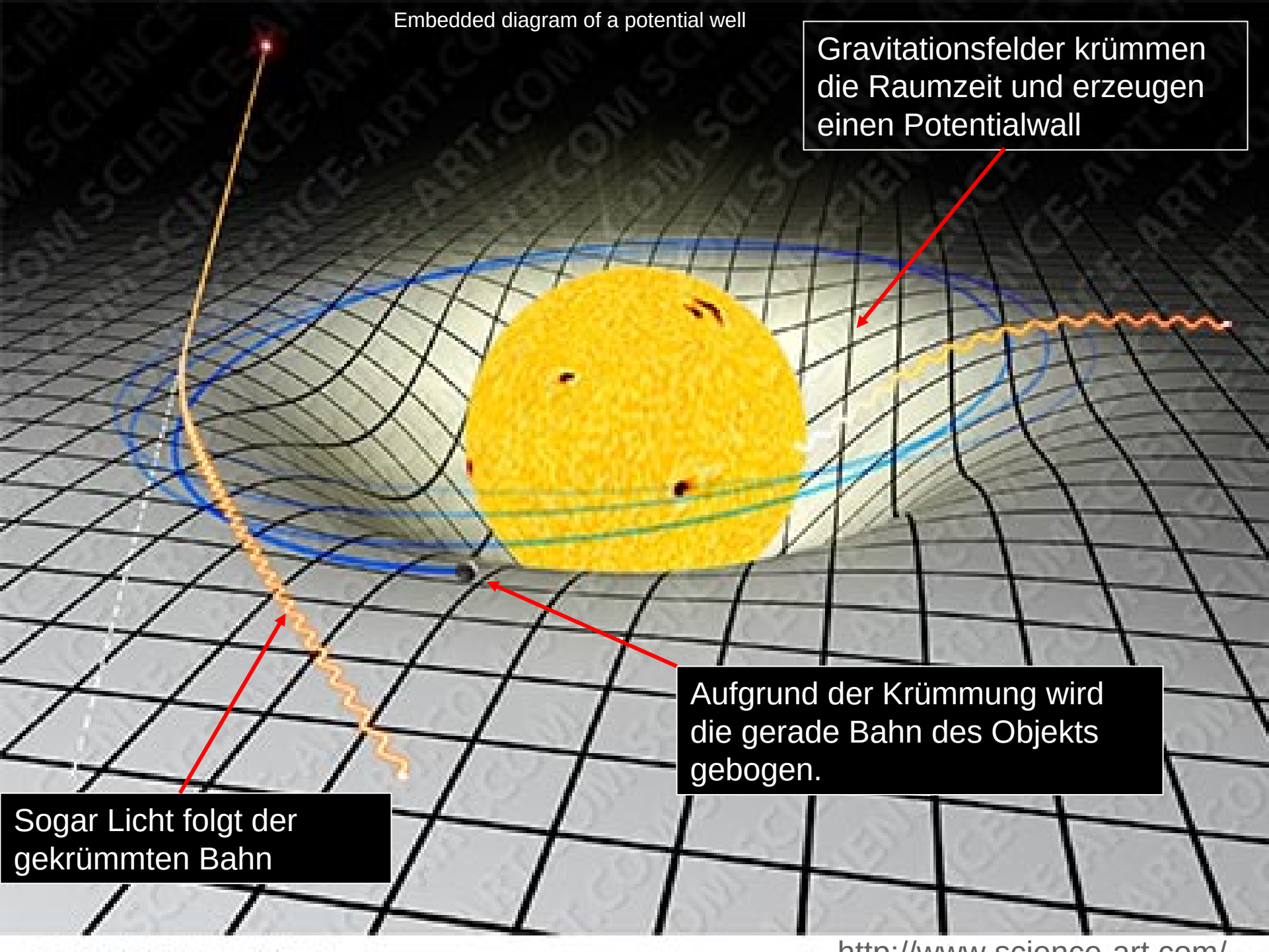


Die *Materie* erzählt dem
Raum, wie
er sich krümmen soll

Der *Raum* erzählt der
Materie, wie
sie sich bewegen soll

Embedded diagram of a potential well

Gravitationsfelder krümmen
die Raumzeit und erzeugen
einen Potentialwall

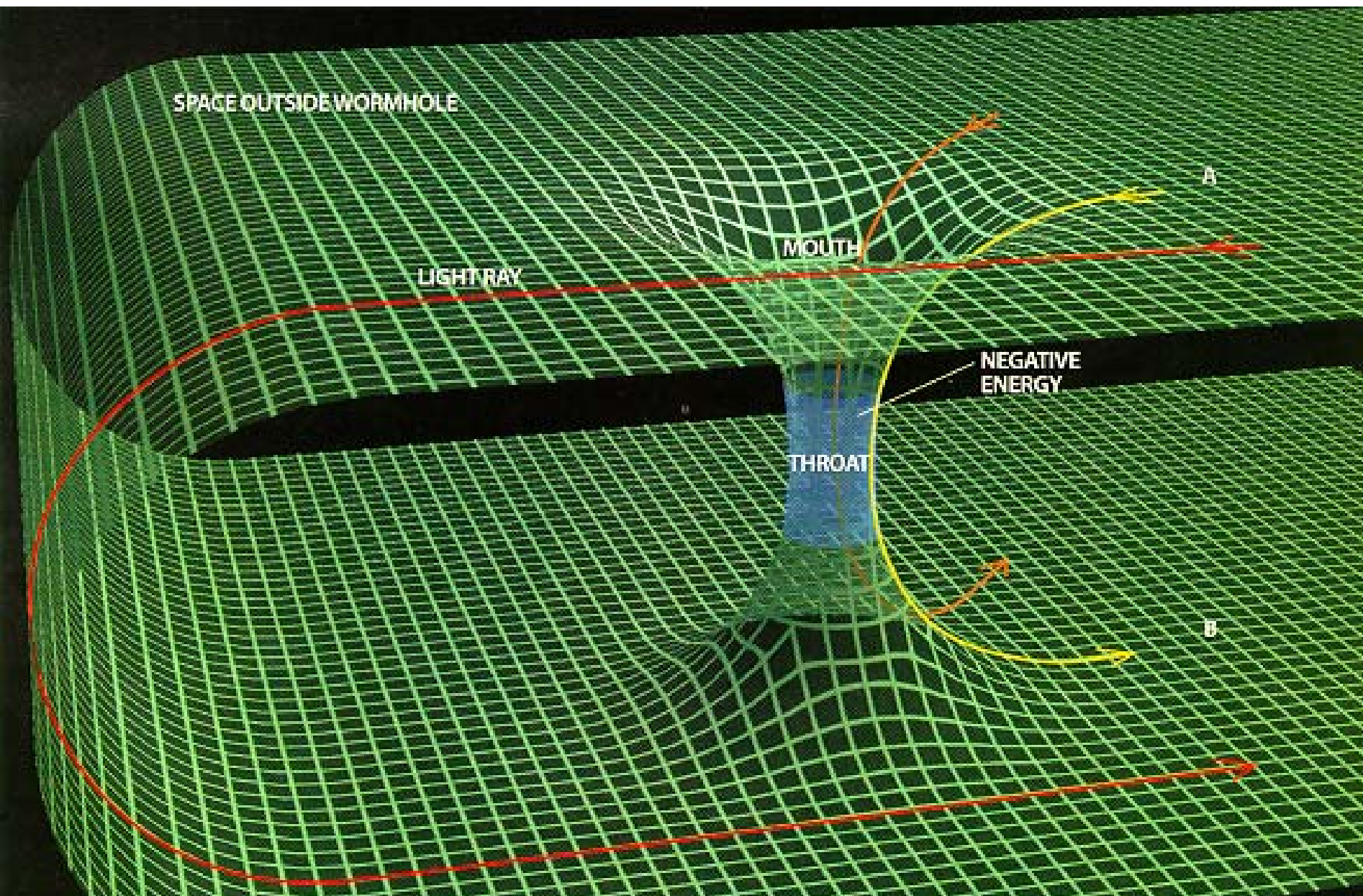


Aufgrund der Krümmung wird
die gerade Bahn des Objekts
gebogen.

Sogar Licht folgt der
gekrümmten Bahn



Wurmlöcher





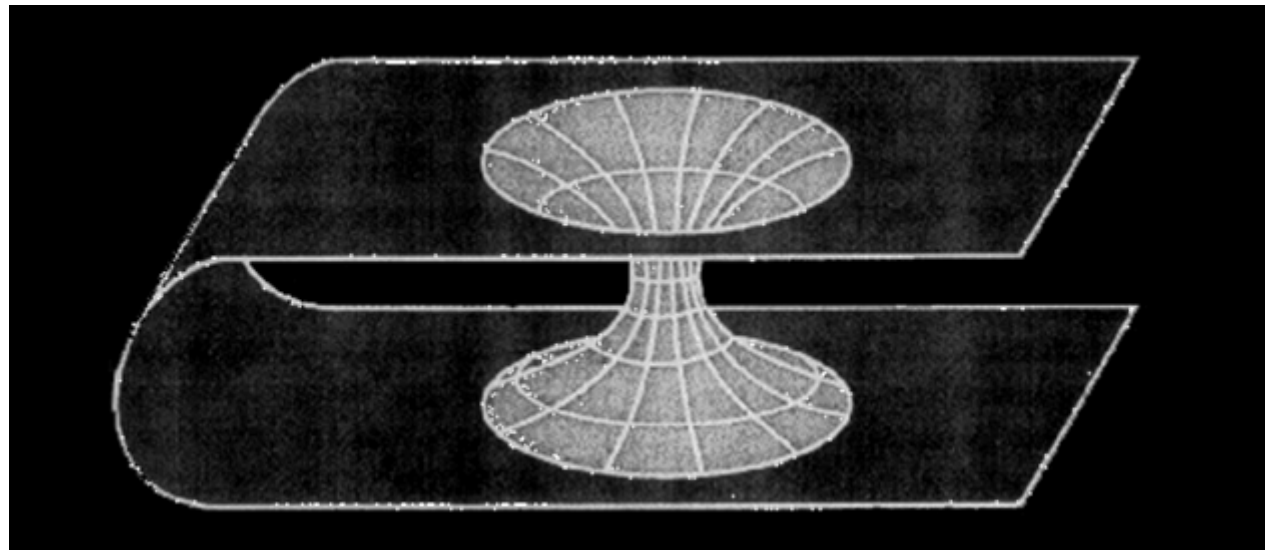
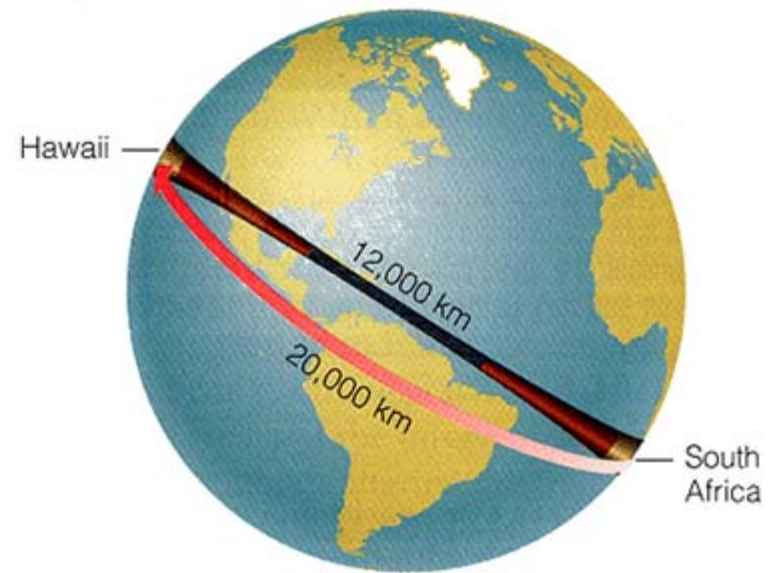
Wurmlöcher

