



Geheimnis Dunkle Materie

Auf der Suche nach den Bausteinen des
Kosmos

*Unterrichtsmaterial für Schulen zur Vor- und Nachbereitung des Besuchs
in unserem Planetarium*



1. Kurze Information für die Lehrkräfte

"Dunkle Materie"; Was sich mysteriös und nach komplizierter Physik für die gymnasiale Oberstufe anhört, ist in Wahrheit eines der spannendsten Themen unserer Zeit. Deshalb richtet sich unser Programm und das Begleitmaterial auch und vor allem an Schüler und Lehrer der Sekundarstufe I. Je nach Leistungsstand und Vorwissen der Klasse kann das Material in den Klassen 7-10 eingesetzt werden.

Inhaltlich geht es dabei um die Suche nach der dunklen Materie. Diese macht, so zeigen Rechenmodelle, den größten Teil der Materie im Universum aus. Wir bezeichnen sie als "dunkel", weil die Physik bis heute nicht weiß, woraus diese besteht. Außerdem entzieht sie sich unserer Beobachtung, da sie keine Art von bekannter Strahlung aussendet oder reflektiert.

Wir können diese dunkle Materie nicht sehen. Wir wissen, dass sie die uns bekannte Form der Materie nahezu immer durchdringt, ohne Spuren zu hinterlassen. Und wir wissen, dass sie anders aufgebaut sein muss als die uns bekannten Elemente.

Ohne die dunkle Materie lassen sich die Entstehung, die Entwicklung und der Aufbau unseres Kosmos nicht verstehen. Daher lautet der Untertitel unserer Show zurecht: "Auf der Suche nach den Bausteinen des Kosmos". Denn diese Bausteine sind in Wahrheit nicht die uns bekannten Atome, die wir aus dem Periodensystem der Elemente kennen. Der überwiegende Teil des Kosmos besteht aus etwas völlig anderem!

Wir möchten den Besuchern und vor allem den Schülerinnen und Schülern mit unserer Show und dem Begleitmaterial erklären, wie die Wissenschaftler sich auf die Suche nach diesem mysteriösen "Stoff" begeben. Wie verrät sich die dunkle Materie, wenn wir sie doch nicht sehen können? Mit welchen Experimenten wollen die Physiker dem Rätsel der dunklen Materie auf die Spur kommen?

So ist dieses Thema passend für jeden modernen naturwissenschaftlichen Unterricht. Denn es geht hier nicht nur um aktuelle Rätsel der Physik, sondern auch um die Methoden, wie die Wissenschaftler diese versuchen zu entschlüsseln. Es lohnt sich also und ist in jedem Fall gerechtfertigt, diesem Thema auch im Unterricht einige Stunden zu widmen. Da die dabei erlernten Methoden fächerübergreifend sind (Informationsentnahme, Diagramme, Internetrecherche, Argumentieren usw.) kann dies sowohl im naturwissenschaftlichen Unterricht als auch im Deutschunterricht, im Politikunterricht oder im Klassenlehrerunterricht geschehen.

Begeben Sie sich gemeinsam mit Ihren Schülerinnen und Schülern auf die diese kosmische Spurensuche.

2. Kurze Information zum Unterrichtsmaterial

Experiment: Die Gesetze der Schwerkraft (1 Schulstunde)

In dieser praktischen Stunde erfahren die Schüler die Zusammenhänge zwischen Schwerkraft, Geschwindigkeit eines Objekts sowie der auftretenden Fliehkraft bzw. Zentrifugalkraft.



