Arnold Hanslmeier

DIMENSIONEN DES WELTALLS

VERLAG ANTON PUSTET

Impressum

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über http://dnb.d-nb.de abrufbar.

© 2021 Verlag Anton Pustet
5020 Salzburg, Bergstraße 12
Sämtliche Rechte vorbehalten.

Lektorat: Martina Schneider
Grafik und Produktion: Nadine Kaschnig-Löbel
Coversujet: Explodierende Galaxie M 82 © Rochus Hess, www.astrofotografie-hess.at; Kapiteltrennseiten: Rochus Hess; Seite 182–183 Rochus Hess und Marcel Drechsler
eISBN 978-3-7025-8085-8

auch als gedrucktes Buch erhältlich: ISBN 978-3-7025-1028-2

www.pustet.at

Arnold Hanslmeier

DIMENSIONEN DES WELTALLS

VERLAG ANTON PUSTET

INHALT

Einleitung

Unsere Erde

- Ist die Erde eine Kugel?
- Kann man die Erdkrümmung sehen?
- Wie groß ist die Erdkugel?
- Wieso schweben Astronauten im All?
- Gibt es auch auf der Erde Schwerelosigkeit?
- Wie schwer ist die Erde?
- Was sind astronomische Zahlen?
- Wie schwer ist die Menschheit?
- Die Kanonenkugel und die Erdanziehung
- Wie sieht die Erde vom Mond aus?
- Was bezeichnet man als Planet?
- Wie sieht die Erde vom Weltraum aus?
- Wie groß ist die Erdoberfläche verglichen mit anderen Himmelskörpern?
- Warum gibt es Jahreszeiten?

Unser Mond

- Auf dem Mond hüpfende Astronauten?
- Der Mond als Raumstation?
- Wie weit ist der Mond von uns entfernt?
- Woher kommt das Wort „Monat“?
- Was ist ein Blauer Mond?
- Wie entstehen die Mondphasen?
- Was ist das Mondgesicht?
- Meere und Gebirge auf dem Mond?
- Weshalb besitzt der Mond Krater?
- Wie kommt es zu Mond- und Sonnenfinsternissen?

- Weshalb dauern Finsternisse unterschiedlich lange?
- Was ist ein Blutmond?
- Wie entstehen die Gezeiten?
- Was ist eine Springflut?
- Die Kraft des Mondes
- Der Mond und die Entstehung des Lebens?
- Die Erdachse als Kreisel
- Was ist der Polarstern?
- Woher kommt unser Mond?

Unser Kalender

- Woher kommen das Jahr, der Monat und der Tag?
- Wie lange dauert ein Jahr?
- Der Tag, an dem elf Tage verstrichen
- Gibt es Kalender, die nach dem Mond gehen?
- Der Nullpunkt des Kalenders?

Die Sonne, unser Stern

- Wie heißt unser nächster Stern?
- Was macht die Sonne so besonders?
- Weshalb stürzen wir nicht in die Sonne?
- Wie kann man die Sonne beobachten?
- Was sieht man auf der Sonne?
- Hat die Sonne Flecken?
- Wie weit ist die Sonne entfernt?
- Wieviel Energie strahlt die Sonne ab?
- Wie erzeugt die Sonne ihre Energie?
- Masse in Energie umwandeln?
- Die Sonne – eine Atombombe?
- Wird die Sonne leichter?
- Kann man in das Innere der Sonne blicken?
- Die schwingende Sonne?
- Kann man Neutrinos nachweisen?
- Zu wenig Neutrinos von der Sonne?
- Ist die Sonne magnetisch?
- Warum sind Sonnenflecken kühl?
- Warum ist die höhere Sonnenatmosphäre heißer als die Oberfläche?

- Eine Heizung für die Sonnenatmosphäre?
- Gefahr von der Sonne?
- Polarlichter von der Sonne erzeugt?
- Funkstille durch erhöhte Sonnenaktivität?
- Gefahr durch Sonnenstrahlung?
- Das Zittern der Kompassnadel
- Gibt es ein Wetter im Weltraum?
- Beeinflusst die Sonnenaktivität unser Klima?
- Wann hört die Sonne auf zu leuchten?

Das System der Planeten

- Was sind Planeten?
- Schleifen am Himmel?
- Was ist der Morgenstern, was ist der Abendstern?
- Gibt es eine Venussichel?
- Gibt es etwas Neues von Merkur?
- Venus: Die Hölle im Sonnensystem?
- Wo geht die Sonne verkehrt auf?
- Gibt es Leben auf der Venus?
- Mars – der rote Planet
- Kanäle auf dem Mars, errichtet von Marsbewohnern?
- Grüne Marsmännchen?
- Spielzeugautos auf dem Mars?
- Auf dem Mars (über)leben?
- Wann regnete es auf dem Mars zum letzten Mal?
- Sonnenfinsternisse auf dem Mars?
- Jupiter – ein Miniatursonnensystem?
- Monde, neue Kandidaten für Leben?
- Saturn – der einzige Planet mit Ring?
- Titan – Baden im Alkohol?
- Eine Sonde landet auf Titan
- Enceladus: Eisvulkane?
- Uranus und Neptun, die Eisriesen?
- Gab es eine weitere Planetenkollision im Sonnensystem?
- Ein Planet wird vorausberechnet
- Weshalb ist Pluto kein Planet mehr?
- Was wissen wir über Pluto?
- Kometen – Unheilsbringer?
- Was ist der Halley’sche Komet?
- Kometen- und Sternschnuppenschauer
- Das Sonnensystem mit dem Flugzeug

- Wie groß sind die Planeten?