- **Wurmlöcher:** Systeme aus einem Schwarzen und einem Weißen Loch – spekulativ
- Weißes Loch: das Ende eines Wurmlochs, Materie und Strahlung treten aus, sichtbare Singularität; noch nicht beobachtet
- Wurmlöcher sind theoretische Gebilde, ergeben sich möglicherweise aus speziellen Lösungen (Kruskal-Lösungen) der Feldgleichungen der allgemeinen Relativitätstheorie
- Name Wurmloch aus Analogie mit einem Wurm, der sich durch einen Apfel hindurch frisst – er verbindet die zwei Seiten desselben Raums (der Oberfläche) durch einen Tunnel: Wurmloch verbindet zwei Orte im Universum oder zwei parallele Raumzeiten („Universen“) miteinander
- Erstmals 1935 von Einstein und Nathan Rosen beschrieben, daher ursprünglicher Name: Einstein-Rosen-Brücke
- Um den schmalen Raumzeit-Kanal zwischen Schwarzem und Weißem Loch passieren zu können, ist „exotische Materie“ nötig (weist negative Energiedichte auf)



Wurmloch als Abkürzung

- Vergleichbar einer Reise durch die Mitte der Erde gegenüber einer Bewegung entlang der Oberfläche
- Damit könnte man weite Strecken in kurzer Zeit zurücklegen ohne die kosmische Geschwindigkeitsgrenze zu überschreiten
 - SiFi ? Austausch von Informationen im Kosmos ?
 - Kontakt zu anderen Zivilisationen?



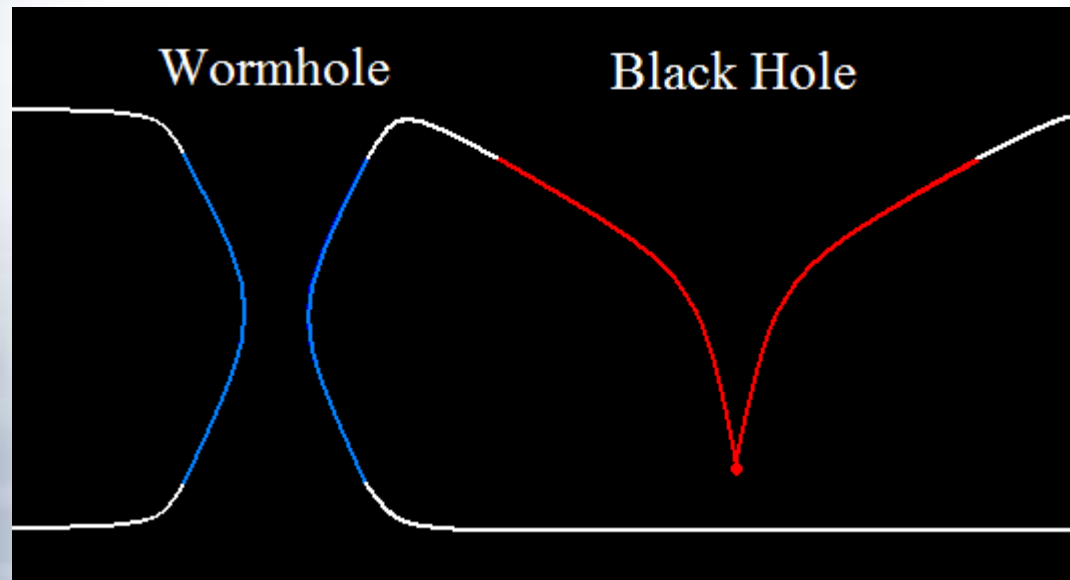


Wurmlöcher

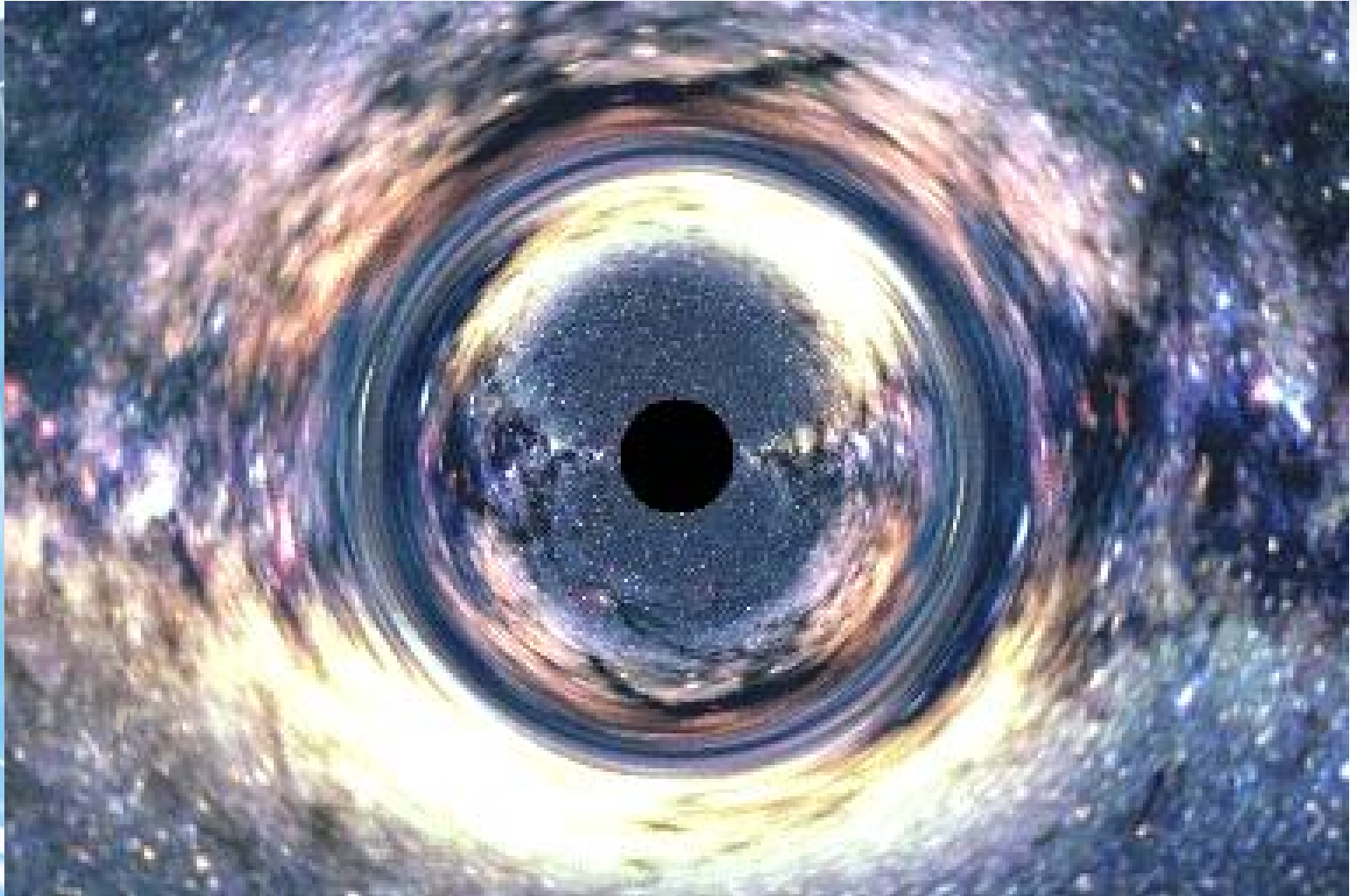
- „Astrophysics of Wormholes“ (Kardashev, Novikov, Shatskiy, 2006): einige Aktive Galaxienkerne oder andere kompakte astrophysikalische Objekte könnten jetzt oder früherere Eingänge zu Wurmlöchern gewesen sein; breites Massenspektrum für astrophysikalische Wurmlöcher ist möglich; Binäre Systeme; Überbleibsel der inflationären Epoche des Universums; Phantom-Materie notwendig, starkes Magnetfeld; Stabilität??
- Keine experimentellen Beweise für Wurmlöcher
- Exotische Materie kann in einem Wurmloch antigravitativ wirken (negative mittlere Energiedichte)
- Für ein Wurmloch mit einem Meter Durchmesser braucht man exotische Materie äquivalent einer Jupitermasse – vielleicht nur mikroskopische Wurmlöcher mit der Größe weniger Atomradien möglich

Wurmlöcher sind keine Schwarzen Löcher!

- Wurmlöcher sind Tunnel mit zwei Ein/Ausgängen (verbindet zwei Teile des Universums), Schwarze Löcher sind eine Einbahnstraße (zieht alles in Richtung seiner Singularität).



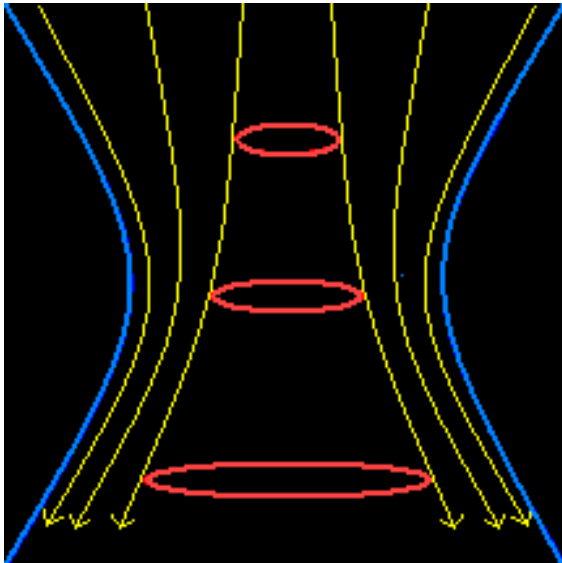
Wie sehen Wurmlöcher aus?





