

## **Auf der Suche nach Neuer Physik**

*von Peter Trüb*

Studium Integrale Journal  
16. Jahrgang / Heft 2 - November 2009  
Seite 81 - 87

*Zusammenfassung:* Viele Untersuchungen, welche am neuen Teilchenbeschleuniger des CERN durchgeführt werden sollen, beschäftigen sich mit der Suche nach Neuer Physik. Das Ziel dieser Studien ist es, Prozesse ausfindig zu machen, welche nicht durch das Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben werden können. Die Motivation für diese Suche liegt zu einem großen Teil darin begründet, dass das gegenwärtig akzeptierte kosmologische Standardmodell nicht ohne Neue Physik auskommt. Wesentliche Bestandteile dieses Modells beruhen auf teilchenphysikalischen Prozessen, welche über das Standardmodell der Teilchenphysik hinausgehen und bislang nicht experimentell nachgewiesen werden konnten. Dieser Artikel legt dar, weshalb das kosmologische Standardmodell auf Neue Physik angewiesen ist und wie gut begründet die vorgeschlagenen Lösungen sind. Anschließend werden einige aktuelle Resultate vorgestellt, welche als mögliche Hinweise auf Physik jenseits des Standardmodells diskutiert werden.

### **Inhalt**

- Einleitung
- Neue Physik im Standardmodell der Kosmologie
- Hinweise auf Neue Physik?
- Beurteilung
- Schlusswort
- Literatur

### ***Einleitung***

In der Teilchenphysik wird der Begriff „Neue Physik“ für Phänomene verwendet, welche nicht durch das Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben werden. Häufig wird dafür auch der präzisere Begriff „Physik jenseits des Standardmodells“ gebraucht. Ein Beispiel für Neue Physik sind Neutrinooszillationen\*, welche laut Standardmodell verboten sind, in der Natur aber beobachtet werden. Um diese erklären zu können, ist allerdings keine komplett neue Theorie, sondern nur eine geringfügige Erweiterung des Standardmodells erforderlich. Abgesehen davon stimmen nahezu alle Beobachtungen mit den Vorhersagen des Standardmodells überein.

Von Seiten der Astronomie und Kosmologie wird Neue Physik postuliert, weil sich einige grundlegende Beobachtungen innerhalb des kosmologischen Standardmodells<sup>1</sup> nicht mit herkömmlicher Teilchenphysik erklären lassen. Ohne Rückgriff auf solche bislang rein spekulative Theorien wäre ein konsistentes Urknallmodell nicht möglich. Angesichts des Ausmaßes an Neuer Physik, welche zur Aufrechterhaltung des kosmologischen Standardmodells benötigt wird, geben selbst manche Kosmologen zu, dass grundlegende Merkmale unseres Universums nicht verstanden sind (z.B. Capistrano 2008, Carroll 2005).

Im ersten Teil dieses Artikels wird dargelegt, aus welchen Gründen das Standardmodell der Kosmologie auf Neue Physik angewiesen ist. Anschließend werden einige aktuelle Beobachtungen vorgestellt, welche als mögliche Hinweise auf Physik jenseits des Standardmodells diskutiert werden. Der Artikel schließt mit einer Beurteilung der Notwendigkeit Neuer Physik aus Sicht der biblischen Schöpfungslehre.

### ***Neue Physik im Standardmodell der Kosmologie***

#### **Inflation**

In einem sehr frühen Stadium soll unser Universum eine als inflationär bezeichnete Periode durchlaufen haben, während derer sich der Kosmos beschleunigt ausdehnte. Innerhalb eines Sekundenbruchteils vervielfachte sich dabei die Größe des Universums um mehr als dreißig Größenordnungen. Ursprünglich wurde diese Phase extrem schneller Ausdehnung eingeführt, um einige Probleme des kosmologischen Standardmodells zu lösen (Guth 1981). Beispielsweise soll damit das sogenannte Horizontproblem gelöst werden. Dieses besteht darin, dass die Temperatur der Kosmischen Hintergrundstrahlung unabhängig von der Himmelsrichtung immer den gleichen Wert besitzt.