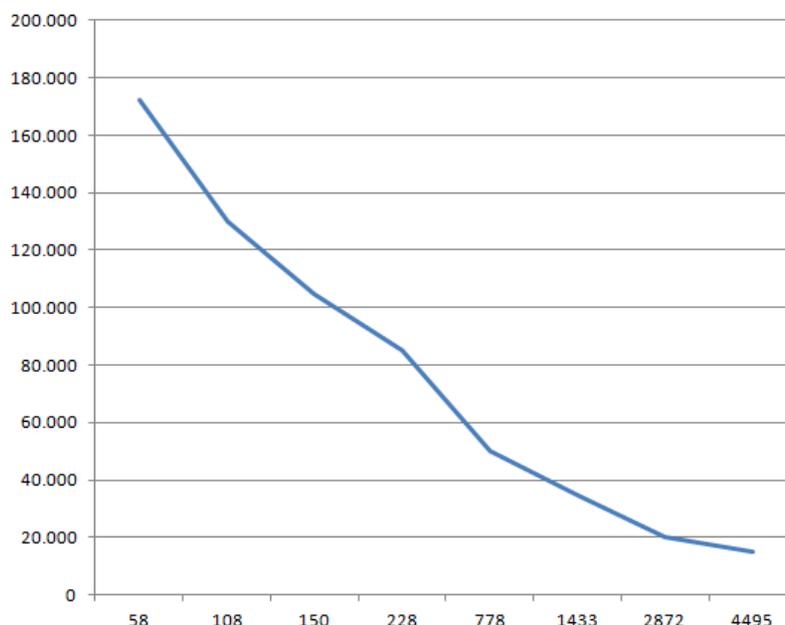
Diese Erfahrung und die Beobachtungen sollen das Verständnis für die darauf folgenden Stunden und Materialien erleichtern. Hinweis an die Lehrer: Die Schalen sind in Baumärkten erhältlich, ihr Rand sollte ca. 10cm hoch sein.

Auf der Spur der dunklen Materie (Arbeitsblatt, 2-3 Schulstunden)

Die Schülerinnen und Schüler erfahren hier, wie die Astrophysik auf die Spur der dunklen Materie gestoßen ist. Wie können wir etwas "sehen", das unsichtbar ist? Methodisch wird hier das Entnehmen von Informationen aus Texten, der Umgang mit Diagrammen und das Schlussfolgern geübt. Fachlich geht es in groben Zügen um den Aufbau des Sonnensystems, den Aufbau unserer Galaxis und um Newtons Theorie der Schwerkraft.

Dabei wird zunächst der Aufbau des Sonnensystems beschrieben. Es wird außerdem erklärt, welche Kräfte nach ISAAC NEWTON die Planeten auf ihrer Bahn halten. Die Schüler erkennen dabei: Je weiter ein Planet von der Sonne entfernt ist, desto geringer ist die Schwerkraft der Sonne auf ihn. Er muss sich also langsamer bewegen, damit die Fliehkraft (Zentrifugalkraft) ihn nicht aus dem Sonnensystem schleudert. Mithilfe vorgegebener Daten erstellen die Schüler z.B. in Excel dieses Diagramm:

Geschwindigkeit
der Planeten um
die Sonne in km/h

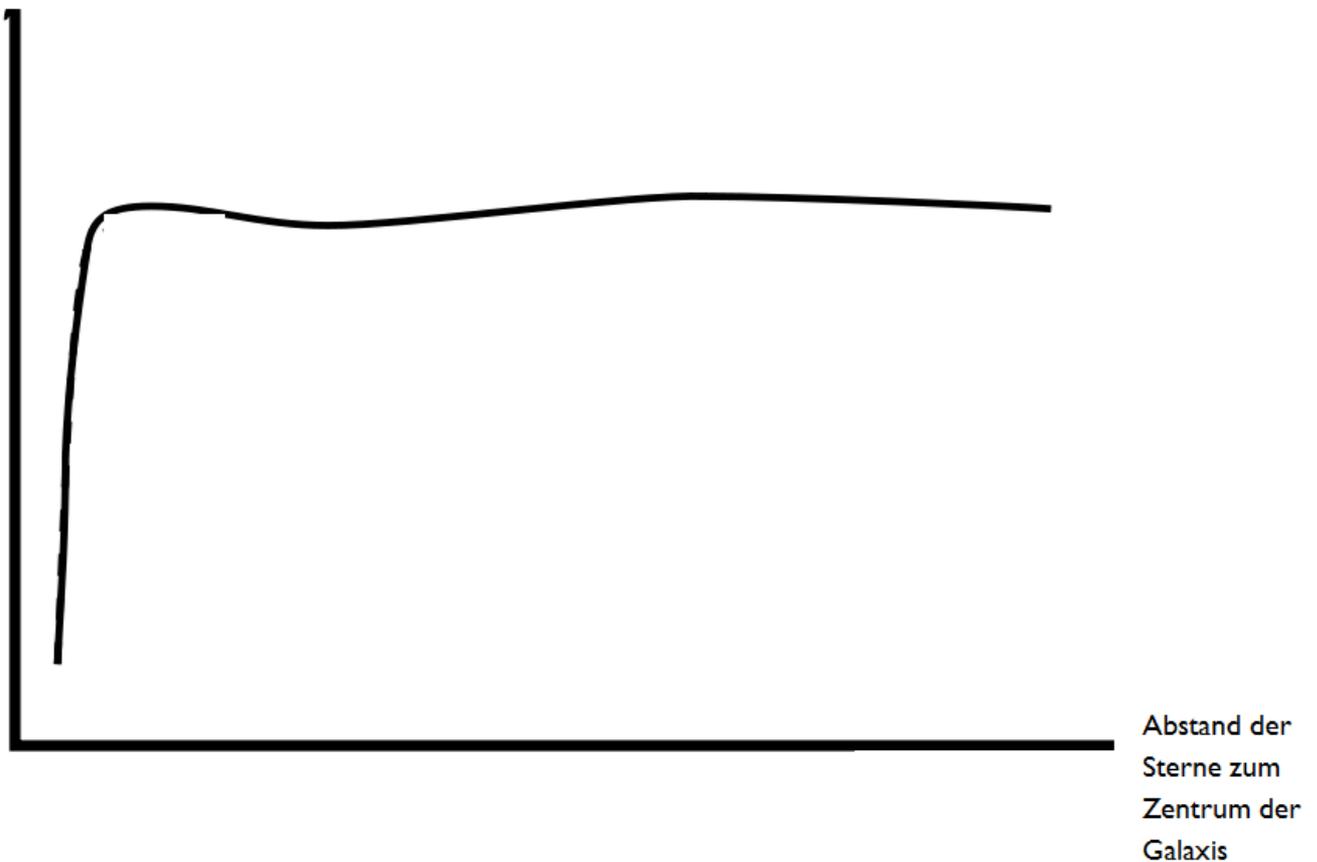


Abstand der
Planeten zur
Sonne in Mio. km

Dabei erkennen sie: **Nach Newtons Theorie der Schwerkraft muss sich ein Planet umso langsamer bewegen, je weiter er vom Zentrum des Systems entfernt ist.**

Die Gesetze der Physik sollten eigentlich überall gelten. Was also für die Bewegung der Planeten um die Sonne gilt, gilt auch für die Bewegung der Sterne um das Zentrum der Galaxis. Deshalb wird das erstellte Diagramm mit dem folgenden verglichen:

Bahngeschwindigkeit der
Sterne um das Zentrum
der Galaxis



Schnell ist zu erkennen: Die Geschwindigkeit der Sterne nimmt - im Gegensatz zur Geschwindigkeit der Planeten - mit zunehmendem Abstand nicht ab! Sie bewegen sich zu schnell und müssten dadurch eigentlich aus der Milchstraße geschleudert werden. Es muss also eine zusätzliche Schwerkraft geben, welche diese auf ihrer Bahn hält. Da Schwerkraft verursacht wird von Materie, muss es in der Milchstraße bzw. im Universum also mehr Materie geben, als wir sehen können. Ansonsten ließe sich die hohe Geschwindigkeit der Sterne in den äußeren Bereichen der Milchstraße nicht erklären.

Experiment: Die Gesetze der Schwerkraft

Material: Schale (z.B. Blumentopf oder Untertopf), Kugel

Versuchsbeschreibung: Zuerst werden Gruppen von 3 Schülern gebildet. Ein Schüler ist verantwortlich für das Stoppen der Zeit. Auf sein Kommando hin versetzt ein anderer Schüler die Kugel durch Bewegen der Schale so in Bewegung, dass sie sich entlang des Randes bewegt (siehe Bild). Der dritte Schüler zählt die Runden. Nach exakt 30 Sekunden wird die Rundenzahl notiert und die Rollen werden gewechselt. Gewonnen hat, wer die meisten Umrundungen geschafft hat! Dabei darf die Kugel jedoch nicht aus der Schale fliegen!

