

Äther und dunkle Energie

1998 gilt als das Jahr, in dem die dunkle Energie als notwendiger Bestandteil des Universums gefunden wurde. Was wurde gefunden? Warum blieb diese dunkle Energie so lange unsichtbar? Ist sie der Äther, gegen den Einstein die Relativitätstheorie konstruiert hat? Woraus besteht sie? Warum gibt es sie?

Die Sterne, die wir mit bloßem Auge sehen, und die Sterne und Galaxien, die mit immer größeren Telesopen sichtbar werden, sind nicht alles was uns im Universum umgibt. Jenseits des mit dem Auge sichtbaren Wellenlängenbereichs strahlen Radiogalaxien, Quasare, Röntgenquellen und anderes. Außerdem ist alles eingebettet in ein ziemlich homogenes Strahlungsfeld, das der ausgedünnte und ausgekühlte unscheinbare Rest eines Strahlungsfeldes ist, in dem sich in der Frühgeschichte des Universums alle andere Materie verlor. All diese Materie identifizieren wir an ihrer elektromagnetischen Strahlung. Warum sollte das alles sein?

Diese Frage wird selten gestellt, ganz im Gegenteil, solange es keine Hinweise gibt, werden positive Antworten immer belächelt. Jedoch hat jede Verbesserung unserer Beobachtungs- oder Experimentiermöglichkeiten Neues und Unerwartetes offenbart. Wir kennen die Geschichte der Entdeckung der Sonnenflecken, der Monde des Jupiter und schließlich auch auch des Uranus. So viele Argumente gab es, weshalb es nur 7 Wandelsterne sein sollten, sie waren falsch, weil sie unbegründete Voraussetzungen benutzten. Womit kann eine Voraussetzung begründet werden? Natürlich durch erfolgreiche Prüfung vorausgegangener Schlüsse. Das Newtonsche Gravitationsgesetz ist so eine Voraussetzung, weil es die Bewegung der Planeten erklären konnte.

Erklärt es auch die Bahn des Uranus? Wenn man mit der Genauigkeit hinsieht, die in der Antike erreichbar war, schon, aber wenn man genauer hinsieht, gibt es kleine Fehler. Liegt der Fehler am Newtonschen Gravitationsgesetz? Wenn man der Newtonschen Mechanik weiter vertraut, können es nur noch nicht gesehene weitere Planeten sein, deren Schwerkraftwirkung sich in den Fehlern der Uranusbahn bemerkbar macht. Die Annahme eines Planeten hat gereicht, der Neptun wurde errechnet und danach gefunden.

Wieder darf man nicht schließen, dass dieses Vorgehen alternativlos ist. Wir denken hier an die Bahn des Merkur, die eine stationäre Kepler-Ellipse wäre, wenn nicht die anderen Planeten seine Bahn störten und speziell drehen. 50 Bogensekunden pro Jahr werden beobachtet und durch die bekannten Planeten erklärt — bis auf 43 Bogensekunden pro Jahrhundert, die übrig bleiben. Ist das die Wirkung eines bislang ungesehenen Planeten innerhalb der Merkurbahn? Man hat nichts Prüfbares gefunden.

Die Lösung fand sich in der durch Einstein gefundenen Verfeinerung der Gravitationstheorie. Einstein suchte etwas anderes, prinzipielleres. Er wollte eine Gravitationstheorie konstruieren, die mit der Relativitätstheorie zusammenpasste. Relativitätstheorie ist ein einschüchterndes Wort, es geht schlicht um die inzwischen so hervorragend gestützte Annahme, dass die Lichtgeschwindigkeit sich nicht verändert, wenn man sich zu bewegen beginnt. Licht, das die Erde überholt, ist ebenso schnell wie das Licht, das der Erde entgegenkommt, unabhängig von der Bewegungsrichtung der Erde, die sich im Laufe des Jahres ändert. Einstein fand die Allgemeine Relativitätstheorie, und die 43 Bogensekunden pro Jahrhundert passten genau auf diese Präzisierung.

Die Schwere bewirkt nicht nur die Bewegung im Planetensystem, sie führt auch zur Sternbildung als Kondensation einer Gaswolke. Wegen der dabei nötigen Kühlung des kondensierenden Gases ist das kein einfaches Rechnen, aber im Groben stimmt dieses Bild. Deshalb verstehen wir auch die Bildung der Galaxien und Galaxienhaufen als einen solchen schweredominierten Konzentrationsprozess. Er sollte zu dem Zeitpunkt beginnen, an dem das Universum durch Abkühlung und Verdünnung durchsichtig wird. Dort sollten die Galaxien und Galaxienhaufen nur kleine Schwankungen der ansonsten homogenen Materieverteilung sein, mit Amplituden von etwa 1:1000. Die Hintergrundstrahlung zeigt aber, dass die Amplituden weit kleiner sind, kleiner noch als 1:10000. Die Schwere der beobachteten Schwankungen reicht nicht, um die Existenz von Galaxien und Galaxienhaufen zu erklären.