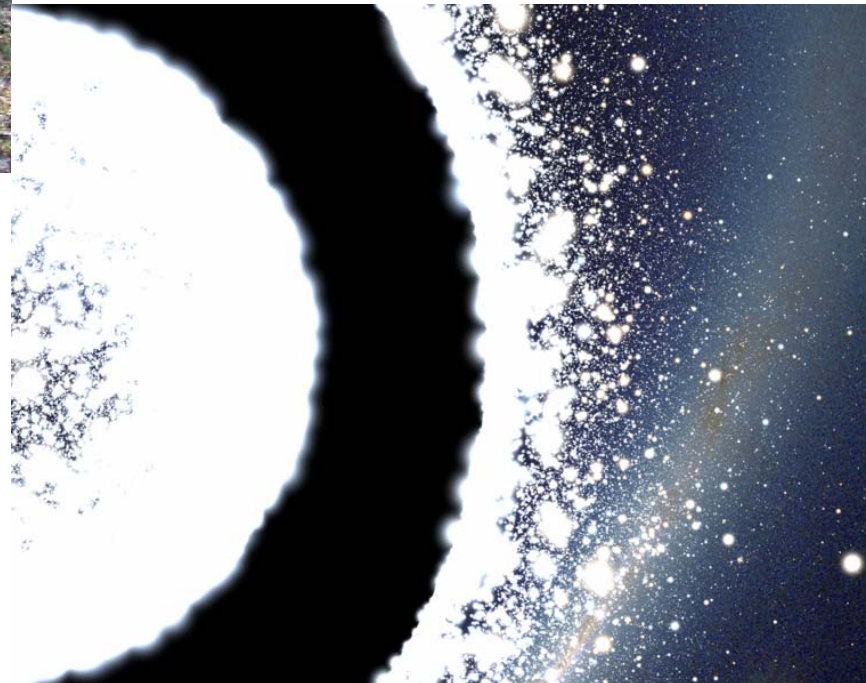
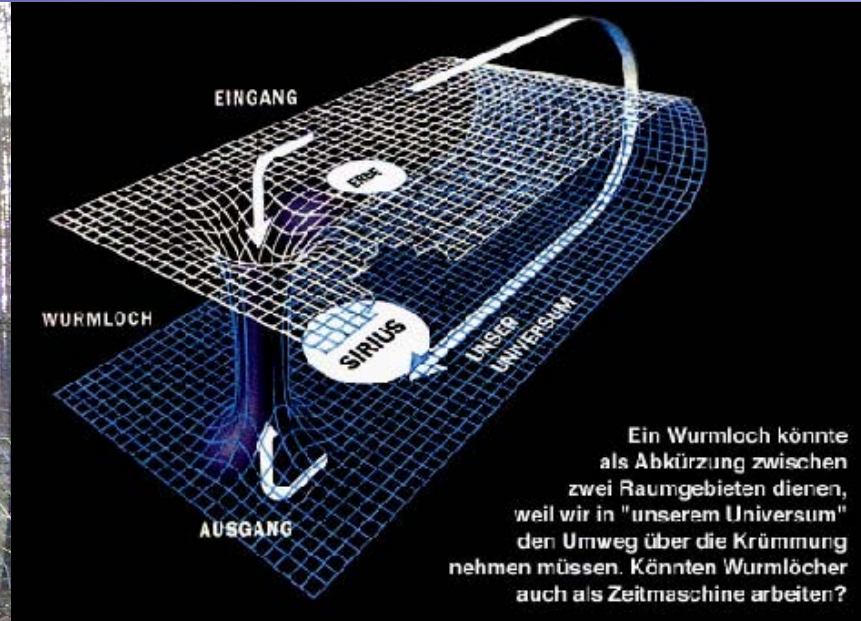
Wie sehen Wurmlöcher aus?

- Aus der Ferne sind sie von Schwarzen Löchern nicht zu unterscheiden.
- Gravitationslinsen-Effekte: spielen wichtige Rolle, Licht wird gekrümmt durch die starke Gravitationswirkung
- Grenze zwischen Hintergrundlicht (hinter dem Wurmloch) und dem Licht, was aus dem Wurmloch herauskommt von der anderen Seite
- Eingang ist eine Sphäre und der Tunnel befindet sich im Hyperraum (4 räumliche Dimensionen)
- Das Wurmloch sieht aus allen Richtungen gleich aus
- Schwarzer Punkt in der Mitte





Wurmlöcher

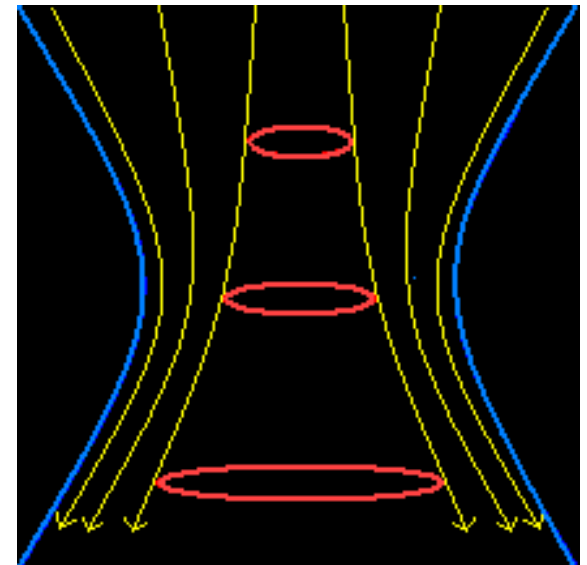




Schwarzer Punkt im Wurmloch ?

Wird erzeugt durch die Krümmung des Lichts in Richtung der Wände, während es sich durch den Tunnel bewegt. Ein Wurmloch ist eine Raumkrümmung. Für das Licht ist der Weg der geringsten Energie derjenige in Richtung der Tunnelwände – Dadurch ist auf der zentralen Achse kein Licht !!

Rote Kreise geben die Form des zentralen Schwarzen Punktes wieder – wird schmaler, wenn wir uns der anderen Seite nähern



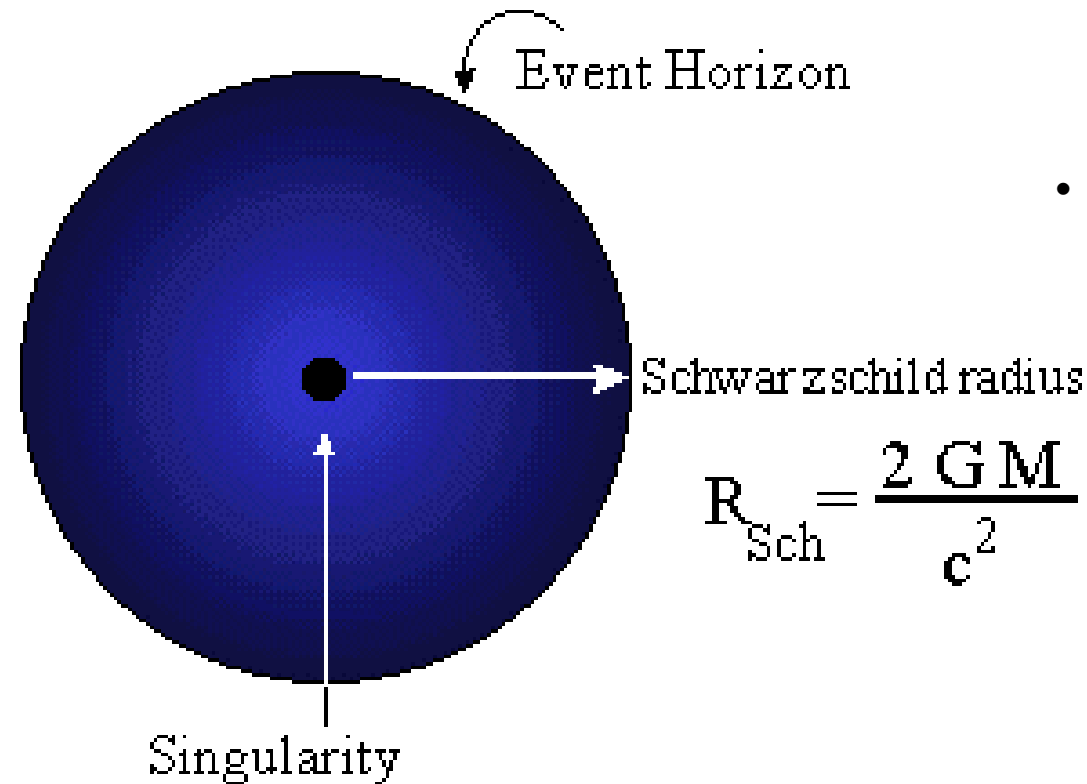


Verschiedene Arten von Wurmlöchern

- **Schwarzschild Wurmloch:** ist ein Wurmloch aus einem Schwarzen und einem Weißen Loch-System. Enorme Gezeitenkräfte wirken im Tunnel und außerhalb der Ein/Ausgänge. Der Tunnel ist dynamisch.
- **Morris-Thorne Wurmloch:** Große Gezeitenkräfte am Ein/Ausgang aber keine Horizonte; weniger Masse wird benötigt (aber dennoch von Planetengröße); Tunnel ist stabil verglichen mit dem Schwarzschild Wurmloch; würde vermutlich Atome (oder Menschen) beim Versuch der Durchquerung zerstören – nicht “traversable”
- **Visser Wurmloch:** Benötigt zwei ähnliche Löcher in die Raumzeit geschnitten und die Verbindung beider Kanten (“produced by cutting holes in two separated regions of space time and then sewing the edges of the holes together with cosmic string. In other words, two joined regions of flat space are framed by a loop of “cosmic string” of negative mass and string tension”); benötigt sehr viel negative Masse und hat daher geringere Gezeitenkräfte

•

Schwarzschild Lösung



Verbindung zwischen den beiden Gravitations-Anomalien: Einstein-Rosen-Brücke, gesamtes Objekt: Wurmloch

- Fällt ein Stern zu einem Schwarzen Loch zusammen, genügen die Schwarzschild-Koordinaten nicht, um das ganze Gebild zu beschreiben
- Am Ereignishorizont findet sich eine Koordinaten-Singularität die vergleichbar mit dem Nord- oder Südpol eines Kugelkoordinatensystems ist – es handelt sich nicht um eine physikalische Singularität, die sie sich durch Wahl neuer Koordinaten entfernen (wegtransformieren) läßt (mittels Kruskal-Szekeres-Koordinaten, die neue Lösungen im Innern des Ereignishorizontes beschreiben)
- Neben dem Außen- und Innenraum gibt es dazu äquivalente, gespiegelte Räume – möglicher Übergang zu einem weißen Loch, aus dem Materie ausdringen, aber nicht eindringen kann



Schwarzschild Lösung

- Mathematische Beschreibung eines nicht-rotierenden und nicht-geladenen Schwarzen Lochs
- 1916 von Karl Schwarzschild gefunden
- Jedes normale Teilchen oder Licht was in den Ereignishorizont gerät trifft auf die Singularität und wird zerstört ...
- Aber, die Schwarzschild Lösung hat eine interessante mathematische Struktur ...
 - Teilchen, die sich schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegen können die Singularität vermeiden
 - Sie können durch ein “Wurmloch” passieren und durch ein “Weißes Loch” in eine neue Region des “normalen” Raums vordringen

