

Kosmologie: Dunkle Materie und Dunkle Energie

Recap: Kosmologie

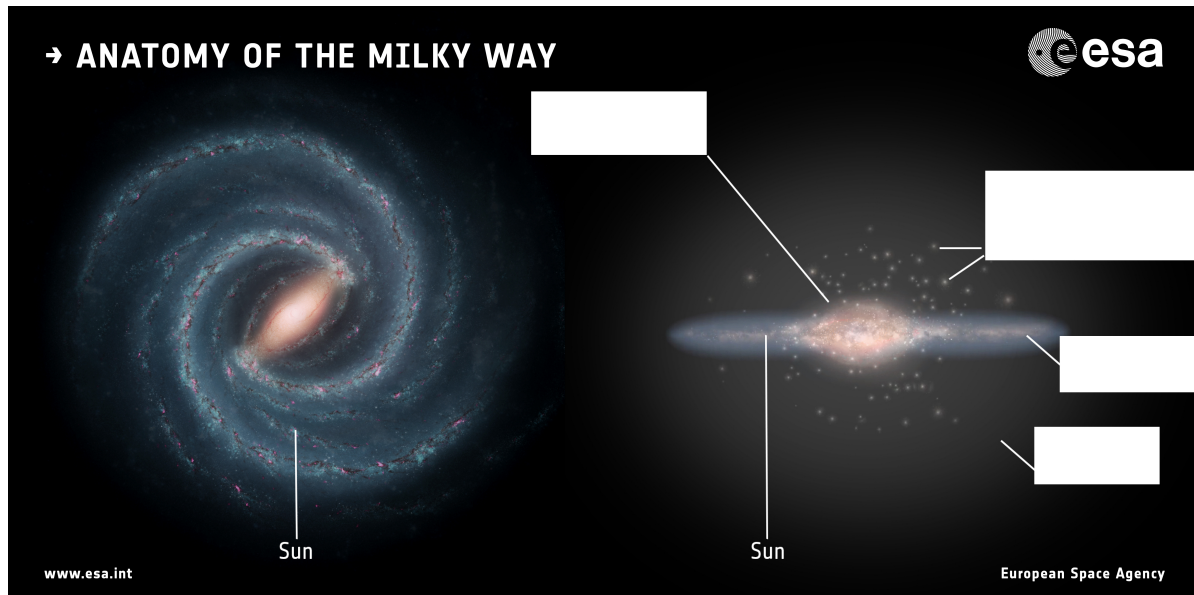
Was ist Kosmologie? Mit was beschäftigt sie sich? Schreibe einige wichtige Punkte auf:

- _____
- _____
- _____
- _____

1 Dunkle Materie

Das erste Mal wurde der Begriff «Dunkle Materie» im Jahr ____ von *Jan Hendrik Oort* (→_____) geprägt, als er die Rotationsgeschwindigkeit von Sternen in der Milchstrasse beobachtete. Dabei fand er Folgendes heraus: Die Rotationsgeschwindigkeit der Sterne am äusseren Rand der Milchstrasse war deutlich _____ als berechnet.

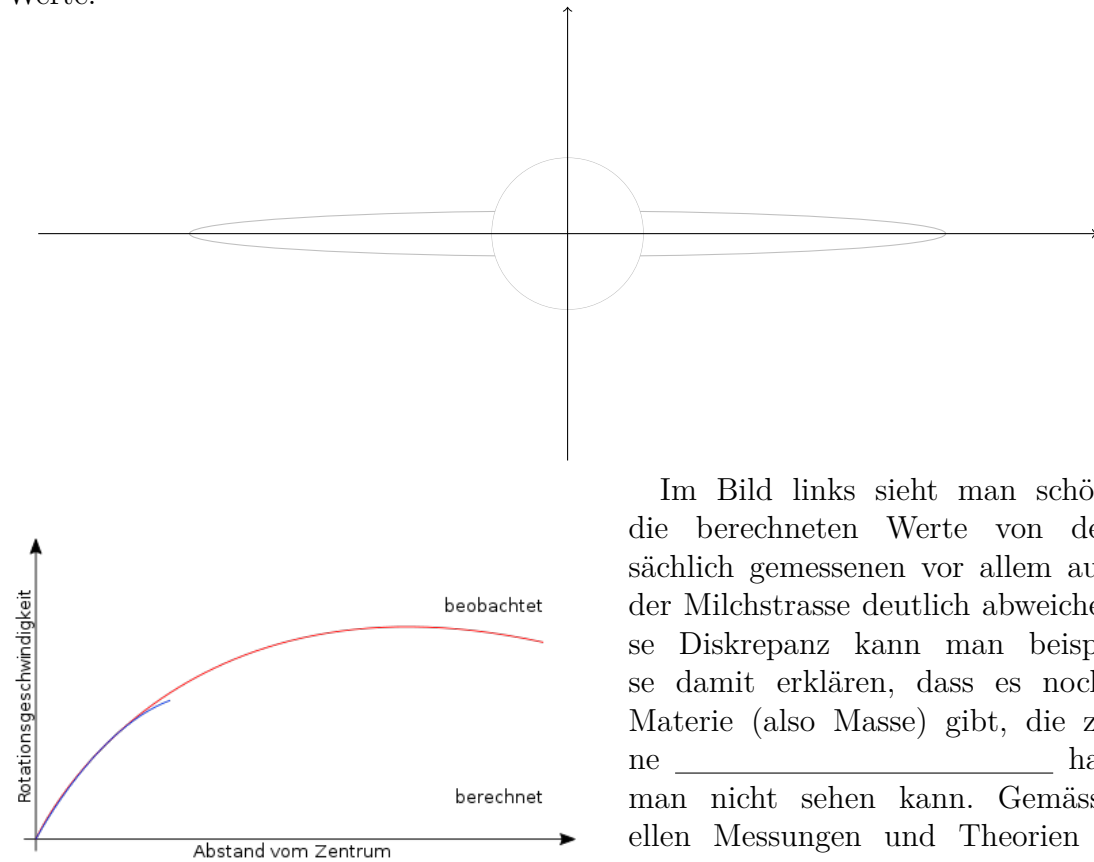
Berechnen kann man die Rotationsgeschwindigkeit mit der _____.



