

Durchführung der Unterrichtseinheit Kosmologie

Es handelt sich im Folgenden – insbesondere bei den mündlichen Impulsen - lediglich um einen Vorschlag, den die Lehrkraft nach ihrem Ermessen verändern kann¹.

1. Stunde

1. Einleitung: Hat das Universum einen Anfang?

[Folie 1]

„Wir selbst, und das Meiste, was uns im Alltag umgibt, hat einen Anfang und ein Ende. Lebewesen werden geboren und sterben, technische Apparate werden produziert und gehen kaputt. Demgegenüber scheinen die Sterne am Himmel sich nie zu ändern - seit Jahrtausenden sehen die Menschen sie in den gleichen Konstellationen. Die Fotografie aus dem Jahre 2004 zeigt den großen Wagen in der gleichen Weise wie ihn Vincent Van Gogh vor 130 Jahre gemalt hat. Existiert das Weltall mit seinen Sternen, das Universum, also ewig, ohne Anfang und Ende - anders als die Dinge hier auf der Erde?“

[Folie 2]

Die Frage haben sich die Menschen oft gestellt. Wir wollen in den kommenden Stunden einen Einblick gewinnen, wie die moderne Naturwissenschaft dieser Frage untersucht und zu welchen Ergebnissen sie gekommen ist.“

2. Das heutige Bild von Universum

[Den Schülern wird ein Eindruck von den am Himmel beobachtbaren Objekten sowie den Distanzen und Größenverhältnissen im Universum vermittelt. Aus Zeitgründen erfolgt dies in Form eines Lehrervortrages, der natürlich keine vollständige Darstellung sein kann, sondern vor allem dazu dient, notwendige Grundlagen für die anschließend behandelte Expansion des Universums zu vermitteln.]

„Zunächst wollen wir uns einen Überblick über die Objekte verschaffen, die man am Himmel entdecken kann: Wie sehen sie aus, wie groß sind sie und wie weit sind sie von uns entfernt?“

[Folie 3]

Die Objekte, die uns im Weltall am nächsten sind, sind der Mond, der die Erde umläuft, die Planeten, die die Sonne umlaufen, und die Sonne selbst – alle zusammen bilden sie unser Sonnensystem. Die Fotografie zeigt den Mond, den uns nächsten Planeten, die Venus, und den größten Planeten im Sonnensystem, den Jupiter. Wir sehen sie, weil sie von der Sonne beschienen werden. Das Foto wurde am 30.11.2008 gemacht, einen Tag bevor die Venus vom Mond bedeckt wurde – ein recht seltenes Ereignis von dem Sie vielleicht in der Zeitung gelesen haben.

[Gelbe Tischdecke (Sonnenmodell) an Wand oder Tafel aufhängen]

Die Objekte, die wir am Himmel sehen können, und ihre Abstände, sind im Vergleich zu den Größenverhältnissen im Alltag riesig. Um sie anschaulicher zu machen verwendet man daher oft Modelle. Nehmen wir zum Beispiel an, die Sonne hätte den gleichen Durchmesser wie diese Tischdecke. Was denken Sie, wie groß wäre dann die Erde?“

Schüler stellen Vermutung an

[Lehrer zeigt 1-Eurocent-Münze]

„Die Erde wäre etwa so groß wie eine 1 Cent-Münze. Und wie groß schätzen Sie die Entfernung der Erde von der Sonne?“

¹ Die u. g. Folien sowie die Hausaufgabe enthalten urheberrechtlich geschütztes Material, das nicht im Internet veröffentlicht werden kann. Interessierte Lehrkräfte können sie auf Anfrage erhalten.

Schüler stellen Vermutung an

[Folie 4]

„Die Erde wäre etwa 160 Meter entfernt. Auf dem Bild wurden einmal die Entfernungen der inneren Planeten – Merkur, Venus, Erde, Mars – in diesem Maßstab über einer Google-Earth- Karte von Osnabrück eingezeichnet. Die Sonne befindet sich dabei im Physikgebäude der Uni Osnabrück.