Anschließend wird das Experiment wiederholt. Dieses Mal gewinnt, wer die wenigsten Umrundungen schafft. Die Kugel darf dabei den Rand nach unten nicht verlassen!

Versuchsskizze:



Ergebnis:

1. Wem gelangen die meisten Umrundungen?		2. Wem gelangen die wenigsten Umrundungen?	
Schüler	Runden	Schüler	Runden

Weitere Beobachtungen: Was geschieht, wenn die Kugel zu schnell oder zu langsam rollt?

.....

.....

.....

.....

.....

Infos zum Versuch: Wir haben gesehen, dass die Kugel eigentlich nach unten rollt. Verantwortlich dafür ist die **Schwerkraft**. Setzen wir die Kugel aber in Bewegung, so kann es uns gelingen, sie am Rand entlang kreisen zu lassen, ohne dass sie nach unten fällt. Verantwortlich dafür ist die **Fliehkraft**. Der Fachbegriff für sie lautet **Zentrifugalkraft**.

Während die Schwerkraft nach unten bzw. ins Innere der Schale gerichtet ist, wirkt die Fliehkraft nach außen. Fliehkräfte treten immer dann auf, wenn ein Gegenstand seine Bewegungsrichtung verändert, also z.B. in einer Kurve oder bei einer Kreisbewegung. Wir kennen dies vom Autofahren. Fährt das Auto schnell in eine scharfe Kurve, so werden wir nach außen gedrückt.

Bewegt sich unsere Kugel im Experiment mit exakt der richtigen Geschwindigkeit, so sind Schwerkraft und Fliehkraft gleich groß. Bewegt sie sich zu schnell, so ist die Fliehkraft größer als die Schwerkraft und die Kugel wird aus der Schale geschleudert. Bewegt sie sich zu langsam, so ist die Fliehkraft nicht groß genug und die Kugel fällt nach innen.

Schlussfolgerung: Im Universum bewegen sich die Sterne - also auch unsere Sonne - auf Bahnen um das Zentrum der Milchstraße (siehe Bild rechts). Weshalb dürfen sich die Sterne dabei weder zu langsam noch zu schnell bewegen?



.....

.....

.....

.....

.....

Auf der Spur der dunklen Materie

In unserem Sonnensystem kreisen 8 Planeten um die Sonne. Von innen nach außen sind dies: Merkur, Venus, Erde, Mars, Jupiter, Saturn, Uranus und Neptun. Noch weiter außen kreist Pluto. Weil sich dort, wo Pluto um die Sonne kreist, aber sehr viele weitere Gesteinsbrocken befinden, wurde Pluto vom "Planeten" zum "Zwergplaneten" umbenannt. Die Reihenfolge der Planeten lässt sich mit einem Merksatz gut einprägen: **Mein Vater erklärt mir jeden Sonntag unseren Nachthimmel.**

Inzwischen haben wir sehr gut verstanden, nach welchen Gesetzen die Planeten um die Sonne kreisen. So sorgt die Schwerkraft der Sonne dafür, dass die Planeten auf ihren Bahnen gehalten werden. In direkter Sonnennähe ist ihre Schwerkraft am höchsten. Und so ist Merkur, der innerste Planet, dieser Schwerkraft am stärksten ausgesetzt! Er wird also am stärksten nach innen gezogen und würde eigentlich in die Sonne stürzen. Verhindert wird dies jedoch von seiner Geschwindigkeit, mit der er um die Sonne kreist. Wir kennen dies von einem Karussell. Je schneller es sich dreht, desto stärker werden wir nach außen gedrückt. Wir sprechen von der Fliehkraft bzw. Zentrifugalkraft.

