

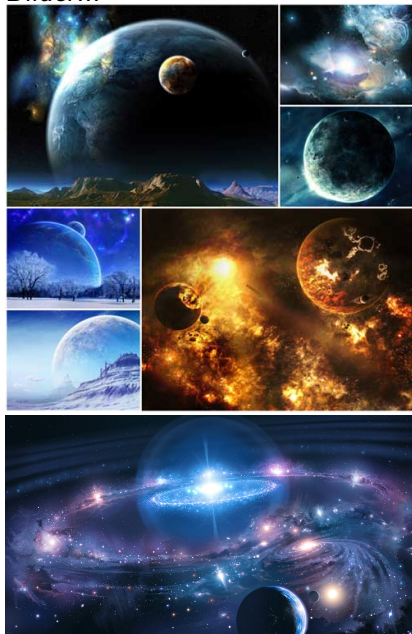
Die dunkle Seite des Universums

Daniel Grumiller

Institute for Theoretical Physics
Vienna University of Technology

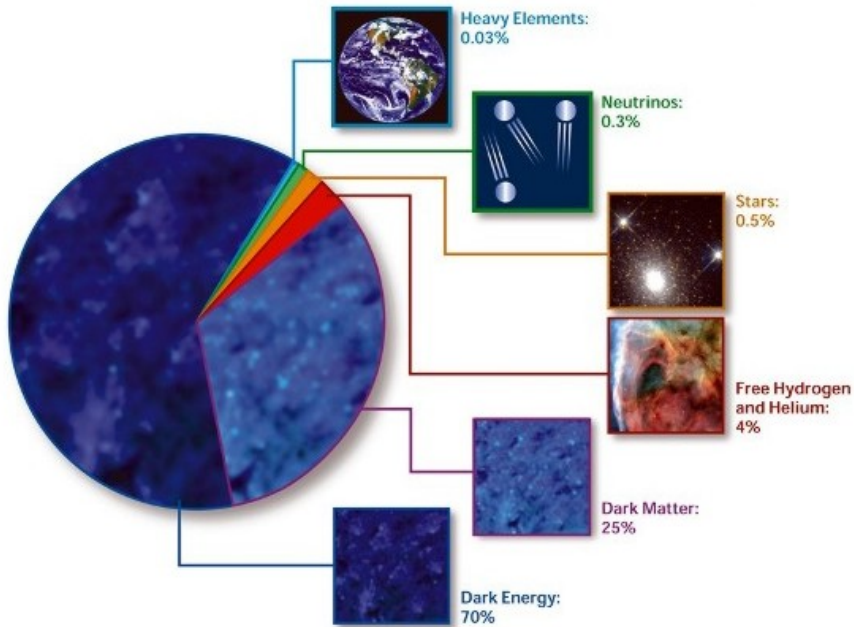
Österreichische Akademie der Wissenschaften, November 2013

Bilder...



...oder Gleichungen?

Maxwell	$dF = 0 \quad *d*F = j$
Einstein	$R_{\mu\nu} - \frac{1}{2} g_{\mu\nu} R = T_{\mu\nu}$
Schrödinger	$i\hbar\partial_t\Psi = \hat{H}\Psi$
Dirac	$(i\nabla - m)\psi = 0$
Euler-Lagrange	$(\partial/\partial\phi - \partial(\partial/\partial\partial\phi))\mathcal{L} = 0$
Standard Model	$SU(3)_C \times SU(2)_Y \times U(1)_Y$
Renormalization	$1 + 2 + 3 + \dots = -\frac{1}{12}$
Natural units	$\hbar = c = G_N = k_B = 1$
Schwarzschild	$(1 - \frac{2M}{r}) du^2 + 2 du dr + \dots$
Bekenstein	$S_{\text{BH}} \propto A_h$
Hawking	$S_{\text{BH}} = A_h/4$
Chern-Simons	$\frac{k}{4\pi} \text{tr} (A dA + \frac{2}{3} A \wedge A \wedge A)$
AdS/CFT	$\langle \exp \int \phi_0 \mathcal{O} \rangle_{\text{CFT}} = Z_{\text{AdS}}(\phi_0)$
chiral gravity	$c_L = 24 \quad c_R = 0$
log CFT	$\langle t(z)t(0) \rangle = -b \ln z ^2 / z^4$



