

The background of the cover features a vibrant, swirling pattern of orange and yellow, suggesting a cosmic or gravitational field. A prominent, dark, spherical black hole is positioned in the lower right quadrant, surrounded by a glowing accretion disk. A bright blue, ethereal stream of light or energy flows from the top left towards the center, creating a sense of dynamic movement and depth.

Kosmologie für Anfänger

Sterne, Schwarze Löcher, Lichtgeschwindigkeit,
Gravitation, Raumzeit, Relativitätstheorie

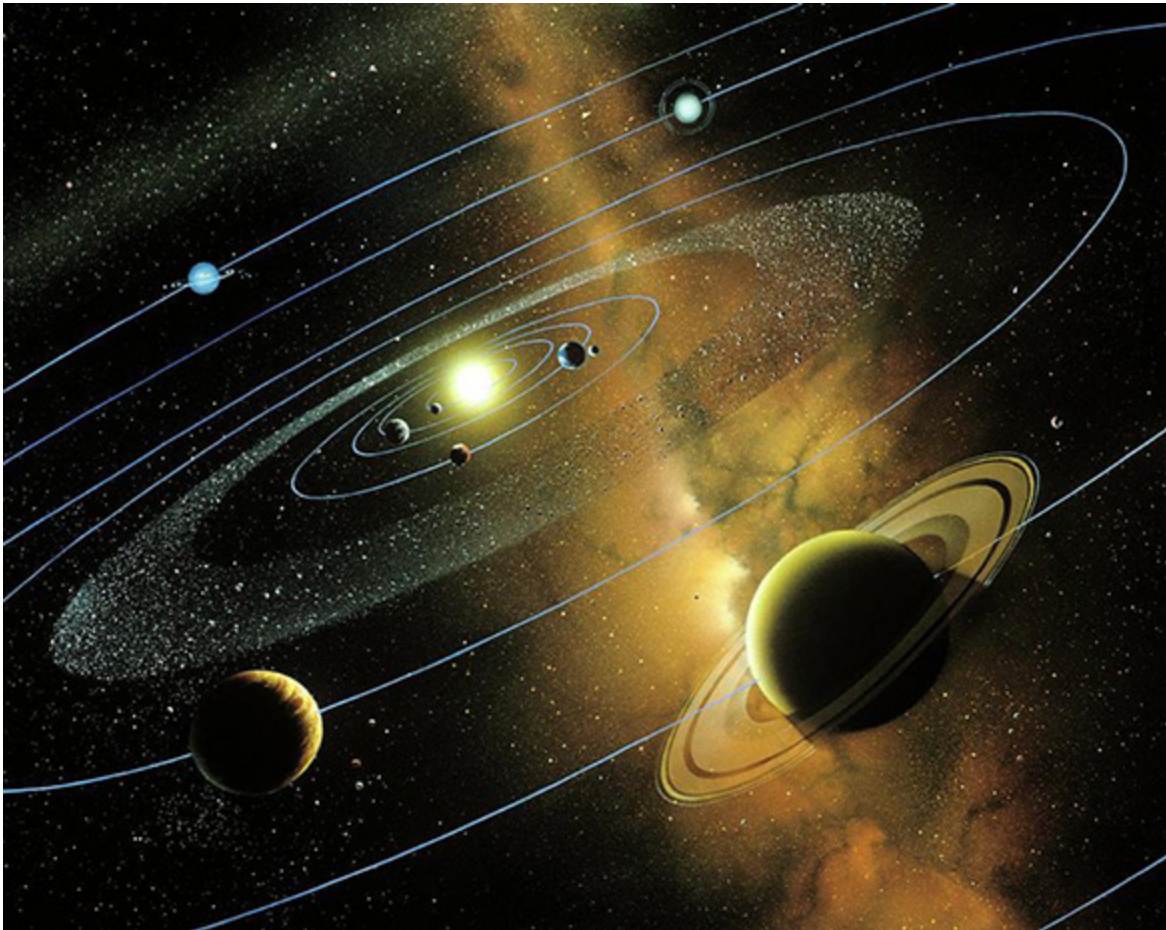
Philipp Jäger

Vorabinformation

Sehr geehrte Leser, während der Produktion der letzten beiden Auflagen ist uns aufgefallen, dass selten Fehler entstehen können, wenn die Datei vor dem Druck digital verarbeitet wird. Zum Beispiel fehlende Bilder. Sollten Sie fälschlicherweise ein mangelhaftes Exemplar geliefert bekommen haben, bitten wir vielmals um Verzeihung. Sein Sie bitte nicht verärgert und wenden Sie sich an den Lieferanten (z.B. Amazon). Dort können Sie das Exemplar problemlos zurückgeben und ein neues anfordern. Ihre Zufriedenheit steht bei uns, als auch beim Lieferanten an höchster Stelle.

Inhalt

1. Vorwort
2. Lichtgeschwindigkeit
3. Gravitation
4. Sterne und Planeten
5. Schwarze Löcher
6. Das Universum und die Raumzeitdimension
7. Die Spezielle Relativitätstheorie
8. Die Allgemeine Relativitätstheorie
9. Sind wir allein im Universum? (Epilog)
10. Zahlen, Daten, Fakten



(Künstlerische Darstellung unseres Sonnensystems. Im Zentrum die Sonne, im Hintergrund die Planeten auf ihren Umlaufbahnen, im Vordergrund der Gasriese Saturn mit seinen pittoresken Ringen.)

