



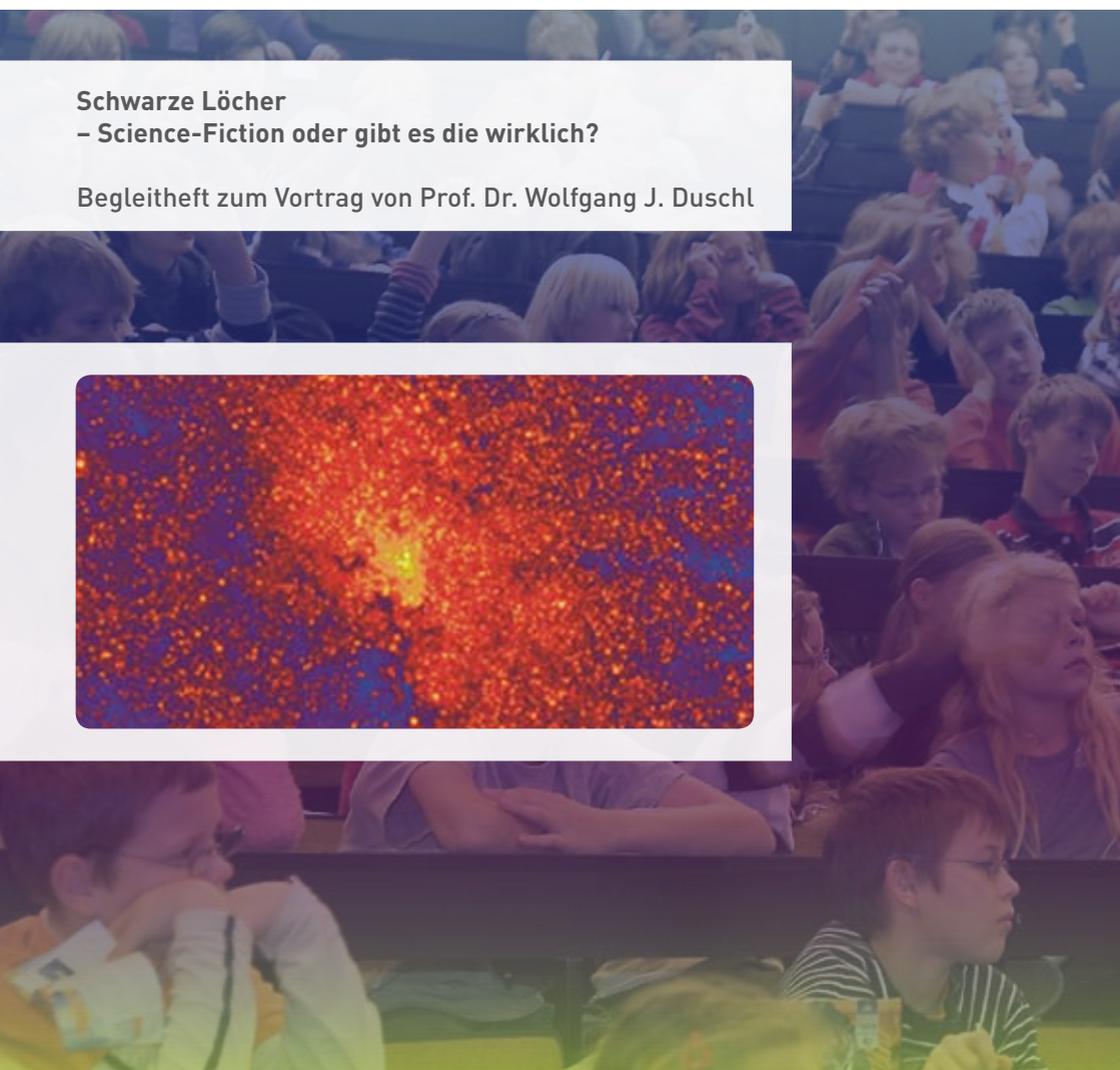
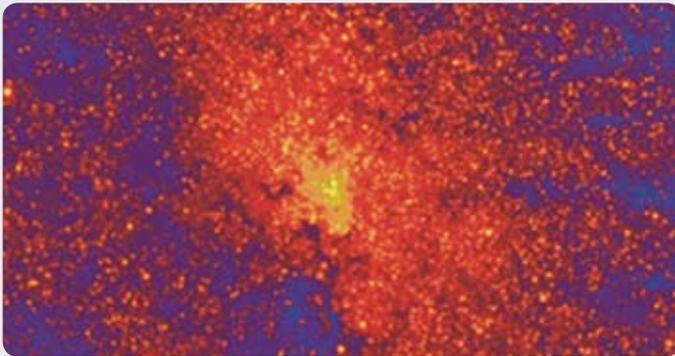
ozean der zukunft
DIE KIELER MEERESWISSENSCHAFTEN