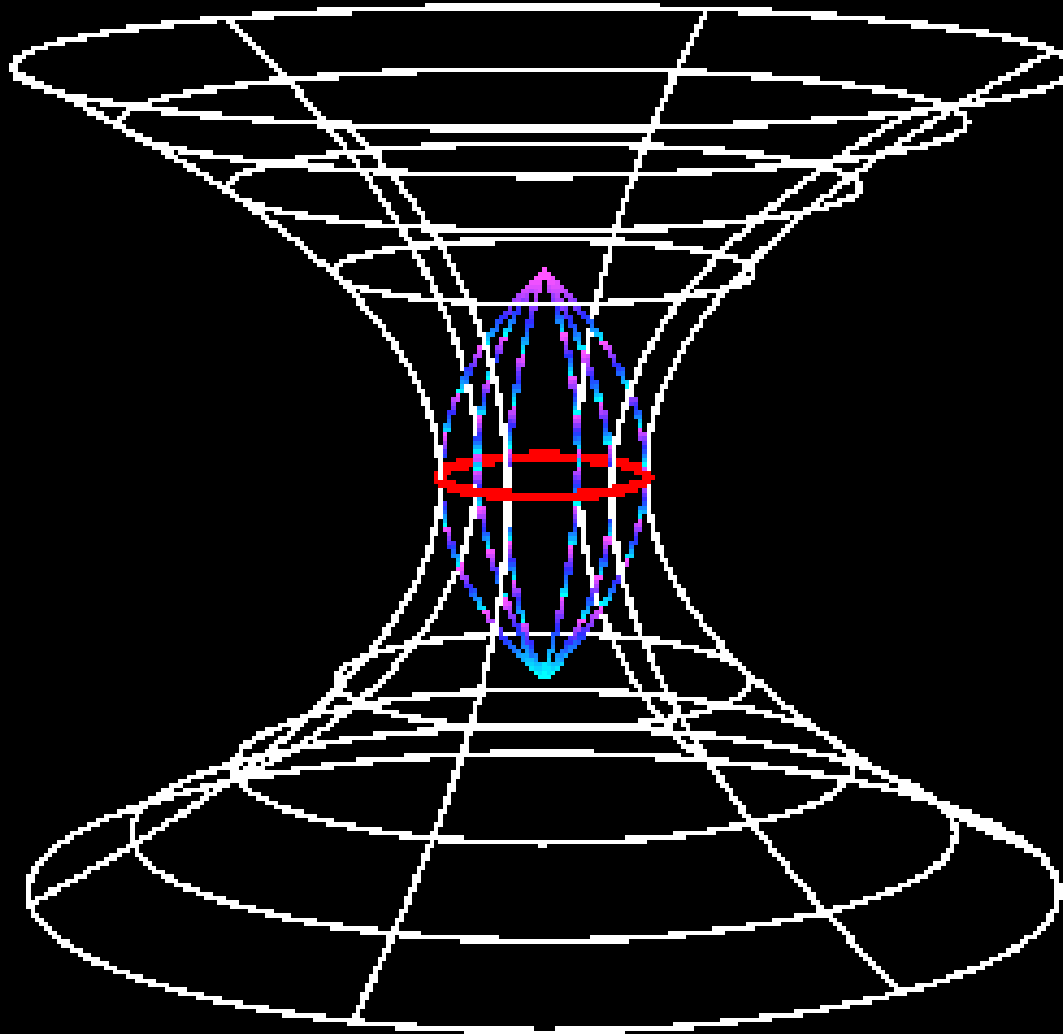
Existieren Schwarzschild Schwarze Löcher wirklich? Vermutlich, vielleicht nicht ...

Vermutlich rotieren die Schwarzen Löcher

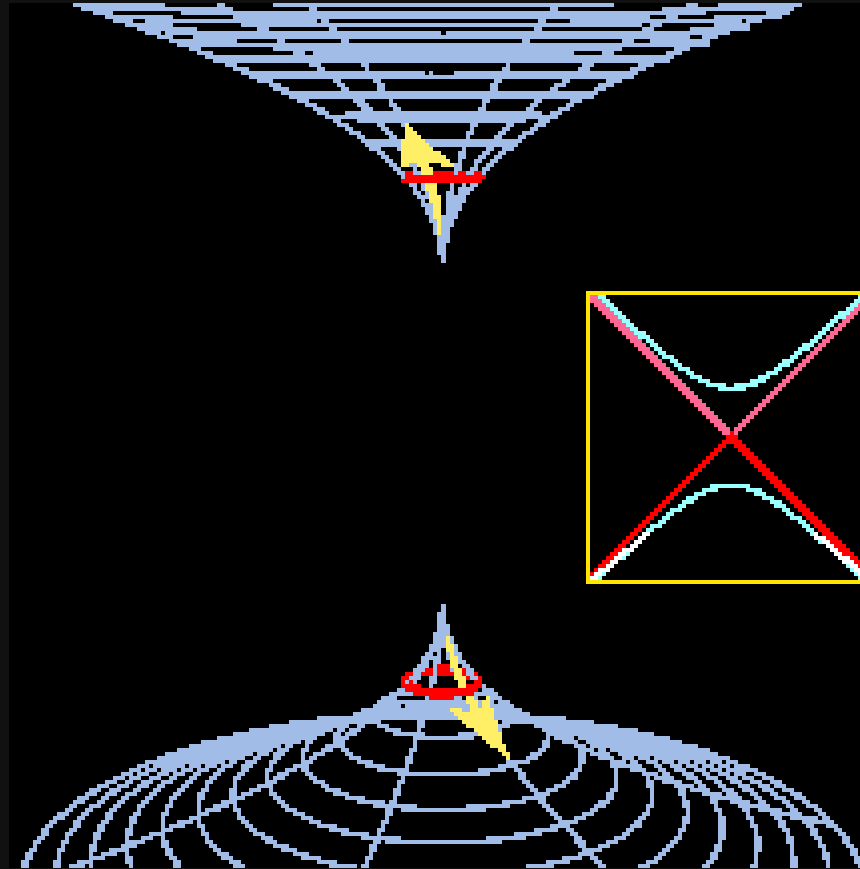
Die Schwarzschild Lösung bedarf der Existenz eines “weißen Lochs”, verträgt sich nicht mit dem 2. Gesetz der Thermodynamik (*Ein System geht nie von selbst in eine bedeutend unwahrscheinlicheren Zustand über*)

Auch wenn sie existieren, sind sie nicht stabil – man könnte nicht durch sie hindurch passieren ohne daß sie kollabieren würden

Schwarzschild Wurmloch



Schwarzschild: Zwei weiße Löcher verschmelzen, bilden ein Wurmloch und fallen zurück in zwei schwarze Löcher, Pfeile zeigen die Richtungen der Horizonte, Person kann nur in Richtung des Pfeils passieren



Unmöglich – muß warten bis beide verschmelzen, kann dann hinein, aber nicht mehr heraus



Die Kerr Lösung ...

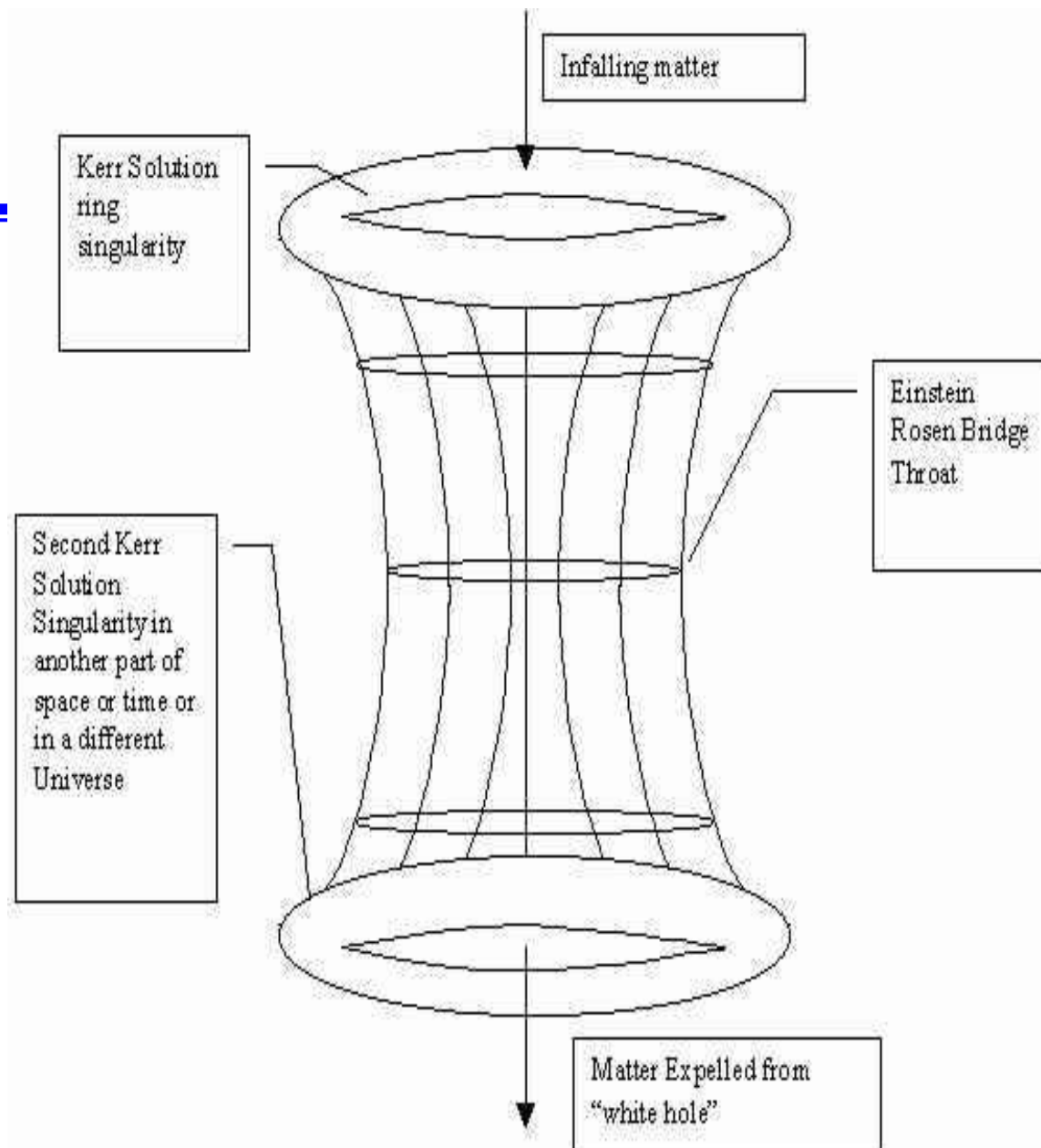
- Mathematische Lösung, die ein rotierendes (nicht-geladenes) Schwarzes Loch beschreibt
- Gefunden durch Roy Kerr in 1960iger
- Was Wurmlöcher betrifft, interessanter als die Schwarzschild Lösung...
 - Teilchen müssen sich nicht schneller als mit Lichtgeschwindigkeit bewegen um die Singularität zu vermeiden !
 - Singularität hat eine Ringstruktur und das Wurmloch könnte man durch den Ring “betreten”
 - Durch ein weißes Loch könnte man in eine andere Region des “normalen” Raums gelangen

Existieren diese Wurmlöcher wirklich?

Verletzen immer noch die thermodynamik

Das resultierende Wurmloch ist immer noch instabil

Gibt es wirklich ein “Loch” in der Ringsingularität ?