[Folie 5]

Die äußeren Planeten – Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun – würden sich in diesem Modell über ganz Osnabrück verteilen, wie dieses Bild zeigt.“

[Folie 6]

„Das Sonnensystem ist im Weltall sozusagen unsere Nachbarschaft. Neben den Objekten des Sonnensystems sieht man am Nachthimmel aber vor allem Sterne.

[Folie 7]

Der Stern, der der Sonne am nächsten ist, heißt Proxima Centauri. Er hat aber schon eine, für irdische Verhältnisse riesige Distanz zur Erde, nämlich etwa 40 Billionen Kilometer. Wie weit wäre denn nun z. B. dieser Stern in unserem Modell entfernt?“

Schüler stellen Vermutung an

[Folie 7, Einblendung Modell]

„Er wäre ca. 43000 Kilometer entfernt. Dieser Stern, unsere Sonne und alle anderen mit bloßen Auge am Himmel sichtbaren Sterne bilden die Milchstraße [Folie 8], wie sie hier besonders schön über einem Feldweg zu sehen ist. Der Name rührt daher, das die Mehrzahl der Sterne eine milchig erscheinende ‚Straße‘ am Himmel bilden.

[Folie 9]

Dieses Bild zeigt die Milchstraße in einem 360°- Panorama, das aus verschiedenen Aufnahmen erstellt wurde. Aus solchen Aufnahmen und durch Bestimmung der Entfernung, der darauf sichtbaren Sterne konnten die Astronomen ein Bild der Milchstraße erstellen, das hier zu sehen ist.

[Folie 10]

Die Milchstraße würde von außen als eine spiralförmige ‚Scheibe‘ erscheinen. Das Sonnensystem befindet sich außerhalb des Zentrums in einem der Spiralarme.

Wie groß ist nun die Milchstraße? Unser alter Maßstab ist hier nicht mehr sinnvoll, denn die meisten Sterne wären schon nicht mehr durch Punkte auf der Erdoberfläche darstellbar. Wir wählen daher jetzt einen neuen Maßstab: Nicht mehr die Erde, sondern unser gesamtes Sonnensystem soll jetzt die Größe eines Cent-Stücks besitzen.

[Folie 10, Einblendung des Modells]

Auch dann ist die Milchstraße noch riesig: Sie wäre so groß wie Mitteleuropa!“

[Folie 10, Einblendung von Mitteleuropa]

Die Milchstraße ist aber nicht die einzige Sterneninsel im Universum. Es gibt noch zahllose andere solcher ‚Inseln‘, die man als Galaxien bezeichnet.

[Folie 11]

Dieses, mit dem Hubble-Teleskop aufgenommen Bild zeigt etwa 10 000 von ihnen. Man schätzt ihre Zahl im sichtbaren Bereich des Universums - anhand solcher Aufnahmen – auf eine Größenordnung von 100 Milliarden. “

[Folie 12]

„Zusammengefasst gruppieren sich also die am Nachthimmel sichtbaren Objekte zu verschiedenen räumlichen Strukturen: Planeten umlaufen einzelne Sterne (Bspl: unser Sonnensystem), Anhäufungen von Sternen bilden Galaxien, und die Galaxien verteilen sich mehr oder weniger gleichmäßig im gesamten sichtbaren Universum.“

3. Das Lichtjahr als astronomische Entfernungseinheit

„Für die Angabe von Distanzen im Weltraum ergeben, wie wir gesehen haben, im Alltag gebräuchliche Einheiten wie Meter oder Kilometer riesige Zahlenwerte.

[Folie 13]

Die Astronomen verwenden daher oft eine andere Einheit: Das Lichtjahr.“

[Folie 14]

Lehrer erläutert die Definition an einem Beispiel (inkl. Angabe der Lichtgeschwindigkeit) und weist auf analoge Definitionen für Lichtsekunden, Lichtminuten usw. hin]

[Folie 15]

Die Schüler werden aufgefordert die Entfernung Erde – Sonne in Lichteinheiten zu berechnen.