Der Kosmos der Sterne

- Wie viele Sterne sehen wir am Himmel?
- Wie erscheint uns der Sternenhimmel?
- Wie hell leuchten Sterne?
- Was sind Größenklassen?
- Wie weit sind die Sterne von uns entfernt?
- Was ist ein Lichtjahr?
- Eine Reise zu Alpha Centauri?
- Wie unterscheiden wir Sterne von Planeten am Himmel?
- Wo entstehen Sterne?
- Was ist das Siebengestirn?
- Weshalb rotieren Sterne?
- Wie entstehen Sterne und Planeten?
- Was sind Rote Riesen?
- Wie lange leben Sterne?
- Bestehen wir aus Sternenstaub?
- Was ist eine Supernova?
- Was sind Weiße Zwerge?
- Das Rätsel des Sirius
- Was wird einmal aus der Sonne?
- Was wird aus weißen Zwergen?
- Was sind Neutronensterne?
- Leuchttürme am Himmel oder was sind Pulsare?
- Ein heller Stern am Himmel
- Schwarze Löcher – gibt es sie wirklich?
- Ab wann wird man von einem Schwarzen Loch gefangen?
- Unsere Erde, ein Schwarzes Loch?
- Schwarze Löcher als Sternleichen?
- Zusammenfassung: Wie enden die Sterne?
- Kann man Schwarze Löcher sehen?
- Was sind Wurmlöcher?
- Eine Reise in ein Schwarzes Loch
- Was ist hinter dem Ereignishorizont?
- Ewig gefangen im Schwarzen Loch?
- Die quantenmechanische Radarfalle?
- Quantenphysik, alles wird unscharf?
- Warum leben wir überhaupt in einer geordneten Welt?
- Geisterteilchen aus dem Nichts?
- Ist moderne Technik ohne Quantenphysik denkbar?

- Die Quantenphysik und Schwarze Löcher
- Wie lange leben Schwarze Löcher?

Hunderte Milliarden von Sternen: Unsere Milchstraße

- Ist unsere Sonne ein besonderer Stern?
- Verspritzte Milch am Himmel?
- Die Milchstraße – viele Sterne?
- Wo befinden wir uns in der Milchstraße?
- Wie ist die Milchstraße aufgebaut?
- Radiostrahlung von der Milchstraße?
- Dem Monster im Zentrum auf der Spur
- Was ist die Umgebung der Sonne und des Sonnensystems?
- Leben wir in einer Blase?
- Kein leerer Raum zwischen den Sternen?
- Aus (fast) nichts entstehen Sterne?
- Gasnebel – Geburtsstätten neuer Sterne?
- Leuchtender Wasserstoff?
- Staub in der Milchstraße?

Galaxien Welteninseln

- Wie groß ist das Universum?
- Eine einfache Abschätzung – wie weit ist der Andromedanebel von uns entfernt?
- Wie weit ist der Andromedanebel wirklich entfernt?
- Edwin Powell Hubble – Genie ohne Nobelpreis
- Haufen von Galaxien?
- Ein Schwarzes Loch sichtbar machen?
- Die fehlende Masse bei Galaxienhaufen?
- Was sind Superhaufen?
- Sterne, die sich zu schnell um das Zentrum bewegen?
- Dunkle Materie auch in der Milchstraße?
- Woraus besteht die Dunkle Materie?
- Dunkle Planeten verbiegen den Raum?
- Aktive Galaxien – wenn das Schwarze Loch Materie verschlingt
- Galaxienkannibalismus

Wie ist alles entstanden?

- Weshalb schauen die Menschen seit jeher nach oben?
- Wo befinden wir uns im Universum?
- Eine Galaxie unter vielen?
- Sind wir im Mittelpunkt des Universums?
- Dehnt sich das Universum aus?
- Wie alt ist das Universum?
- Wie bestimmt man die Hubble-Konstante?
- Inflation im Universum?
- Gibt es Dunkle Energie?
- Das Universum und die Fahrradpumpe?
- Wie heiß ist das heutige Universum?
- Ein Rauschen im Hintergrund?
- Können wir in die Vergangenheit blicken?
- War das Universum undurchsichtig?
- Woraus besteht das Universum?
- Der Urknall – Sinn oder Unsinn?
- Was ist die Kosmologische Konstante?
- Wie gesichert ist die Urknalltheorie eigentlich?
- Wie entwickelt sich das Universum weiter?
- Wie viel Masse gibt es im Universum – oder Expansion auf ewig?
- Dunkle Materie, Dunkle Energie ...
- Dehnt sich das Universum für immer aus?
- Verbotene Frage: Was war vor dem Urknall?
- Wohin dehnt sich das Universum aus?
- Ist der Raum gekrümmt?
- Ist der Raum wirklich gekrümmt?
- Riesenteleskope im Universum?
- Periheldrehung, was ist das?
- Raumkrümmung im täglichen Leben?

Gefahr aus dem All?

- Weshalb sind die Dinosaurier ausgestorben?
- Ein Asteroid schlägt ein?
- Gab es auch andere Massensterben in der Erdgeschichte?
- Welche Ursachen für Massensterben gibt es?
- Gab es Klimaänderungen?
- Gefahr durch Sonnenstürme?
- Eine nahe Supernova explodiert?

- Gibt es Kandidaten für Supernovae?
- Gammastrahlenblitze
- Was weiß man über die rätselhaften Blitze aus dem All?
- Was sind Gravitationswellen?
- Was passiert, wenn Neutronensterne kollidieren?
- Kann man den Kollaps zweier
- Neutronensterne beobachten?
- Blitze aus dem All als Gefahr für die Erde?

Invasion aus dem All?

- Leben auf der Venus?
- Denkmäler auf dem Mars?
- Lebensspuren in Marsmeteoriten?
- Auf einem Mond leben?
- Leben außerhalb des Sonnensystems?
- Werden wir von Außerirdischen abgehört?
- Wie Sand am Meer?
- Die Kontaktaufnahme
- Wo sind sie?
- Gibt es heiße Jupiter?
- Spuren des Lebens im Spektrum?
- Auf der Suche nach Leben auf Exoplaneten
- Eine Schallplatte unterwegs zu den Sternen?

Was können wir am Himmel sehen?

- Warum ist es nachts dunkel?
- Was ist Lichtverschmutzung?
- Das Sterben der Insekten
- Bei Vollmond schlecht schlafen?
- Wie weit wirkt die Lichtverschmutzung von Städten?
- Gibt es Abhilfe gegen Lichtverschmutzung?
- Licht und Sicherheit?
- Licht zum Hinsehen
- Was ist Scotobiologie?
- Kosten sparen durch weniger Beleuchtung?
- Nachthimmelsbeobachtungen von einer Stadt aus?
- Was ist der große Wagen?