KINDER- UND SCHÜLERUNI KIEL 2011

| Für Schülerinnen und Schüler von 8 bis 12 Jahren

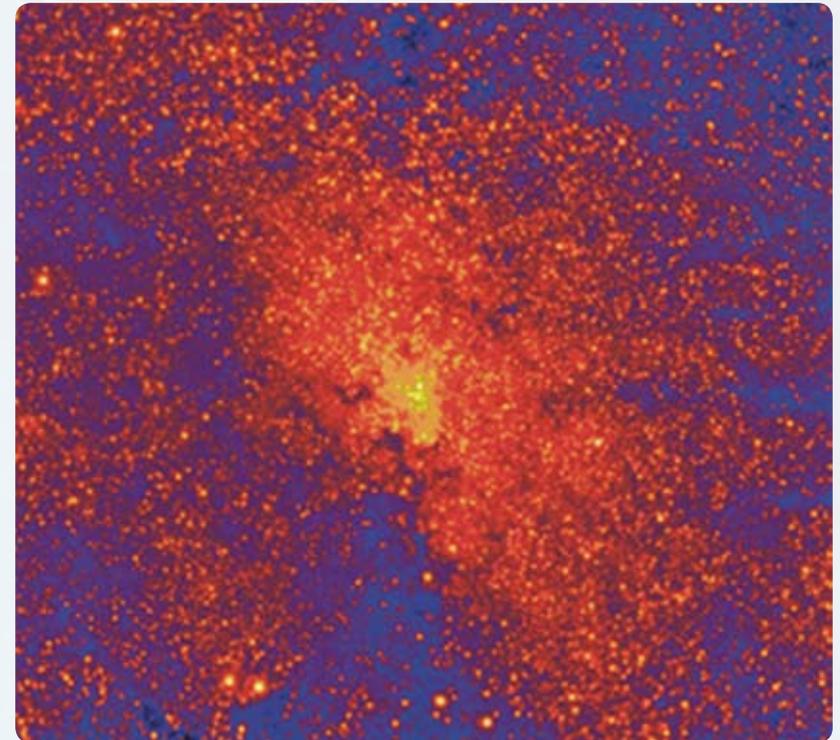
Schwarze Löcher
– Science-Fiction oder gibt es die wirklich?

Begleitheft zum Vortrag von Prof. Dr. Wolfgang J. Duschl



SCHWARZE LÖCHER – SCIENCE-FICTION ODER GIBT ES DIE WIRKLICH?

Prof. Dr. Wolfgang J. Duschl,
Institut für Theoretische Physik
und Astrophysik, CAU



Jeder von uns hat in Science-Fiction-Filmen schon von Schwarzen Löchern gehört, und dass dort ganz verrückte Sachen passieren können. Aber gibt es solche exotischen Objekte auch im wirklichen Universum? Professor Duschl beantwortet diese Fragen und berichtet von unglaublichen Vorgängen in der Nähe von Schwarzen Löchern.

Was sind Schwarze Löcher?

Wenn man heute auf der Straße eine Umfrage machen würde, was einem denn zu dem Begriff „Schwarzes Loch“ einfällt, dann würde man sicher ganz verschiedene Antworten bekommen. Manch´ einer würde das Ganze als Spaß auffassen und mit einer lustigen Bemerkung abtun. Andere wiederum würden zugeben, dass sie keine Ahnung haben, was denn das sein soll. Wieder andere würden an



Man geht heute davon aus, dass sich in der Mitte jeder Galaxie ein Schwarzes Loch von Millionen oder mehr Sonnenmassen befindet. Unsere Milchstraße würde von außen so ähnlich aussehen, wie hier der Andromedanebel. © GALEX, Caltech, NASA

Sciene-Fiction-Filme denken und antworten, dass das irgendwelche komischen, fantastischen Gebilde sind, die sich Regisseure von solchen Filmen ausgedacht haben, dass es aber ansonsten recht dahergesponnenes Zeug sei, das es bestimmt in Wirklichkeit nicht gibt. Und einige schließlich würden sagen, dass das ganz exotische Himmelskörper sind, die so starke Anziehungskraft aufweisen, dass nicht einmal Licht aus ihnen herauskommt. Sie würden vielleicht noch auf Albert Einstein, einen der berühmtesten Physiker des 20. Jahrhunderts verweisen und erklären, dass er diese Objekte erfunden oder entdeckt hat. Und irgendwie haben alle ein bisschen Recht, aber auch wieder nicht so ganz.

Die Erdanziehung hält Dinge fest...

Aber der Reihe nach: Wir können einen ganz einfachen Versuch machen. Wir nehmen einen Ball, einen Schlüsselbund, oder irgendwas anderes, bei dem es auch nicht schlimm ist, wenn es herunterfällt. Machen wir das Experiment mit einem Ball, z.B. einem Tischtennisball. Wenn wir den nach oben werfen, wird er bis zu einer bestimmten Höhe fliegen und dann umkehren und wieder zurückkommen. Das Wunder hält sich in Grenzen, das wissen wir aus der Alltagserfahrung. Als Physiker oder Astrophysiker wird man sich das aber etwas näher ansehen. Man macht eine größere Anzahl an Versuchen, um heraus zu bekommen, wie es genau funktioniert. Man wird den Ball öfter in die Höhe werfen, und man wird zweierlei feststellen: Wenn man den Ball immer gleich stark in die Luft wirft, wird er auch immer gleich hoch fliegen, bevor er umkehrt. Zu sagen, man macht das immer „gleich stark“ ist natürlich eine etwas schwammige Beschreibung. Als Forscher muss man das etwas genauer machen. Und der Physiker wird sagen, dass er jedes Mal die gleiche Energie und Flugrichtung wählt. Aber, da wir nun wissen, was wir mit der Stärke meinen, können wir jetzt auch weiter diesen Ausdruck verwenden. Wenn wir nun etwas mehr Energie aufwenden, den Ball also – in unseren Formulierungen – stärker hochwerfen, so werden wir feststellen, dass er auch höher fliegt, bevor er umkehrt. Und wenn wir dieses Experiment noch wissenschaftlich exakter machen wollen, dann messen wir die Höhe und sortieren sie nach der Stärke des Loswerfens. Und wir stellen fest, dass die Umkehrhöhe

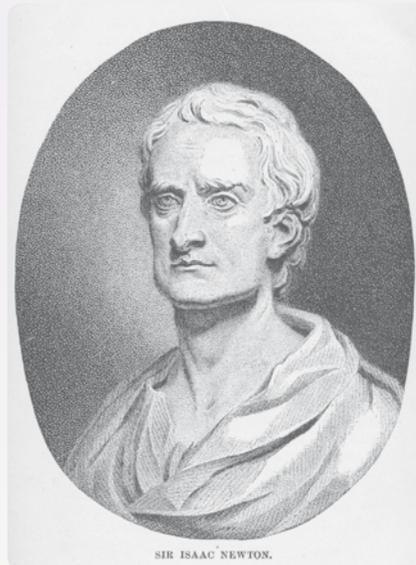
(= Höhe, in welche der Ball fliegt) umso größer ist, je stärker wir den Ball geworfen haben. Wenn wir ganz exakt sein wollten, dann müssten wir noch ein Verfahren finden, wie wir auch die Stärke nicht nur relativ zu einander (stärker / weniger stark) sondern in Zahlen beschreiben (so, wie wir die Umkehrhöhe in Metern angeben können). Das ist aber etwas aufwendiger und für unsere folgenden Überlegungen nicht so wichtig.

