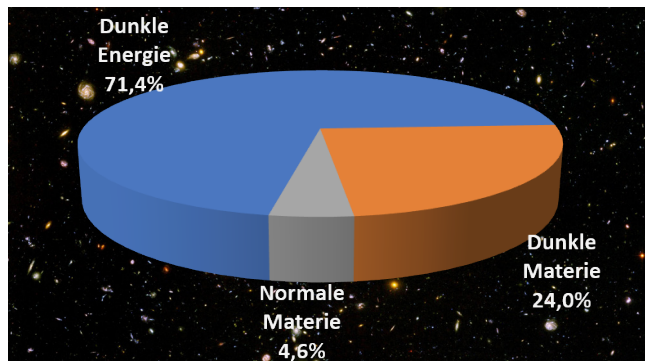




Kollisionen der dunklen Materie mit Atomen in ultrasensitiven Detektoren wie etwa XENONnT geschehen, oder durch ihre Erzeugung am LHC. Das Zusammenspiel zwischen theoretischer Motivation der Kandidaten in Modellen jenseits des Standardmodells, ihren Einschränkungen aus verschiedenen experimentellen Nachweismethoden, und den Mechanismen sie im frühen Universum in geeigneter Zahl zu produzieren, wird detailliert untersucht.

Die Dunkle Energie – ein großes Mysterium

Die Dunkle Energie, die mit ca. 71,4% den größten Anteil des Universums ausmacht, gehört zu den größten unverstandenen Themen der Physik. Während alle normalen Materieformen die Expansion des Universums abbremsen, führt nur sie zur beobachteten beschleunigten Expansion. In der Standardkosmologie entspricht der Dunklen Energie eine kosmologische Konstante und schon da stellt sich die Frage, warum sie einen so speziellen Wert hat. Noch mysteriöser wird es quantenmechanisch, weil die erwartete Nullpunktsenergie um sehr viele Größenordnungen über dem beobachteten Wert liegen sollte. Der Ursprung dieses mysteriösen Phänomens ist noch weitgehend unverstanden, aber es gibt interessante Erklärungsversuche, in denen die Dunkle Energie mit speziellen Skalarfeldern und deren Dynamik in Verbindung gebracht wird.



Zusammensetzung des Universums nach den Daten des Satelliten WMAP. Dahinter Galaxien des Hubble ultra deep field.

Titel: Methoden zum Nachweis Dunkler Materie: direkt durch Kollision mit Materie in Detektoren, indirekt durch astrophysikalische Beobachtung ihrer Zerfalls- oder Annihilationsprodukte, und Produktion an Beschleunigern. Hintergrund: Millenium-Simulation (MPI für Astrophysik).

Ansprechpartner:

Prof. Dr. Dr.h.c. Manfred Lindner

Tel: 06221 516800

E-Mail: manfred.lindner@mpi-hd.mpg.de

Dr. Werner Rodejohann

Tel: 06221 516824

E-Mail: werner.rodejohann@mpi-hd.mpg.de



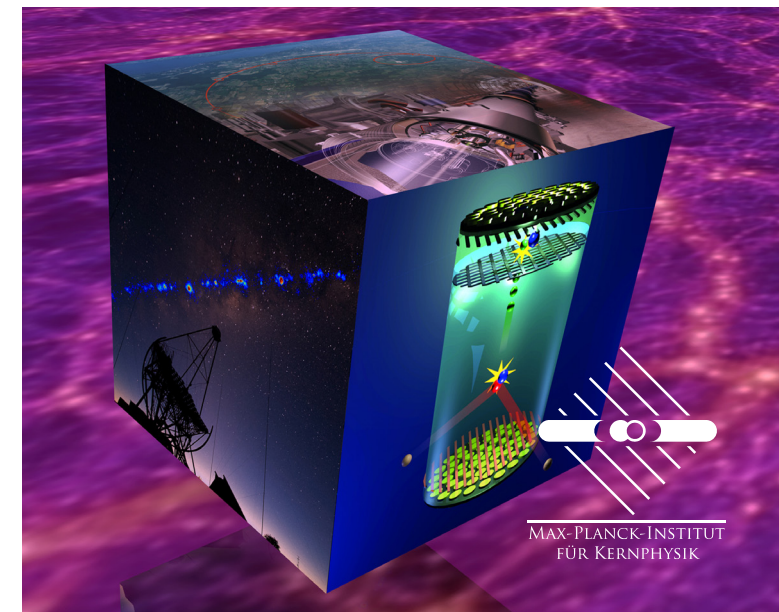
Saupfercheckweg 1
69117 Heidelberg

www.mpi-hd.mpg.de



Das Max-Planck-Institut für Kernphysik (MPIK) ist eines von 86 Instituten und Forschungseinrichtungen der Max-Planck-Gesellschaft. Das MPIK betreibt experimentelle und theoretische Grundlagenforschung auf den Gebieten der Astroteilchenphysik und der Quantendynamik.

Theoretische Astroteilchenphysik und Kosmologie



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR KERNPHYSIK

Theoretische Astroteilchenphysik und Kosmologie

Brückenschlag zwischen Teilchenphysik und Astrophysik

Die moderne theoretische Physik zeigt uns, dass das Verhalten der Elementarteilchen auf kleinsten Skalen und die Entwicklung des Universums im Großen untrennbar verbunden sind. Diese faszinierenden Zusammenhänge sind das Forschungsthema der Astroteilchenphysik und der Kosmologie. Einerseits sind genaue Kenntnisse über teilchenphysikalische Prozesse nötig, um die Entwicklung des frühen Universums zu verstehen. Andererseits erlauben astrophysikalische und kosmologische Beobachtungen interessante Rückschlüsse auf die Eigenschaften der Elementarteilchen.

Ein Blick zurück zu den Anfängen des Universums

Die Sterne, Planeten und Galaxien, die unser heutiges Universum ausmachen, sind ursprünglich aus einem heißen, weitgehend gleichförmigen Elementarteilchenplasma entstanden. Im Laufe seiner Entwicklung hat sich das Universum beständig ausgedehnt, wodurch das Plasma abkühlte und verschiedene „Phasenübergänge“ durchlief. So entstanden ca. 300 000 Jahre nach dem Urknall die ersten Atome, indem Atomkerne und Elektronen eine Bindung eingingen. In einer noch früheren Phase, wenige Sekunden nach dem Urknall, konnten selbst Atomkerne noch nicht existieren. Stattdessen lagen ihre Bestandteile – Protonen und Neutronen – als freie, ungebundene Teilchen vor. Doch auch diese bildeten sich erst ca. eine millionstel Sekunde nach dem Urknall aus noch fundamentalen Bestandteilen, den Quarks.

Heutige Modellrechnungen können die Entwicklung des Universums bis zu einer milliardstel Sekunde nach dem Urknall zuverlässig zurückverfolgen, doch es gibt zahlreiche Versuche, noch weiter vorzudringen – bis hin zu Epochen, die weniger als 10^{-43} Sekunden nach dem Urknall liegen.

Ein komplett neues Fenster in früheste Epochen und fernste Ereignisse des Universums wurde durch die Entdeckung der Gravitationswellen geöffnet. Ihre Beobachtung erlaubt eine Vielzahl von kosmologischen und teilchenphysikalischen Modellen zu testen.

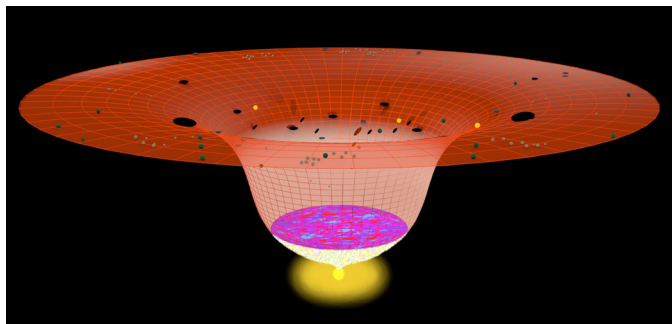


Illustration der beschleunigten Expansion des Universums. Der kosmische Mikrowellenhintergrund (pink/blau) zeugt vom Ende der auf den Urknall folgenden inflationären Expansion.