- Den Polarstern finden
- Eine Prinzessin und der Teufelsstern
- Sirius, der hellste Stern am Himmel
- Der Himmelsjäger Orion
- Das Wintersechseck
- Das Sommerdreieck
- Was sieht man bei vollkommener Dunkelheit?
- Welches Teleskop sollte man kaufen?
- Was sieht man mit einem Teleskop am Himmel?
- Welche Nebel sieht man gut?
- Planetarische Nebel
- Sternhaufen am Himmel
- Zusammenfassung: Was sieht man am Abendhimmel zu einer bestimmten Jahreszeit

Dank, Bildnachweis

EINLEITUNG

Als ich mich mit dem Enkel meines Nachbarn unterhielt und dieser erfuhr, dass ich nachts Sterne beobachte, tauchte sofort die Frage auf, was ein Schwarzes Loch sei. Schwarze Löcher, explodierende Sterne, Planeten, Leben auf anderen Planeten, Entstehung des Universums und viele weitere Fragen in Zusammenhang mit der Astrophysik, der Wissenschaft, die sich mit diesen Dingen beschäftigt, faszinieren die Menschen. Einige davon sind auch die grundlegenden Fragen, die sich die Menschen bereits in sehr frühen Kulturen vor mehreren Tausenden von Jahren stellten.

Die Antworten auf diese Fragen sind auch heute nur teilweise möglich, aber gehen doch weiter über die Deutung der Phänomene durch göttliches Wirken hinaus, was nach Meinung vieler Naturwissenschaftler*innen die Existenz eines Gottes jedoch keineswegs ausschließt.

In diesem Buch werden derartige Fragen gestellt und beantwortet. Es beginnt mit Dingen, die uns täglich begegnen. Wie kommt ein Kalender zustande, weshalb hat das Jahr 365 Tage und alle vier Jahre ist ein Schalttag? Woher kommen die Monate und Wochentage? Unsere Erde ist ein Spielball kosmischer Kräfte. Die Anziehungskräfte von Mond und Sonne bewirken die Gezeiten. Kann uns die Sonne gefährlich werden? Was sind überhaupt Sterne?

Warum erscheint uns der Planet Venus einmal als Abend- und einmal als Morgenstern?

Moderne Astrophysik geht an die Grenzen der Erkenntnis, und um die Entstehung des Universums sowie die Struktur von Raum und Zeit zu verstehen, benötigen wir Grundkenntnisse der beiden großen modernen Theorien der Physik: der *Relativitätstheorie* und der *Quantenphysik*. Doch keine Angst, beide Theorien werden anhand einleuchtender Beispiele erklärt (so richtig verstanden haben einiges davon auch viele Physiker*innen nicht). Mit diesen beiden Theorien werden dann wundersame Dinge erklärt, zum Beispiel was passiert, wenn man in ein Schwarzes Loch fällt.
Schließlich kommen wir auch zur Frage der Entstehung des Universums. Welche Antworten hat die Wissenschaft und wird es jemals eine endgültige Antwort geben? Und wohin wird sich das Universum weiterentwickeln, was bringt die Zukunft? Wie lange wird es unsere Erde noch geben?
Eine letzte große Frage ist, ob es anderswo Leben gibt und natürlich im Besonderen Lebewesen, mit denen wir in Kontakt treten könnten. Auch hier stehen endgültige Antworten aus, aber man ist gerade in den letzten drei Jahrzehnten durch die Entdeckung von Planetensystemen außerhalb unseres Sonnensystems ein großes Stück in der Beantwortung dieser Frage weitergekommen.

Das Buch ist also voll von Fragen, auf die es mehr oder weniger gute, aber möglichst verständlich ausgedrückte Antworten gibt. Für alle Leser*innen, die gerne auch selbst mit Zahlen experimentieren möchten, gibt es ein paar mathematische Einschübe, die auch übergangen werden können, ohne den Zusammenhang zu verlieren. Generell

war es meine Absicht, ein Buch zu schreiben, in das man an jeder beliebigen Stelle „quereinsteigen“ kann, man muss also nicht brav von der Seite 1 bis Seite 100 gelesen haben, um das, was auf Seite 101 steht, zu verstehen.

Ich wünsche Ihnen viel Freude und Spaß bei der Beschäftigung mit den modernsten Erkenntnissen der modernen Naturwissenschaften! Physik ist ein bei vielen Schüler*innen unbeliebtes Unterrichtsfach. Ich hoffe, Ihnen mit diesem Buch das Gegenteil zu beweisen.