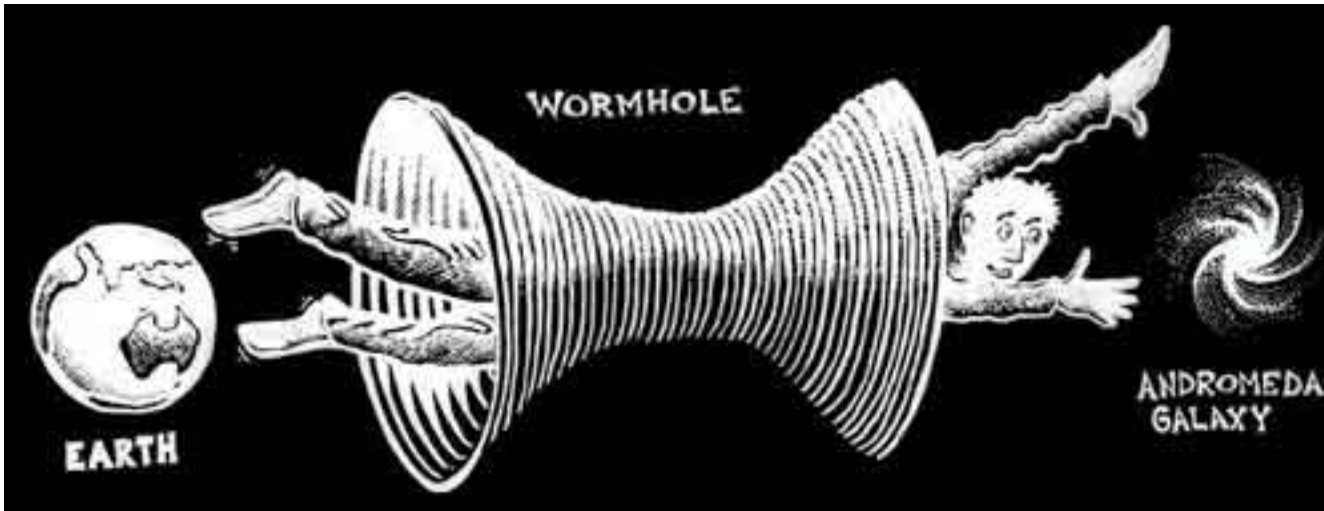




Wurmlöcher Bauanleitung

Die Idee

Ein stabiles Wurmloch was als “Reisemittel” im Raum geeignet ist.



<http://www.abc.net.au/science/slab/wormholes/default.htm>



Wurmlöcher stabilisieren

- **Normale Materie: keine stabilen Wurmlöcher**
 - Keine statischen Lösungen
 - Weiter Materie oder Strahlung “hineinwerfen” macht es nur schlimmer
- **Exotische Materie: kann das Wurmloch offen halten**
 - Vakuum Fluktuationen im gekrümmten Raum kann als exotische Materie fungieren
 - Können Vakuum Fluktuationen Wurmlöcher stabilisieren ?
- Momentan finden theoretische Untersuchungen statt, keine Experimente
- Experimentell nachgewiesen scheint zu sein, daß exotische Materie erzeugt/organisiert werden kann
- Bislang sind keine Wurmlöcher nachgewiesen



Exotische Materie

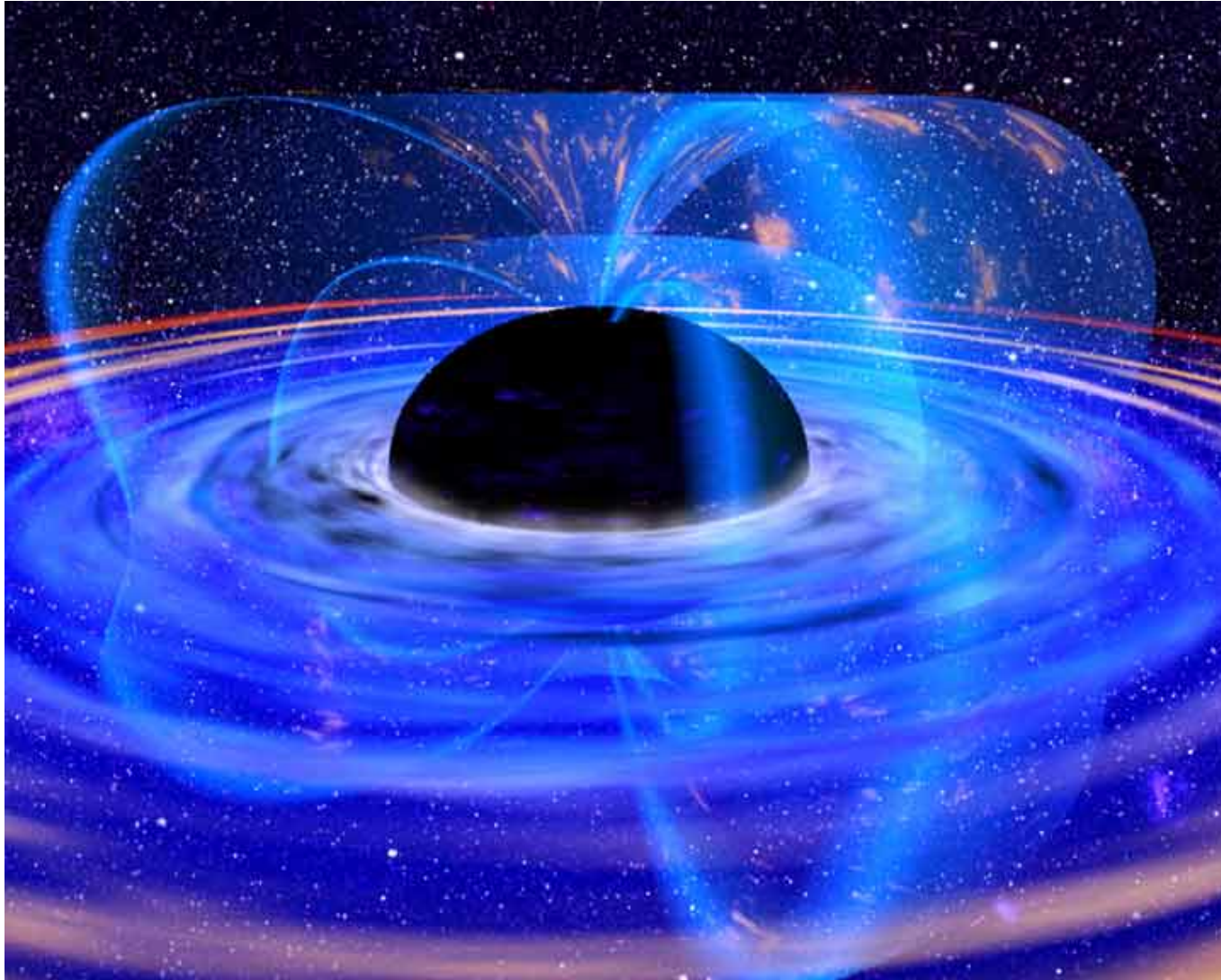
- Kip Thorne:
 - Eine Instabilität der Wurmlochverbindung kann nur durch exotische Materie verhindert werden
- Hawking:
 - Schließt nicht völlig aus, daß es durch hineinfliegende Teilchen normaler Materie trotzdem zu einem schnellen Zusammenbrechen des Wurmloches kommen könnte
- Eigenschaften der exotischen Materie:
wirkt in einem bestimmten Raumgebiet (dort, wo das Wurmloch sein soll)
antigravitativ (hat negative mittlere Energiedichte)

Carl Sagan suchte nach Möglichkeiten für FTL (faster than light travel) – Kip Thorne untersuchte daraufhin die Möglichkeit der Passage durch Wurmlöcher. Sagan publizierte „Contact“ 1985 und publizierte dort die frühen Resultate von Kip Thorne. Thorne publizierte 1988 seine Resultate und empfahl das Buch „Contact“ als leichte Einführung in das Thema der traversablen Wurmlöcher und exotischer Materie



Wurmlöcher & Astrophysik

Astrophysicists view of black holes... stops at the event horizon



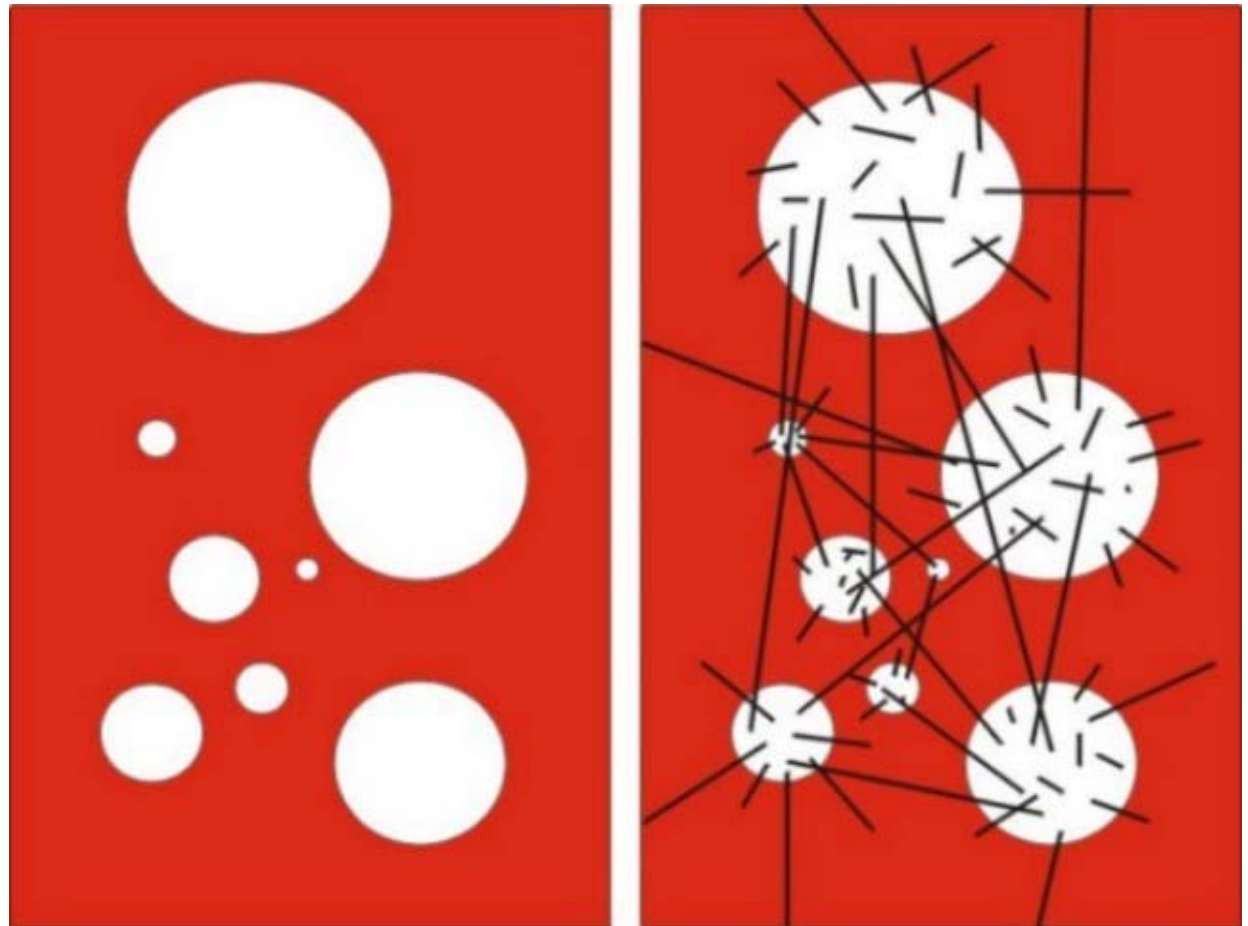


Wurmlöcher & Astrophysik

Hypothese, daß die primordialen Wurmlöcher zu Beginn des expandierenden Universums existierten.

