

Lerninhalte Physik

Inhalt

Lerninhalte Physik.....	1
Geschichte Physik.....	4
Thales von Milet.....	4
Archimedes	5
Die Größe von Erde Sonne und Mond	5
Der freie Fall.....	8
Galileo Galilei	9
Fallrinnenexperiment	10
Sir Isaac Newton	11
Albert Einstein.....	12
Werner Heisenberg.....	14
eratosthenes 273-194v.C.....	16
Keppler 1571-1630.....	20
1. Keplersches Gesetz	21
2. Keplersches Gesetz	22
3. Keplersches Gesetz	22
Gravitationskonstante (Cavendish) (1797)	22
Schwerkraft und Orbit.....	24
Kreisgeschwindigkeit oder 1. Kosmische Geschwindigkeit	24
Die Fluchtgeschwindigkeit (2. Kosmische Geschwindigkeit)	24
Schall	26
Dopplereffekt	28
Arbeit und Energie	30
Kräfte, Beschleunigung und das Unabhängigkeitsprinzip.....	32
1. Trägheitsgesetz:	32
2. Aktionsprinzip:	32
3. Wechselwirkungsprinzip:	32
Teilchen und das PSE.....	34
Das PSE.....	34
Rutherford.....	37
Das Standardmodell der Teilchenphysik.....	41
Materieteilchen	41
Quarks.....	41

Leptonen.....	42
Die Familien der Materieteilchen.....	43
Kraftteilchen	44
Spin	45
Symetrien.....	46
Higgs Teilchen	48
Materie besteht aus Teilchen.....	48
Zusammenhang mit dem Standardmodell	49
C ₁₄ Radiocarbonmethode	50
Entstehung von ¹⁴ C	50
Zerfall von ¹⁴ C.....	51
Heisenbergsche Unschärferelation	52
Tunneleffekt.....	56
Rastertunnelmikroskop	57
Doppelspalt	58
Der Begriff "Interferenz"	58
Photoeffekt.....	60
Masse und impuls eines photons	60
Michelson Morley Experiment (Äther)	62
Relativitätstheorie	63
Zeitdilatation.....	63
Längenkontraktion.....	65
Die Masse aus relativistischer Sicht.....	68
Folgerungen aus der Veränderlichkeit der Masse	71
Allgemeine Relativitätstheorie.....	72
Sonstiges.....	72
Strahlung.....	72
Wärme und Druck.....	75

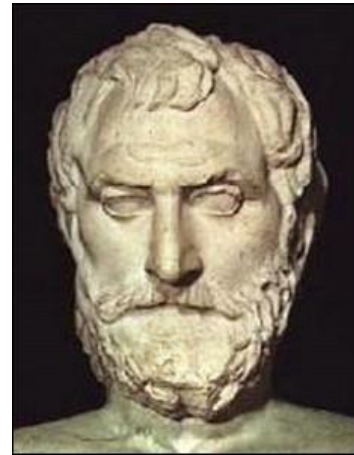
Geschichte Physik

Wenn es einen Anfang der Wissenschaft gibt, dann den der Physik und wenn man fragt wo die Physik beginnt, dann werden die meisten als Antwort erhalten: In Griechenland. Genauer gesagt in der Stadt Milet (heute Türkei, ca. 80km Südlich von Izmir und 5km westlich vom Bafa Gölü, im heutigen Balat).

Thales von Milet

700-600 v.Chr.

Platon schreib über Thales: „So erzählt man sich, er sei, während er sich mit dem Himmelsgewölbe beschäftigte und nach oben blickte, in einen Brunnen gefallen. Darüber habe ihn eine witzige und hübsche thrakische Dienstmarkt ausgelacht und gesagt, er wolle da mit aller Leidenschaft die Dinge am Himmel zu wissen bekommen, während ihm doch schon das, was vor der Nase und Füße läge, verborgen bleibe“. In dieser Erzählung wirkt Thales ungeschickt, wenn nicht sogar einfältig, auf alle Fälle aber lächerlich. Platon stimmt dem auch zu, dreht dann aber kurzerhand den Spieß um. „Jemandem, der ganz in der Philosophie lebt, bleiben der Nächste, der Nachbar und die alltäglichen Dinge verborgen. Wenn er darüber reden muss, was vor seinen Füßen liegt, kann es leicht sein, dass er Gelächter hervorruft. Aber wenn es um das Wesen der Dinge geht, dann ändert sich die Sache, dann wissen die Anderen weder ein noch aus, dann sind sie es, die lächerlich erscheinen.“.