...aber man kann sie doch überwinden

Unser Experiment ist durch die Kraft unserer Armmuskeln beschränkt. Wir erreichen nur eine bestimmte Höhe, dann geht einfach nicht mehr, weil unsere Muskelkraft nicht mehr hergibt. Aber wir wissen ja, dass wir diese Grenze technisch überwinden können, z.B. indem wir den Ball mit einer Rakete losschicken. Und wenn wir unser Experiment mit dieser Hilfe weiterführen würden, dann würden wir etwas Eigenartiges feststellen. Ab einer gewissen Grenze, dann wenn wir den Ball (samt Rakete) mit mindestens 11,2 Kilometern pro Sekunde (!), also rund 40.000 Stundenkilometern losschicken würden, dann käme er nicht wieder, er würde nicht mehr umkehren. Was ist jetzt passiert? Vielleicht liegt es nur daran, dass es sehr lange dauert, bis er umkehrt? Nein, diese Geschwindigkeit ist eine Grenze. Und diese Grenze hat mit der Größe und der Masse der Erde zu tun.

Issac Newton (1643-1727) war einer der größten Physiker aller Zeiten. Unter anderem hat er das heute nach ihm benannte Gesetz der Anziehungskraft gefunden.

© Public domain



Warum brauchen wir überhaupt Energie, um einen Körper in die Luft zu bekommen? Das hängt mit der Anziehungskraft der Erde zusammen, und die hängt wiederum von Größe und Masse der Erde ab. Und solche Überlegungen gelten für alle Körper im ganzen Weltall. Je mehr Masse ein Körper hat und / oder je kleiner er ist, umso höher ist diese Grenzgeschwindigkeit.

Der Test: Der Flug zum Mond



Bevor wir aber unsere Überlegungen weiterführen, erst einmal einen Beweis dafür, dass wir bisher richtig liegen. Vor über vierzig Jahren sind die ersten Menschen zum Mond geflogen, und schon ein paar Jahre vorher sind die ersten unbemannten Sonden zu anderen Planeten und zum Mond geflogen. Und die mussten dafür natürlich die Anziehungskraft der Erde überwinden, denn sonst wären sie von selbst wiedergekommen, so wie unser Ball, und hätten es nicht zu ihren Zielen geschafft. Nun kann man ja raten, wie schnell diese sein mussten als sie aus der Erdumlaufbahn zu ihrem Ziel losflogen: genau – mindestens rund 40.000 Stundenkilometer. Soweit dürften unsere Überlegungen also stimmen.

Mit Saturn V-Raketen haben vor gut vierzig Jahren Menschen erstmals die Erdanziehung überwunden und sind zum Mond geflogen – und heil wieder zurückgekommen.

© NASA

Ein englischer Reverend und die Lichtgeschwindigkeit

Aber was hat das alles mit Schwarzen Löchern zu tun? Dazu kommen wir jetzt: Stellen wir uns vor, wir würden nicht Anfang des 21. Jahrhunderts leben, sondern Ende des 18. Jahrhunderts in England. Dann würden wir vielleicht von einem Reverend John Michell hören, der sich unter anderem einen Namen als Naturforscher, heute würden wir wohl Physiker sagen, gemacht hat. Reverend Michell hatte alle möglichen guten Ideen, die seiner Zeit oft voraus waren. So hatte er zum Beispiel Ideen, die aus heutiger Sicht eng mit der Kontinentalverschiebung zu tun haben, und andere, die man heute der Sternentstehung zuordnen würde. Und eine wichtige Überlegung hatte er zu unserem Thema, zu den Schwarzen Löchern:

Michell kannte das Experiment, das wir gerade durchgeführt hatten auch, er wusste um die Grenzgeschwindigkeit, jenseits derer ein Körper die Anziehungskraft eines anderen überwinden kann. Michell wusste aber noch etwas anderes: Seit etwa einem Jahrhundert war die Geschwindigkeit bekannt, mit der sich Licht ausbreitet, nämlich etwa 300.000 Kilometer pro Sekunde. Schon vor weit über zweitausend Jahren (in der Antike), gab es Überlegungen, dass sich Licht nicht unendlich schnell ausbreiten würde, nur hatte kein Mensch auch nur den geringsten Schimmer, wie man den Wert messen konnte. Man wusste also nur, dass er, wenn er überhaupt endlich war, fürchterlich groß sein musste. Und das hat sich dann bei den ersten halbwegs brauchbaren Messungen Ende des 17. Jahrhunderts als richtig erwiesen: eben um die genannten 300.000 Stundenkilometer.