Vertrauen wir wieder der Gravitationstheorie, muss es Materie geben, deren Verteilung sich nicht unmittelbar in der Hintergrundstrahlung ausdrückt, Materie also, die unsichtbar ist, weil sie keine elektromagnetische Strahlung abstrahlen oder verschlucken kann. Sie ist transparent, wird aber dunkel genannt. Der Grund für dieses Attribut liegt jenseits der Wissenschaft. Die Existenz dunkler Materie erlaubt Konzentrationsprozesse, die bereits lange vor dem Aufklaren des Universums beginnen und das Zeitproblem der Galaxien und Galaxienhaufen lösen. Die Frage ist nun, ob wir die Schwerkraftwirkung der dunklen Materie auch anders beobachten und bestätigen können. Das geht in der Tat. Man findet sie wieder, wenn

man das Temperaturprofil der Galaxienhaufen vermisst, und man sieht sie in den Gravitationslinsen. Die mittlere Dichte der dunklen Materie ist etwa das Sechsfache der sichtbaren.

Die Expansion des Universums selbst wird durch die Schwere der in ihm verteilten Materie bestimmt. Seit man diese Expansion genauer vermessen kann, findet man noch eine Komponente, die an den Konzentrationsprozessen überhaupt nicht teilnimmt und deshalb an diesen auch nicht gefunden werden kann. Sie macht sich deshalb auch nur durch ihren Einfluss auf den genauen Verlauf der Expansion des Universums bemerkbar. Etwas einfalllos hat man diese Komponente dunkle Energie genannt, obwohl sie so wenig dunkel wie die dunkle Materie ist, und Energie und Masse ja auch proportional sind.

Die mögliche Existenz einer dunklen Energie wurde vor fast hundert Jahren — damals unter dem Namen *kosmologische Konstante* — von Hilbert festgestellt. Einstein hat sie auch bei der Konstruktion seines ersten Modellkosmos benötigt und benutzt, weil er mangels anderer Beobachtungen von einem statischen Universum ausging. Nachdem Friedmann gezeigt hatte, dass man konsistente Modelle auch ohne Raumkrümmung und kosmologischer Konstante konstruieren konnte, so man nur die Expansion des Universums zuließ, und Hinweise auf solch eine Expansion tatsächlich von E.Hubble gefunden worden war, einigte man sich vor etwa 80 Jahren auf die einfachste Variante: ein Modell, in dem die Weltkrümmung nur durch die in den Himmelskörpern sichtbare Materie ausgewogen wurde. Viele Jahre lang passten alle Beobachtungen hinein, deren Präzision jedoch am besten durch den Streit um die genaue Expansionsrate gekennzeichnet wird. Es gab Argumente für 50 km/s/Mpc wie für 100 km/s/Mpc.

Vor vierzig Jahren in der Folge der Entdeckung der Hintergrundstrahlung fand man heraus, dass dieses erste Standardmodell des Universums nicht vollständig sein kann. Vor 20 Jahren, mit der ersten genaueren Vermessung der Schwankungen in der Temperatur der Hintergrundstrahlung durch COBE, fand man, dass die Akzeptanz einer dunklen Materie das Zeitproblem löst. Wenig später zeigten Beobachtungen extrem entfernter Supernovae, dass auf die Annahme der dunklen Energie nicht verzichtet werden kann (Riess et al., 1998; Perlmutter et al., 1999; Schmidt et al., 1998). Vor zehn Jahren zeigten schließlich die noch genaueren Messungen der WMAP Mission, dass sich die dunkle Energie auch in der Feinstruktur der Hintergrundstrahlung zeigt. Heute rechnen alle fleißig mit einem neuen Standardmodell: 70% dunkle Energie, 26% dunkle Materie, 4% sichtbare Materie.