- Thales soll ein erfolgreicher und auch gerissener Kaufmann, Mathematiker, Politiker und Astronom gewesen sein. So soll Thales vor der Olivenernte alle Ölpresen aufgekauft und anschließend, sehr gewinnbringend, vermietet haben.
- Thales soll einen störrischen Esel erzogen haben und sich gegen eine Eheschließung gewehrt haben
- Er soll die Idee des mathematischen Beweises begründet haben
- Er soll der erste gewesen sein, der bewiesen hat, dass ein Kreis durch seinen Durchmesser halbiert wird.
- Er hat eine Sonnenfinsternis vorhergesagt (28. Mai 585v.Chr.)
- Er bestimmte die Höhe der Pyramiden durch deren Schattenlänge
- ...

Thales hatte den Gedanken, dass die Natur sich verstehen lässt, so seien Erdbeben nicht der Ausdruck des Zorns Poseidons und die jährlichen Nilüberschwemmungen seinen nicht das Erscheinen des Gottes Hapi, sondern die Nordostwinde des ägäischen Meeres welche den Nil aufstauten (Zumindest da lag Thales falsch).

Thales gilt als der erste der sieben Weisen des Altertums.

Archimedes

Die größten Erfolge auf dem Gebiet der Statik in der Antike sind sicher Archimedes zuzuschreiben. Er begründete die Statik ebenso wie die Hydrostatik, erfand unter anderem den Brennspiegel, die archimedische Schraube, den Flaschenzug und verschiedene Kriegsmaschinen wie Schleudern und Hebewerke. Das älteste noch unveränderte gültige physikalische Gesetz, das archimedische Prinzip des Auftriebs, stammt auch von ihm.

Er selbst schätzte seine physikalischen Erkenntnisse nicht sehr hoch ein, etwas bedeutet haben ihm seine zweckfreien mathematischen Arbeiten. So wurde, auf seinen Wunsch hin, in seinen Grabstein die Konturen von einer Kugel in einem Zylinder eingemeißelt.

Die Größe von Erde Sonne und Mond

Experimente standen in der griechischen Antike ganz sicher nicht im Vordergrund, es wäre jedoch falsch zu behaupten es wären nie welche durchgeführt worden. Straton (340-269 v.Chr.) schrieb: „Zuerst müssen wir einen weit verbreiteten Irrtum berichtigen. Man muss begreifen, dass ein Gefäß, das im gewöhnlichen Sinne als leer betrachtet wird, in Wirklichkeit nicht leer, sondern mit Luft gefüllt ist.“ Um das zu beweisen nahm er, ein scheinbar leeres Gefäß, drehte es um und tauchte es in Wasser. Die bewies, dass die Luft ein stoffliches Ding ist.

Um 480 v.Chr. hatte Anaxagoras die Mondphasen sowie Sonnen- und Mondfinsternisse richtig erklärt. Daher nahm Aristarch, ca. 200 Jahre später, an Erde, Mond und Sonne sollten bei Halbmond ein rechtwinkeliges Dreieck, mit einem rechten Winkel beim Mond, bilden. Mit seinen ausgestreckten Armen visierte er also Sonne und Mond an und maß den Winkel zwischen seinen Armen. Er stellte einen Winkel von 87° fest und folgerte daraus, dass die Sonne etwa neunzehnmal weiter entfernt ist als der Mond. In Wirklichkeit ist der Winkel ca. $89,85^\circ$ und die Sonne ist vierhundertmal so weit entfernt, dennoch soll das seine Leistung nicht schmälern. Er war mit seinen Überlegungen noch nicht am Ende. Von Mondfinsternissen wusste er die Größenverhältnisse von Erde und Mond. Da der Mond bei einer Sonnenfinsternis die Sonne genau abdeckt schloss er daraus, dass die Sonne nicht nur neunzehnmal so weit entfernt ist wie der Mond, sondern auch neunzehn mal so groß.

Vermutlich schien es Aristarch absurd, anzunehmen, dass eine so riesige Sonne um eine so kleine Erde kreist und rückte die Sonne zum Mittelpunkt des Universums.