4. Ein Blick ins Weltall ist ein Blick in die Vergangenheit

„Die Entfernungsangabe in Lichtjahren weist noch auf einen anderen wichtigen Aspekt bei astronomischen Beobachtungen hin: Angenommen in der Nähe des Milchstraßenzentrums würden menschenähnliche Wesen leben, von denen wir morgen eine Nachricht empfangen. Wir antworten Ihnen natürlich. Haben wir eine Chance mit dem Absender der ursprünglichen Nachricht in Kontakt zu treten?“

Unsere Nachricht benötigt ca. 27000 Jahre bis zum Zentrum der Milchstraße.

„Der Sachverhalt spiegelt sich auch in dieser Folie wider:

[Folie 16]

Können sie den Zusammenhang erläutern?

Zu der Zeit als das Licht, das wir von den kollidierenden Galaxien empfangen, ausgesandt wurde, lebten auf der Erde Dinosaurier.

5. Das Licht birgt weitere Geheimnisse

„Das Licht von Sternen und Galaxien zeigt uns nicht nur deren Form und Aussehen, sondern enthält noch viel mehr Informationen.“

Demonstration: Das Licht der Glühlampe des Overhead-Projektors wird mit Hilfe eines darauf gestellten wassergefüllten Behälters in Farben zerlegt. Der Bezug zum Regenbogen wird hergestellt. Der Begriff des Spektrums wird als Bezeichnung für die Zerlegung eingeführt.

Die Schüler erhalten Handspektrometer mit denen sie das Spektrum der Leuchtstoffröhren an der Decke beobachten sollen. Die Schüler werden aufgefordert ihre Beobachtungen zu beschreiben. Die Existenz von farbigen Linien – den Spektrallinien - wird festgehalten.

„Das Spektrum ist - unter anderem - deshalb von großer Bedeutung, weil jeder Stoff ein eigenes, für ihn charakteristisches Spektrum aussenden kann.“

Das Raumlicht wird gelöscht und die Spektren von Wasserstoff, Natrium und Cadmium werden mit Hilfe der Handspektrometer beobachtet. Die Schüler ordnen mit Hilfe einer Spektraltafel die beobachteten Spektren den Elementen zu.

[Folie 17]

Hinweis: Die Gasentladungslampen sind hinreichend entfernt voneinander zu postieren.

6. Spektren der Galaxien

„Das Spektrum des Wasserstoffs findet man mit Abstand am häufigsten, wenn man das Licht von Sternen und Galaxien analysiert.

Aufgrund dieser Beobachtungen glauben die Astronomen, dass 90% der Atome im Universum Wasserstoffatome sind. Man kann auf Aufnahmen die Gebiete mit hohem Wasserstoffanteil oft auch direkt an ihrer Farbe erkennen.“

[Folie 18]: Bild eines Nebels in unserer Galaxie und von einer anderen Galaxie

[Folie 19] mit leuchtenden Wasserstoffregionen wird gezeigt.

„Für die Beantwortung unserer Frage nach dem Anfang des Universums sind nun die Spektren der Galaxien von großer Bedeutung.“

Am Beamer wird das Bild einer Galaxie und ihr Spektrum als Beispiel gezeigt.

[Folie 20]

"Beschreibt bitte Gemeinsamkeiten und Unterschiede zum Spektrum des Wasserstoffs, das ihr im Handspektrometer gesehen habt."

Es finden sich ähnliche Linien wie beim Wasserstoff-Spektrum. Das Spektrum zeigt sehr viel mehr Linien.

7. Hausaufgabe: Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien

„Die anderen Linien rühren daher, dass die Galaxien noch weitere Elemente enthalten, die Licht aussenden. Es gibt aber noch eine weitere Besonderheit, wie wir gleich sehen werden. Dazu werden wir die Spektren von vier Galaxien genauer untersuchen.“

Das Arbeitsblatt wird ausgeteilt und die Vorgehensweise zur Berechnung der Rotverschiebung geklärt. Die weitere Bearbeitung wird als Hausaufgabe gegeben.

Ausblick:

„In der nächsten Stunde werden wir die Ursache für die merkwürdige Verschiebung der Spektrallinien der Galaxien aufklären. Diese Ursache ist zugleich der Schlüssel zur physikalischen Antwort auf die Frage nach dem Beginn des Universums.“

Optionale Hausaufgabe:

Hannys rätselhaftes Objekt

Zweite Stunde

1. Besprechung der Hausaufgabe

Die Schüler stellen die Ergebnisse ihrer Bearbeitung des Arbeitsblattes vor. Die Rotverschiebung und ihr Zusammenhang mit der Entfernung der Galaxien werden an der Tafel festgehalten.

