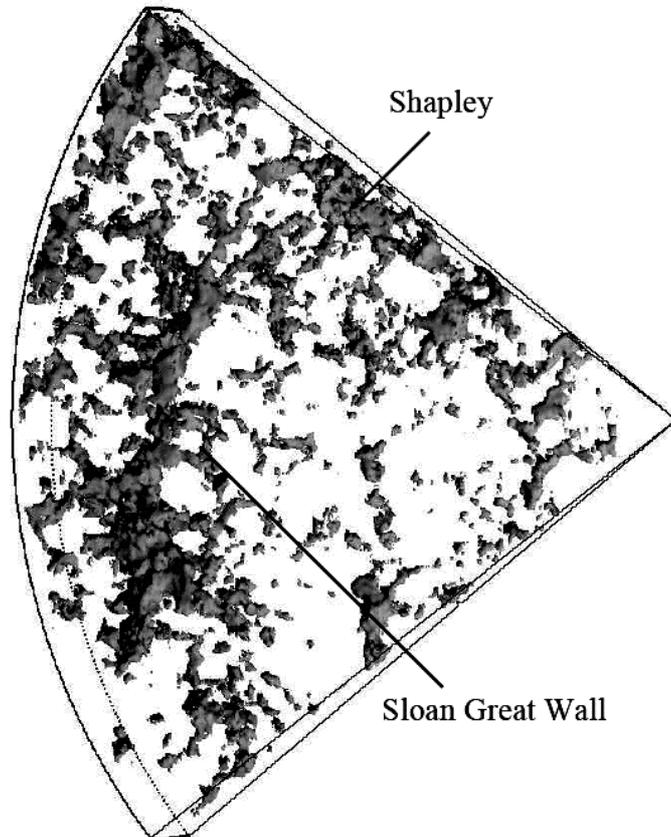


Ist die Dunkle Energie eine Illusion?

David Wiltshire

University of Canterbury

Christchurch, New Zealand



Langsame Uhr in Galaxien (Wall)



Schnelle Uhr im Leerraum (Void)

Abb. 1- Die Wabenförmige Materiestruktur des Weltalls führt zu unterschiedlichen Zeitabläufen
© Wikipedia, Public Domain, Willem Schaap

Die Natur der Dunklen Energie ist das größte kosmologische Problem, dem wir heutzutage gegenüberstehen. Unter den meisten Physikern herrscht die übereinstimmende Ansicht, dass es eine mysteriöse „dunkle Energie“ im Vakuum des Weltalls gibt. Sie macht 75 % der gegenwärtigen Energiedichte aus und veranlasste das Universum erst kürzlich, sich beschleunigt auszudehnen. Doch vielleicht haben wir diese Beobachtungen falsch gedeutet, und die Expansion beschleunigt sich nicht wirklich. Für die scheinbare Beschleunigung habe ich eine „radikal konservative“ Erklärung vorgeschlagen: Subtile Effekte bei der Synchronisierung der Uhren wurden übersehen, die in EINSTEINS allgemeiner Relativitätstheorie auftreten. Was als Beschleunigung gedeutet wurde, sind in Wirklichkeit relative Abbrems-Effekte in Regionen verschiedener Materiedichte, die sich während der gesamten Lebensdauer des Universums zu signifikanten Gangunterschieden der Uhren aufsummiert haben.

Vor zehn Jahren wurden in weit entfernten Galaxien zuverlässige Entfernungsbestimmungen vieler Super-

novae möglich. Das diente zur Überprüfung der empirischen Standardkerzen. Die Ergebnisse waren überraschend: Die Galaxien dieser SN waren weiter entfernt als sie sein müssten, wenn die Expansionsrate durch die Schwerkraft verlangsamt würde, wie es das Standardmodell erwartet. Die Expansion erschien früher zwar gebremst worden zu sein, doch erst kürzlich beschleunigte sie sich. Die Gravitation der normalen Materie wirkt universell anziehend und bremst die Expansion. Dieses Rätsel würde bedeuten, dass eine mysteriöse „Anti-Gravitation“ – „Dunkle Energie“ im Vakuum des Weltraumes anwesend ist. Die Kosmologische Konstante, welche EINSTEIN zuerst eingeführt hatte, (mit unterschiedlicher Stärke), die er später als seine größte Eiselei bezeichnete, ist die Art Dunkler Energie, welche am besten zu den vielen unabhängigen Beobachtungen passt. Die Standardkosmologie konfrontiert uns mit ungelösten Rätseln und Anomalien.

Falls die Dunkle Energie eine kosmologische Konstante oder Ähnliches ist, lautet die nächstliegende Frage: Warum ist ihr Wert gerade so, dass er genau

dann signifikant wird, wenn die mittlere Dichte der Materie sich durch die Expansion auf den Wert der relativ nahen Vergangenheit verdünnt hat? Die kosmologische Übereinstimmung, dass die beginnende Beschleunigung der Expansion ausgerechnet in die Epoche fällt, in der sich die Großraumstrukturen bildeten, erweckte bei einigen Kosmologen den Verdacht, dass es nicht möglich ist, mit der Annahme einer mysteriösen Energie oder einer Modifikationen der Gravitationstheorie das klumpige Universum richtig zu modellieren.

Die Dunkle-Energie-Interpretation der Kosmologie beruht auf den Standardmodellen der 1920er Jahre. Diese Modelle vereinfachen Einsteins Gleichungen drastisch durch die Annahme, dass sich das Universum gleichmäßig wie ein Fluidum mit überall der gleichen Raumkrümmung ausdehnt. Zwei Jahrzehnte detaillierter Durchmusterungen von Millionen Galaxien zeigen jedoch, dass das nicht der Fall ist. Obgleich das Universum vor der Galaxienbildung gleichmäßig strukturiert war, ist es gegenwärtig klumpig. Dominiert wird es von vielen großen Leerräumen (Voids), welche das meiste heutige Volumen einnehmen. 40 bis 50 % des Volumens bestehen aus Voids. Ihr charakteristischer Durchmesser beträgt etwa

$$\text{Void-Durchmesser} = 30 / h \text{ Megaparsec}$$

mit der dimensionslosen Hubble-Konstanten h , die durch

$$H_0 = 100 h \text{ km s}^{-1} \text{ Mpc}^{-1}$$

definiert ist. Zusätzlich gibt es eine viel größere Zahl von Mini-Voids. Die Galaxien-Cluster spannen ein kosmisches Netz auf, welches die Voids wie Tücher oder „Ballonwände“ einhüllen, die mit dünnen Filamenten untereinander verbunden sind. (s. Abb.1) Angesichts dessen besteht kein Grund zur Annahme, dass solch komplexe Struktur sich wie ein Fluid verhält.

Fragt man nun, wie groß ein Volumenelement sein muss, um eine selbstähnliche Struktur von Voids und Bubble-Walls zu erhalten, so kommt man auf einen Wert von $100 / h \text{ Mpc}$. Die Einstein-Gleichungen für solch eine komplexe Struktur zu lösen ist nicht direkt möglich, auch nicht numerisch mit einem Computer. Die Standard-Computer-Simulationen gehen von gleichmäßiger Expansion aus, und fügen die Newton'sche Gravitation zur Bildung der Strukturen hinzu. Während die N-Körper-Simulationen viele der beobachteten Eigenschaften des Universums reproduzieren, ist dies für feine Details nicht der Fall. Die beobachteten Voids sind leerer, und die Galaxien sind dichter strukturiert. Unter der Voraussetzung der beobachteten näherungsweise gleichmäßigen Expan-

sion für Mittelwerte auf genügend großer Skala, lautet die relevante Frage: *Wie müssen Einsteins Gleichungen für eine klumpige Materieverteilung gemittelt werden, so dass sich auf einer lokalen Skala von $100 / h \text{ Mpc}$ etwas Glattes ergibt?* Generell ergeben die gemittelten Einstein-Gleichungen nicht die Friedmann-Gleichungen des homogenen kosmologischen Standard-Modells, denn die Änderung der Geometrie wird ebenso groß wie die Mittelwerte der Beschreibung der zeitlichen Entwicklung des Kosmos. Zur Berechnung der Korrekturen für die Rückreaktionen der kosmischen Entwicklung wurde eine Vielzahl von Vorschlägen veröffentlicht. Ein populäres Rechenschema wurde dazu von Thomas BUCHERT von der Universität Lyon ausgearbeitet. Die Interpretation solcher Rechenschemata wurde kontrovers, weil es nicht klar ist, ob die Korrekturen genau genug sind, um die beobachtete Expansionsgeschichte des Universums zu erklären. In der Tat: Da die Gleichungen statistische Mittelwerte über viele Raumpunkte enthalten, wird nicht unmittelbar klar, wie diese Mittelwerte zu unseren eigenen, von nur *einem* Standpunkt aus gemachten Messungen passen. Mein Beitrag war, das Problem der Interpretation der Messungen im klumpigen Universum mit BUCHERTS Methoden in Angriff zu nehmen, indem ich die Grundprinzipien von EINSTEINS Theorie berücksichtigte, die den Standpunkt des Beobachters einbeziehen. Dabei kann es große Schwankungen der Raumkrümmung zwischen den Voids ohne Materie und den lokalen Galaxien geben. Da die Zeit von der Materie verlangsamt wird, beeinflusst dieser Effekt die Ganggeschwindigkeit der Uhren der Beobachter in Galaxien im Vergleich von fiktiven Beobachtern innerhalb der Voids. Diese Zeitdilatation unterscheidet sich von der konventionellen Gravitations-Zeitdilatation, die wir von statischen Systemen her kennen, in denen große Zeitdilatationen nur in der Nähe von kompakten Objekten wie schwarzen Löchern auftreten.

In der Kosmologie behandeln wir dagegen schwache Felder. Der von mir beschriebene Effekt erscheint daher überraschend. Der Ursprung dieses Effektes ist die relative „lokal homogene“ Volumenabbremmung der expandierenden Regionen verschiedener Dichten. Dichtere Regionen bremsen schneller ab. Wir wissen aus der speziellen Relativitätstheorie, dass die relative Abbremsung zu Differenzen in der Eichung der Beobachteruhren führt. Aufgrund des Äquivalenz-Prinzips ist ein ähnlicher Effekt durch Gravitations-Abbremsung lokal homogener Volumina zu erwarten. In den Teilen des Universums mit extrem winzigen Abbremsungen in der typischen Größenordnung von 10^{-10} m/s^2 (das ist die Ausdehnung eines Atoms pro Quadratsekunde) kann es dennoch zu einer kumulativen Differenz der Uhren-Ganggeschwin-

digkeiten von 38% zwischen den Beobachtern in Galaxien und Voids kommen. Diese haben sich alle in Regionen mit Dichten gebildet, die größer als die kritische Dichte ist.

Es stellt sich heraus, dass das Alter des Universums von der Position des Beobachters abhängt, ebenso die Interpretationen der kosmischen Beschleunigung. Die „Beschleunigung“ ist nicht real, sondern sie ist eine falsche Schlussfolgerung, die auf der Annahme beruht, dass die Uhren der idealen Void-Beobachter mit unseren gleichlaufen, doch die Uhren sind heutzutage im Void schneller. Das „Faktum“, dass der Beginn der Beschleunigung mit der Epoche zusammenfällt, in der die Voids zu wachsen beginnen, ist also keine zufällige Übereinstimmung.

Mit meinen neuen Ideen habe ich eine erste Näherung für ein Modell-Universum entwickelt, das bedeutende unabhängige Tests bestanden hat. Es könnte sogar viele beobachtete Anomalien erklären.

Zum Beispiel weicht die beobachtete Menge des primordialen Lithiums von den Erwartungen der Standard-„Concordance“-Kosmologie ab. Das Standard-Modell nimmt überall eine gleichmäßige Raumkrümmung an, so dass alle idealen Beobachter einer gegebenen Epoche die gleiche Temperatur der Mikrowellen-Hintergrund-Strahlung messen.

Wegen der unterschiedlichen Raumkrümmungen und Gravitations-Energien zwischen Voids und Galaxien misst der ideale Void-Beobachter jedoch eine niedrigere Mikrowellen-Hintergrund-Temperatur als wir. Das beeinflusst die Kalibrierung der Anzahl der Nukleonen pro kosmischem Mikrowellenphoton und folglich die Kalibrierung der Urknall-Nukleosynthese-Berechnung, welche die primordiale Lithium-Menge vorhersagt.