---

---

**Ohne Rückgriff auf bislang rein  
spekulative Theorien wäre ein konsistentes Urknallmodell  
nicht möglich.**

---

---

Wegen der ständigen Ausdehnung ist im Urknallmodell ohne Inflation zu wenig Zeit vorhanden, als dass sich ein thermisches

Gleichgewicht zwischen sehr weit entfernten Gebieten hätte einstellen können. Laut der Inflationshypothese ist das heute beobachtbare Universum aus einer ursprünglich sehr kleinen Region entstanden, in welcher sich bereits vor der inflationären Phase ein thermisches Gleichgewicht einstellte. Heutzutage liegt das Interesse an einer Periode inflationärer Ausdehnung vor allem darin begründet, dass damit auch der Ursprung der Struktur des Universums erklärt werden soll. Die heute beobachtbaren Galaxien und Galaxienhaufen sollen sich aus Quantenfluktuationen im frühen Universum entwickelt haben, welche während der inflationären Phase extrem aufgebläht wurden.

Die Verbindung zur Teilchenphysik kommt dadurch zustande, dass als Ursache der Inflation ein Skalarteilchen\* benötigt wird. Da dieses Teilchen bislang nicht identifiziert werden konnte, wird es schlicht als Inflaton bezeichnet. Im Standardmodell der Teilchenphysik existiert nur ein elementares skalares Teilchen, das bislang nicht beobachtete Higgs-Teilchen (Higgs 1964). Dieses Teilchen besitzt allerdings nicht alle notwendigen Eigenschaften, um als Inflaton zu dienen (Liddle 1983). Aus diesem Grunde muss zur Erklärung einer inflationären Phase kurz nach dem Urknall Neue Physik herangezogen

werden. Verschiedene Theorien wie Großvereinheitlichte Theorien\* oder die String-Theorie\* in Zusammenhang mit Supersymmetrie\* enthalten mögliche Inflaton-Kandidaten. Da momentan allerdings völlig unklar ist, durch welche dieser Theorien die Natur am besten beschrieben werden kann, wird meistens mit einem ad hoc eingeführten Inflaton ohne Bezug zu einem konkreten teilchenphysikalischen Modell gearbeitet. In der Hoffnung, später ein passendes Inflaton-Teilchen zu entdecken, können so bereits jetzt verschiedene Aspekte einer inflationären Phase untersucht werden.

## **Dunkle Energie**

Seit etwa zehn Jahren gibt es Hinweise darauf, dass sich das Universum immer schneller ausdehnt. Dies wurde aus der Beobachtung gefolgert, dass stark rotverschobene Supernovae\* weiter von uns entfernt sind als erwartet (Riess 1998). Die beschleunigte Ausdehnung wird auf eine bislang unbeobachtete Energieform zurückgeführt, welche die Ausdehnung des Universums nicht wie die Gravitation abbremst, sondern beschleunigt. Auch die aus der Kosmischen Hintergrundstrahlung bestimmte Raumkrümmung erfordert eine hohe Energiedichte, zu welcher die vorhandene Materiedichte inklusive Dunkler Materie (siehe unten) nur einen Beitrag von 27% liefert (Komatsu 2009). Der restliche, unbekannte Energieanteil wird als „Dunkle Energie“ bezeichnet.