2. Einleitung:

Es wird an die Ausgangsfragestellung erinnert. Als Ziel der Stunde wird deren Beantwortung gesetzt. Die Lehrkraft weist darauf hin, dass die Aufklärung des Zusammenhangs zwischen Rotverschiebung und Entfernung der Galaxien ein entscheidendes Indiz für die Antwort liefern wird.

Hierzu muss in einem ersten Schritt die physikalische Natur der Rotverschiebung genauer untersucht werden:

3. Die Welleneigenschaft des Lichtes

„Was bedeuten denn nun die Zahlenangaben auf den Aufnahmen der Spektren? Wir haben gesehen, dass Licht beim Durchgang durch ein Prisma in ein Spektrum zerlegt werden kann. Physikalisch ist dieser Vorgang erklärbar, wenn man annimmt, dass sich Licht – ähnlich wie Schall oder Wasser – wellenartig ausbreitet. Die detaillierte Erklärung ist für unser Vorhaben nicht wichtig – sie wird im nächsten Schuljahr detailliert behandelt werden. Wichtig ist für uns jedoch die Tatsache, dass jeder Position im Spektrum eine für die Welle charakteristische Größe, die sogenannte Wellenlänge, zugeordnet werden kann.“

Erläuterung und Definition der Wellenlänge mit Hilfe des Simulationsprogramms Wellenwanne.exe;

[Folie 21]

Übertragung auf das Licht;

4. Rotverschiebung als Vergrößerung der Wellenlänge

Physikalische Beschreibung der Rotverschiebung mit Hilfe des Begriffs der Wellenlänge: [Folie 22]

„Beschreibt bitte mit Hilfe des neuen Begriffs der Wellenlänge die Rotverschiebung der Galaxienspektren!“

Ergebnis (Tafel): Die Rotverschiebung bedeutet, dass das von den Galaxien stammende Licht bei einer größeren Wellenlänge empfangen wird als es ausgesandt wurde.

5. Einsteins neue Vorstellung von Raum und Zeit

[Folie 23]

Die Lehrkraft zeigt ein Portrait von Albert Einstein.

Sie weist darauf hin, dass dessen revolutionäre Theorie, die Allgemeine Relativitätstheorie der Schlüssel zum Verständnis der Entfernungs-Rotverschiebungs-Relation ist.

[Hintergrund: Die Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Gravitation. Die Gravitation ist die einzige Kraft, die zwischen den Sternen und Galaxien wirkt. Sie bestimmt daher die Struktur des Weltalls. Gleichzeitig wirkt sie in gleicher Weise auf alle Körper unabhängig von deren Masse. Einsteins hatte daher die Idee, die Gravitation nicht als eine spezielle Kraft, sondern durch neue Eigenschaften von Raum und Zeit zu beschreiben:

Die Eigenschaften von Raum und Zeit sind nicht mehr 'starr', sondern dynamisch – sie hängen mit der Position und Bewegung der Körper untrennbar zusammen und können sich ändern.]

Am Beispiel eines Modells soll die Bedeutung von Einsteins Theorie für das Verständnis der kosmologischen Rotverschiebung verdeutlicht werden. Die Schüler versammeln sich dazu um das Modell.

Erläuterung des Modells durch die Lehrkraft:

„Raum“:

Das Gummiband stellt den Raum in einer Richtung dar.

„Erde“:

Festes Ende des Bandes.

„Galaxien“:

2 Pappscheiben, ruhend auf dem Band.

„Licht“:

Zwei Spielzeugloks bewegen sich mit gleicher Geschwindigkeit auf dem Gummiband von der Galaxie zur Erde. Die beiden Fahrzeuge repräsentieren einen Wellenzug einer von der Galaxie zur Erde gesandten Lichtwelle gegebener Wellenlänge. Zwei Wellenberge sind durch rote Scheibchen markiert.