Periodensystem der Elemente

Periodic Table of the Elements

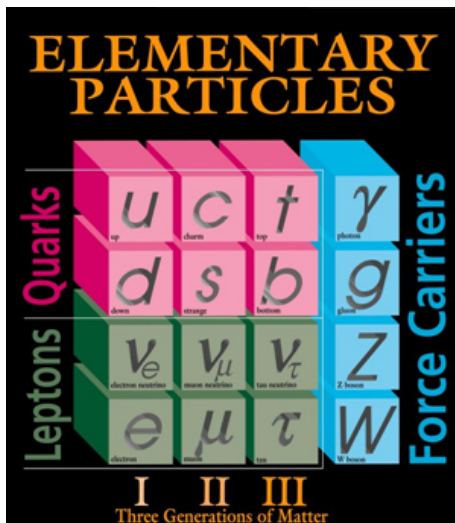
1 1IA 1A	2 IIA 2A											13 IIIA 3A	14 IVA 4A	15 VA 5A	16 VIA 6A	17 VIIA 7A	18 VIIIA 8A
1 H Hydrogen 1.0079																	2 He Helium 4.0026
3 Li Lithium 6.941	4 Be Beryllium 9.01219											5 B Bor 10.811	6 C Carbon 12.011	7 N Stickstoff 14.00674	8 O Sauerstoff 15.9994	9 F Fluor 18.998403	10 Ne Neon 20.1797
11 Na Natrium 22.989768	12 Mg Magnesium 24.305	3 IIIB 3B	4 IVB 4B	5 VB 5B	6 VIB 6B	7 VIIB 7B	8 VIII 8	9 VIII 8	10 VIII 8	11 IB 1B	12 IIB 2B	13 Al Aluminium 26.981539	14 Si Silicium 28.0855	15 P Phosphor 30.973762	16 S Schwefel 32.065	17 Cl Chlor 35.4527	18 Ar Argon 39.948
19 K Kalium 39.0983	20 Ca Calcium 40.078	21 Sc Scandium 44.95591	22 Ti Titanium 47.88	23 V Vanadium 50.9415	24 Cr Chrom 51.9961	25 Mn Mangan 54.938	26 Fe Eisen 55.847	27 Co Cobalt 58.9332	28 Ni Nickel 58.6934	29 Cu Kupfer 63.546	30 Zn Zink 65.39	31 Ga Gallium 69.723	32 Ge Germanium 72.64	33 As Arsen 74.92159	34 Se Selen 78.96	35 Br Brom 79.904	36 Kr Krypton 83.80
37 Rb Rubidium 85.4678	38 Sr Strontium 87.62	39 Y Yttrium 88.90585	40 Zr Zirkon 91.224	41 Nb Niobium 92.90638	42 Mo Molybdän 95.94	43 Tc Technetium 98.9062	44 Ru Ruthenium 101.07	45 Rh Rodium 102.9055	46 Pd Palladium 106.42	47 Ag Silber 107.8682	48 Cd Cadmium 112.411	49 In Indium 114.818	50 Sn Zinn 118.71	51 Sb Antimon 121.760	52 Te Tellurium 127.6	53 I Jod 126.90447	54 Xe Xenon 131.29
55 Cs Cäsium 132.90545	56 Ba Barium 137.327	57-71 Lanthanide Series	72 Hf Hafnium 178.49	73 Ta Tantalum 180.9479	74 W Wolfram 183.85	75 Re Rhenium 186.207	76 Os Osmium 190.23	77 Ir Iridium 192.22	78 Pt Platin 195.084	79 Au Gold 196.96655	80 Hg Quecksilber 200.59	81 Tl Thallium 204.3853	82 Pb Blei 207.2	83 Bi Bismut 208.98037	84 Po Polonium 209	85 At Astatin 209	86 Rn Radon 222.01758
87 Fr Francium 223	88 Ra Radium 226.0254	89-103 Actinide Series	104 Rf Rutherfordium 261	105 Db Dubnium 262	106 Sg Seaborgium 266	107 Bh Bohrium 264	108 Hs Hassium 265	109 Mt Meitnerium 268	110 Ds Darmstadtium 271	111 Rg Roentgenium 272	112 Cn Copernicium 285	113 Uut Ununtrium unbekannt	114 Uuq Ununquadium unbekannt	115 Uup Ununpentium unbekannt	116 Uuh Ununhexium unbekannt	117 Uus Ununseptium unbekannt	118 Uuo Ununoctium unbekannt
		57 La Lanthanum 138.9055	58 Ce Cerium 140.115	59 Pr Praseodym 140.90769	60 Nd Neodym 144.24	61 Pm Promethium 144.9127	62 Sm Samarium 150.36	63 Eu Europium 151.9654	64 Gd Gadolinium 157.25	65 Tb Terbium 158.92534	66 Dy Dysprosium 162.50	67 Ho Holmium 164.93032	68 Er Erbium 167.26	69 Tm Thulium 168.93421	70 Yb Ytterbium 173.04	71 Lu Lutetium 174.967	
		89 Ac Actinium 227.0278	90 Th Thorium 232.0381	91 Pa Protactinium 231.03688	92 U Uranium 238.02891	93 Np Neptunium 237.0482	94 Pu Plutonium 244.0642	95 Am Americium 243.0614	96 Cm Curium 247.0709	97 Bk Berkelium 247.0709	98 Cf Californium 251.0796	99 Es Einsteinium 252	100 Fm Fermium 257.0951	101 Md Mendelevium 258.1	102 No Nobelium 259	103 Lr Lawrencium 262	
		Alkali Metal	Alkaline Earth	Transition Metal	Basic Metal	Semimetal	Nonmetals	Halogens	Noble Gas	Lanthanides	Actinides						

- ▶ über 100 chemische Elemente experimentell bekannt
- ▶ letzter derzeitiger Eintrag: Uup (115), August 2013

Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

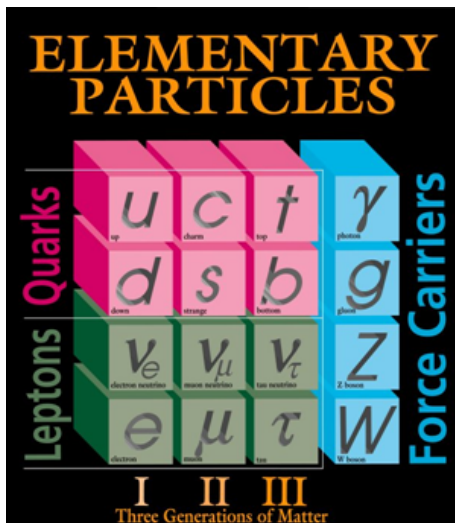
- Drei leichte Generationen



Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks



Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

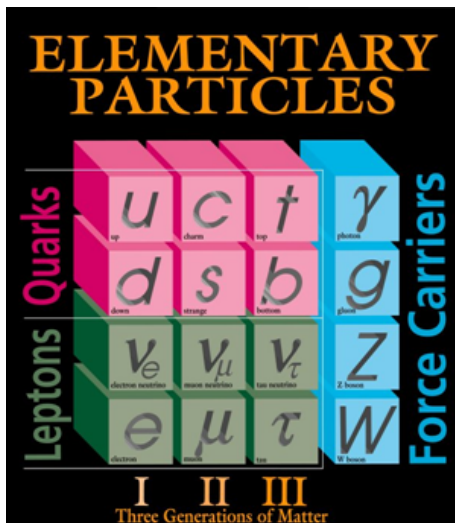
- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen

	I	II	III	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	
	I	II	III	
	Three Generations of Matter			

Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen



Periodensystem der Elementarteilchen

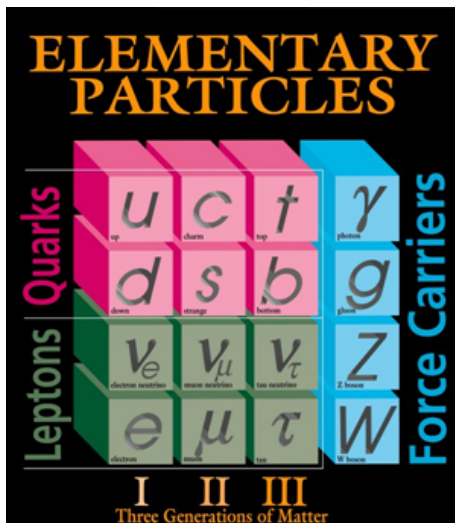
Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

	I	II	III	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	
	I	II	III	
	Three Generations of Matter			

- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!