Es wird Jahre der Weiterentwicklung und viele unterschiedliche Tests erfordern, bis sich die vorgeschlagenen Erklärungen der Dunklen Energie als Erfolg oder Fehlschlag herausstellen. Auf welche Weise das Puzzle der Dunklen Energie auch immer enträtselt wird, eine neue Epoche der Astronomie hat uns das reiche und komplexe Universum enthüllt, das genaue Betrachtungen der Annahmen erfordert, die wir bisher als selbstverständlich hinnahmen. Bevor wir uns exotische Materiefelder erträumen oder unsere grundlegenden Gravitationsgesetze modifizieren, sollten wir zuerst gründlich über die noch unerforschten Gebiete von Einsteins Theorie nachdenken.

Die Redaktion dankt Herrn Prof. WILTSHIRE für seine Bereitschaft, seine Ideen in den Olbers-Nachrichten zu erläutern. Frau Dipl. Phys. Bärbel WALINSKI hat diesen Artikel aus dem Englischen übersetzt.



Vermisste Sonnenflecken

Der Beginn eines neuen Maunder-Minimums? Über Bedeutung und Vorhersagemöglichkeiten der Entwicklung solarer Aktivitäts-Zyklen (Teil I)

Ulrich v. Kusserow

1. Einleitung

Der neue, seit Beginn der Zählung um 1755 jetzt mit der Nummer 24 versehene solare Aktivitätszyklus begann am 12. Dezember 2007. Erstmals an diesem Tag wurden in dem vom Sonnensatelliten SOHO (Solar and Heliospheric Observatory) erstellten Magnetogramm in höherer (bei etwa 35°) nördlicher heliografischer Breite Magnetfeldstrukturen mit vorangehender südlicher magnetischer Polarität aufgezeichnet. Und am 4. Januar 2008 war es dann endlich soweit. Ebenfalls in der nördlichen Hemisphäre tauchte hier für wenige Tage eine erste Fleckengruppe des neuen Zyklus auf. Regelmäßig unseren Heimatstern beobachtende Sonnenfreunde, die nun gehofft hatten, dass in den folgenden Jahre bis zum heutigen Tag (Anfang Juni 2009) endlich wieder häufiger und dann auch größere, dem 24. Sonnenzyklus zuzuschreibende Fleckengebiete zu bewundern sein würden, wurden in letzter Zeit doch schwer enttäuscht. Wer nicht gerade ein H-alpha-Filter für sein Teleskop zur Verfügung hat oder die Sonnenscheibe zur Beobachtung der Protuberanzen mit einem Koronografen abschirmen kann, der sieht in letzter Zeit auf der Sonne fast gar nichts. Wo bleiben nur die Sonnenflecken?

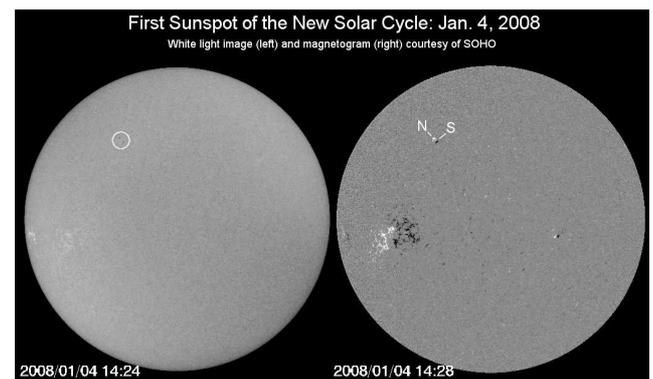


Abb. 1: Erster Sonnenfleck des 24. Sonnenzyklus, Weißlicht-Aufnahme (links), Magnetogramm (rechts)
© SOHO MDI NASA ESA

Bekanntlich schwankt die Zahl der dunklen Flecken auf der Sonnenoberfläche im Verlaufe des im Mittel etwa 11,1 Jahre dauernden solaren (so genannten Wolf'schen) Fleckenzklus sehr stark und nahezu periodisch.