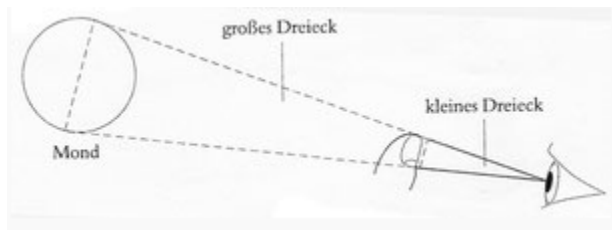
Mit Hilfe des nebenstehenden Bildes (einer Mondfinsternis) lässt sich das Verhältnis von Mond- und Erdradius bestimmen. Diese Überlegungen stellte schon Hipparch an, der im 2. Jh. v. Chr. Den Himmel von Rhodos beobachtete. Er nahm dabei an, die Begrenzungen des Schattenraums der Erde seien parallel, so dass der Erdschatten den gleichen Radius hat wie die Erde.

In Wirklichkeit ist der Schattenraum der Erde kegelförmig. Daher ist der Schatten der Erde auf dem Mond kleiner als die Erde selbst. Um das richtige Verhältnis zu erhalten, muss man zu Hipparchs Resultat 1 dazuzählen.

Seit Platon und Aristoteles hatte sich in Griechenland die Vorstellung der Kugelgestalt der Erde durchgesetzt. Erathostenes ging selbstverständlich davon aus und beschrieb in seinem Buch seiner Geographie eine Methode, den Erdumfang zu bestimmen.

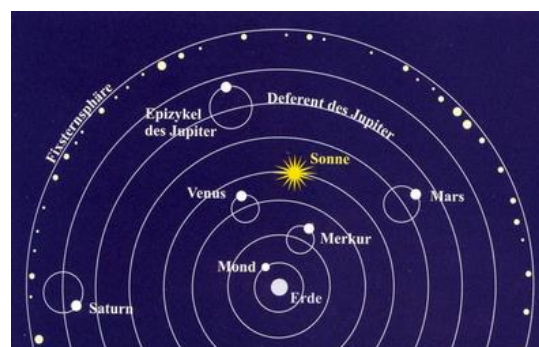
Erathostenes war mit seinen Überlegungen noch immer nicht zu ende, nun da er die Größe von Erde, Sonne und Mond kannte wollte er auch die Entfernung dieser bestimmen. Er bestimmte diese

mittels ähnlichen Dreiecken. Er schloss ein Auge und hielt einen seiner Finger in Richtung Mond. Das Verhältnis zwischen der Armlänge und der Höhe des Fingers betrug etwa 100 : 1.



Während sehr viele Kulturen davon ausgingen, dass die Erde eine Scheibe im Zentrum der Welt sei, besaßen die Griechen bereits vor über 2000 Jahren eine konkrete Vorstellung von der Größe der Erde, kannten den richtigen Abstand des Mondes und diskutierten die Möglichkeit, dass die Erde sich um ihre eigene Achse dreht, während sie die Sonne umkreist.

Das heliozentrische Weltbild konnte sich allerdings nicht durchsetzen. Stattdessen wurde die Weltansicht des Aristoteles vorherrschend. Die im Mittelpunkt ruhende Erde ist demnach umgeben von konzentrisch kristallinen Sphären, die den Mond, die Sonne, die Planeten und die Fixsterne tragen. Um die Bewegungen der Himmelskörper zu beschreiben mussten dafür merkwürdige Bahnen gezogen werden. Kreise, die die Planeten trugen, bewegten sich auf anderen Kreisen, die sich wiederum auf anderen Kreisen bewegten.



Der freie Fall

Die Bewegungen, die Aristoteles interessierten, hatten ihren Ursprung nicht in äußeren Einflüssen bzw. Kräften, sondern kamen von innen her, aus einem inneren Antrieb zustande. Sie sorgten dafür, dass ein Gegenstand seinen natürlichen Platz einnahm. Der natürliche Platz eines Steinbrockens ist unten, und so fällt solch ein Körper geradlinig nach unten, bis er dort ankommt, wo er hingehört. Alle Körper fallen nach unten, in Richtung Erdmittelpunkt, allerdings unterschiedlich schnell. Aristoteles formulierte sein Fallgesetz folgendermaßen:

"Ein bestimmtes Gewicht legt in einer bestimmten Zeit eine bestimmte Entfernung zurück; ein schwereres Gewicht legt dieselbe Entfernung in kürzerer Zeit zurück, wobei die Zeit umgekehrt proportional ist zum Gewicht."