Periodensystem der Elementarteilchen

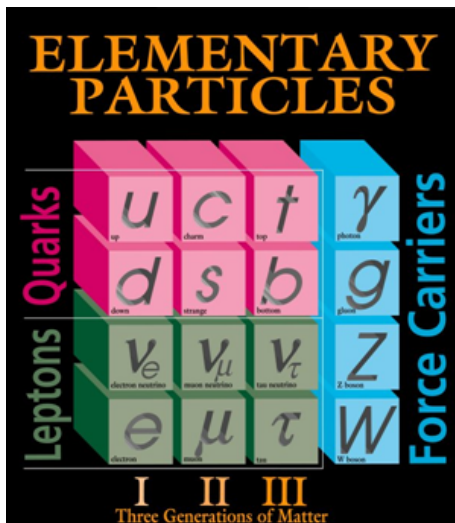
Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:



- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!
- ▶ Kräfte durch Bosonen übertragen

Periodensystem der Elementarteilchen

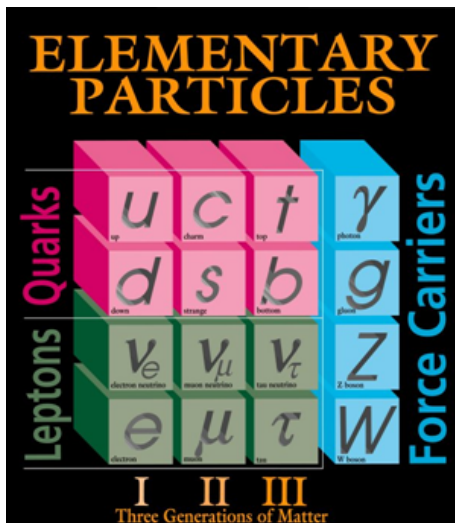
Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:



- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!
- ▶ Kräfte durch Bosonen übertragen
- ▶ Elektromagnetische Kraft: Photon γ

Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:



- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!
- ▶ Kräfte durch Bosonen übertragen
- ▶ Elektromagnetische Kraft: Photon γ
- ▶ Schwache Kraft: Vektorbosonen W^\pm, Z

Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

ELEMENTARY PARTICLES				
	I	II	III	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	
	I	II	III	
	Three Generations of Matter			

- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!
- ▶ Kräfte durch Bosonen übertragen
- ▶ Elektromagnetische Kraft: Photon γ
- ▶ Schwache Kraft: Vektorbosonen W^\pm, Z
- ▶ Starke Kraft: Gluonen g

Periodensystem der Elementarteilchen

Teilchen die wir kennen und beobachtet haben:

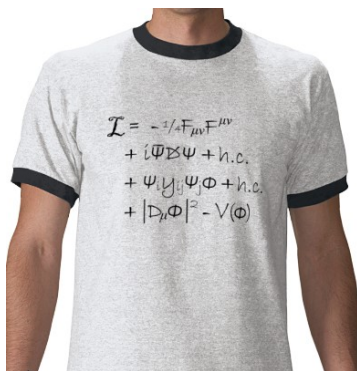
ELEMENTARY PARTICLES				
	I	II	III	
Quarks	u up	c charm	t top	γ photon
	d down	s strange	b bottom	
Leptons	ν_e electron neutrino	ν_μ muon neutrino	ν_τ tau neutrino	Z Z boson
	e electron	μ muon	τ tau	
	I	II	III	
	Three Generations of Matter			

- ▶ Drei leichte Generationen
- ▶ Je zwei Leptonen und Quarks
- ▶ Alle Materieteilchen Fermionen
- ▶ Charakterisiert durch Massen und Ladungen
- ▶ Einziger Unterschied zwischen Generationen: Massen!
- ▶ Kräfte durch Bosonen übertragen
- ▶ Elektromagnetische Kraft: Photon γ
- ▶ Schwache Kraft: Vektorbosonen W^\pm, Z
- ▶ Starke Kraft: Gluonen g
- ▶ Das ist alles! (naja, fast...)

Standard Model der Teilchenphysik

Eine Theorie von (fast) allem:

- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!

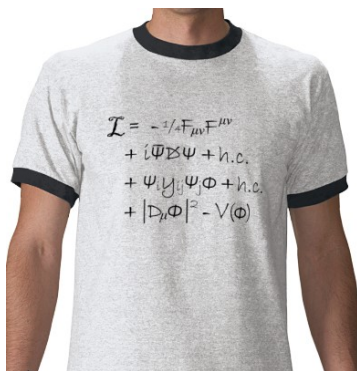


Standard Model (SM) Lagrange density

$F_{\mu\nu}$: bosons, Ψ : fermions, Φ : Higgs

Standard Model der Teilchenphysik

Eine Theorie von (fast) allem:



Standard Model (SM) Lagrange density

$F_{\mu\nu}$: bosons, Ψ : fermions, Φ : Higgs

- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!
- ▶ Unglaublich präzise
z.B. gyromagnetischer Faktor Experiment (2008):

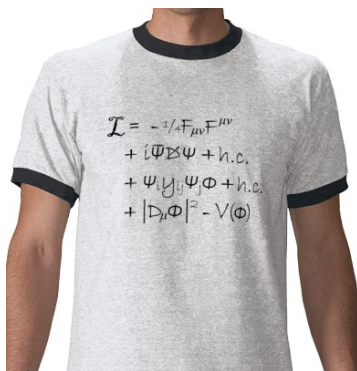
$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.00000000000028$$