Vorwort

Ich grüße Sie, lieber Leser. Und ich heiße Sie herzlich willkommen zu einer umfangreichen Einführung in die wunderbare Welt der Astrophysik. Wenn Sie Astronomie und all die spannenden Mysterien des Weltraums faszinieren, dann halten Sie das passende Werk in den Händen. Hier werden Ihnen sämtliche Themen, die das Universum und die darin befindlichen Objekte und Geschehnisse beschreiben, nähergebracht.

Astrophysik. Seit jeher schauen die Menschen auf die Sterne. Warum die Astrophysik so interessant auf den modernen Menschen wirkt, liegt wahrscheinlich daran, dass sie unter anderem unser Dasein erklärt. Vom Allerkleinsten bis zum Allergrößten setzt sich die Astrophysik zusammen. Außerdem befasst sie sich als einzige Wissenschaft mit der geheimnisvollen unendlichen Weite des Universums. Seit der Mensch denken kann, stellt er sich die Frage wo, er herkommt und auch was seine Daseinsberechtigung in dieser Welt ist. Und dann wäre da natürlich noch der Sinn des Lebens. Ein philosophisch genau so hochwertiges Thema wie die zuvor genannten Dinge. Die Astrophysik beantwortet vor allem die erste dieser Fragen. Natürlich spielen hier auch noch andere Naturwissenschaften eine Rolle, wie zum Beispiel die Biologie, die Chemie und vor allem die Teilchenphysik. Aber wenn man es genau nimmt, laufen am Ende alle Anfänge in der Astrophysik zusammen. Sie ist die Naturwissenschaft, die uns erklärt, warum wir existieren und wie das gesamte Universum aufgebaut ist. Natürlich wissen wir noch längst nicht alles und gibt es noch viele Rätsel zu lösen. In vielen Bereichen des Universums