Nichts geht mehr (weg).

Und jetzt kam Michell's geniale Idee: Wenn diese Grenzgeschwindigkeit von Masse und Größe eines Himmelskörpers abhängt, dann müsste es ja – zumindest prinzipiell – Objekte geben, deren Anziehungskraft so stark ist, dass nicht einmal die Lichtgeschwindigkeit ausreicht, um die Anziehung zu überwinden. Die Überlegung war genial – das konnte der gute Reverend aber nicht ahnen, dazu war er seiner Zeit viel zu weit voraus. Er hat seine Ergebnisse bei der

Akademie veröffentlicht, aber keiner wusste so recht etwas damit anzufangen, und dementsprechend waren sie auch recht schnell in Vergessenheit geraten. Erst in den 1970er Jahren wurden sie wiederentdeckt und als Vorläufer von Schwarzen Löchern erkannt. Was bedeutet Michell's Erkenntnis nun?



Ein Laser zeigt von einem der Teleskope der Europäischen Südsternwarte ESO in Chile zum Zentrum der Milchstraße. Dort steckt ein Schwarzes Loch mit knapp vier Millionen Sonnenmassen, auch wenn man es nicht direkt sehen kann. © ESO/Yuri Beletsky

Warum sehen wir die Sonne – oder andere Sterne, oder die Planeten? Ganz einfach, wir bekommen Licht von ihnen, und das können wir am Himmel beobachten. Astrophysiker analysieren dieses Licht und können daraus alle möglichen Eigenschaften der Objekte ableiten. Aber um solche Details geht es jetzt gar nicht, es geht nur darum, dass wir überhaupt Licht von ihnen bekommen. Übrigens, unser Auge ist nur für Licht bestimmter Farben empfindlich, es gibt aber

noch sehr viel Licht, das wir mit den Augen nicht sehen können, z.B. Radio- oder Mikrowellen. Wenn hier im Folgenden von Licht die Rede ist, dann ist immer alles Licht gemeint, nicht nur das, das wir mit den Augen erkennen können. Der Physiker nennt es elektromagnetische Strahlung und das sichtbare Licht ist nur ein kleiner Teil davon. Aber zurück zu unseren Schwarzen Löchern.

Auf dem Weg zum Schwarzen Loch: Ein Gedankenexperiment

Natürlich kann man die Anziehungskraft eines Sterns nicht einfach so künstlich ändern, aber man kann sich ja ein Experiment vorstellen, ein sogenanntes Gedankenexperiment, bei dem wir an einem Stern ein Einstellrad haben, mit dem wir die Anziehungskraft verändern können. Und wenn wir nun zu immer größerer Anziehungskraft gehen, dann ändert sich erst einmal nur die Grenzgeschwindigkeit, sie wird immer größer. Aber ein Astronom, der von der Erde aus diesen Stern beobachtet, wird keine wesentlichen Änderungen feststellen, der Stern strahlt weiter fröhlich vor sich hin. Das geht so lange gut, bis die Anziehungskraft so stark wird, dass die Grenzgeschwindigkeit fast Lichtgeschwindigkeit wird.