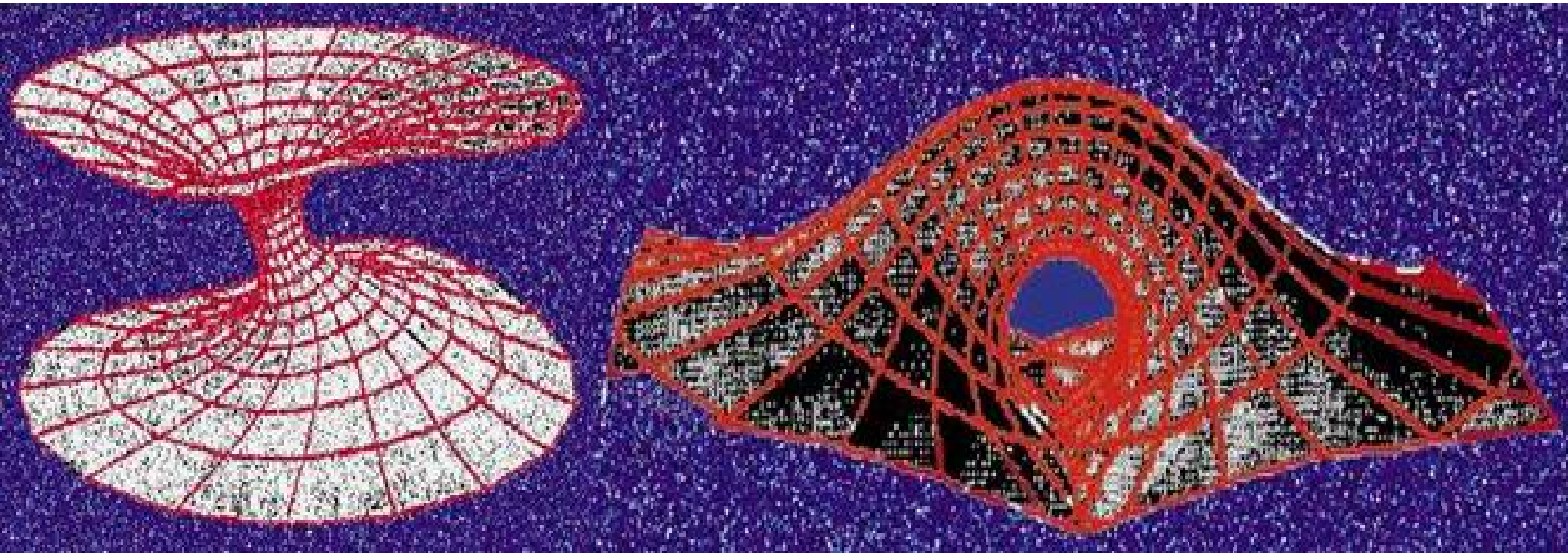
Modell: chaotische Inflation in einem Multi-Element
Universum ohne (links) und mit (rechts) Wurmlöchern

Kardashev et al. 2006





**Standard model, phantom matter, wormholes and the Multiverse.
I. Novikov, N. Kardashev, A. Shatskiy**





Wurmlöcher

- Einige AGN (Aktive Galaxienkerne) könnten Eingänge zu Wurmlöchern darstellen

Astrophysikalische Akkretion von normaler Materie auf ein magnetisches Wurmloch könnte es möglicherweise in ein Schwarzes Loch umwandeln mit einem starken Monopolaren Magnetfeld !



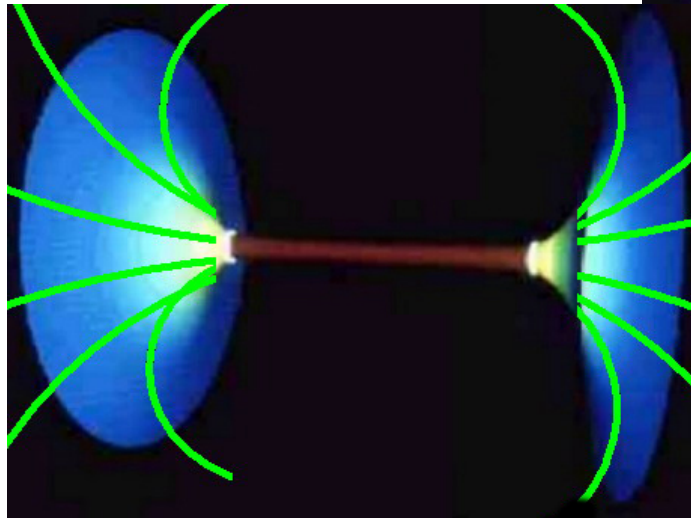
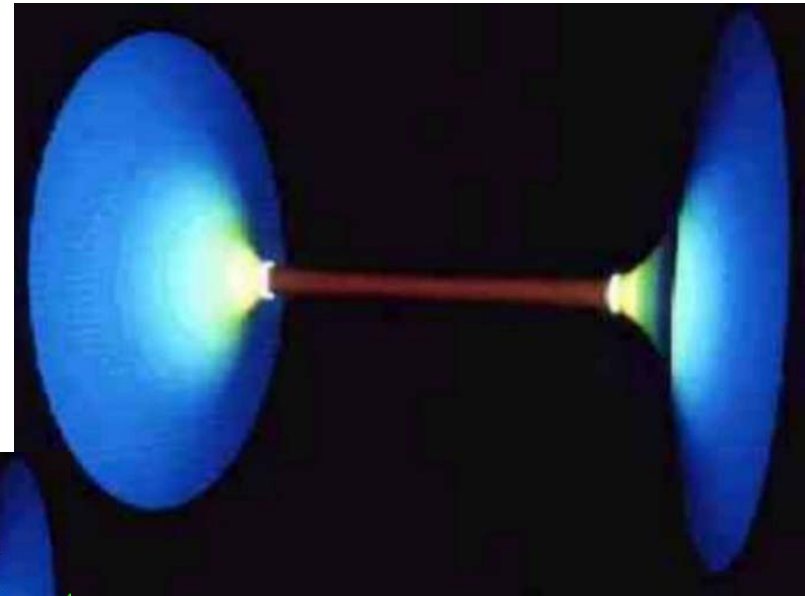
Wurmlöcher

- Wurmlöcher im Universum – kann einige Beobachtungsergebnisse erklären und sagt neue Effekte voraus
- Wurmlöcher könnten Relikte der Inflationsphase sein
- Damit Wurmlöcher existieren können, muß die Phantom-Energie existieren

$$w_{||} = p_{||} / \varepsilon < -1$$

Radialer Druck

Energiedichte



Magnetische Wurmlöcher

Parameters of the throats of magnetic WHs with various masses:

$M_\infty = 2 M_0$	r_0 , cm	H_0 , G	$\rho(r_0)$, g/cm ³	ν_G , Hz	ν_H , Hz	ν_c , Hz
$6 \times 10^{42} \text{ g} = 3 \times 10^9 M_\odot$ (quasar)	4.5×10^{14}	7.8×10^9	2.7×10^{-3}	7.6×10^{-6} (1.5 d)	2.2×10^{16}	1.16×10^{-6} (9.8 d)
$10^{39} \text{ g} = 5 \times 10^5 M_\odot$ ($e^\pm$ pair creation)	7.4×10^{10}	4.4×10^{13}	9.7×10^4	0.045 (22 s)	1.3×10^{20}	6.9×10^{-3} (2.4 min)
$2 \times 10^{33} \text{ g} = M_\odot$ (Sun)	1.5×10^5	2.3×10^{19}	2.4×10^{16}	2.3×10^4	6.6×10^{25}	3.5×10^3
$6 \times 10^{27} \text{ g} = M_\oplus$ (Earth)	0.45	7.8×10^{24}	2.7×10^{27}	7.6×10^9	2.2×10^{31}	1.16×10^9
$5 \times 10^{10} \text{ g}$ (positronium)	3.5×10^{-18}	10^{42}	4.4×10^{61}	9.7×10^{26}	2.7×10^{48}	1.5×10^{26}
$1.8 \times 10^3 \text{ g}$ ($\mu^\pm$ pair creation)	1.3×10^{-25}	2.6×10^{49}	3×10^{76}	2.6×10^{34}	7.3×10^{55}	4×10^{33}
$2 \times 10^{-5} \text{ g}$ (Planck mass)	1.5×10^{-33}	2.3×10^{57}	2.4×10^{92}	2.3×10^{42}	6.6×10^{63}	3.5×10^{41}