tappen wir im wahrsten Sinne des Wortes im Dunkeln. In mehreren Epochen der Menschheit dachte man bereits, dass praktisch alle Fragen der Physik geklärt wären und wir alles wüssten. Doch dies war jedes Mal nur die Arroganz des Menschen, die ihm im Wege stand. Mittlerweile sind sich die Forscher und Wissenschaftler darüber einig: Wir wissen mehr als jemals zuvor und unser Wissen wächst stetig weiter. Und doch wissen wir praktisch fast nichts. Und das, obwohl wir doch schon so viel herausgefunden haben. Der aktuelle Wissensstand der Menschheit zur Astrophysik und allen dazugehörigen Themen wird Ihnen in diesem Buch auf einfache Art und Weise nähergebracht. Im Normalfall würde dabei viel Mathematik angewandt werden. Mathematik ist eine Form, die physikalischen Geschehnisse im gesamten Universum in eine für den Menschen verständliche Sprache zu übersetzen. Sie ist die theoretische Seite, die im Gehirn des Menschen entsteht und später durch empirische Beobachtungen im besten Fall bestätigt wird. Daher erlaubt sie uns auch noch nicht erforschte Bereiche und Phänomene in der Physik und im Universum theoretisch zu bestimmen und zu berechnen. Da wo wir nichts mehr sehen können, wo unsere Teleskope nicht mehr ausreichen und kein Lichtstrahl mehr hindringt, bringt die Mathematik Licht ins Dunkle. Man könnte auch sagen, da wo wir nicht in der Lage sind praktische Erfahrungen zu machen, erlaubt sie uns trotzdem unseren Horizont zu erweitern. Obwohl dies alles nur theoretisch geschieht, spielt sie mitunter auch deshalb eine so große Rolle in der Physik. Zum Beispiel waren Albert Einsteins berühmte und geniale Relativitätstheorien in den ersten Jahren ausschließlich blanke Theorie, die lediglich in mathematischer Form vorhanden war. Erst später wurden sie nach und nach durch die Praxis, in Form von Beobachtungen und Versuchen, bestätigt. Da die meisten Menschen sich mit der Mathematik allerdings eher weniger identifizieren können und diesem Thema äußerst abgeneigt gegenüberstehen, wird in diesem Buch bewusst auf

mathematische Formeln, Gleichungen und ähnliche Darstellungsweisen gänzlich verzichtet. Stattdessen wird Ihnen die Astrophysik anhand von realen und teilweise auch alltäglichen Beispielen nähergebracht.

Als letztes Kapitel nach dem Nachwort finden Sie die wichtigsten Informationen von allen Kapiteln dieses Buches noch mal übersichtlich zusammengefasst. So können Sie einerseits das neu erworbene Wissen besser vertiefen und andererseits eine Information schneller beim Nachschlagen wiederfinden. Wenn Ihnen in diesem Buch chemische Elemente begegnen, dann findet sich dahinter in Klammern immer zusätzlich das Symbol des Elements, damit Sie es im Periodensystem hinten im Buch schnell ausfindig machen können, sofern Sie Interesse daran haben. Zahleninformationen oder Werte werden in diesem Buch zum einfacheren Verständnis immer mit dem allgemein vereinfachten Wert angegeben. Wenn es dafür angebracht ist, wird auch ab- oder aufgerundet. Im nachfolgenden Kapitel finden Sie dazu auch bereits das erste Beispiel. Lassen Sie uns also direkt loslegen und in die spannende Welt der Astrophysik eintauchen.



(Aufnahme einer Spiralgalaxie, wie unsere Milchstraße auch eine ist.)

Lichtgeschwindigkeit

In diesem sowie dem nächsten Kapitel "Gravitation" geht es zunächst vor allem darum, dass man ein Grundverständnis entwickelt. Auf die Themen Lichtgeschwindigkeit und Gravitation wird in späteren Kapiteln wie "Schwarze Löcher", "Spezielle Relativitätstheorie" und "Allgemeine Relativitätstheorie" noch tiefgreifender eingegangen.