Theorie (2012):

$$\frac{g_e^{\text{the}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.00000000000077$$

Standard Model der Teilchenphysik

Eine Theorie von (fast) allem:



Standard Model (SM) Lagrange density

$F_{\mu\nu}$: bosons, Ψ : fermions, Φ : Higgs

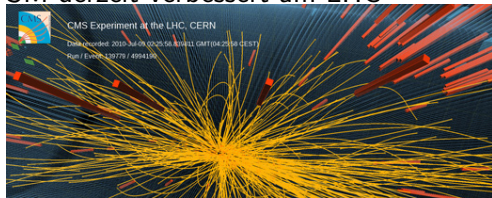
- ▶ Alle Experimente bisher im Einklang mit SM!
- ▶ Unglaublich präzise
z.B. gyromagnetischer Faktor Experiment (2008):

$$\frac{g_e^{\text{exp}}}{2} = 1.00115965218073 \pm 0.00000000000028$$

Theorie (2012):

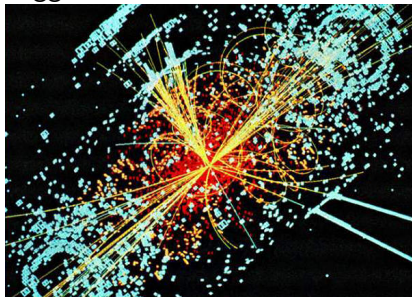
$$\frac{g_e^{\text{the}}}{2} = 1.00115965218178 \pm 0.00000000000077$$

- ▶ SM derzeit verbessert am LHC



Fehlende Einträge in dem “Periodensystem”

Higgs!



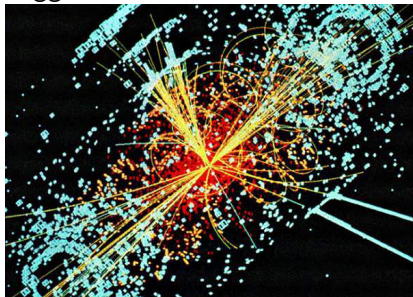
**LHC wird es dieses Jahrzehnt
finden hat es im Wesentlichen
entdeckt im Juli 2012!**

$$m_H \sim 126 \text{ GeV}$$

Nobelpreis 2013: Englert, Higgs
(Brout)

Fehlende Einträge in dem "Periodensystem"

Higgs!

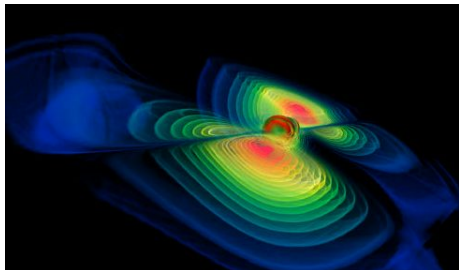


LHC wird es dieses Jahrzehnt finden hat es im Wesentlichen entdeckt im Juli 2012!

$$m_H \sim 126 \text{ GeV}$$

Nobelpreis 2013: Englert, Higgs (Brout)

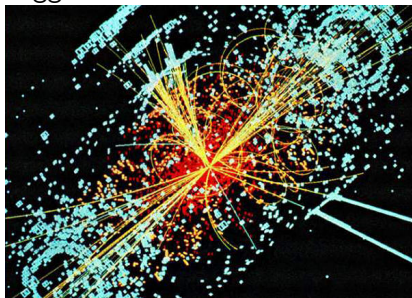
Gemäss ART:



Gravitonen (Gravitationswellen)
LIGO findet sie diese Dekade!

Fehlende Einträge in dem "Periodensystem"

Higgs!

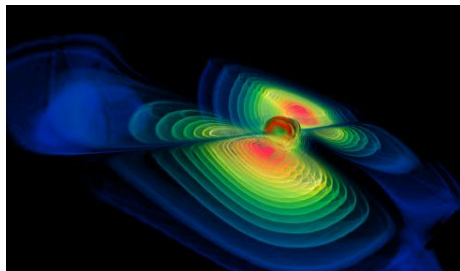


LHC wird es dieses Jahrzehnt finden hat es im Wesentlichen entdeckt im Juli 2012!

$$m_H \sim 126 GeV$$

Nobelpreis 2013: Englert, Higgs (Brout)

Gemäss ART:



Gravitonen (Gravitationswellen)
LIGO findet sie diese Dekade!

Weitere Teilchen jenseits des SM?
Inflaton?, SUSY?, Axionen?, Dunkle Spinoren?, Kaluza-Kleins?, ...

LHC und Astro/Astroteilchen-physik könnten Hinweise finden!

Zusammenfassung der bekannten Bestandteile des Universums

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie (inkl. ART) konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten

Zusammenfassung der bekannten Bestandteile des Universums

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie (inkl. ART) konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: ~~Higgs~~ und Graviton

Zusammenfassung der bekannten Bestandteile des Universums

- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie (inkl. ART) konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: ~~Higgs~~ und Graviton
- ▶ ~~Wenn sie existieren: werden diese Dekade entdeckt!~~ Wenn Gravitationswellen existieren: werden in nächsten 5 Jahren entdeckt!

Zusammenfassung der bekannten Bestandteile des Universums

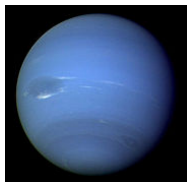
- ▶ Standard Modelle der Teilchenphysik und Kosmologie (inkl. ART) konsistent mit fast Allem was wir in der Natur beobachten
- ▶ Fehlende Puzzlesteine: ~~Higgs~~ und Graviton
- ▶ ~~Wenn sie existieren: werden diese Dekade entdeckt!~~ Wenn Gravitationswellen existieren: werden in nächsten 5 Jahren entdeckt!

Fehlt noch etwas?



Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits

Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!

Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher

Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1845: John Couch Adams und Urbain Le Verrier sagen neuen Planeten vorher und berechnen seine Position

Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1845: John Couch Adams und Urbain Le Verrier sagen neuen Planeten vorher und berechnen seine Position
- ▶ 1846: Bestätigung durch Beobachtung durch Johann Gottfried Galle und Heinrich Louis d'Arrest

Dunkle Materie Hypothese: Früher Erfolg...

Neptun:



(picture by NASA)

- ▶ 1821: Alexis Bouvard veröffentlicht Tabellen des Uranus-Orbits
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1845: John Couch Adams und Urbain Le Verrier sagen neuen Planeten vorher und berechnen seine Position
- ▶ 1846: Bestätigung durch Beobachtung durch Johann Gottfried Galle und Heinrich Louis d'Arrest

Entdeckung Neptuns erster Erfolg des Dunkle-Materie-Konzeptes!

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1859: Urbain Le Verrier sagt neuen Planeten vorher und berechnet seine Position

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1859: Urbain Le Verrier sagt neuen Planeten vorher und berechnet seine Position
- ▶ 1860: “Bestätigung” durch Beobachtung durch Lescarbault

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1859: Urbain Le Verrier sagt neuen Planeten vorher und berechnet seine Position
- ▶ 1860: “Bestätigung” durch Beobachtung durch Lescarbault
- ▶ 1915: Einstein erklärt Merkurs Periheldrehung mit ART

Dunkle Materie Hypothese: ...und früher Fehlschlag

Vulcan:



(picture based on
Star Trek)

- ▶ 1840: François Arago schlägt Urbain Le Verrier Problem des Merkur-Orbits vor
- ▶ Beobachtungen weichen von Tabellen ab!
- ▶ Verschiedene Erklärungen: ändern Gravitationsgesetz oder sagen Dunkle Materie vorher
- ▶ 1859: Urbain Le Verrier sagt neuen Planeten vorher und berechnet seine Position
- ▶ 1860: “Bestätigung” durch Beobachtung durch Lescarbault
- ▶ 1915: Einstein erklärt Merkurs Periheldrehung mit ART

Nicht-Entdeckung von Vulcan erster Fehlschlag des Dunkle-Materie-Konzeptes!

Astrophysik

Eine moderne Variante des Neptun–Vulcan Dilemmas...

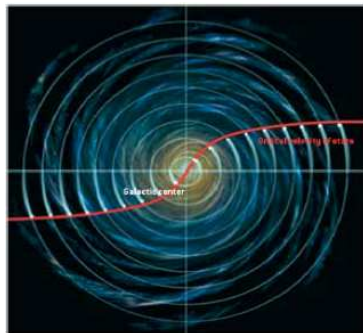
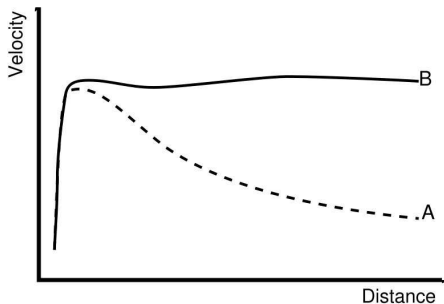
Prominentes Beispiel für Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung:

Astrophysik

Eine moderne Variante des Neptun–Vulcan Dilemmas...

Prominentes Beispiel für Diskrepanz zwischen Theorie und Beobachtung:

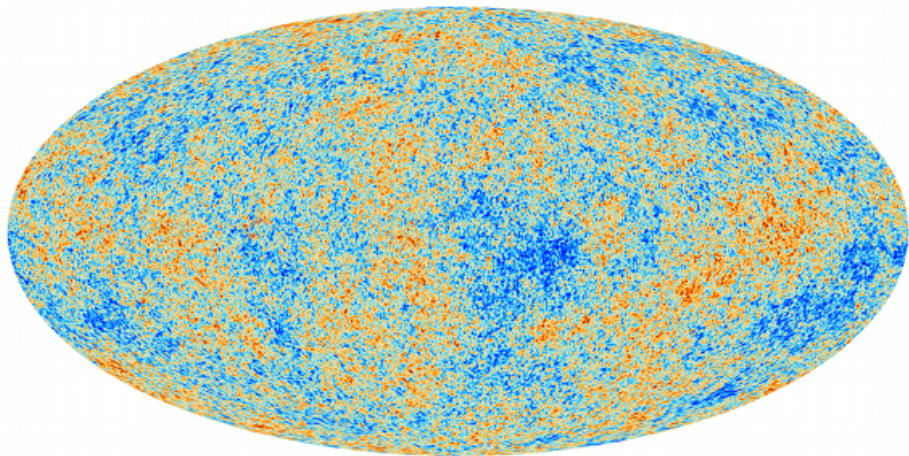
- ▶ Galaktische Rotationskurven (pictures by Wikipedia)



A = Theorie, B = Beobachtung

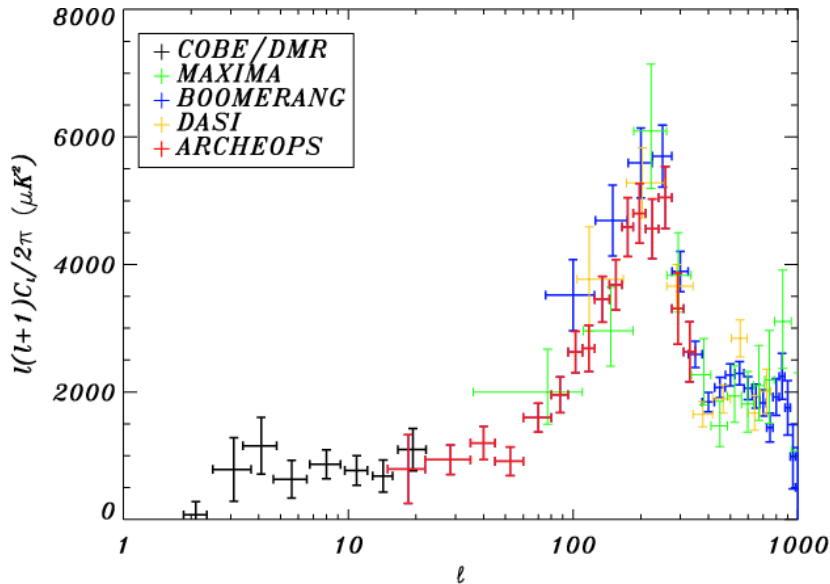
Etliche weitere Beispiele

Planck Daten kosmische Mikrowellenanisotropie:



Rot: wärmer, Blau: kälter, Mittlere Temperatur: ca. 2.7260 ± 0.0013 K

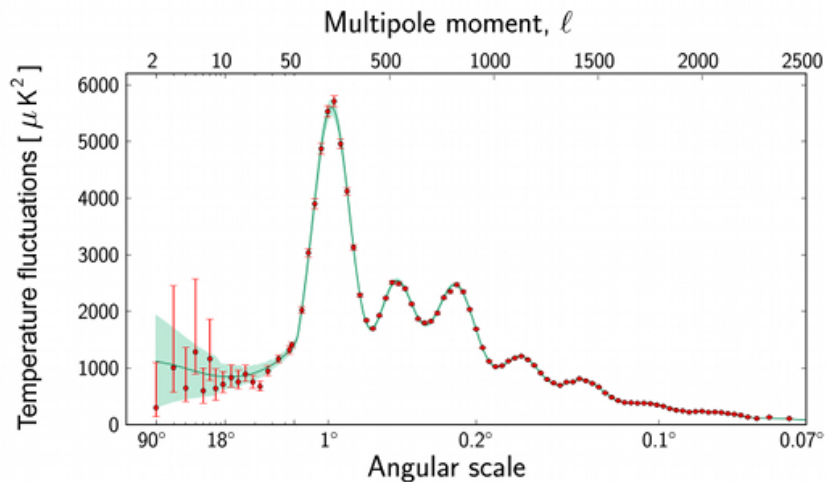
Etliche weitere Beispiele



Schwarze Punkte: Nobelpreis '06, J. Mather & G. Smoot ('78: A. Penzias & R. Wilson)

Etliche weitere Beispiele

Planck Daten Power-Spectrum:



Etliche weitere Beispiele

Evidenz für Diskrepanz zwischen Beobachtung und Theorie:

- ▶ Galaktische Rotationskurven
- ▶ Galaxie-Haufen
- ▶ Strukturformation
- ▶ Kosmische Mikrowellenhintergrund-Fluktuationen
- ▶ Gravitationslinsen
- ▶ Bullet Cluster
- ▶ ...

Entweder Dunkle Materie existiert (“Neptun-Szenario”) oder die Einsteinsche Theorie muss auf grossen Distanzen abgeändert werden (“Vulcan-Szenario”)

Sind wir in einem Neptun- oder einem Vulcan-Szenario?

Was ist Dunkle Materie?

Wesentliche Tatsachen über die Dunkle Seite des Lebens:

- ▶ Vulcan-Szenario erscheint unwahrscheinlich, kann aber nicht ausgeschlossen werden



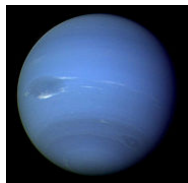
MOND, TeVeS, modifizierte Gravitationstheorien, Rindler, ...

Sind wir in einem Neptun- oder einem Vulcan-Szenario?

Was ist Dunkle Materie?

Wesentliche Tatsachen über die Dunkle Seite des Lebens:

- ▶ Vulcan-Szenario erscheint unwahrscheinlich, kann aber nicht ausgeschlossen werden
- ▶ Neptun-Szenario erscheint wahrscheinlich, aber Dunkle Materie ist noch nicht direkt beobachtet worden



LSP, axion, WIMP, MACHO, ELKO, ...

Sind wir in einem Neptun- oder einem Vulcan-Szenario?

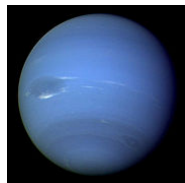
Was ist Dunkle Materie?

Wesentliche Tatsachen über die Dunkle Seite des Lebens:

- ▶ Vulcan-Szenario erscheint unwahrscheinlich, kann aber nicht ausgeschlossen werden
- ▶ Neptun-Szenario erscheint wahrscheinlich, aber Dunkle Materie ist noch nicht direkt beobachtet worden
- ▶ Disput, welches Szenario in der Natur tatsächlich auftritt



vs.



Sind wir in einem Neptun- oder einem Vulcan-Szenario?

Was ist Dunkle Materie?

Wesentliche Tatsachen über die Dunkle Seite des Lebens:

- ▶ Vulcan-Szenario erscheint unwahrscheinlich, kann aber nicht ausgeschlossen werden
- ▶ Neptun-Szenario erscheint wahrscheinlich, aber Dunkle Materie ist noch nicht direkt beobachtet worden
- ▶ Disput, welches Szenario in der Natur tatsächlich auftritt



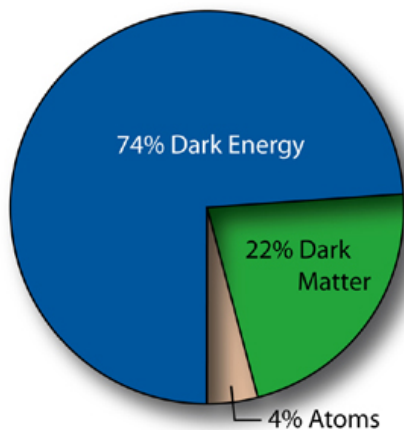
Mögliche Strategien um weiterzukommen:

- ▶ Zeige dass Vulcan-Szenario stimmt (z.B. mit überzeugender Theorie)
- ▶ Zeige dass Neptun-Szenario stimmt (z.B. mit LHC)

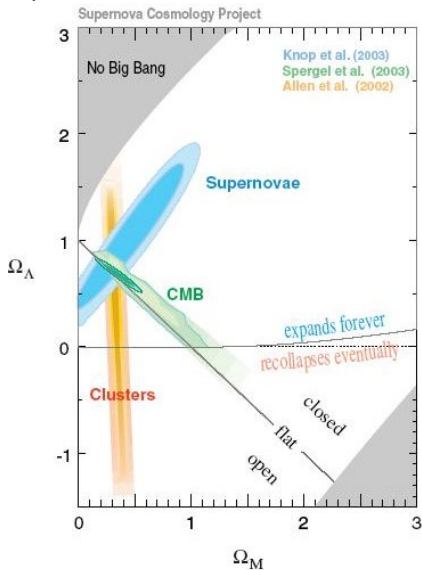
Beide Strategien sind derzeit noch ausser Reichweite!