Neutrinos in Astrophysik und Kosmologie

Neutrinos ermöglichen durch ihre einzigartigen Eigenschaften Einblicke in ansonsten nicht zugängliche Bereiche. Zum Beispiel werden sie in bestimmten Sternexplosionen in großer Zahl erzeugt und beeinflussen dadurch sowohl den Verlauf dieser „Supernova“, als auch ihre Umwandlung untereinander. Eine Beobachtung dieser Neutrinos kann wertvolle Hinweise auf die noch unbekanntene Neutrinoeigenschaften geben.

Da Neutrinos in großer Zahl im Universum vorkommen, können sie trotz ihrer kleinen Masse Konsequenzen für die Entwicklung des Kosmos haben. Dies betrifft die Erzeugung der Elemente des Periodensystems im frühen Universums, oder die heute beobachtbare Verteilung der Galaxien.

Zusätzliche „sterile“ Neutrinos, welche noch viel schwächer mit anderen Teilchen wechselwirken und in vielen Theorien jenseits des Standardmodells vorkommen, haben noch fundamentalere Auswirkungen. Sie wären im Urknall in großer Zahl produziert worden; da sie jedoch instabil sind, zerfallen sie unmittelbar. Dabei besteht die Möglichkeit, dass mehr Materie als Antimaterie entsteht. Dieser Mechanismus heißt „Leptogenese“; dadurch würde eines der größten Rätsel der Physik gelöst, nämlich warum es einen kleinen Überschuss an Materie gegeben hat. Interessanterweise können dieselben sterilen Neutrinos die Kleinheit der beobachteten Neutrinomassen erklären.

Neben dem Mechanismus der Leptogenese gibt es noch weitere Möglichkeiten, eine Materie-Antimaterie-Asymmetrie zu erzeugen. Die Erklärungen reichen von Theorien der großen Vereinheitlichung bei extrem hohen Energien bis zur Existenz neuer Teilchen die an Beschleunigern zugänglich sind.

Dunkle Materie

Aus astrophysikalischen und kosmologischen Beobachtungen wissen wir, dass das Universum nur zu ca. 4,6% aus den uns bekannten Elementarteilchensorten bestehen kann. Den Rest machen die Dunkle Materie (ca. 24%) und die Dunkle Energie (ca. 71,4%) aus. Dunkle Materie besteht sehr wahrscheinlich aus bislang unbekanntenen Sorten von Elementarteilchen. Die Entwicklung von teilchenphysikalischen Modellen, die eine Erklärung für die Existenz Dunkler Materie liefern und die Berechnung ihrer Eigenschaften erlauben, stellt eine große Herausforderung für die theoretische Teilchenphysik dar. Viele verschiedene Modelle werden zur Zeit untersucht. So könnte z. B. das leichteste der zuvor erwähnten sterilen Neutrinos die Dunkle Materie sein. Darüber hinaus sind sogenannte „Weakly Interacting Massive Particles“ (WIMPs), die in vielen Erweiterungen des Standardmodells der Teilchenphysik enthalten sind, attraktive Kandidaten. Weitere Kandidaten sind Axionen, leichte Elementarteilchen, die in Theorien vorkommen, welche ein bestimmtes Problem der starken Wechselwirkung lösen.

Alle Kandidaten unterscheiden sich durch den Produktionsmechanismus im frühen Universum, und ihren möglichen Nachweis. Dies kann z. B. durch Beobachtung von



Theorien zur Erklärung der Dunklen Materie: (im Uhrzeigersinn) schwache Wechselwirkung, Neutrinos, leichte Bosonen, andere Teilchen, Gravitation und makroskopische Objekte.