Arnold Hanslmeier

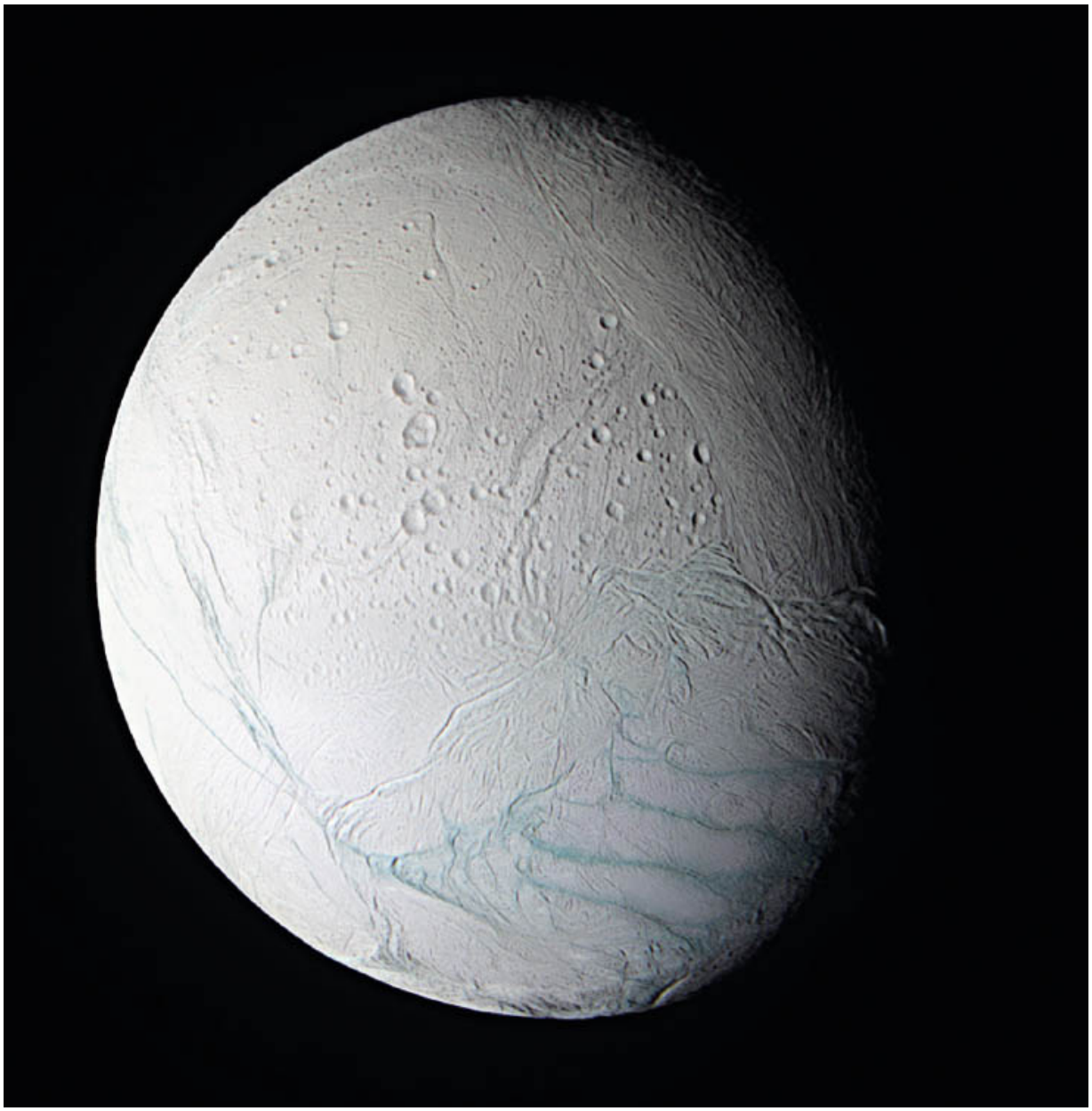
UNSERE ERDE

✶ IST DIE ERDE EINE KUGEL?

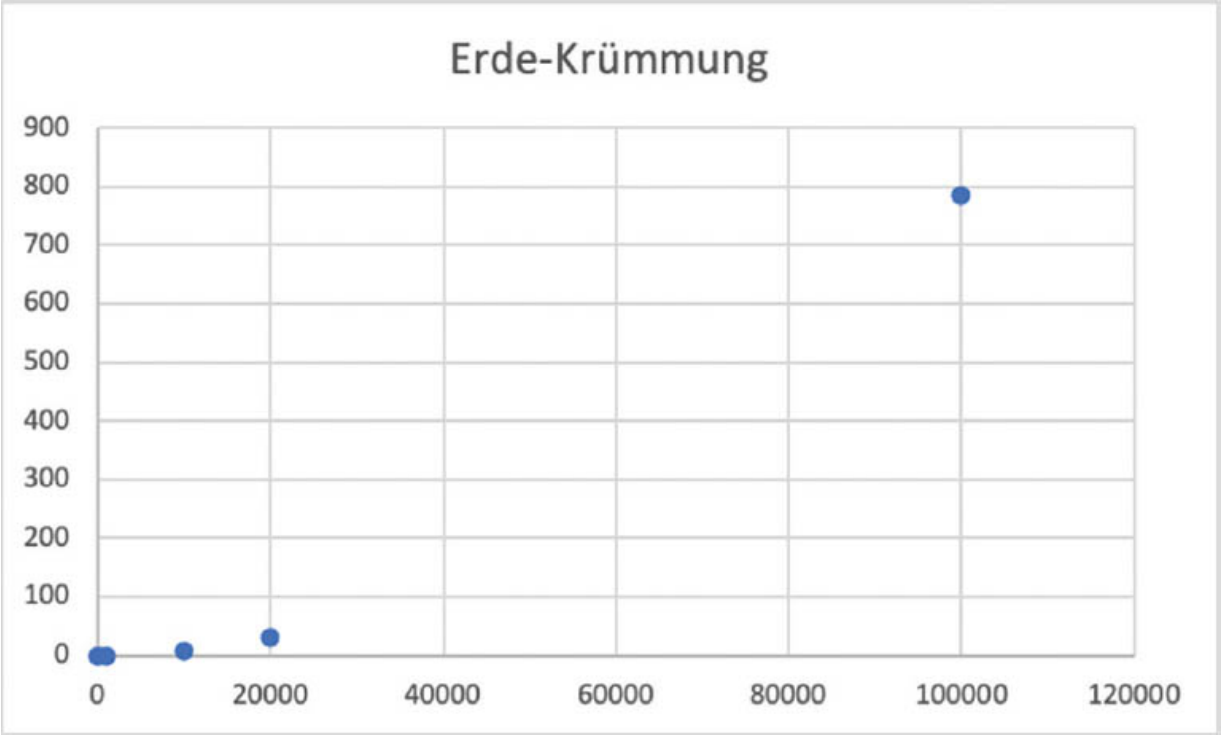
Für uns erscheint es selbstverständlich, und nahezu jedes Kind weiß es: Wir leben auf einem Planeten. Von der Sonne aus gesehen ist unsere Erde der dritte Planet. Doch was ist ein Planet? [✶ Was bezeichnet man als Planet? S. 22]

Noch lange bis in die Neuzeit herrschte der Glaube vor, die Erde sei eine Scheibe. Über diese Scheibe breite sich das Himmelsgewölbe mit seinen Sternen, Sonne und Mond aus. Blicken wir von Horizont zu Horizont, dann finden wir scheinbar nirgendwo Anzeichen einer gekrümmten Erdoberfläche, wie sie es bei einer Kugelgestalt der Erde aber sein muss.
Die Krümmung einer Kugel hängt aber natürlich von deren Größe ab. Je kleiner die Kugel, desto größer die Krümmung. Stellen wir uns vor, wir würden auf einem kleinen Planeten leben oder gar auf einem der kleineren Monde eines Planeten, etwa dem Saturnmond Enceladus. Dieser Mond ist nur etwa 500 Kilometer groß. Man würde dann nur sehr nahe Berge sehen, die weiter entfernten wären wegen der starken Krümmung unterhalb des Horizontes. Befände man sich auf der Oberfläche von Enceladus, dann könnte man selbst 2 500 Meter hohe Berge wegen der viel stärkeren Krümmung der Oberfläche aus einer Entfernung von 10 Kilometern bereits nicht mehr sehen.