Naturkonstante. Das Licht ist dem Mensch als elektromagnetische Welle bekannt. Darüber hinaus ist es das absolut Schnellste was die Wissenschaft kennt. Die Geschwindigkeit in der sich das Licht ausbreitet, ist die wohl bekannteste und wichtigste Naturkonstante in der Astrophysik. Man spricht deswegen von einer Konstante, da die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum immer gleich schnell ist. Es gibt absolut nichts, was sich schneller bewegen kann als Licht. Außerdem lässt sich auch kein Wert hinzuaddieren. Das Licht kann nicht schneller und nicht langsamer gemacht werden. Außerdem kann es auch nicht von Massen abgebremst oder beschleunigt werden. Daher handelt es sich um eine fundamentale Naturkonstante. Naturkonstanten sind absolut unveränderlich und unbeeinflussbar. Immer wieder gab es Ideen, Theorien und Überlegungen, dass sich bestimmte Teilchen, Wellen und andere Dinge schneller als Licht ausbreiten könnten oder sogar müssten. Dies nennt man Überlichtgeschwindigkeit. Doch bis jetzt wurden all diese Theorien widerlegt, sofern man einen Weg fand sie zu überprüfen. Überlichtgeschwindigkeit ist in der Physik bis jetzt eine undenkbbare Sache. Und sofern die Relativitätstheorie von

Albert Einstein, die unser Weltbild sowie die moderne Physik maßgeblich geprägt hat, weiterhin aktuell bleibt, wird jegliche Form der Überlichtgeschwindigkeit auch unmöglich bleiben.

Geschwindigkeitsverhältnisse. Dieses Kapitel ist besonders wichtig für das Verständnis von Entfernungen im Weltall. Die Lichtgeschwindigkeit ist der wichtigste Indikator um diese zu messen beziehungsweise zu benennen. Sie beträgt knapp 300.000 Kilometer pro Sekunde (exakter Wert: 299.792 km/s). Zum Vergleich: Der schnellste Seriensportwagen der Welt, der Bugatti Chiron Super Sport 300+, leistet 1.600 PS. Damit hat er einen Rekord in Sachen Höchstgeschwindigkeit von Seriensportwagen mit über 490 km/h aufgestellt. Die Lichtgeschwindigkeit wird allerdings nicht in Kilometern pro Stunde, sondern pro Sekunde angegeben. Umgerechnet in km/h ergibt sie einen Wert von etwa 1.000.000.000 Kilometern pro Stunde (exakter Wert: 1.079.251.200 km/h). Die Lichtgeschwindigkeit ist also 2,2 Millionen mal schneller als der schnellste Seriensportwagen der Welt. Das ist unvorstellbar schnell und übersteigt bereits jegliche Vorstellungskraft des menschlichen Gehirns.

Schallgeschwindigkeit. Ein anderes gutes Vergleichsbeispiel, welches schon eine ganze Ecke schneller ist als der Bugatti, ist die Schallgeschwindigkeit. Schallwellen benötigen ein Medium, um sich auszubreiten. In dem Medium Luft in unserer Erdatmosphäre breiten sie sich mit 1.236 km/h aus. Man nennt die Luft deshalb Medium, da Schallwellen sich auch in anderer Materie ausbreiten können. Im Wasser zum Beispiel kann sich Schall sogar mehr als viermal schneller ausbreiten als in Luft. Doch das was wir im Allgemeinen als Schallgeschwindigkeit bezeichnen, bezieht sich in der Regel auf die Luft. Lange Zeit war die Schallgeschwindigkeit das Schnellste was die Menschheit kannte. Zu damaligen Zeiten hieß es, dass wir

niemals in der Lage sein würden sie zu übertreffen. Doch das haben wir inzwischen mit Flugzeugen und Raketen längst geschafft. Und damit noch nicht genug. Die "Lockheed SR-71 Blackbird" ist ein Spionageflugzeug. Zwar ist sie schon ein etwas älterer Kandidat, doch trotzdem gilt sie bis heute als das schnellste Flugzeug aller Zeiten. Sie schafft eine maximale Geschwindigkeit von unglaublichen 3.529 km/h. Das entspricht fast der dreifachen Schallgeschwindigkeit.