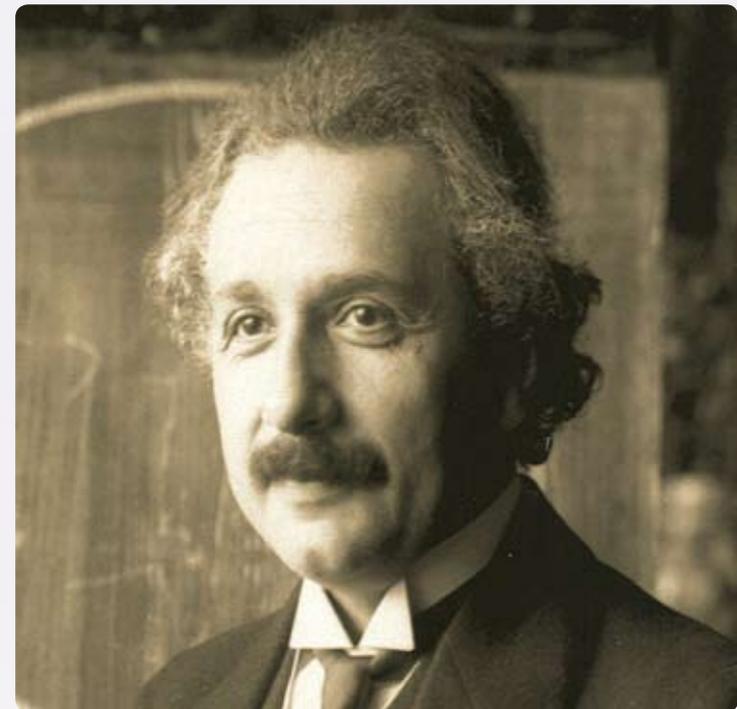
Wenn sie die Lichtgeschwindigkeit erreicht, geht, von außen gesehen, der Stern praktisch aus. Das Licht kann ihn nicht mehr verlassen, und damit sieht der Beobachter auf der Erde (oder sonstwo im Universum) nichts mehr von diesem Stern: Das Licht ist ja gefangen und damit kann es uns nicht mehr erreichen. Der Stern wird unsichtbar, schwarz. Und diesen Zustand bezeichnet man als Schwarzes Loch. Dieser Ausdruck „Schwarzes Loch“ wurde allerdings erst in den 1960er Jahren geprägt.

So hat es sich auch Michell Ende des 18. Jahrhunderts überlegt. Und seine Überlegungen waren ganz einfach genial, auch wenn damals kein Mensch eine Ahnung hatte, wofür das alles gut sein könnte.

Und was hat Einstein damit zu tun?

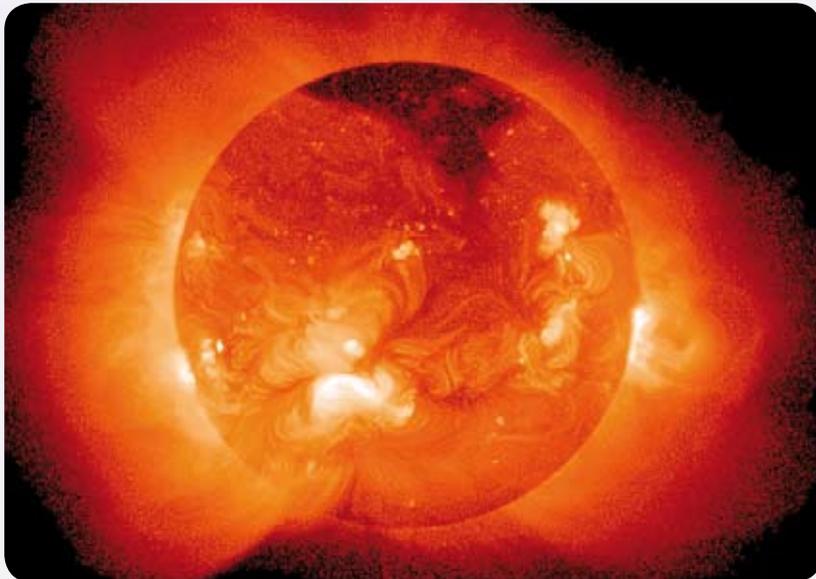
Genauer hat es Anfang des 20. Jahrhunderts Albert Einstein mit einer weltberühmten Theorie, seiner Relativitätstheorie gemacht. Er

hatte eine zusätzliche, noch viel revolutionärere Idee, nämlich, dass die Lichtgeschwindigkeit nicht nur fürchterlich groß ist, sondern, dass es gar keine größere Geschwindigkeit gibt. Das führt dann zu einer anderen Begründung für Schwarze Löcher, auf die zum Teil im Vortrag eingegangen wird, aber die entscheidende Idee ist, dass es im Weltall Körper geben kann, die eine so starke Anziehungskraft haben, dass sie sogar Licht gefangen halten. Und wenn, wie Einstein erkannt hat, dies sogar die höchste Geschwindigkeit ist, dann hält solch ein Himmelskörper nicht nur Licht fest, sondern alles andere auch, es ist also ein wirklich Schwarzes Loch.