Da unsere Erde relativ groß ist, fällt die Krümmung zunächst kaum auf. Die Krümmung der Erdoberfläche macht 7,8 Zentimeter auf einer Distanz von einem Kilometer aus.



Der Saturnmond Enceladus. Der Horizont ist hier stark eingeschränkt wegen der Krümmung.



Die Krümmung der Erde fällt erst bei größeren Abständen der Objekte auf.

Ein bisschen Mathematik dazu: Sei L die Distanz, also beispielsweise der Abstand eines Berges vom Beobachter und R der Erdradius, errechnet sich die Krümmung y gemäß der Formel

$$y = \frac{L^2}{2R}$$

Die Krümmung wirkt sich auf weitere Distanzen immer stärker aus. Bei 100 Kilometern macht sie bereits 784 Meter aus. Dies ist in der Abbildung dargestellt.

KANN MAN DIE ERDKRÜMMUNG SEHEN?

Obwohl die Erdkrümmung erst bei größeren Entfernungen zu den Objekten sichtbar wird, gab es bereits im Altertum Beweise dafür, dass die Erde Kugelgestalt haben muss. Für uns ist dies heute selbstverständlich, wir kennen die Bilder der im Weltraum freischwebenden Erdkugel. Doch auf der Erdoberfläche lässt sich dies nicht so ohne Weiteres erkennen. Ein Hinweis auf die Kugelgestalt der Erde war jedoch die schon im Altertum bekannte Tatsache, dass man bei weit entfernten Schiffen infolge der Erdkrümmung zuerst den Schiffsmast erkennt. Wir sehen in der Abbildung, dass für ein 10 Kilometer entferntes Schiff wegen der Erdkrümmung dieser Wert bereits 7,8 Metern beträgt. Damit man also den Mast eines Schiffes aus dieser Entfernung noch erkennen kann, muss dieser mindestens acht Meter hoch über die Wasserfläche aufragen.

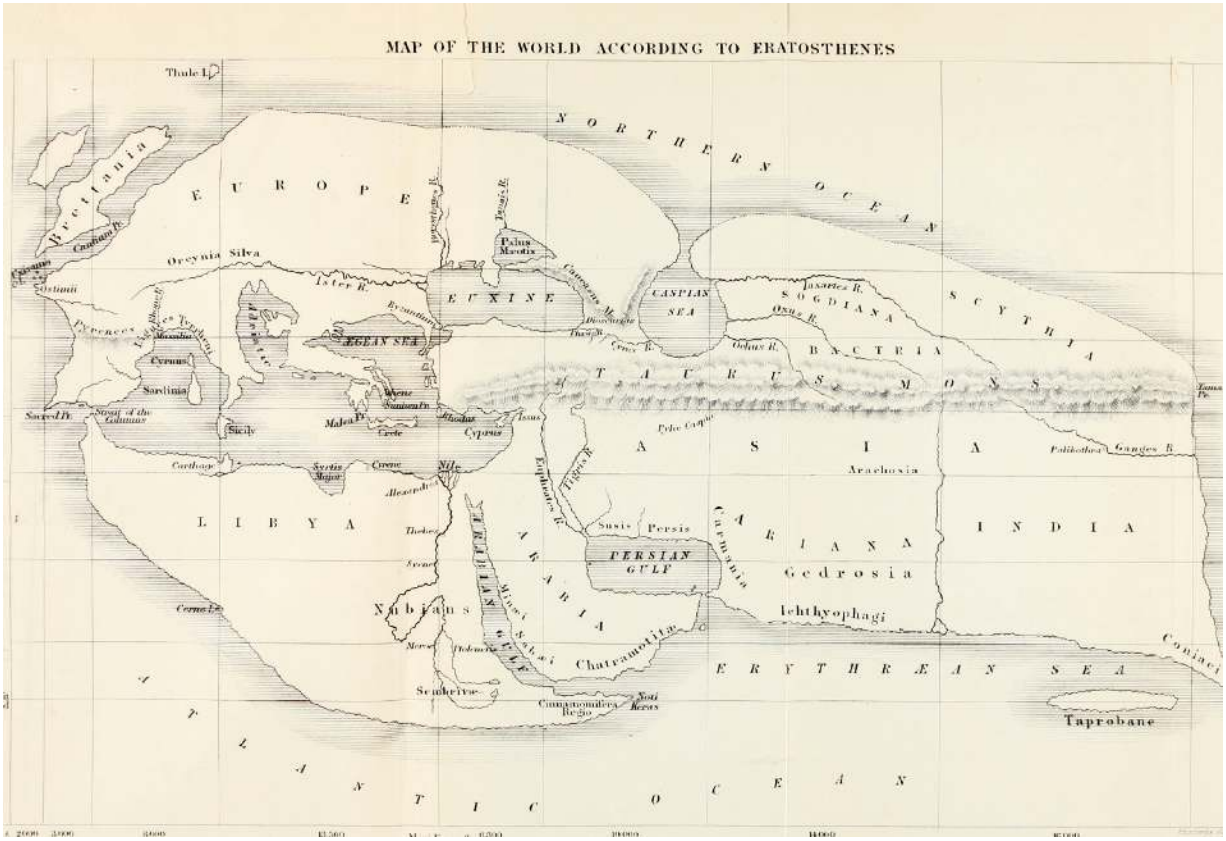
Übrigens gefiel die Vorstellung, die Erde sei eine Kugel, den Menschen auch aus folgendem Grund: Eine Kugel ist ein perfekter Körper, alle Punkte auf der Oberfläche besitzen denselben Abstand vom Mittelpunkt.

WIE GROSS IST DIE ERDKUGEL?

Die nächste naheliegende Frage war, wie groß die Erdkugel eigentlich sei. Man versuchte sogar schon im Altertum anhand einer sehr einfachen Überlegung diesen Wert, also den Umfang der Erdkugel, zu bestimmen. Dazu benötigte man keine komplizierten Messinstrumente, zwei Beobachtungen reichten aus. So war in Ägypten im

Altertum bekannt, dass die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende zu Mittag von einem tiefen Brunnen aus zu sehen war. Allerdings ging dies nur von der Stadt Syene aus (das heutige Assuan). Um die Sonne von einem tiefen Brunnen aus zu sehen, muss sie sich genau im Zenit, also senkrecht über einem Betrachter befinden.

Von der nördlicher gelegenen Stadt Alexandria aus sieht man die Sonne zur Zeit der Sommersonnenwende nicht im Zenit, sondern etwa 7,2 Grad davon entfernt.



Weltkarte aus der Zeit des Eratosthenes. Die beiden Städte Alexandria und Syene liegen am Nil. Nach Bunbury, E.H. (1811–1895), A History of Ancient Geography among the Greeks and Romans from the Earliest Ages till the Fall of the Roman Empire, *S. 667. London: John Murray, 1883*

Nun kann man eine einfache Rechnung anstellen. Kennt man den Abstand wischen den beiden Städten, nennen wir

ihn *s*, dann findet man den Erdumfang ganz einfach aus der Formel:

$$\frac{360}{7{,}2} = \frac{Erdumfang}{s}$$

360 Grad ist dabei die Anzahl der Grade bei einem Vollkreis, 7,2 Grad der gemessene Abstand. Diese Methode wurde von dem griechischen Gelehrter Eratosthenes (zwischen 276 und 273 v. Chr. bis 194 v. Chr.) angewandt. Der Winkel 7,2 Grad entspricht 1/50 eines Kreises, also muss der Erdumfang etwa das 50-Fache der gemessenen Distanz zwischen den beiden Städten betragen. Wichtig dabei ist auch, dass die beiden Städte ungefähr auf dem gleichen Längenkreis liegen. Die Entfernung gab man damals in Stadien an, eine Stadie entspricht etwa 157,5 Metern, der Abstand wurde mit 5 000 Stadien angegeben. Der Umfang der Erde muss also 50 mal 5 000 Stadien betragen, dem entsprechen etwa 39 Millionen Meter oder 39 000 Kilometer. Der richtige Wert liegt bei 40 000 Kilometer, weicht also nur wenige Prozent vom vor über 2 100 Jahren errechneten Wert ab!

✶ WIESO SCHWEBEN ASTRONAUTEN IM ALL?

Die Erde zieht uns an, egal wo wir uns auf der Oberfläche befinden. Dies hatte bereits der große Physiker Isaac Newton (1643–1727) in seinem berühmten Gravitationsgesetz formuliert. Alle Körper mit Massen ziehen einander an, diese Kraft nennen wir die *Schwerkraft* oder *Gravitation* (das Wort kommt aus dem Lateinischen:

gravis bedeutet *schwer*). Da die Erde eine riesige Masse besitzt, ist auch ihre Anziehung enorm. Sie reicht auch aus, um den Erdmond in einer Bahn um die Erde zu halten. Wenn Astronaut*innen schwerelos in ihrem Raumschiff schweben, bedeutet das allerdings nicht, dass auf sie keine Erdanziehung mehr wirkt, sie sind nur deshalb schwerelos, weil sie quasi auf ihrer Umlaufbahn um die Erde herumfallen. Die Erdanziehung wirkt auch auf eine Raumsonde, die sich auf einer Erdumlaufbahn befindet. Ansonsten würde die Sonde von der Erde wegfliegen.

Ab einer bestimmten Geschwindigkeit kann man jedoch der Schwerkraft der Erde entkommen, diese Geschwindigkeit beträgt 11,2 km/s. Wir sind eher mit Geschwindigkeitsangaben von km/h vertraut. 11,2 km/s entspricht einer Geschwindigkeit von 40 000 km/h. Mit dieser Geschwindigkeit könnte man mit einem Auto in einer Stunde die Erde umrunden.

Sobald eine Raumsonde diese Geschwindigkeit erreicht hat, kann sie die Erdanziehung überwinden.

GIBT ES AUCH AUF DER ERDE SCHWERELOSIGKEIT?

Kennen Sie das Gefühl? Sie fahren in einem Fahrstuhl, der sehr schnell unterwegs ist, nach unten. In den ersten Momenten, in denen er beschleunigt, hat man ein komisches Gefühl, man fühlt sich leichter und ist es auch tatsächlich. Fährt der Fahrstuhl in den ersten Momenten beschleunigt nach unten, beschleunigt er gegen die Erdanziehung, man ist also etwas leichter. Das Gegenteil ist der Fall, wenn der Fahrstuhl beschleunigt und nach oben fährt.

Die Schwerelosigkeit kann man auch auf der Erde empfinden, wenn man sich zum Beispiel im freien Fall zur Erdoberfläche befindet, allerdings bitte rechtzeitig den Fallschirm betätigt! Mit einem Flugzeug kann man eine Parabelbahn fliegen und befindet sich dann ebenfalls eine gewisse Zeit in Schwerelosigkeit. Bestimmt haben einige Leser*innen es schon erlebt, wie es sich in einem Flugzeug anfühlt, wenn man in ein „Luftloch“ gerät.

WIE SCHWER IST DIE ERDE?