Standard Model der Kosmologie

Zur Erinnerung:



Experimentelle Daten:





S. Perlmutter



B. Schmidt



A. Riess

Für die Entdeckung der beschleunigten Expansion des Universums

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums
- ▶ Beschleunigte Expansion erzeugt durch “Dunkle Energie”

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums
- ▶ Beschleunigte Expansion erzeugt durch “Dunkle Energie”
- ▶ Einfachste Erklärung Dunkler Energie: kosmologische Konstante, eingeführt von Einstein

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums
- ▶ Beschleunigte Expansion erzeugt durch “Dunkle Energie”
- ▶ Einfachste Erklärung Dunkler Energie: kosmologische Konstante, eingeführt von Einstein
- ▶ Alle experimentellen Daten im Einklang mit der Tatsache, dass etwa 70% der Energie des heutigen Universums “Dunkle Energie” sind

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums
- ▶ Beschleunigte Expansion erzeugt durch “Dunkle Energie”
- ▶ Einfachste Erklärung Dunkler Energie: kosmologische Konstante, eingeführt von Einstein
- ▶ Alle experimentellen Daten im Einklang mit der Tatsache, dass etwa 70% der Energie des heutigen Universums “Dunkle Energie” sind
- ▶ Zum ersten Mal in Geschichte der Kosmologie ergeben alle Daten Sinn

Beschleunigte Expansion des Universums

Fakten:

- ▶ Sterne klein wie Erde aber schwer wie Sonne explodieren: Typ Ia Supernova
- ▶ Typ Ia Supernovae sind “Standardkerzen”, hell wie Galaxien
- ▶ Können mit Teleskopen beobachtet werden
- ▶ Beobachtung von über 50 Supernovae hat gezeigt dass weit entfernte Typ Ia Supernovae schwächer leuchten als erwartet
- ▶ Plausibelste Erklärung: beschleunigte Expansion des Universums
- ▶ Beschleunigte Expansion erzeugt durch “Dunkle Energie”
- ▶ Einfachste Erklärung Dunkler Energie: kosmologische Konstante, eingeführt von Einstein
- ▶ Alle experimentellen Daten im Einklang mit der Tatsache, dass etwa 70% der Energie des heutigen Universums “Dunkle Energie” sind
- ▶ Zum ersten Mal in Geschichte der Kosmologie ergeben alle Daten Sinn
- ▶ Alles geklärt?

Mögliche Auswirkungen der kosmologischen Konstante

Positive kosmologische Konstante hat überraschende Konsequenzen:

- ▶ Universum dünnt sich immer mehr aus

Mögliche Auswirkungen der kosmologischen Konstante

Positive kosmologische Konstante hat überraschende Konsequenzen:

- ▶ Universum dünnt sich immer mehr aus
- ▶ In ferner Zukunft fast gesamte Energie gleich “Dunkler Energie”

Mögliche Auswirkungen der kosmologischen Konstante

Positive kosmologische Konstante hat überraschende Konsequenzen:

- ▶ Universum dünnt sich immer mehr aus
- ▶ In ferner Zukunft fast gesamte Energie gleich “Dunkler Energie”
- ▶ Universum ist instabil und wird irgendwann zerfallen

Mögliche Auswirkungen der kosmologischen Konstante

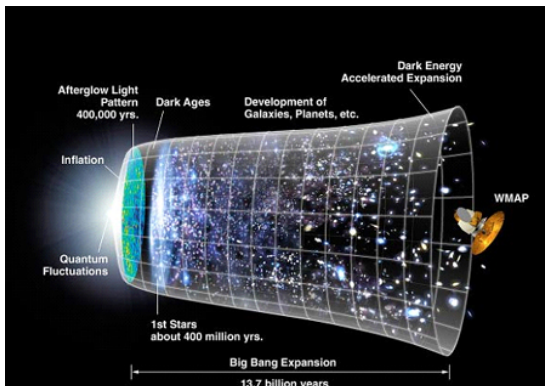
Positive kosmologische Konstante hat überraschende Konsequenzen:

- ▶ Universum dünnt sich immer mehr aus
- ▶ In ferner Zukunft fast gesamte Energie gleich “Dunkler Energie”
- ▶ Universum ist instabil und wird irgendwann zerfallen
- ▶ Kosmologische Konstante unglaublich klein: 10^{-123}

Mögliche Auswirkungen der kosmologischen Konstante

Positive kosmologische Konstante hat überraschende Konsequenzen:

- ▶ Universum dünnt sich immer mehr aus
- ▶ In ferner Zukunft fast gesamte Energie gleich "Dunkler Energie"
- ▶ Universum ist instabil und wird irgendwann zerfallen
- ▶ Kosmologische Konstante unglaublich klein: 10^{-123}
- ▶ Bisher einzige Erklärung der kosmologischen Konstante: Multiversum



Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante

Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist

Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

Mit diesen Argumenten hat Weinberg die richtige Grössenordnung der kosmologischen Konstante vorhergesagt vor ihrer Entdeckung durch Perlmutter, Riess und Schmidt im Jahr 1998

Keine andere ("echte") Erklärung ist davor oder seither gefunden worden, trotz vieler beherzter Versuche

Weinberg's anthropisches Argument

Die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts

Warum ist die kosmologische Konstante so klein?