Falls die gemessenen Daten richtig interpretiert werden und die Dunkle Energie die richtige Erklärung für die beschleunigte Ausdehnung ist, so gibt es im Wesentlichen zwei mögliche Modelle, um diese Dunkle Energie zu beschreiben (für eine Einführung siehe z.B. Carroll 2005). Die erste mögliche Erklärung besagt, dass die Dunkle Energie durch eine „Kosmologische Konstante“ beschrieben werden kann. Eine solche Konstante wurde ursprünglich von Einstein in seiner Allgemeinen Relativitätstheorie eingeführt, um ein statisches Universum zu ermöglichen und beschreibt die Energiedichte des Vakuums. Diese Erklärung benötigt grundsätzlich keine Neue Physik, doch besteht das Problem, dass der von der Quantenfeldtheorie vorhergesagte Wert der Konstante um sagenhafte 120 Größenordnungen zu groß ist (Weinberg 1989)! Diese riesige Diskrepanz stellt eines der größten ungelösten Probleme der Physik dar, wobei die angegebene Abweichung von 120 Größenordnungen allerdings keine exakt berechenbare Größe ist. Hier könnte Neue Physik wie beispielsweise Supersymmetrie helfen, um den berechneten Wert näher an den beobachteten Wert heran zu bringen. In String-Theorien ist es zudem möglich, dass die Energiedichte des Vakuums in verschiedenen Teilen des Universums unterschiedliche Werte annehmen kann. Eventuell leben wir rein zufällig in einer Gegend, in welcher die Vakuumsenergie unglaublich klein ist (Susskind 2005). Die zweite Möglichkeit besteht darin, dass die beschleunigte Expansion wie die inflationäre Phase durch ein „Quintessenz“ genanntes, skalares Feld hervorgerufen wird (Ratra 1988). Die Teilchen eines solchen Feldes sollten sehr leicht sein, weshalb das Higgs-Feld des Standardmodells nicht als möglicher Kandidat in Frage kommt. Das bedeutet, dass auch für diese Möglichkeit Neue Physik benötigt wird, doch gibt es bislang keine überzeugenden Vorschläge für konkrete Quintessenz-Kandidaten. Deshalb wird auch in diesem Fall mit rein phänomenologischen Ansätzen gearbeitet. Wie bei der ersten Möglichkeit besteht auch hier die Schwierigkeit darin, erklären zu können, weshalb die Vakuumsenergie im Vergleich zum Beitrag des Skalarfelds vernachlässigbar klein sein soll. Interessant sind auch Versuche, die Neue Physik, welche für die drei verschiedenen Problemkreise Inflation, Dunkle Energie und Dunkle Materie (siehe unten) benötigt wird, auf ein einziges skalares Feld zurück zu führen (Liddle 2008).

## Dunkle Materie

Die Hinweise auf die Existenz Dunkler Materie, welche nicht über ihre elektromagnetische Strahlung nachgewiesen werden kann, sind sehr vielfältig (z.B. Rees 2003). Dazu gehören astronomische Beobachtungen wie die Bewegung von Galaxien innerhalb von Galaxienhaufen oder die Rotationskurven von Galaxien. Ohne eine zusätzliche Materiekomponente wären diese Strukturen über lange Zeiträume nicht stabil und würden auseinanderfallen. Auf kosmologischer Ebene wird Dunkle Materie benötigt, um das Ausmaß der beobachteten Anisotropien\* der Kosmischen Hintergrundstrahlung erklären zu können. Aus dem gemessenen Spektrum schließt man, dass ein Großteil der Materie schwächer mit Licht wechselwirken muss, als dies die uns bekannte atomar aufgebaute Materie tut. Auch die Entstehung kosmischer Strukturen und Galaxien im Konkordanz-Modell kommt nicht ohne Dunkle Materie aus. Erst durch deren Einfluss ist es denkbar, dass sich die Materie genügend abkühlte, um Sterne und Galaxien zu formen. Ein vom zugrunde gelegten kosmologischen Modell praktisch unabhängiger Hinweis auf Dunkle Materie liefern Gravitationslinsen. Aufgrund der gemessenen Lichtablenkung an massiven astronomischen Objekten kann deren Masse bestimmt werden. Auch hier übersteigen die benötigten Materievorkommen den Beitrag der leuchtenden Materie.