6. Die Expansion des Raumes als Ursache der kosmologischen Rotverschiebung

Experiment1:

Der Wellenzug bewegt sich auf dem zunächst ruhenden Gummiband von einer Galaxie in Richtung Erde.

Ergebnis: Die Wellenlänge ändert sich nicht.

Experiment2:

Der Wellenzug bewegt sich auf einem expandierenden Gummiband von der näheren Galaxie in Richtung Erde.

„Die geniale Idee von Albert Einstein war, dass er der Raum nicht mehr als starr aufgefasst hat, sondern als einen Raum, der fähig zur Expansion ist - so wie dieses Gymnastik-Gummiband. Ihr habt eben gesehen, wie dieses Gummiband expandiert. Welche Konsequenzen hat das denn gehabt?“

Ergebnis von Experiment2:

Die Wellenlänge wird größer.

Experiment3:

Der Wellenzug bewegt sich auf einem expandierenden Gummiband von der fernerer Galaxie in Richtung Erde.

Ergebnis von Experiment3:

Die Wellenlänge wird hat sich stärker vergrößert.

Anm.: Zu den Experimenten 2 und 3 stehen Videos zur Verfügung [Folie 24 und 25], die zur Verdeutlichung eingesetzt werden können (oder ersatzweise, falls die Versuche nicht wie vorgesehen klappen). Durch Projektion der Videos auf die Tafel können die unterschiedlichen Wellenlängen dort markiert werden. Die Vergrößerung ist so klar ersichtlich.

Festhalten des Ergebnisses (Tafel):

Die Rotverschiebung des Spektrums ferner Galaxien kann nach Albert Einstein durch eine Expansion des Raumes erklärt werden. Auch die Zunahme der Rotverschiebung mit wachsender Entfernung der Galaxien ergibt sich daraus.

7. Der Anfang des Universums

„Was bedeutet das Ergebnis nun für unsere Ausgangsfrage 'Hat das Universum einen Anfang?' ? Lassen wir dazu einfach die Zeit in unserem Modell zurücklaufen!“

Experiment: Die Drehrichtung des Motors wird umgekehrt. Die Galaxien werden von der Rolle abgspult. Vor Erreichen der minimalen Dehnung wird der Motor abgestellt.

„Beschreibt bitte, was in unserem Modell passiert, je weiter man in der Zeit zurückgeht?“

Das Universum ist immer dichter mit Galaxien 'bedeckt'.

„Genau, die Massedichte des Universums steigt immer weiter an.“

Experiment: Motor wird weiter laufen gelassen bis sich das Gummi nicht weiter zusammenzieht und das Band mit Galaxien bedeckt ist.

„Angenommen der Raum würde sich – anders als in unserem Modell – immer konstant weiter zusammenziehen. Könnt Ihr erläutern, was mit der Dichte dann geschehen würde?“

Die Dichte würde immer weiter zunehmen und extrem groß werden – und zwar an jedem Punkt des Universums!

„Ja, gemäß unserem Modell dagegen bleibt die Dichte bei einem großen, aber endlichem Wert, weil sich das Gummi irgendwann nicht weiter zusammenzieht.“

„Wir sind damit bei dem Bild angelangt, das die moderne Naturwissenschaft von der Entwicklung des Universums hat: das Universum hat einen Anfang - den Beginn der Expansion - an dem die Dichte ungeheuer groß war. Man schätzt, dass dieser Anfangszustand, der oft als 'Urknall' bezeichnet wird, etwa 13,7 Milliarden Jahre zurückliegt. Ob die Dichte des Universums tatsächlich unendlich - oder nur sehr groß - wie unserem Modell – war, ist Gegenstand aktueller Forschung. Die Materie war auf jeden Fall so dicht 'zusammengepresst', dass es noch keine Strukturen, wie z.B. Galaxien gab. Aus diesem Anfangszustand heraus expandierte dann das Universum und es bildeten sich Sterne und Galaxien.“

8. Hinweis auf weiterführende Materialien

Der Lehrer weist abschließend darauf hin, dass es noch zahlreiche weitere Indizien für das 'Urknallmodell' gibt sowie auf weiterführende Materialien und Literaturhinweise auf der Homepage der AG Didaktik der Physik an der Uni Osnabrück.