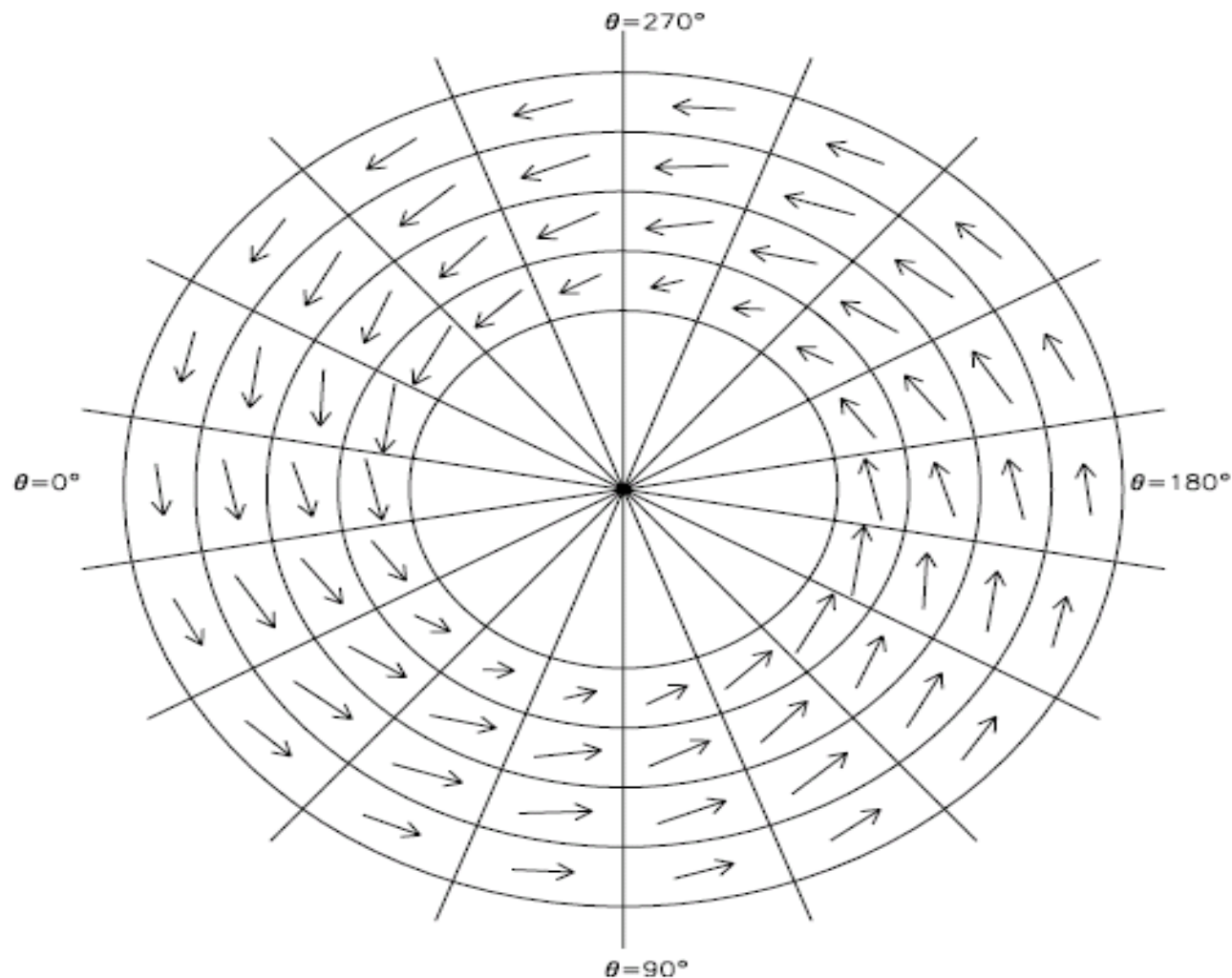
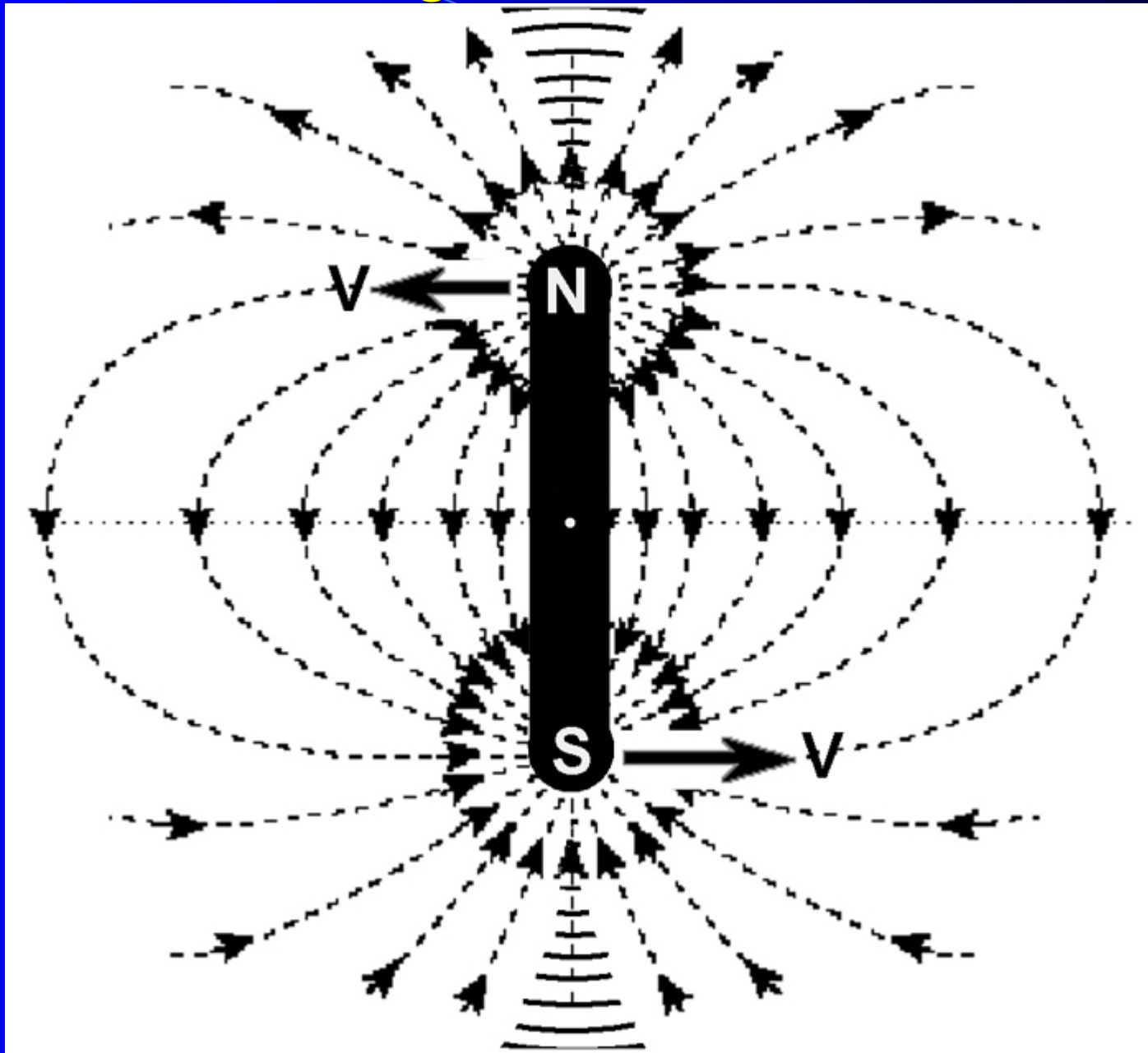


Fig. 6. Face-on view of M31 showing sectors and regular magnetic field vectors obtained from the fits shown in Table 2. The grid radii are 6, 8, 10, 12 and 14 kpc. The length of the vectors is proportional to B .

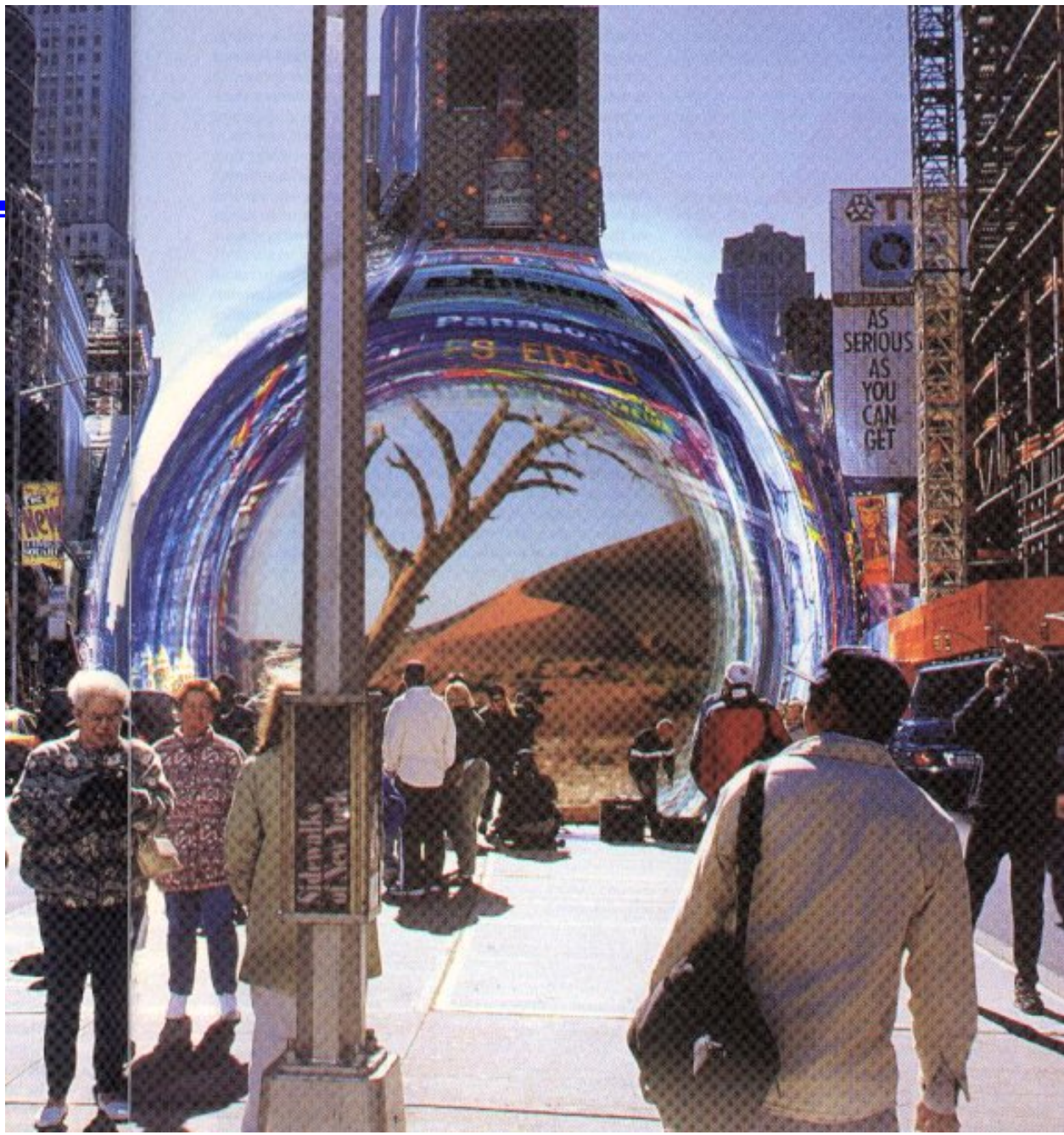
Schematic model of a binary system of two magnetic WH's entrances:



Binary WH's entrances

$M_\infty = 2 M_0$	Mc^2 , erg	E_k , erg	dE_k/dt , erg/s	d , cm	T , s
$6 \times 10^{42} \text{ g} \approx 3 \times 10^9 M_\odot$ (quasar)	5.4×10^{61}	3.2×10^{58}	8.0×10^{40}	3.7×10^{19}	1.1×10^{12}
$3.2 \times 10^{35} \text{ g} \approx 160 M_\odot$ ($e^\pm$ pair creation)	2.9×10^{56}	6.6×10^{48}	1.7×10^{31}	5.2×10^{14}	2.6×10^8
$2 \times 10^{33} \text{ g} = M_\odot$ (Sun)	1.8×10^{54}	7.4×10^{45}	1.8×10^{28}	1.8×10^{13}	2.0×10^7
$4.8 \times 10^{18} \text{ g}$ (micropulsar)	4.3×10^{39}	2.4×10^{26}	5.9×10^8	3.2×10^3	1
$1.8 \times 10^3 \text{ g}$ ($\mu^\pm$ pair creation)	1.6×10^{24}	6.4×10^5	1.6×10^{-12}	1.7×10^{-7}	1.9×10^{-8}