Die "Weatherby Magnum", ihres Zeichens Schusswaffe, ist grundlegend erst mal ein Jagdgewehr. Doch auch bei Wettkämpfen erfreut sie sich größter Beliebtheit, denn sie hat eine besondere Eigenschaft: Sie verfügt über die derzeit höchste Mündungsgeschwindigkeit unter Serienfeuerwaffen. Die Bezeichnung Mündungsgeschwindigkeit bezieht sich auf die Geschwindigkeit, an der Stelle, wo die Kugel aus dem Ende des Laufs, also aus der Waffe, austritt. Die Projektile der Weatherby Magnum erreichen eine Geschwindigkeit von bis zu 1.076 Meter pro Sekunde. Dies sind umgerechnet 3.874 km/h. Oder in anderen Worten: Etwas mehr als ein Kilometer pro Sekunde. Das ist für den menschlichen Verstand gerade noch vorstellbar. Viele stoßen bei diesem Verhältnis von Entfernung zu Geschwindigkeit bereits an die Grenzen des menschlichen Vorstellungsvermögens.



(Die Lockheed SR-71 Blackbird.)

Erdumfang. Die Erde hat einen Umfang von etwa 40.000 km. Diese Entfernung ist vorstellbar. Man braucht nur mal auf den Kilometerstand seines Autos gucken und bekommt direkt ein Gefühl dafür. Außer man fährt einen Neuwagen. Aber fast jeder weiß: 40.000 km sind fast nichts für ein Gebrauchtfahrzeug. Schließlich gibt es auch Autos die bereits 300.000 Kilometer und mehr auf dem Buckel haben. Die Zahl 300.000 ist zudem treffend für das nächste Beispiel. Denn wie ja bereits bekannt ist, ist dies die Entfernung in Kilometern, die das Licht innerhalb einer Sekunde zurücklegt. Man stelle sich nun die Erde als Ganzes vor seinem inneren Auge vor. Dazu ein gelber Lichtstrahl, der die blaue Kugel umrundet. Innerhalb einer einzigen Sekunde schafft es das Licht den blauen Planeten ganze 7,5 Mal zu umrunden.



(Lichtstrahlen, die von der Sonne an der Erde vorbeiziehen.)

Hier noch einmal der direkte Vergleich:

Schnellster Sportwagen	490 km/h
Schallgeschwindigkeit	1.236 km/h
Schnellstes Flugzeug	3.529 km/h
Schnellstes Schusswaffen projektile	3.874 km/h
Lichtgeschwindigkeit	1.079.251.200 km/h
Erdumrundung	7,5 Mal pro Sekunde

Nach diesen Vergleichen dürfte ein ungefähres Gefühl dafür aufkommen, wie unglaublich schnell die

Lichtgeschwindigkeit ist. Es bleibt übrigens ausschließlich Teilchen vorbehalten, sich in dieser Geschwindigkeit fortzubewegen. Allerdings auch nur solchen, die nicht massebehaftet sind. Die Lichtgeschwindigkeit ist das Schnellste was die Wissenschaft kennt. Nichts was wir von der Erde kennen, kommt auch nur ansatzweise an die Lichtgeschwindigkeit heran. Nicht mal in Bruchteilen. Sie spielt in einer ganz eigenen Liga. Ein ganz einfacher Beweis dafür sind beispielsweise auch Gewitter. Blitz und Donner entstehen zur selben Zeit. Das Licht eines Blitzes erreicht unser Auge schlagartig und ohne Verzögerung. Doch der Schall vom Donner braucht meist mehrere Sekunden, abhängig davon wie weit das Gewitter von einem entfernt ist.

Längenwerte. Um die nahezu unendlich großen Entfernungen im Weltall zu beschreiben, benutzt man die Lichtgeschwindigkeit pro Zeiteinheit. Viele Menschen tun sich schwer damit, doch das ist tatsächlich einfacher als es zunächst klingen mag. Wenn die Lichtgeschwindigkeit 300.000 km/s beträgt, dann ergeben sich daraus folgende Längenwerte, welche das Licht in der jeweiligen Zeit zurücklegt: