

28. Karlsruher Didaktik-Workshop 16. und 17. Juni 2017, KIT Karlsruhe

Einsteins Gravitationstheorie und Kosmologie im Unterricht

gefördert von der Eduard-Job-Stiftung für Thermo- und Stoffdynamik

Ort: KIT Karlsruhe, Campus Süd, **kleiner Hörsaal A (noch einmal geändert)**,
Gebäude 30.22, neben dem Physikhochhaus in der Engesserstraße
www.physikdidaktik.uni-karlsruhe.de

Die Sitzungen finden am ganzen Freitag und am Sonnabendvormittag statt. Sie sind auch willkommen, wenn Sie nur zu einem Teil der Sitzungen kommen. Eine Anmeldung ist nicht erforderlich. Der Workshop wird „kostenneutral“ organisiert, d.h. kein Tagungsbeitrag, aber auch kein Vortragshonorar.

Es ist reichlich Zeit für Diskussionen vorgesehen. Gelegentlich ändern wir den zeitlichen Ablauf des Programms noch während des Workshops.

Vortragende:

Max Camenzind, Landessternwarte Heidelberg

Friedrich Herrmann, Karlsruher Institut für Technologie

Karl-Heinz Lotze, Universität Jena

Michael Pohlig, Karlsruher Institut für Technologie

Jochen Weller, Ludwig-Maximilians-Universität, Universitätssternwarte München

Programm

Donnerstag 15. Juni

abends ab etwa 19:00 h

zwangloses Treffen im Caminetto (Kronenstraße)

Freitag 16. Juni

Vormittag, Beginn 9:30 h

9:30	Herrmann	Begrüßung
10:00	Weller	Die beschleunigte Ausdehnung des Universums
11:30	Herrmann	Wovon handelt die Relativitätstheorie?
12:00	Pohlig	Zur relativistischen Dynamik ohne Lorentztransformationen

Nachmittag, Beginn 14:30 h

14:30	Camenzind	Die kosmische Hintergrundstrahlung – das Echo des Urknalls
16:00 bis 16:30		Kaffee-Pause
16:30	Lotze	Urknall und Expansion des Universums – Wie sollen wir uns das vorstellen?
17:45	Herrmann	Das Michelson-Morley-Experiment und der Äther

Samstag 17. Juni

Beginn 9:00 h

9:00	Pohlig	Der gekrümmte Raum und die gekrümmte Raumzeit
10:00	Lotze	Warum ist der Nachthimmel dunkel? Ein altes Paradoxon im Lichte der modernen Wissenschaft
11:00	Herrmann	Unsere Version des Zwillingsparadoxons

Zusammenfassungen

Jochen Weller

Die beschleunigte Ausdehnung des Universums

Anhand einiger Beispiele werde ich darstellen, wie kosmische Entfernungen gemessen werden. Hierbei werde ich auf Entfernungsmessungen innerhalb der Milchstrasse (Parallaxen), zu den Magellan'schen Wolken (Cepheiden), zur Andromeda-Galaxie und zu weiten kosmischen Entfernungen mit Hilfe von Supernovae eingehen. Ich werde darstellen, wie diese Beobachtungen dazu führen, dass wir von einem Universum reden, welches sich beschleunigt ausdehnt. Ich werde dann erklären, wie dies mit Hilfe einer dunklen Energie-Komponente im Universum beschrieben werden kann.

Ich werde zeigen, wie komplexe kosmologische Beobachtungen, wie z.B. die Temperaturschwankungen in der kosmische Hintergrundstrahlung, die Notwendigkeit für eine dunkle Energie-Komponente erhöhen.

Falls die Zeit es erlaubt, werde ich noch auf theoretische Probleme der dunklen Energie und auf mögliche Alternativen eingehen.

Max Camenzind

Die kosmische Hintergrundstrahlung – das Echo des Urknalls

Der Urknall (engl. Big Bang) bezeichnet keine Explosion in einem bestehenden Raum, sondern die gemeinsame Entstehung von Materie, Raum und Zeit aus einer ursprünglichen Singularität. Als Begründer der Urknall-Theorie gilt der belgische Theologe und Physiker Georges Lemaître, der 1931 für diesen Anfangszustand des Universums den Begriff **primordiales Atom oder Uratom** verwendete. Wir diskutieren in einem ersten Teil die Elemente des modernen Urknall-Modells – des sog. Standardmodells der Kosmologie. Wesentliches Element dieses Modells ist die kosmische Hintergrundstrahlung (CMB), die 380.000 Jahre nach dem Urknall die Reise durchs expandierende Universum antrat und heute noch eine Temperatur von 2,725 Grad Kelvin aufweist. Drei Weltraumsonden – COBE, WMAP und Planck – untersuchten insbesondere die Anisotropien in der Temperaturverteilung auf der Photosphäre. Wir zeigen, welche Parameter des Urknall-Modells aus den Temperaturkarten abgeleitet werden können. Die Analyse der Planck-Daten von 2015 hat im Wesentlichen unser Bild vom inflationären Universum bestätigt.

Karl-Heinz Lotze

Urknall und Expansion des Universums – wie sollen wir uns das vorstellen?