Wurmlöcher
& Anwendungen
z.Bsp. Zeitreisen

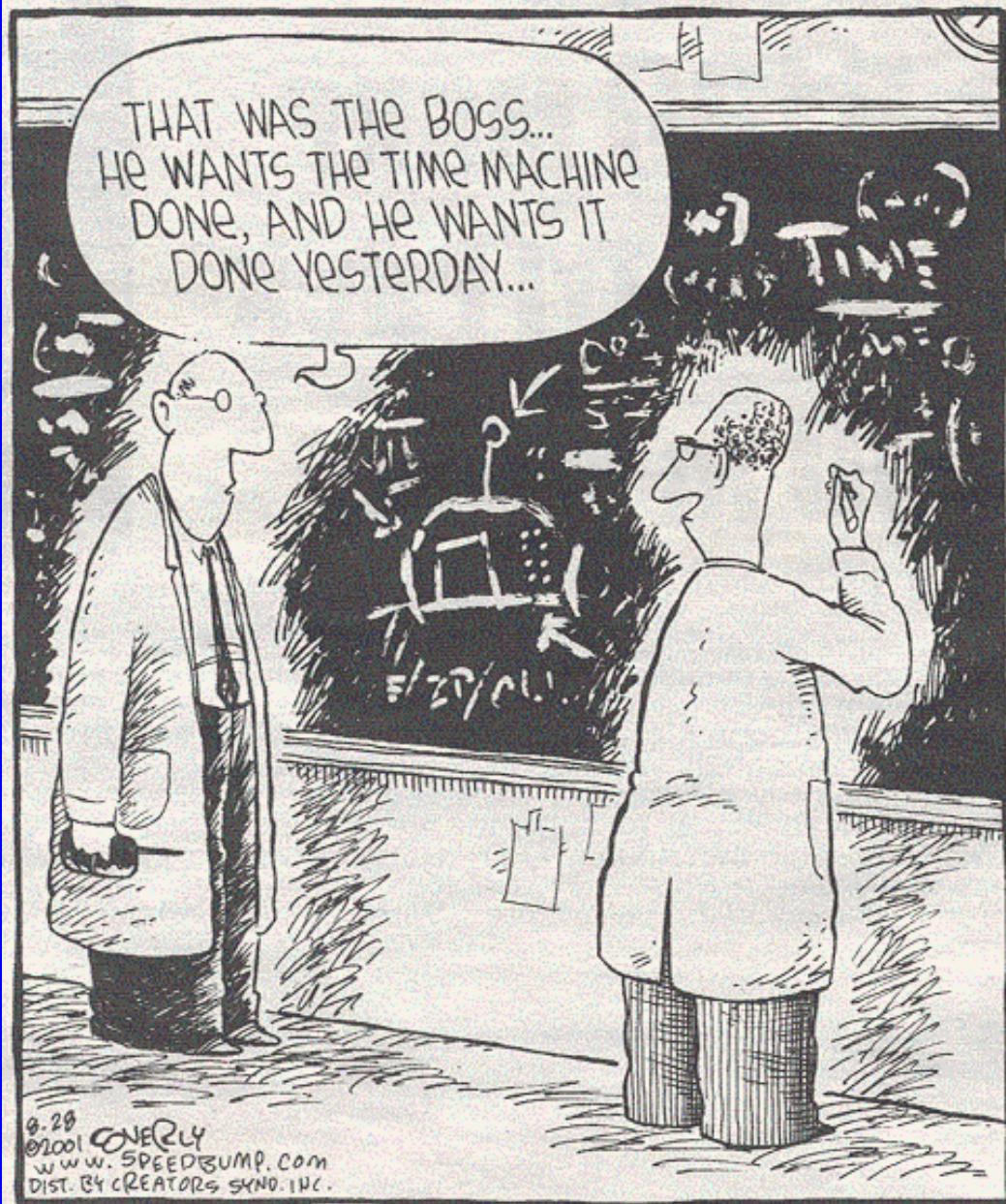


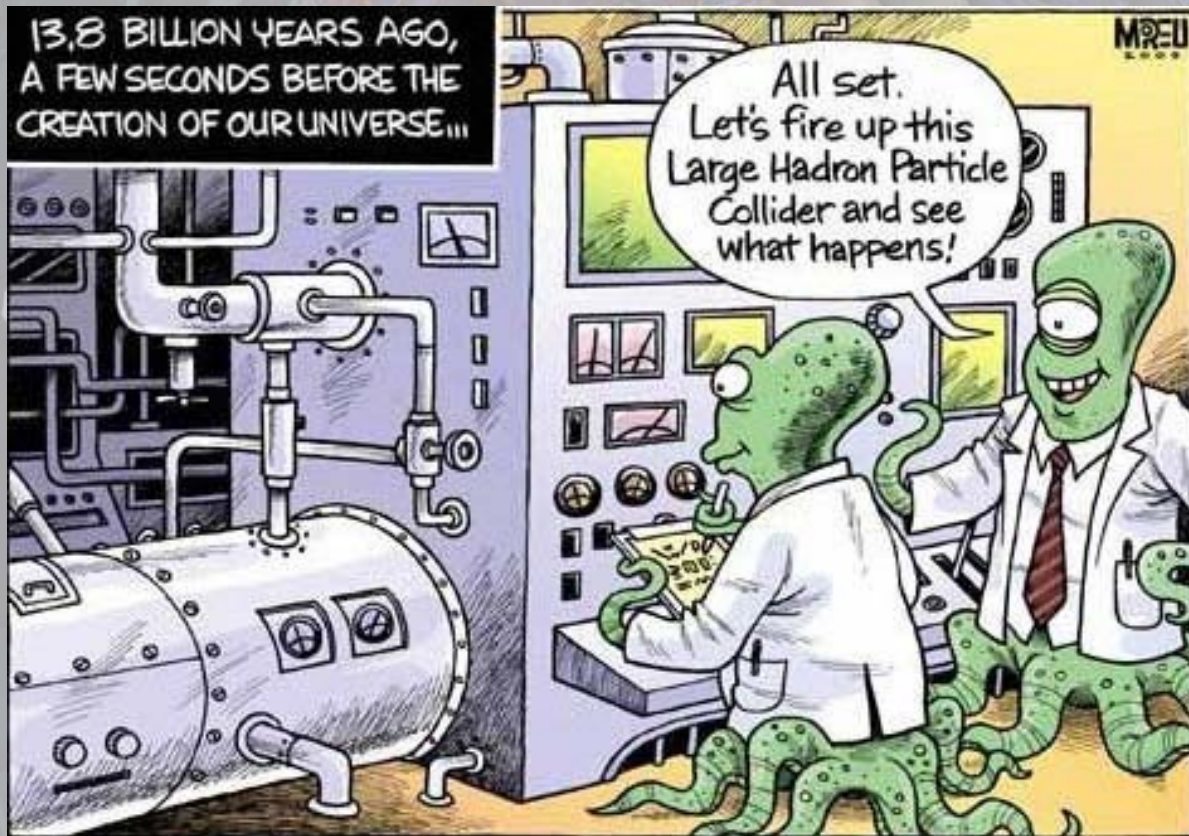
Scientific American, Jan 2000



Wurmlöcher: Anwendungen

- Computerexperte und Neurowissenschaftler Anders Sandberg berechnete, daß ein Wurmloch von einem Nanometer Durchmesser unglaubliche 10^{69} Bits pro Sekunde übertragen könnte
- Thorne, Morris, Yertsever beschrieben, wie es in Übereinstimmung mit allgemeiner Relativität und Quantenmechanik möglich wäre, sogar über Lichtjahre hinweg schnell Wurmlöcher von der Erde zu fernen Orten einzurichten
- Hochberg und Kephart weisen darauf hin, daß die Gravitation direkt nach dem Urknall stark genug war, um die für eine spontane Erzeugung gewaltiger Mengen von in sich selbst gefestigten Wurmlöchern erforderliche Energie bereitzustellen. Ein Großteil davon dürfe noch existieren und durchlässig sein, böte also ein weit verzweigtes, das ganze Weltall durchziehendes Netzwerk von Korridoren. Es könne einfacher sein, diese bestehenden Wurmlöcher aufzuspüren und zu nutzen, als neue zu schaffen.





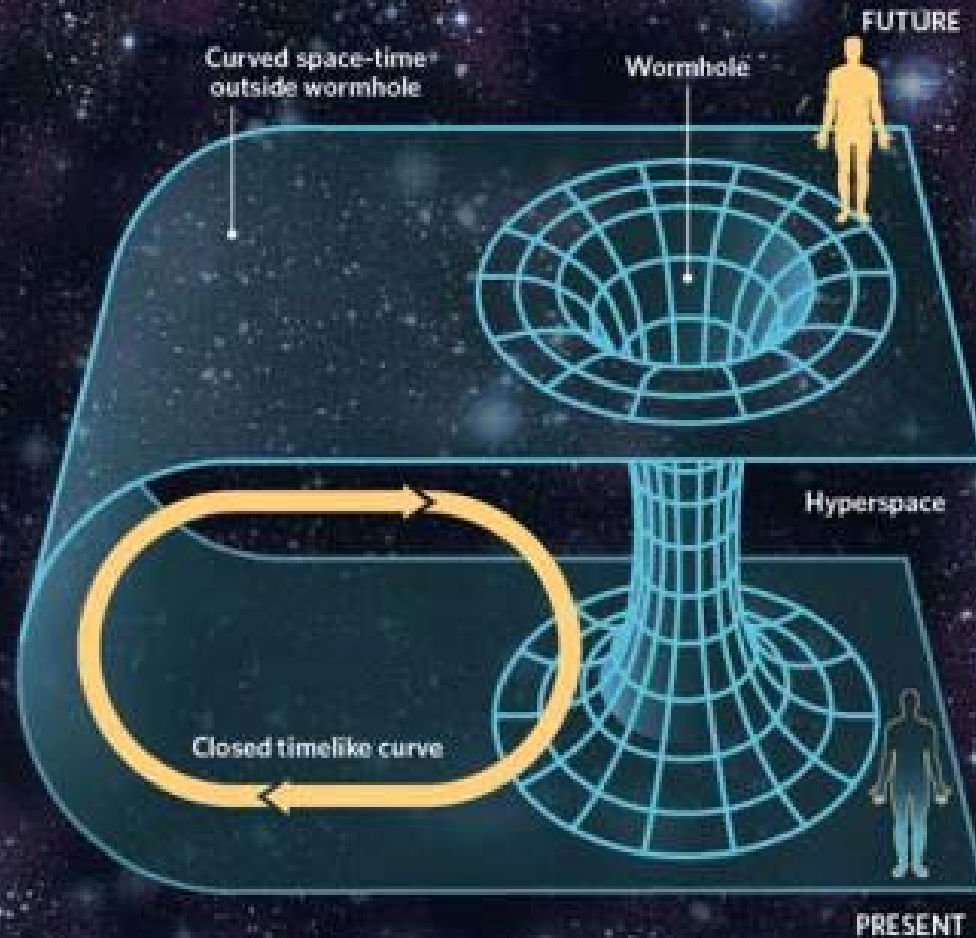
Zeitreisen mittels Wurmloch ?

It's next year already

How time travelling would work



Space-time is like a flat surface, and when it is curved it may be possible to create a 'wormhole' that connects one part of space-time to another - allowing us to go forward or back in time



Graphic: JEFFREY M. HARRIS



Ein (simulierter) Flug durch ein
Wurmloch
(Vorsicht – Reisekrankheit möglich!!)

Flug durch ein Wurmloch – Universität Tübingen nach Boulogne sur Mer



Weitere verrückte/interessante/überlegenswerte Theorien
zu finden in:

„Das Wissen von morgen“

Was wir für wahr halten, aber nicht beweisen können: Die führenden Wissenschaftler
unserer Zeit beschreiben ihre großen Ideen

J. Brockman (Herausgeber)

Fischer Taschenbuchverlag, Januar 2009

Oder

Website names *Edge* (www.edge.org)



Beginn der Vorlesung im Sommersemester 2009 (30.03.-11.07.09):

***Freitag, 03.04.2009
(gleiche Zeit, gleicher Raum)***

**Themen: Zeit & Zeitreisen, Quanten der Raumzeit, Loop
Quantengravitation, etc.**