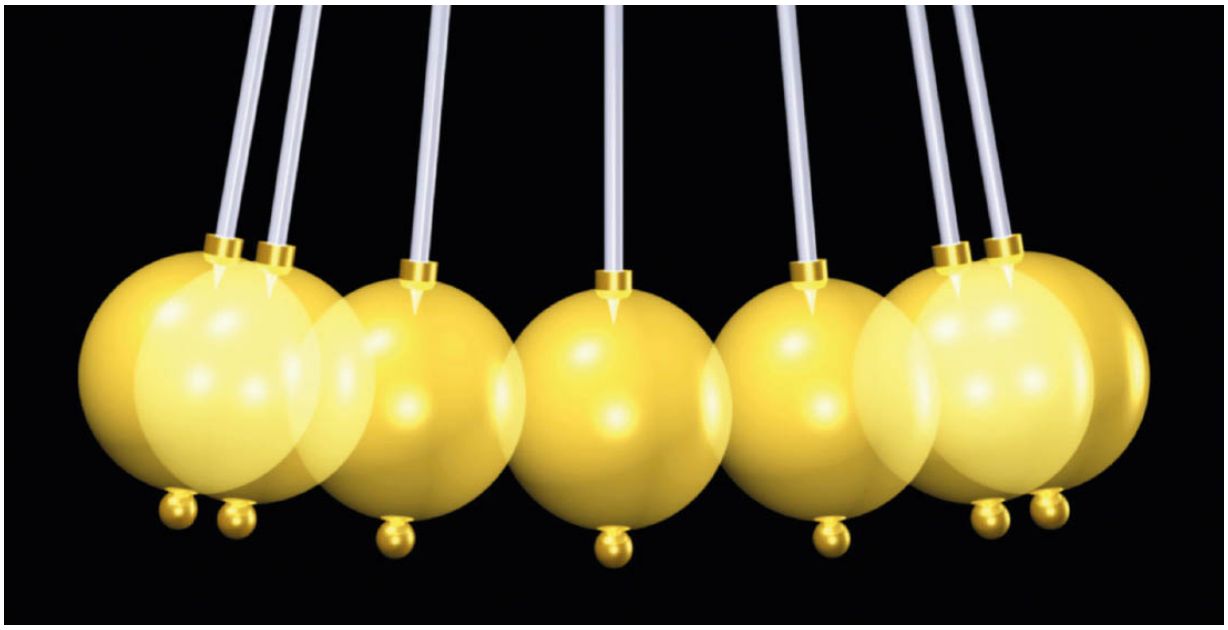
Wie bestimmt man eigentlich die Masse der Erde? Dazu muss man die Fallbeschleunigung kennen. Beschleunigung bedeutet immer eine Geschwindigkeitsänderung. Wenn sie sich im freien Fall zur Erdoberfläche befinden, nimmt ihre Geschwindigkeit zu. Allerdings fällt man nach einigen Sekunden mit maximal etwa 200 km/h Richtung Erdoberfläche, da der Körper durch die Luft abgebremst wird. Aus der Geschwindigkeitsänderung folgt die Erdbeschleunigung $g=9{,}81\ m/s^2$ Die Erklärung für diese Formel ist einfach: In der ersten Sekunde fällt man mit einer Geschwindigkeit von 9,81 m/s, das bedeutet: Würde man von einem etwa 10 Meter (genauer 9,81 m) hohen Balkon springen, wäre man in etwas mehr als einer Sekunde unten angelangt. Nach einer weiteren Sekunde hat man dann schon 2 x 9,81 m/s an Geschwindigkeit und so fort.

Mithilfe des gefundenen Wertes für die Erdbeschleunigung und des Erdradius R kann man dann die Masse der Erde aus der folgenden Beziehung errechnen:

$$g = G \frac{M}{R^2}$$

Wobei G die Gravitationskonstante ist. Falls sie die Erdbeschleunigung nicht durch Springen von hohen Balkonen (Werfen von Steinen wäre sicherer) ermitteln möchten, gäbe es noch einen anderen relativ einfachen Weg. Die Schwingungsdauer eines Pendels der Länge l ist nämlich ebenfalls von der Erdbeschleunigung abhängig:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$



Aus der Schwingung eines Pendels der Länge l *lässt sich die Erdbeschleunigung und damit die Erdmasse ableiten.*

Dabei ist die Zahl $\pi = 3{,}14$. Ein Pendel mit einer Länge von 10 Metern würde also eine Schwingungsdauer von etwas mehr als 6 Sekunden haben. Diese Beispiele sollen illustrieren, wie einfach man die Masse der Erde ermitteln kann.

WAS SIND ASTRONOMISCHE ZAHLEN?

Mit astronomischen Zahlen meinen wir sehr große Zahlenwerte. Wir alle kennen große Zahlen, 1 000,
eine Million = 1 000 x 1 000 = 1 000 000, eine Milliarde = 1 000 x 1 000 x 1 000 = 1 000 x 1 Million = 1 000 000 000.
Diese Schreibweise wird sehr schnell unübersichtlich. Deshalb gibt es die Exponentialschreibweise. Diese ist einfach zu verstehen.
Anstatt 100 schreibt man einfach 10^2. Das bedeutet, dass man die Zahl 10 mit sich selbst multiplizieren muss: 10^2 = 10 x 10 = 100
Probieren wir das an der Zahl 1 000 aus. 10 = 10^3 = 10 x 10 x 10. Bei einer Million sieht die Sache dann so aus: 1 Million = 6 mal die Zahl 10 mit sich selbst multipliziert also 10^6 = 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10.
Langsam erahnen wir, wie praktisch diese Schreibweise ist. Anstatt eine Milliarde als 1 000 000 000 zu schreiben, gibt man einfach 10^9 an.
Das Prinzip funktioniert übrigens mit jeder beliebigen Zahl:
2^2 = 2 x 2 =4, 5^3 = 5 x 5 x 5 = 125 …

Die Masse ist eine physikalische Grundgröße und wird in Kilogramm angegeben. Unsere Erde besitzt eine Masse von etwa 6 x 10^{24} Kilogramm.
Versuchen wir diese Zahl in herkömmlicher Art anzugeben; wir müssen also 24 mal die Multiplikation der Zahl 10 mit sich selbst machen.
10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10 x 10
Die Zahl 10^{24} kann man sich eigentlich kaum vorstellen. Aber machen wir dazu einen Vergleich: Auf der Erde leben

etwas aufgerundet etwa 10 Milliarden Menschen, das ist in unserer Schreibweise 10^{10} Menschen (eine Milliarde = 10^9). Nehmen wir an, wir hätten 10^{24} einzelne 1-Euro-Geldstücke und verteilen diese gleichmäßig auf die 10 Milliarden Menschen, dann würde jeder einzelne 10^{14} Euro-Geldstücke bekommen. Auch diese Zahl kann man sich nicht vorstellen. Aber nehmen wir an, man stapelt diese 10^{14} Stücke übereinander, wie hoch wäre dann der Turm? Der Einfachheit halber nehmen wir an, eine 1-Euro-Geldmünze habe eine Höhe von 1 mm, also 1/1000 Meter. Stapeln wir also die 10^{14} Geldmünzen übereinander, dann hat der sich ergebende Turm eine Höhe von 10^{11} Metern, das sind 100 Milliarden Meter. Können Sie sich unter 100 Milliarden Meter etwas vorstellen? Der Erdumfang misst 40 Millionen Meter, man könnte also diesen Geldmünzenturm etwa 2 500 mal rund um die ganze Erde legen! Oder anders ausgedrückt, 100 Milliarden Meter entsprechen etwa 2/3 der Entfernung Erde–Sonne.