Unterricht über Kosmologie kann auf der natürlichen Neugier der Schüler aufbauen, muss Ihnen aber oft wesentliche Veränderungen ihrer Vorstellungen, z.B. über den Urknall oder die Geometrie des Raumes, zumuten. Typische Fragen von Schülern, die deren (Fehl-)Vorstellungen über den Urknall und die Expansion des Universums zum Ausdruck bringen, lauten u.a.:

- Hat das Universum einen Rand? Kommt jenseits davon der unendliche, leere Raum?
- Befindet sich der Beobachter im Zentrum der Expansion des Universums?
- Ist die Rotverschiebung in den Spektren der Galaxien ein Doppler-Effekt, wie wir ihn vom Schall her kennen?
- Woher wissen wir, dass das Universum expandiert, wenn doch die Maßstäbe mitexpandieren?
- Wann und wo fand der Urknall statt? Welche Ursache hatte er?
- Begann alles mit der Explosion eines dichten Materiekumpens irgendwo im vorher existierenden Raum? Fliegen seither Bruchstücke in diesen Raum hinein?
- Warum können wir die Hintergrundstrahlung noch empfangen, warum ist sie „nicht längst weg“?

Anhand der Modellvorstellungen über das Universum als elastisches Band, als elastische Membran und als Ballon werden schrittweise Vorstellungen über die Raumstruktur und die physikalische Natur der Hubble-Expansion erarbeitet. Dass der Rotverschiebungs-Entfernungs-Zusammenhang kosmologischer Modelle in gröbster Näherung mit der klassischen Doppler-Formel übereinstimmt, begründet nämlich noch längst nicht die Gleichheit der physikalischen Effekte. Als nur kleine Rotverschiebungen messbar waren, hat uns diese Übereinstimmung lediglich davor bewahrt, falsch zu rechnen. Heute, da wir große Rotverschiebungen messen können, müssen wir nicht nur anders rechnen, wir sollten auch die richtigen Bilder in den Köpfen erzeugen, zumal dies in didaktischer Hinsicht keineswegs schwieriger ist, als den Doppler-Effekt zu erläutern.

Karl-Heinz Lotze

Warum ist der Nachthimmel dunkel? Ein altes Paradoxon im Lichte der modernen Wissenschaft

Die Dunkelheit des Nachthimmels ist eine elementare und zugleich lehrreiche Beobachtung, die uns mit den entferntesten Regionen des Universums verbindet.

Geht man intuitiv von den Annahmen aus, dass

- alle Sterne hinsichtlich ihrer Größe und Leuchtkraft unserer Sonne ähnlich sind,
- die Sterne in einem grenzenlosen, Euklidischen Universum verteilt sind und
- das Universum in allen seinen Eigenschaften unveränderlich ist, so dass auch die Sterne ewig leuchten,

so sollte – in krassem Widerspruch zur Erfahrung – der Nachthimmel so hell sein wie die Sonnenscheibe am Tage.

Nach einer präzisen Formulierung dieses Nachthimmels-„Paradoxons“ unter Zuhilfenahme einer auf Giordano Bruno zurückgehenden Analogie, die den Blick zu den Sternen mit dem Blick in einen Wald voller Bäume vergleicht, geben wir herkömmliche Erklärungsversuche für die Dunkelheit des Nachthimmels an (Kepler, Halley, de Cheseaux, Olbers). Danach präsentieren wir die bereits von E. A. Poe richtig vorausgedachte Lösung im Rahmen der oben gemachten Annahmen mit der einzigen Modifikation, dass die Leuchtdauer der Sterne endlich ist. Obwohl sonnenähnliche Sterne etwa zehn Milliarden Jahren leuchten, ist diese Zeit viel zu kurz im Vergleich zu der, welche das Licht benötigen würde, um die riesige Entfernung zu überbrücken, die notwendig wäre, damit eine ausreichende Anzahl von Sternscheibchen einen leuchtend hellen Himmel füllt. Demgegenüber ist der Beitrag, den die Expansion des Universums zum dunklen Nachthimmel liefert, vernachlässigbar klein.

Abschließend wenden wir uns der Frage zu, was die Schwärze des Nachthimmels ist, auf die wir in eine Zeit zurückblicken, als das Universum erst 400 000 Jahre alt war und es Sterne noch gar nicht gab. Wir kommen zu dem Schluss, dass der Nachthimmel *für uns Menschen* dunkel ist, weil wir kein Sensorium für die in den Mikrowellenbereich des elektromagnetischen Spektrums rotverschobene Strahlung aus der Frühgeschichte des Universums haben. Für die Antenne, mit der Arno Penzias und Robert Wilson die sogenannte 3K-Strahlung entdeckt haben, ist der Nachthimmel dagegen hell.

Friedrich Herrmann und Michael Pohlig

Im vergangenen Jahr wurde der Teil „Relativitätstheorie und Kosmologie“ des KPK neu bearbeitet. Wir stellen die Ideen vor, von denen wir uns haben leiten lassen. Wichtig ist dabei, dass wir einige Themen, denen in der traditionellen Darstellung besonders viel Zeit gewidmet wird, ganz hinausgeworfen haben.