Ein Planet befindet sich dann auf einer stabilen Umlaufbahn, wenn die Schwerkraft der Sonne und die auftretende Fliehkraft gleich groß sind. Wäre eine der beiden Kräfte größer, so würde er sich der Sonne immer weiter annähern oder unser Sonnensystem verlassen.

Dieses Gesetz der Schwerkraft wurde erstmals erkannt und beschrieben von ISAAC NEWTON. Überhaupt beschäftigte sich Newton sehr viel mit dem Thema "Kraft". Auch aus diesem Grund ist die Einheit der Kraft - das Newton (N) - heute nach ihm benannt.

Newton erkannte, dass sich jede Materie im Universum gegenseitig anzieht. Je mehr Masse (in kg) etwas hat, desto höher ist seine Schwerkraft. Desto stärker zieht es also andere Objekte an oder wird von ihnen angezogen. Unsere Erde verfügt über eine sehr große Masse. Deshalb ist ihre Schwerkraft so groß, dass sie uns anzieht und wir von ihr festgehalten werden. Unser Mond ist kleiner und verfügt über weniger Masse. Seine Schwerkraft ist also geringer. Dennoch macht sie sich bei Ebbe und Flut bemerkbar!

Newton erkannte außerdem, dass die Schwerkraft mit zunehmendem Abstand immer geringer wird. Dabei gilt: Verdoppeln wir den Abstand zur Erde, so wird deren Schwerkraft auf uns um das Vierfache geringer.



Newton fasste dies zusammen in der folgenden Formel:

$$F_G = G \cdot \frac{M_1 \cdot M_2}{r^2}$$

F_G ist dabei zum Beispiel die Kraft, die zwischen Sonne und Merkur herrscht. Mit dieser Kraft wird der Merkur also auf seiner Umlaufbahn gehalten. M_1 steht dabei für die Masse der Sonne. Wäre diese größer, so würde sie den Merkur auch stärker anziehen. Dasselbe gilt für die Masse des Merkur M_2 .

Da die Schwerkraft jedoch mit dem Abstand zur Sonne quadratisch abnimmt, teilen wir diese durch r^2 . Verdoppeln wir also den Abstand r zwischen Sonne und Merkur, so sinkt die Schwerkraft auf ein Viertel.

G steht für die Gravitationskonstante. Sie ist ein fester Wert, der für die uns bekannte Form der Materie gilt. Und so können wir mit dieser Formel errechnen, mit welcher Kraft im Universum unser Mond, die Planeten und die Sterne auf ihren Bahnen gehalten werden. Damit diese Bahnen stabil sind, muss jedoch die exakt gleiche Fliehkraft auf den Mond, die Planeten und die Sterne wirken. Das bedeutet: Die Planeten müssen sich mit der exakt richtigen Geschwindigkeit um die Sonne bewegen.

Die folgende Tabelle zeigt dir die Abstände der Planeten zur Sonne sowie deren Geschwindigkeit auf ihrer Bahn:

Planet	Abstand zur Sonne	Bahngeschwindigkeit
Merkur	58 Mio. km	172.500 km/h
Venus	108 Mio. km	130.000 km/h
Erde	150 Mio. km	105.000 km/h
Mars	228 Mio. km	85.000 km/h
Jupiter	778 Mio. km	50.000 km/h
Saturn	1.433 Mio. km	34.500 km/h
Uranus	2.872 Mio. km	20.000 km/h
Neptun	4.495 Mio. km	15.000 km/h

Aufgabe 1: Erstelle (z.B. mit Excel) aus dieser Tabelle ein Diagramm. (x-Achse: Abstand, y-Achse: Bahngeschwindigkeit).