Albert Einstein (1879-1955) hat in seiner Relativitätstheorie herausgefunden, dass nichts schneller sein kann als das Licht und damit Newton's Theorie noch verbessert. Von ihm stammt unser heutiges Verständnis von Schwarzen Löchern. © Public domain

Und seit Einstein wissen wir auch genauer, wie man sich Schwarze Löcher vorstellen muss. Wir hatten ja schon gesehen, dass die Anziehungskraft auch an der Größe eines Himmelskörpers hängt. Wenn man – und hier machen wir wieder ein Gedankenexperiment – die Sonne stark verkleinern könnte, sie dabei aber immer dieselbe Masse behalten würde, dann müsste sie ja irgendwann, wenn sie nur klein genug ist, ein Schwarzes Loch werden. Und dem wäre tatsächlich so. So, wie wir die Sonne heute am Himmel sehen, ist sie fast eineinhalb Millionen Kilometer groß. Wenn wir nun diese Sonne nehmen und ganz stark zusammendrücken würden, so stark, dass sie nur noch sechs Kilometer groß wäre, dann würde ihre Anziehungskraft alles festhalten, sogar Licht, dann wäre sie zu einem Schwarzen Loch geworden.



Die Sonne hat, so wie wir sie am Himmel sehen, eine Größe von knapp eineinhalb Millionen Kilometern. Das Bild hier zeigt die Sonne nicht im sichtbaren, sondern im Röntgen-Licht. Würde man diese ganze Masse auf eine Größe von nur sechs Kilometern zusammenquetschen, dann würde sie zu einem Schwarzen Loch. © NASA

Wie wird man Astrophysiker? Und welche Voraussetzungen muss ich mitbringen?

Bevor man Astrophysiker werden kann, muss man zuerst Physik studieren. Nach mindestens drei Jahren Bachelor-Studium, in dem man schon Astro-Vorlesungen hören kann, spezialisiert man sich im Master-Studium auf die Astrophysik. Das Master-Studium dauert mindestens zwei Jahre. Dem schließt sich eine üblicher Weise dreijährige Doktorarbeit an, bevor man dann ein ganz selbständiger Wissenschaftler sein kann. Das Arbeitsfeld des Astrophysikers sind in der Regel Universitäts- oder Max-Planck-Institute und ähnliche Einrichtungen, oder aber auch z.B. die optische Industrie.



| Professor Dr. Wolfgang J. Duschl
(CAU KIEL)
wjd@astrophysik.uni-kiel.de

DER KIELER EXZELLENZCLUSTER

OZEAN DER ZUKUNFT

Der Kieler Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ ist ein in Deutschland einmaliger Forschungsverbund von mehr als 240 Wissenschaftlern aus sechs Fakultäten der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, des Leibniz-Instituts für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR), des Instituts für Weltwirtschaft (IfW) und der Muthesius Kunsthochschule.

Ziel des interdisziplinären Verbundes aus Meeres-, Geo- und Wirtschaftswissenschaftlern sowie Medizinern, Mathematikern, Juristen und Gesellschaftswissenschaftlern ist es, den Ozean- und Klimawandel gemeinsam zu erforschen, die Risiken und Chancen neu zu bewerten und ein weltweit nachhaltiges Management der Ozeane und mariner Ressourcen zu ermöglichen. Der Exzellenzcluster „Ozean der Zukunft“ wird im Rahmen der Exzellenzinitiative von der deutschen Forschungsgemeinschaft im Auftrag von Bund und Ländern gefördert.

Weitere Informationen unter: www.ozean-der-zukunft.de