Ausserhalb des _____ kann man die Formel unverändert anwenden, da man annimmt, dass sich (fast) die gesamte _____ der Milchstrasse innerhalb befindet.

Im _____ muss man die Formel folgendermassen anpassen, damit man nur die Masse innerhalb der Sternbahn berücksichtigt, da gleich verteilte Massen ausserhalb

der Bahn keinen Einfluss haben. Nach viel Mathe und Physik kommt man auf folgende Werte:



Im Bild links sieht man schön, dass die berechneten Werte von den tatsächlich gemessenen vor allem aussen in der Milchstrasse deutlich abweichen. Diese Diskrepanz kann man beispielsweise damit erklären, dass es noch mehr Materie (also Masse) gibt, die zwar eine _____ hat, aber man nicht sehen kann. Gemäss aktuellen Messungen und Theorien ist die dunkle Materie einer Galaxie relativ gleichmässig verteilt, jedoch nicht nur in

der _____, sondern im gesamten _____.

Neben der Dunklen Materie gibt es noch andere Theorien, die die Geschwindigkeitsunterschiede versuchen zu erklären:

- _____ (**M**odified **N**ewtonian **D**ynamics)
- _____ (**T**ensor **V**ector **S**calar Gravitation)
- _____ (**S**calar **T**ensor **V**ector **G**ravitation)
- Entropische Gravitation

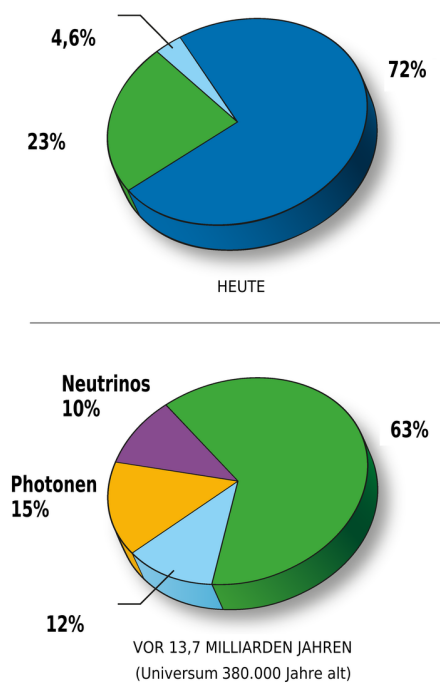
Diese sind aber allesamt deutlich weniger bekannt, erforscht und anerkannt als die Dunkle Materie.

Die Natur der dunklen Materie selbst (Aufbau, Wechselwirkungen, Entwicklung) ist hingegen noch weitgehend unbekannt und Gegenstand aktueller Forschung. Die wichtigsten möglichen Formen sind die folgenden:

- Baryonisch
 - Kaltes Gas
 - Kalte Staubwolken
 - _____ (Massive Astrophysical Compact Halo Objects)
- Nichtbaryonisch
 - Anapole Majorana-Fermionen
 - _____ (Hot Dark Matter)
 - CDM (Cold Dark Matter), WIMPs (Weakly Interacting Massive Particles)
 - _____ (Self-Interacting Dark Matter)
 - Axionen
 - _____ (Highly Interactive Particle Relics)

2 Dunkle Energie

Die Dunkle Energie hat trotz ihres Namens nichts mit der Dunklen Materie zu tun (bis auf die Tatsache, dass wir bei beiden noch nicht wirklich wissen, um was es sich tatsächlich handelt).