Jeder Mensch auf der Erde würde also so viele 1-Euro-Münzen bekommen, dass übereinander gestapelt diese 2 500 mal den Erdumfang ausmachen.

Willkommen im Reich der berühmten astronomischen Zahlen!

✶ WIE SCHWER IST DIE MENSCHHEIT?

Diejenigen unter Ihnen, die genau gelesen haben, werden einwenden, dass wir nicht vom Gewicht der Erde gesprochen haben, sondern von deren Masse. In der Alltagssprache wird dies meist vermischt. Wir sagen auch,

ein Mensch ist beispielsweise 70 Kilogramm schwer, obwohl das seine Masse ist, Kilogramm ist eine Masseneinheit.

Wichtig ist festzuhalten, dass alle Massen die Eigenschaft haben einander anzuziehen. Die Schwerkraftwirkung ist umso größer, je größer die Masse ist.

Ohne auf die genaue Form des Gravitationsgesetzes einzugehen, wird uns auch klar, weshalb wir nicht von der Erdoberfläche fallen können. Wir besitzen eine Masse von etwa 70 Kilogramm (manche etwas mehr, manche etwas weniger). Diese 70 Kilogramm Masse eines Menschen sind natürlich vernachlässigbar gegenüber der Masse der Erde. Deshalb werden wir von der Erde angezogen. Streng genommen zieht auch ein Mensch mit einer Masse von 70 Kilogramm die Erde an, doch diese Anziehung ist praktisch gleich Null im Vergleich zur Anziehung der Erde. Selbst die Masse der gesamten Menschheit ist winzig im Vergleich zur Erdmasse: Gehen wir zur Vereinfachung wieder von 10 Milliarden Menschen aus, dann beträgt die Gesamtmasse der Menschheit bei einer durchschnittlichen Masse von 70 Kilogramm pro Mensch: 10 Milliarden Menschen x 70 kg = 7×10^{11} kg. Das ist gerade etwa ein 10^{-13}, also $1/10^{13}$=1/10 000 000 000 000 der Masse der Erde.

DIE KANONENKUGEL UND DIE ERDANZIEHUNG

Aber wir sind nicht auf der Erdoberfläche gefangen. Der schon zitierte Physiker Isaac Newton fragte sich, was passiert, wenn man eine Kanonenkugel abschießt. Sie wird eine Zeitlang geradeaus fliegen, dann aber auf die Erde fallen. Schießt man die Kugel mit sehr hoher

Geschwindigkeit ab, dann kann sie theoretisch um die Erde kreisen, die Anziehung der Erde und die Fliehkraft, die sich aufgrund der Bewegung der Kugel um die Erde ergibt, halten einander die Waage. Die Fliehkraft kennen wir alle, wenn wir schnell in eine Kurve fahren.

Man kann ausrechnen, dass man, sobald eine Geschwindigkeit von 7,9 km/s erreicht wird, nicht mehr auf die Erde fällt, sondern quasi schwerelos um die Erde kreist. Diese Geschwindigkeit nennt man auch *erste kosmische Geschwindigkeit*.

Um jedoch die Erdanziehung zu überwinden, braucht man eine Geschwindigkeit von 11,2 km/s. Diese Geschwindigkeit nennt man *zweite kosmische Geschwindigkeit* oder einfach *Fluchtgeschwindigkeit*. In einem Zug, der mit dieser Geschwindigkeit unterwegs wäre, würde man eine Distanz von Graz–Wien, die etwa 200 Kilometer beträgt, in nur 20 Sekunden zurücklegen.

Isaak Newton, einer der größten Physiker. Sir Godfrey Kneller, Nat. Port. Gallery

Es folgt ein bisschen Mathematik:

Die erste kosmische Geschwindigkeit errechnet sich aus $v = \sqrt{\frac{GM}{R}}$

Die Fluchtgeschwindigkeit folgt aus $v = \sqrt{\frac{2GM}{R}}$

Wir können leicht nachrechnen. M ist die Masse der Erde, also 6 x 10^{24} kg, R ist der Radius der Erde also etwa 6,5 x 10^{6} Meter und G die Gravitationskonstante G = 6,67 x 10^{-11}. Negative Hochzahlen bedeuten einfach: $2^{-1}=1/2$, $3^{-3}=1/(3 \text{ x } 3 \text{ x } 3)$ usw. Bei Multiplikation mit Hochzahlen werden sie addiert, bei Division subtrahiert. Rechnen wir beispielsweise 10^3 x $10^3=10^{3+3}=10^6$. Oder $10^3/10^5=10^{3-5}=10^{-2}=1/(10 \text{ x } 10)=1/100$. Rechnen wir also die Fluchtgeschwindigkeit für die Erdmasse aus:

$$v = \sqrt{\frac{2GM}{R}} = \sqrt{\frac{2 \text{ x } 6{,}67\ 10^{-11} \text{ x } 6\ 10^{24}}{6{,}5\ 10^{6}}} \approx \sqrt{\frac{70\ 10^{13}}{6{,}5\ 10^{6}}} \approx \sqrt{10^{8}} \approx 10^{4}\ m/s$$

Dabei mussten wir noch berücksichtigen, dass die Quadratwurzel aus einer Hochzahl einfach eine Division dieser Hochzahl durch 2 ist. Also z.B.:

$$\sqrt{100} = \sqrt{10^2} = 10^{2/2} = 10$$

Oder eben:

$$\sqrt{10^4} = 10^{4/2} = 10^2 = 10 \text{ x } 10 = 100$$