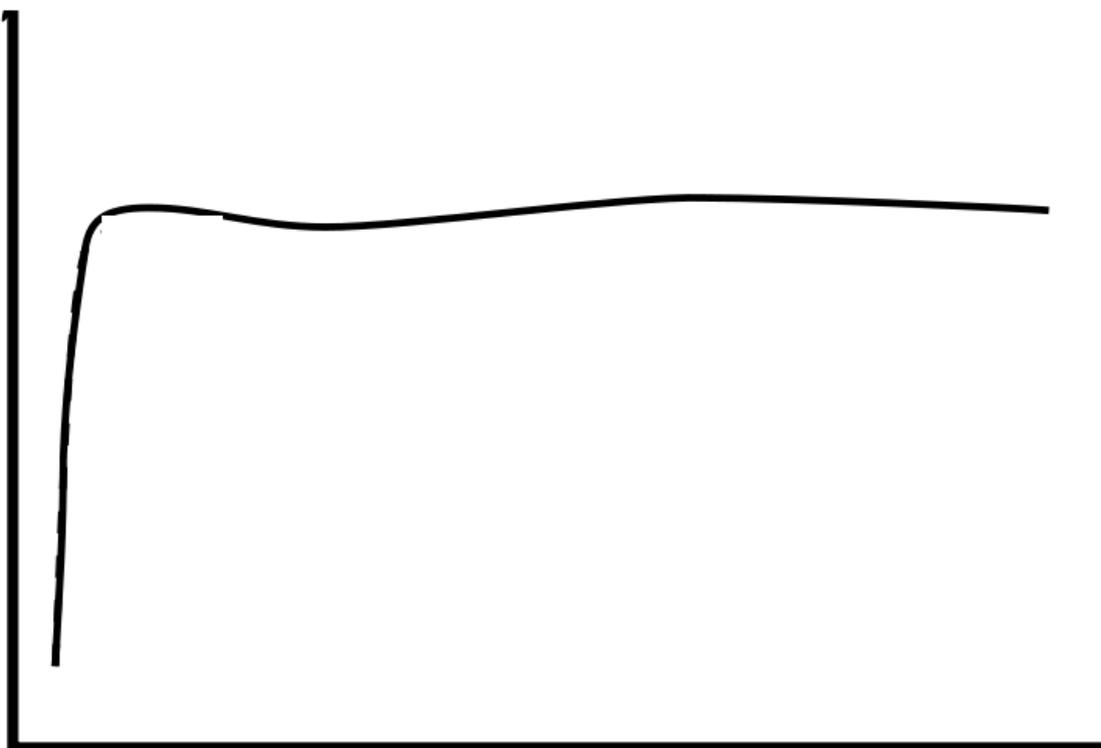
Wenn du Aufgabe 1 bearbeitet hast, so wird die auch nochmal grafisch klar: Mit zunehmendem Abstand von der Sonne muss die Geschwindigkeit eines Planeten abnehmen. Ansonsten wäre er zu schnell, die Fliehkraft zu hoch und er würde aus dem Sonnensystem geschleudert!

So, wie die Planeten um die Sonne kreisen, kreisen die Sterne (=andere Sonnen) um das Zentrum unserer Milchstraße. Das Bild rechts zeigt dir den Aufbau unserer Milchstraße. Im Zentrum befindet sich ein schwarzes Loch mit einer enorm großen Schwerkraft. Durch diese enorme Masse im Zentrum werden die Sterne auf ihrer Bahn gehalten. In den Spiralarmen befinden sich rund 200 Milliarden Sterne!



Je weiter die Sterne vom Zentrum der Milchstraße entfernt sind, desto langsamer müssen sie sich bewegen. Ansonsten würden sie - wie die Planeten - aus der Milchstraße heraus geschleudert. Astronomen haben die Geschwindigkeit zahlreicher Sterne tatsächlich gemessen. Dabei ergibt sich das folgende Diagramm:

Bahngeschwindigkeit der
Sterne um das Zentrum
der Galaxis



Abstand der
Sterne zum
Zentrum der
Galaxis

Aufgabe 2: Beschreibe die Unterschiede zwischen deinem eigenen erstellten Diagramm (Planeten) und der Geschwindigkeit der Sterne!

Aufgabe 3: Welche Folge müsste dieser Unterschied für die äußeren Sterne der Galaxis haben?

Aufgabe 4: Was benötigen wir, um Sterne, die sich eigentlich zu schnell bewegen, dennoch auf stabilen Bahnen zu halten?