Im Zusammenhang mit der Frage nach Neuer Physik ist es wichtig, zwischen baryonischer\* und nicht-baryonischer Dunkler Materie zu unterscheiden. Baryonische Dunkle Materie besteht aus Protonen, Neutronen und Elektronen, welche hervorragend durch das Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben werden. Im kosmologischen Standardmodell wird aus der primordialen Nukleosynthese\* und der Kosmischen Hintergrundstrahlung abgeleitet, dass nur ein Sechstel der gesamten Materie baryonischer Natur sein kann (Komatsu 2009). Im Standardmodell der Teilchenphysik kommt als nicht-baryonische Dunkle Materie nur das Neutrino in Frage. Dieses kann allerdings keinen wesentlichen Beitrag ausmachen, da es nicht den gewünschten Einfluss auf die Strukturbildung hat (Komatsu 2009). Daraus folgt, dass die Dunkle Materie größtenteils aus einer bislang unbekanntem Materieform bestehen muss. Theorien, welche über das Standardmodell der Teilchenphysik herausgehen, beinhalten neue Elementarteilchen, aus welchen die Dunkle Materie aufgebaut sein könnten. Diese Teilchen tragen Namen wie Neutralinos, Gravitinos, Axionen oder Kaluza-Klein Teilchen (Steffen 2009). Zahlreiche Experimente versuchen, solche bislang unbekanntem Teilchen durch direkte oder indirekte Methoden nachzuweisen, doch konnten bisher keine eindeutigen Resultate verbucht werden.

### *Glossar*

(die im Artikel mit \* gekennzeichneten Begriffe werden hier erklärt)

**Anisotropie:** Ungleichförmigkeit in Bezug auf die Richtung. **Baryon:** Aus drei Quarks aufgebautes Elementarteilchen. Prominenteste Beispiele sind das Proton und das Neutron. **GeV:** Giga-Elektronenvolt, gebräuchliche Energieeinheit in der Teilchenphysik. **Großvereinheitlichte Theorien:** Theorien, welche die elektromagnetische, die schwache sowie die starke Kernkraft bei hohen Energien auf eine einzige Kraft zurückführen. **Meson:** Aus zwei Quarks bestehendes Elementarteilchen. **Neutrino:** Schwach wechselwirkendes Elementarteilchen.

**Neutrinooszillationen:** Spontane Umwandlungen zwischen verschiedenen Neutrinosorten. **Positron:** Antiteilchen des Elektrons. **J/Ψ:** Meson bestehend aus einem Charm und einem Anti-Charm Quark. **keV:** Kilo-Elektronenvolt, gebräuchliche Energieeinheit in der Teilchenphysik. **Φ:** Meson bestehend aus einem Strange und einem Anti-Strange Quark. **Primordiale Nukleosynthese:** Entstehung der (chemischen) Elemente im frühen Universum. **Quark:** Stark wechselwirkendes Elementarteilchen. Bausteine der Protonen und Neutronen. Bisher sind folgende Quarktypen bekannt: u (up), d (down), c (charm), s (strange), t (top), b (beauty). **Skalarteilchen:** Teilchen ohne Spin. Quantenmechanische Eigenschaft eines Elementarteilchens vergleichbar mit einem inneren Drehimpuls. **String-Theorie:** Beschreibt Elementarteilchen nicht als punktförmige Teilchen sondern als eindimensionale Objekte („Strings“). **Supernova:** Helles Aufleuchten eines Sterns durch dessen Explosion. **Supersymmetrie:** Symmetrie zwischen Teilchen mit halbzahligem und ganzzahligem Spin. **Szintillationslicht:** Von angeregten Festkörpern ausgesandtes Licht.

## **Baryonenasymmetrie**

Die ungelösten Fragen im Zusammenhang mit der Entstehung der beobachteten Materie-Antimaterie Asymmetrie wurden bereits ausführlich in einem früheren Artikel besprochen (Trüb 2006). Das Problem besteht darin, dass nach derzeitigem Wissen alle stabile Materie in unserem Universum aus Protonen, Neutronen und Elektronen, nicht aber den entsprechenden Antiteilchen aufgebaut ist. Da bei den bekannten teilchenphysikalischen Prozessen bis auf winzige Abweichungen immer gleich viel Materie und Antimaterie entsteht, ist unklar, wie im kosmologischen Standardmodell die heute beobachtete Materiedominanz entstehen konnte.