- ▶ Nehmen wir an es gäbe viele Universen mit verschiedenen Werten der kosmologischen Konstante
- ▶ Wir sind auf jeden Fall in einem der Universen das kompatibel mit der Existenz von Beobachtern ist
- ▶ Deshalb kann die kosmologische Konstante nicht zu gross sein

Mit diesen Argumenten hat Weinberg die richtige Grössenordnung der kosmologischen Konstante vorhergesagt vor ihrer Entdeckung durch Perlmutter, Riess und Schmidt im Jahr 1998

Keine andere ("echte") Erklärung ist davor oder seither gefunden worden, trotz vieler beherzter Versuche

Vielleicht können wir nicht alle Konstanten vorhersagen...

Tatsachen des Lebens:

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden
- ▶ Möglicherweise gibt es keine “bevorzugte” Lösung, und unser Universum ist ein zufälliger Punkt in der Landschaft (konsistent mit unserer Existenz)

Tatsachen des Lebens:

- ▶ Stringtheorie ist die einzige bekannte Theorie die alle Wechselwirkungen beschreibt
- ▶ Stringtheorie benötigt Extra-Dimensionen
- ▶ Stringtheorie hat viele Lösungen (“Landscape” = “Landschaft”)
- ▶ Vom 4-dimensionalen Standpunkt ist jede Lösung eine eigene Theorie, also ist Stringtheorie eine “Theorie der Theorien”
- ▶ Möglicherweise gibt es eine “bevorzugte” Lösung die mit unserem Universum übereinstimmt — keine Lösung dieser Art ist bisher gefunden worden
- ▶ Möglicherweise gibt es keine “bevorzugte” Lösung, und unser Universum ist ein zufälliger Punkt in der Landschaft (konsistent mit unserer Existenz)

Stringtheorie legitimiert anthropische Argumente a la Weinberg

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und “Landskepticism”

Christoph Schönborn, Erzbischof von Wien:

“Now, at the beginning of the 21st century, faced with scientific claims like neo-Darwinism and the multiverse hypothesis in cosmology invented to avoid the overwhelming evidence for purpose and design found in modern science, the Catholic Church will again defend human nature by proclaiming that the immanent design evident in nature is real. Scientific theories that try to explain away the appearance of design as the result of chance and necessity are not scientific at all, but, as John Paul put it, an abdication of human intelligence.”

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und
“Landskepticism”

Bekannter Physiker über anthropische Argumente, vor mehr als 10 Jahren:

“I hate it and it doesn't make sense.”

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und “Landskepticism”

Bekannter Physiker über anthropische Argumente, vor mehr als 10 Jahren:

“I hate it and it doesn't make sense.”

Derselbe Physiker vor weniger als 5 Jahren:

“I hate it.”

Multiversum Idee führte zu stark emotionalen Reaktionen und
“Landskepticism”

Bohemian Gravity (Tim Blais)

<http://www.youtube.com/watch?v=2rjbtsX7twc>



*Caught in the Landscape
Out of touch with reality?*

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

Vergleiche mit folgenden Statement:

Unser Universum ist durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben.
Daher muss jedes Universum durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben werden.

Ist “Landskepticism” eine Wiederholung des anthropozentrischen Fehlers?

Einige bekannte anthropozentrische Fehler:

- ▶ Meine Umgebung ist flach, daher ist die Erde flach
- ▶ Ich bin ein Mensch, daher ist der Mensch die Krone der Schöpfung
- ▶ Wir leben auf der Erde, daher ist die Erde das Zentrum des Sonnensystems
- ▶ Sonne ist wichtig, daher ist die Sonne Zentrum des Universums
- ▶ Wir leben in der Milchstrasse, daher ist die Milchstrasse das Zentrum des Universums

Vergleiche mit folgenden Statement:

Unser Universum ist durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben.
Daher muss jedes Universum durch die Standardmodelle der Teilchenphysik und Kosmologie beschrieben werden.

Es wäre schön wenn das wahr wäre.

Aber vielleicht sollten wir nicht enttäuscht sein, wenn es nicht wahr ist.

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie
- ▶ Wenn aber keine Erklärung dieser Art existiert müssen wir die Realität der “Landscape” akzeptieren

Zusammenfassung

- ▶ Kosmologie ist während der letzten 2 Jahrzehnte eine Präzisionswissenschaft geworden
- ▶ Einige Aspekte der Kosmologie bleiben rätselhaft, z.B. die unerträgliche Leichtigkeit des Nichts, $\Lambda \approx 10^{-123}$
- ▶ Die einzige Erklärung dafür verwendet anthropische Argumente
- ▶ Stringtheorie führt auf natürliche Weise zu einem Multiversum (“Landscape”) und stellt die Basis für anthropische Argumente zur Verfügung
- ▶ Vermutlich wäre jeder glücklich über eine nicht-anthropische Erklärung der kosmologischen Konstante und einer eindeutigen Herleitung der Standardmodelle aus Stringtheorie
- ▶ Wenn aber keine Erklärung dieser Art existiert müssen wir die Realität der “Landscape” akzeptieren

Anzeichen sprechen dafür, dass wir gerade einen Paradigmenwechsel erleben

Schlusswort von Steven Weinberg

‘About the multiverse, it is appropriate to keep an open mind, and opinions among scientists differ widely. In the Austin airport on the way to this meeting I noticed for sale the October issue of a magazine called Astronomy, having on the cover the headline “Why You Live in Multiple Universes.” Inside I found a report of a discussion at a conference at Stanford, at which Martin Rees said that he was sufficiently confident about the multiverse to bet his dog’s life on it, while Andrei Linde said he would bet his own life.’

Schlusswort von Steven Weinberg

'About the multiverse, it is appropriate to keep an open mind, and opinions among scientists differ widely. In the Austin airport on the way to this meeting I noticed for sale the October issue of a magazine called Astronomy, having on the cover the headline "Why You Live in Multiple Universes." Inside I found a report of a discussion at a conference at Stanford, at which Martin Rees said that he was sufficiently confident about the multiverse to bet his dog's life on it, while Andrei Linde said he would bet his own life.'

'As for me, I have just enough confidence about the multiverse to bet the lives of both Andrei Linde and Martin Rees's dog.'

Ich hoffe es hat Ihnen gefallen...



...noch Fragen?

