

Die Grundidee der Landscapes

Patrick Mangat

Referat zur Vorlesung Kosmologie

11. Januar 2012

Überblick

- Motivation hinter den Landscapes
- Kurzer Überblick über die Stringtheorien
- Moduli Stabilisierung
- Landscapes

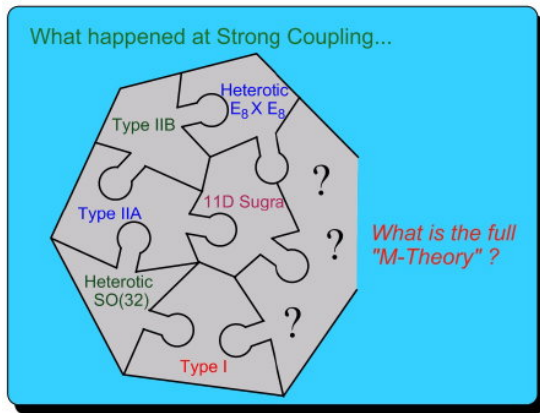
Unbequeme Fragen aus der Theoretischen Physik

- Warum ist $\Lambda > 0$ so extrem klein und nicht Null?
- Warum ist die Gravitationskraft so schwach (Hierarchieproblem)?
- Wie bekommt man einen funktionierenden Inflationsmechanismus hin?
- Oder: Warum ist die Welt so wie sie uns erscheint?

Theorien, die den Anspruch erheben, alle vier Grundkräfte zu beschreiben, sollten Antworten auf diese Fragen haben.

→ Was sagen die Stringtheorien dazu?

Kurzer Überblick über die Stringtheorien



Aus:

<http://asymptotia.com/wp-images/2007/09/Mpuzzlesmall.jpg>

Moduli Stabilisierung

- Einführung von kompaktifizierten Extradimensionen schon vor der Entwicklung der Stringtheorien
 - Kaluza-Klein-Theorie: Vereinheitlichung von Elektromagnetismus und Gravitation in (1+4)D.
- Kompaktifizierungsradius R prinzipiell frei wählbar
 - Moduli Raum: Die Menge aller zulässigen Wahlen des Modulus R
- Problem: R hängt von den Koordinaten der reduzierten (4D) Raumzeit ab, d.h. $R = R(x)$
 - Fluktuationen in R
 - Potential $V(R)$ mit stabilen R (Moduli Stabilisierung)

Moduli Stabilisierung in (1 + 5)D

In einer 6D-Raumzeit können wir zwei kompaktifizierte Dimensionen mit Radius $R(x)$ einbauen:

$$ds^2 = g_{\mu\nu}(x)dx^\mu dx^\nu + R^2(x)\bar{g}_{ab}(y)dy^a dy^b$$

- Daraus lässt sich mit Hilfe der Einsteinschen Feldgleichungen $V(R)$ berechnen.
- Im Folgenden: Heuristische Überlegungen, wie $V(R)$ aussehen muss

Moduli Stabilisierung in $(1 + 5)D$; Potential $V(r)$

- Man erhält Gravitationspotential

$$V(R) = -a_g \frac{\chi}{R^4},$$

$a_g > 0$ Konstante und $\chi = 2 - 2g$ topologische Invariante, g Geschlecht (Kugel: $g = 0$, Torus: $g = 1$, Mannigfaltigkeit mit zwei Löchern $g = 2$, usw.)

→ V hat keine Minima, d.h. noch keine Stabilisierung!

- Stabilisierung durch Kopplung an elektromagnetische Felder möglich:

- Magnet. Fluss auf einem Torus ist quantisiert, d.h. $\Phi = 2\pi n$.

→ $B \sim n/R^2$, pot. Energie $\sim R^2 B^2 \sim n^2/R^2$.

→ Noch Faktor $1/R^4$ dazu: $\sim 1/R^6$

→

$$V(R) = -a_g \frac{\chi}{R^4} + a_f \frac{n^2}{R^6}$$

Moduli Stabilisierung in der Stringtheorie

- Stringtheorien bieten weitere Möglichkeiten für stabilisierende Terme (Orientifolds, D-branes, Flüsse)
- Diese Techniken sind auch nötig, da die einzelnen Typen von Stringtheorien 10D sind.
 - 6D Calabi-Yau-Raum als Kompaktifizierung
 - Stabilisierung durch Flüsse kann Potentiale erzeugen, die von > 100 ganzzahligen Parametern abhängen.

Die Landscape-Idee

- Wieso beobachten wir ausgerechnet $\Lambda_{\text{obs}} = 1,48 \cdot 10^{-123} \Lambda_{\text{P}}$?

Erklärungsansatz mit der Moduli-Stabilisierung:

- $\vec{\phi}$ repräsentiere die Menge aller Moduli; Es gebe J Flüsse mit den Parametern $n_1, \dots, n_J \in \mathbb{Z}$
- Ansatz für das Potential:

$$V(\vec{\phi}) = V_0(\vec{\phi}) + \sum_{i=1}^J m_i(\vec{\phi}) n_i^2$$

- $m_i(\vec{\phi})$ legt die Potentiallandschaft fest
- Für große J ist es sehr schwer, $V'(\vec{\phi}) = 0$ zu berechnen.

Die Landscape-Idee

- Daher folgender Ansatz: Betrachte feste Moduli $\vec{\phi}_0$, betrachte $m_i(\vec{\phi}) \equiv q_i^2$ als konstant, setze $V = \Lambda$, $V_0 = \Lambda_0 < 0$ (typ. in vielen Kompaktifizierungen).
- Wie viele Möglichkeiten gibt es nun,

$$0 \leq \Lambda_0 + \sum_{i=0}^J q_i^2 n_i^2 \lesssim \Lambda_{\text{obs}}$$

zu erreichen?

- B. Zwiebach rechnet vor, dass $q_i \lesssim \sqrt{|\Lambda_0|}$ ausreicht, um viele Möglichkeiten zu schaffen, in die Größenordnung des beobachteten Wertes zu kommen.

Die Landscape-Idee: Zusammenfassung

- Theoretisch gibt es sehr viele Λ 's, auch unrealistisch große („Landschaft“ an Vakuumenergien)
- Landscape-Theorie zeigt, dass $\Lambda = \Lambda_{\text{obs}}$ möglich ist (verlangt diesen Wert aber nicht)!
- Spekulation: Es entstehen (entstanden) dauernd Universen mit allen denkbaren Vakuumwerten.
 - Viele expandieren inflationär oder kollabieren sofort wieder. Aber ein paar Universen könnten ein Expansionsverhalten aufweisen, das unserem ähnelt.
 - Nach Konstruktion brauchen sich Lebewesen (Physiker) nicht über $\Lambda \approx \Lambda_{\text{obs}}$ wundern.
- Kritik: Nicht falsifizierbar, unwissenschaftlich,...

- 1 Susskind, L.: The Cosmic Landscape. String theory and the illusion of intelligent design, Little, Brown and Company, New York, 2005, erste Ausgabe
- 2 Zwiebach, B.: A First Course in String Theory, University Press, Cambridge, 2009, zweite Ausgabe