Ein unendliches Universum hätte keinen Mittelpunkt, oder, was gleichbedeutend ist, unendlich viele. Wohin aber sollte beispielsweise ein Stein fallen, wenn es keine Mitte, keinen ausgezeichneten Punkt gibt? Wohin soll eine Flamme aufsteigen, wenn jede Richtung genauso gut oder genauso schlecht ist wie jede andere? Damit aber würde in der Welt des Aristoteles etwas ganz Entscheidendes verloren gehen, damit würde sich in einem unendlichen Universum das Ziel verlieren, auf das alles sich hinbewegt. "Diejenigen nun, die meinen, das Leere müsse notwendigerweise existieren, wenn eine Bewegung zustande kommen soll, gelangen in Wirklichkeit zu der entgegengesetzten Folgerung, wenn man die Dinge genau prüft. Es zeigt sich nämlich, dass nicht die geringste Bewegung möglich ist, wenn das Leere existiert. Genauso nämlich, wie diejenigen behaupten, die erklären, dass die Erde stillstehe wegen der Gleichartigkeit des Ganzen, so ist es auch notwendig, dass im Leeren alles in Ruhe ist. Es gibt nämlich keine Möglichkeit, weshalb sich etwas eher hierhin als dorthin bewegen sollte; soferne nämlich das Leere existiert, macht es überhaupt keinen Unterschied."

In einem leeren Raum wäre kein Punkt vor einem anderen ausgezeichnet. Für einen ruhenden Körper, so meinte Aristoteles, gäbe es keine Richtung, wohin er sich bewegen sollte, für einen bewegten Körper gäbe es keine bestimmte Stelle, um zur Ruhe zu kommen. Was ruht, bliebe ewig in Ruhe, was sich bewegt, würde sich unendlich fortbewegen. Aus heutiger Sicht kam damit Aristoteles dem Trägheitssatz sehr nahe und doch schien für ihn dieser Gedanke so absurd, dass er die Existenz eines Vakuums für unmöglich hielt und ausschloss.

"Horror vacui"

In seinem Fallgesetz spricht Aristoteles davon, dass die konstante Fallgeschwindigkeit eines schweren Körpers umso größer sei, je kleiner der Widerstand des Mediums ist. Sollte der Widerstand wie beim Fall im leeren Raum null werden, so würde sich eine unendlich große Geschwindigkeit ergeben. Aristoteles sah darin aber keinen Widerspruch, sondern eine Bestätigung, dass es keinen leeren Raum, kein Vakuum geben kann. Es war kein Problem, das es zu lösen gegolten hätte, sondern viel mehr ein Zeichen wie sehr sich alles zusammenfügt.

Galileo Galilei

Es ist eine Legende, dass Galilei (1564 - 1642) im Jahre 1590 durch Fallversuche am Schiefen Turm von Pisa das Gesetz, dass alle Körper gleich schnell fallen, entdeckt hat. So schrieb Galilei 1590: „Wenn man eine Kugel von Blei und eine von Holz von einem hohen Turm fallen lässt, bewegt sich das Blei weit voraus. Das habe ich oft nachgeprüft.“

Galilei benötigte 20 Jahre, von 1589 bis 1609, um zu den richtigen Fallgesetzen zu gelangen. Der Weg führte gewissermaßen über Platon. Die Wissenschaftler dieser Zeit führten, um ihren Glauben an mathematische Gesetze zu verteidigen, immer wieder Platon gegen Aristoteles ins Feld. Galilei, der ganz im Sinne Platons meinte, "das Buch der Natur ist in mathematischer Sprache geschrieben", kam so zu der Überzeugung, dass der freie Fall im Vakuum die "Idee der Fallbewegung" sei.

Um zu dieser "Idee", zum Kern des Fallgesetzes zu gelangen, machte Galilei keine Versuche, sondern ein Gedankenexperiment. Er dachte sich hierzu drei Kugeln aus Holz, Blei und Gold. In Gedanken ließ er jeweils alle drei fallen, zuerst in Quecksilber, anschließend in Wasser und zuletzt in Luft. In Quecksilber fällt nur das Gold nach unten Blei und Holz schwimmen. In Wasser fallen Gold und Blei, das Gold aber deutlich schneller. In Luft schließlich fallen alle drei. Es gibt keinen Unterschied mehr zwischen Gold und Blei. Nur das Holz bleibt ein wenig zurück. Dann geht im letzten Schritt Galilei über die Grenzen der Erfahrung hinaus: „Angesichts dessen glaube ich, dass, wenn man den Widerstand der Luft ganz aufhobe, alle Körper gleich schnell fallen würden.“