Die Alternative ist, der Einsteinschen Gravitationstheorie nicht mehr zu vertrauen. Man kann ja ganz locker sagen, dass die beobachtete Materie (ohne dunkle Materie und dunkle Energie) eben die Gleichung

$$\text{Weltkrümmung} = \text{Materiedichte}$$

nicht erfüllt und die Theorie deshalb gescheitert ist. Die Versuche, an der Theorie zu drehen, sind aber selbst bei den Problemen, die sie nun eigentlich lösen sollen, nicht so überzeugend wie es etwa die Allgemeine Relativitätstheorie ist. Dagegen sind — wie wir noch sehen werden — dunkle Materie und dunkle Energie in der Elementarteilchenphysik alte Bekannte, deren Wirkungslosigkeit bislang immer besonders begründet werden musste. Dunkle Materie — das sind einfach Teilchen ohne elektromagnetische Wechselwirkung, die in wohlbegründeten Ordnungsschemata der Elementarteilchen reichlich vorhanden sind und deren Unfassbarkeit und scheinbare Seltenheit immer mit ihrer zu hohen Ruhmasse begründet wurde. Dunkle Energie könnte eine Eigenschaft des Vakuums sein, wie wir noch sehen werden.

Die dunkle Energie ist zunächst eine Schwerequelle, die mit keiner gewohnten oder implizit bekannten Materieart vergleichbar ist. Die Frage, was ist die dunkle Energie, geht ins Leere. Wir können nur ihre Eigenschaften beschreiben. Sie sind alle jenseits des bisher Bekannten.

- Die dunkle Energie hat eine Schwerewirkung, an dieser wurde sie ja gefunden.
- Die dunkle Energie kann sich nicht konzentrieren, sie ist ideal homogen.
- Die dunkle Energie kann nicht eingefangen, isoliert oder transportiert werden.
- Die dunkle Energie hat keine Geschwindigkeit, nicht einmal die Geschwindigkeit Null.
- Die Dichte der dunklen Energie nimmt mit der Expansion nicht ab.

Der zweite und dritte Punkt erinnert an den Lichtäther, dessen Existenz vor über zweihundert Jahren vermutet wurde, um den Wellencharakter des Lichts zu modellieren und mit der Aberration des Sternenlichts in Einklang zu bringen. Dieser Äther war das Bezugsobjekt für die Lichtausbreitung und jede Geschwindigkeit, die durch Vermessung der Lichtausbreitung gefunden werden kann. Der Michelsonversuch (1881 in Potsdam) zeigte, dass der Äther doch eingefangen werden kann und die Aberration nicht mehr erklären kann. In der Folge fand man die Relativität der Zeit, zu der Einstein die Begründung in der

invarianten Lichtgeschwindigkeit gab. Die dunkle Energie hat mit diesem Äther nichts zu tun. Da sie keine Geschwindigkeit hat, kann sich auch keine Geschwindigkeit auf sie beziehen. Die Lichtausbreitung wird von der dunklen Energie nicht beeinflusst. Gibt man ihr den Namen *Äther*, stiftet man nur Verwirrung, hat damit aber kein Argument für die Existenz eines Äthers, der im 19. Jahrhundert gesucht und von der Relativitätstheorie als überflüssige Annahme gekennzeichnet wurde.

Vielleicht ist die dunkle Energie Folge der mikroskopischen Eigenschaften der Felder und Teilchen. Es hat sich nämlich bei der Untersuchung atomar kleiner Objekte herausgestellt, dass der Zustand eines Objekts nicht als Satz fester Werte seiner allgemeinen Koordinaten gefunden wird, sondern nur als Wahrscheinlichkeitsverteilung. Diese Wahrscheinlichkeit genügt einer Art Wellengleichung. Deshalb gibt auch im energieärmsten Zustand des Objekts immer noch Bewegung, immer noch Energie. Diese Energie kann nicht abgegeben und ausgetauscht werden, sie spielt in der gewohnten Physik keine Rolle. Versucht man, diese Energie für all die bekannten Felder zu berechnen, findet man die Methoden dazu unzureichend. Die Dichte der dunklen Energie könnte selbst auch verschiedene Werte annehmen. Begründet im Spektrum der Störungen in der Hintergrundstrahlung vermutet man, dass diese Dichte einmal sehr viel größer war als heute und deshalb die Abnahme der Expansionsrate für eine gewisse Zeit verhindert hat (man nennt dies Inflation). Am Ende dieser Zeit ist der Großteil dieser Dichte in *normale* Materie zerfallen.

Da alle Materiedichte — ausgenommen die Dichte der dunklen Energie — mit der Expansion abnimmt, nimmt auch die Expansionsrate ständig ab. Wenn dann die Dichte der dunklen Energie das Übergewicht bekommt, wird diese Abnahme der Expansionsrate verhindert. Das ist allem Anschein nach heute bereits der Fall, denn die Beobachtungen zeigen: 70% dunkle Energie, 26% dunkle Materie, 4% sichtbare Materie.