Der Begriff der «Dunklen Energie» wurde im Jahr ____ von *Michael S. Turner* geprägt.

Schon seit der Zeit von *Edwin* _____ (um ____) wusste man, dass sich Galaxien im Allgemeinen _____ bzw. sich das Universum _____. Später scheinen Beobachtungsdaten jedoch nahelegen, dass dieser Prozess seit einigen Milliarden Jahren _____ verläuft, also immer schneller bzw. stärker wird. Dies widerspricht den Erwartungen aufgrund der _____, da diese alles zusammenzieht und man deshalb erwarten würde, dass der Prozess mit der Zeit nicht schneller, sondern langsamer wird.

Um dies zu erklären, «erfand» man die Dunkle Energie. Bis heute weiss man aber nicht, woher diese kommt, wie genau sie sich verhält, wie (falls überhaupt) sie sich mit der Zeit verändert oder wie genau sie «zusammengesetzt» ist. Trotzdem versuchen Kosmologen, mehr über die Dunkle Energie herauszufinden.

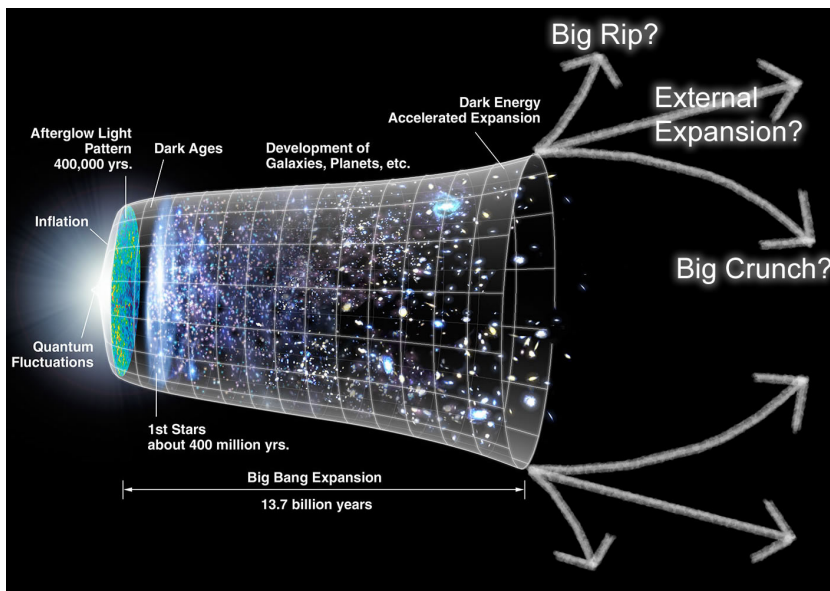
Es gibt jedoch einige Theorien zur Natur der Dunklen Energie:

- Kosmologische Konstante Λ
- Vakuumenergie des «leeren Raumes» (aus Quantenfeldtheorie)
- Quantenfluktuationen
- Zeitlich veränderliches Skalarfeld (Quintessenz)
- _____ (**Generic Objects of Dark Energy**), quasi Schwarze Löcher aus dunkler Energie

Die Kosmologische Konstante Λ ist dabei bei weitem die verbreitetste und am meisten akzeptierte Methode, die Dunkle Energie zu erklären. Zusammen mit der CDM (Cold Dark Matter) bildet sie das heute sehr wichtige Modell des Universums, das aber immer noch Gegenstand aktueller Forschung ist und ständig angezweifelt wird: das sogenannte Λ CDM-Modell.

Ein fundamental anderer und sehr aktueller Erklärungsversuch hat mit dem sogenannten «Great Attractor» zu tun:

Der Great Attractor ist ein hypothetisches, sehr massereiches (_____ Sonnenmassen) Objekt, das alles in unserer kosmischen Nachbarschaft (vor allem die Milchstrasse, die _____-Galaxie und die anderen kleineren Galaxien in unserer Umgebung, aber auch alle anderen Galaxien im Laniakea-Superhaufen) anzieht. Da er von uns aus gesehen im Moment genau hinter dem Zentrum der Milchstrasse liegt, können wir ihn nicht genauer erforschen (dies wird noch etwa _____ Jahre so sein).



Die Theorie besagt im Wesentlichen, dass die Messungen des sich beschleunigt ausdehnenden Universums nur eine «Illusion» sind, und tatsächlich von unserer eigenen beschleunigten Bewegung in Richtung Great Attractor herrühren.

Stand Oktober 2023 waren die Forschungsarbeiten dieser Theorie mit circa 3.5 Sigma simulierbar (ab 5 Sigma spricht man von statistischer Relevanz).