Das Standardmodell der Teilchenphysik beinhaltet alle notwendigen Voraussetzungen, um die beobachtete Asymmetrie prinzipiell erklären zu können. Eine quantitative Analyse im Rahmen des kosmologischen Standardmodells zeigt jedoch, dass die heute bekannten, extrem kleinen Unterschiede im Verhalten von Materie und Antimaterie nicht ausreichen, um das Ausmaß der Asymmetrie erzeugen zu können (Bernreuther 2002). Nach der Lektüre der letzten drei Abschnitte wird der vorgeschlagene Ausweg den Leser nicht weiter überraschen: Neue Physik! Auch die Theorien, welche Möglichkeiten zur Erklärung dieses Problems beinhalten, wurden bereits genannt: Supersymmetrie, Großvereinheitlichte Theorien, String-Theorie. All diese Theorien beinhalten das Potential, das Problem der Baryonenasymmetrie lösen zu können. Doch erst wenn klar werden wird, welche Erweiterung des Standardmodells der Natur entspricht und deren freie Parameter bestimmt sind, kann definitiv gesagt werden, ob die entsprechende Theorie auch in der Lage ist, die beobachtete Materiedominanz innerhalb des kosmologischen Standardmodells quantitativ erklären zu können.

## **Zusammenfassung**

Innerhalb des kosmologischen Standardmodells sind etliche Beobachtungen nicht mit dem bisherigen experimentell überprüften Wissen über die Elementarteilchen und deren Wechselwirkungen erklärbar. Davon betroffen sind keineswegs nur unbedeutende

Detailfragen, sondern zentrale Bestandteile des Modells. Dies lässt sich beispielsweise daran erkennen, dass die Dunkle Materie und die Dunkle Energie zusammen 96 Prozent der Energie unseres Universums ausmachen sollen. Vertreter des Konkordanz-Modells gehen davon aus, dass die dargestellten offenen Fragen durch Neue Physik erklärt werden können. Dass Neue Physik in irgendeiner Form existieren muss, ist unbestritten. Dies folgt aus der Unvereinbarkeit des Standardmodells der Teilchenphysik und der Allgemeinen Relativitätstheorie. Spätestens bei Energien in der Nähe der Planck-Skala muss das Standardmodell durch eine neue Theorie erweitert werden. Ob zukünftige Entdeckungen auf dem Gebiet der Teilchenphysik jedoch alle offenen Fragen des Urknallmodells wie gewünscht lösen werden, steht auf einem anderen Blatt.

Je nach Problemstellung fallen die Lösungsvorschläge mehr oder weniger spekulativ aus. Als am wenigsten spekulativ muss sicher das Konzept der Dunklen Materie angesehen werden. Deren Existenz wird durch mehrere Beobachtungen nahe gelegt, wovon einige wie erwähnt unabhängig vom zugrunde gelegten kosmologischen Modell sind. Auch in Bezug auf die Überprüfbarkeit schneidet die Dunkle Materie am besten ab, da diese durch geeignete Methoden im Labor direkt nachgewiesen werden könnte. Die Existenz der Baryonenasymmetrie gilt als gesichert, auch sind die zu deren Entstehung prinzipiell notwendigen physikalischen Prozesse bereits beobachtet worden. Das Ausmaß der Asymmetrie kann jedoch momentan nicht erklärt werden. Allenfalls könnte diese Frage durch zukünftige Beschleunigerexperimente beantwortet werden. Die beschleunigte Ausdehnung unseres Universums ist ebenfalls gut etabliert, auch wenn einzelne Kosmologen andere Erklärungsmöglichkeiten für die beobachteten Phänomene vertreten (z.B. Mattsson 2007). Als völlig offen muss die Frage nach deren Ursache gelten. Die Überprüfbarkeit der vorgeschlagenen Lösungen wird sehr schwierig sein, da sich die vorgeschlagenen Effekte jeweils nur auf sehr großen räumlichen Skalen auswirken. Am spekulativsten ist sicher die Postulierung einer inflationären Phase. Eine direkte Überprüfung der Physik bei derart hohen Energien wird kaum je möglich sein.