ÄTHER UND DUNKLE ENERGIE

URANIA Berlin, 1.3.2013

Dierck-E.Liebscher, www.aip.de/~lie/

- Der Einbrecher als dunkle Materie
- Neptun und Vulkan
- Sterne, Galaxien, Galaxienhaufen
- Der Schluss auf die dunkle Materie
- Der Schluss auf die dunkle Energie
- Was ist das? Nur Eigenschaften zählen
- Äther und dunkle Energie
- Dunkle Energie und Vakuum

NEPTUN UND VULKAN

- **Das Newtonsche Gravitationsgesetz ist wohlbegründet**
- **Uranus läuft nicht genau auf Kurs**
Vertrauen auf des Gesetz: Neptun
Erfolg: Neptun berechnet und gefunden
- **Merkur läuft nicht genau auf Kurs**
Vertrauen auf des Gesetz: Ungesehene Masse
Misserfolg: Vulkan gibt es nicht
- **Das Gesetz muss präzisiert werden:**
Einsteins Allgemeine Relativitätstheorie macht alles richtig

DER SCHLUSS AUF DIE DUNKLE MATERIE

- **Galaxien rotieren nicht richtig:**
 - a. Theorie ändern: So weit draußen ist es eben anders**
 - b. Vertrauen in die Theorie: Unsichtbare Masse**
- **Temperaturschwankungen der Hintergrundstrahlung sind zu klein, Zeit für Galaxienbildung zu kurz**
 - a. Theorie ändern: So früh war es eben anders**
 - b. Vertrauen in die Theorie: Unsichtbare Masse**
- **1.a. und 2.a. werden versucht, passen aber schlecht zusammen**
1.b. und 2.b. passen gut zusammen und werden durch Gravitationslinsen und Röntgentemperaturen gestützt

DER SCHLUSS AUF DIE DUNKLE ENERGIE

$$\text{Quadrat der Expansionsrate} + \text{Krümmung des Raums} = \text{Dichte der Materie}$$

- Im elektromagnetischen Spektrum:
 - a. mit bloßem Auge: Sterne und 1 Galaxie
 - b. mit Teleskopen und Fotoplatten: Galaxien
 - c. mit Antennen: Radioquellen und Hintergrundstrahlung
 - d. mit Satelliten: Röntgenquellen und anderes
- Dunkle Materie: schwer, aber transparent
führt die Konzentrationsprozesse an
- Es fehlt immer noch etwas: eine Komponente,
die das Abfallen der Expansionsrate verhindert:
die durch die Expansion nicht verdünnt wird: **dunkle Energie**

DUNKLE ENERGIE: EIGENSCHAFTEN

- Die dunkle Energie muss verhindern,
dass die Expansionsrate ständig abnimmt, also
- Die dunkle Energie wird durch die Expansion nicht verdünnt
- Die dunkle Energie kann sich nicht umsetzen
- Die dunkle Energie kann nicht isoliert werden
- Dunkle Energie ist überall:
Gibt sie einen universell bestimmbaren Bezug,
den es nach Einstein nicht geben darf?
Ist die dunkle Energie der Äther,
den Einstein für überwunden hielt?

LICHTWELLEN IM ÄTHER

- **Geschwindigkeit gibt es nur in Bezug auf andere Objekte: Schlaglöcher, Alleebäume, Starkästen**
- **Lichtausbreitung braucht zunächst einen Bezugsobjekt: es heißt Äther und ist so unsichtbar wie die dunkle Materie.**
- **Der Äther sollte nicht eingefangen werden können, sonst bleibt der Regenschirmeffekt des Lichts offen**
- **Der berühmte Michelson-Versuch hat gezeigt, dass der Äther doch eingefangen wird.**
- **Einstein zeigt, dass die Theorie geändert werden kann: Die Lichtgeschwindigkeit ist für jedes Bezugsobjekt die gleiche, der Grund für die Unterstellung eines Äthers ist weggefallen: Das Licht braucht kein besonderes Bezugsobjekt mehr**

DUNKLE ENERGIE UND RELATIVITÄT

- **Es geht nicht um ein universelles Bezugssystem, wenn dies ein universelles Bezugsobjekt ist**
- **Es geht um die Frage, ob die Lichtausbreitung an ein Medium gebunden sein muss, an Einsteins Antwort ändert die dunkle Energie nichts**
- **1. Hauptsatz der Thermodynamik: Konstante Dichte heißt**
Druck + Dichte = 0.
Die dunkle Energie hat keine Geschwindigkeit, nicht einmal die Geschwindigkeit Null.
Keine Bewegung kann sich auf sie beziehen.
- **Wegen der Expansion nimmt die dunkle Energie immer zu: In einem zeitabhängigen System bleibt die Energie nicht erhalten.**