Fallrinnenexperiment

Galilei überprüfte die Annahme, dass die Geschwindigkeit direkt proportional mit der Zeit wächst, durch seine Fallrinnenexperimente. Hierbei stellte sich Galilei erneut gegen eine aristotelische Sicht der Welt. Man sah demnach in Maschinen eine Möglichkeit, die Natur zu überlisten und nicht etwa eine Anwendung physikalischer Gesetze. Galilei hingegen meinte schon 1593, dass man nur mit der Natur handeln könne; die Natur kann man nicht betrügen oder überlisten. So wird bei einem Hebel die Leichtigkeit durch ein Mehr an Weg oder Zeit erkauft. Galilei sagte: "Und das wird bei allen anderen Instrumenten statthaben, welche ersonnen worden sind oder noch erdacht werden können."

Galilei machte es sich zum Motto: „Messen was messbar ist und messbar machen, was man nicht messen kann“.

Galilei lag es fern, mit seinen Überlegungen in den Konflikt mit der katholischen Kirche zu kommen, so schrieb er in einem Brief an die Großherzogin Christina das die "nackte grammatikalische" Auslegung der Bibel leicht zu Irrtümern führt. "Deshalb sollte nichts Physikalisches, das die Erfahrung der Sinne uns vor Augen führt, oder ein zwangsläufiger Beweis uns bestätigt, auf Grund von Zeugnissen biblischer Zitate in Frage gestellt werden, unter deren Wort sich ein ganz anderer Sinn verbergen könnte."

Im Juni 1633 wurde Galilei gezwungen, seiner Lehre abzuschwören und auf Knien zu erklären: "Da ich wünsche, Euren Eminenzen und jedem katholischen Christen diesen gegen mich zu Recht gefassten Verdacht zu nehmen, schwöre ich ab, verfluche und verwünsche ich mit aufrichtigem Herzen und ungeheucheltem Glauben besagte Irrtümer und Ketzereien sowie überhaupt jeden anderen Irrtum und jeden der besagten Heiligen Kirche widersprechenden Irrtum und Sektiererglauben." Sein wütendes "eppur si muove", sein "sie bewegt sich doch", das er vor dem Heiligen Offizium gesagt haben soll, ist eine Legende. Daraufhin wurde Galilei unter Hausarrest gestellt und kam unter die Aufsicht des Erzbischofs von Siena. Gemäß dem Urteil hatte er über drei Jahre lang wöchentlich die sieben Bußpsalmen zu beten; diese Verpflichtung übernahm – solange sie noch lebte – seine Tochter Suor Celeste. Zudem wurden seine sozialen Kontakte stark eingeschränkt. Immerhin war es ihm gestattet, mit seinen weniger kontroversen Forschungen fortzufahren und seine Töchter im Kloster San Matteo zu besuchen. Sämtliche Veröffentlichungen waren ihm verboten.

Sir Isaac Newton

Der Astronom Edmond Halley war wie etliche andere auf der Suche nach dem Gesetz für die Bewegung der Himmelskörper. So wie andere vermutete er, dass die Kraft, die die Erde auf ihrer Bahn um die Sonne hält, mit dem Quadrat der Entfernung abnimmt. Es gelang ihm aber nicht, dies zu beweisen. Im Januar 1684, so erzählte Halley, behauptete Robert Hooke, einen Beweis gefunden zu haben, wollte ihn aber noch eine Zeit lang geheim halten, damit ihn andere infolge eigener Versuche und Misserfolge zu würdigen wüssten. Halley war skeptisch. Christopher Wren schlug eine Zeit von zwei Monaten vor. Die Zeit verstrich, aber von Hooke kam keine Lösung.

Da kam Halley auf den Gedanken, nach Cambridge zu reisen und Newton um Rat zu fragen. Er wandte sich also an Newton und fragte ihn, welche Bahn ein Körper beschreibe, wenn die Kraft auf ihn mit dem Quadrat der Entfernung abnehme. Newton antwortete sofort: „Eine Ellipse mit dem Anziehungspunkt im Brennpunkt.“. Halley fragte woher er das wisse und Newton antwortete ihm er habe es berechnet.

Newtons Werk zählt zu den Außergewöhnlichsten innerhalb der ganzen Geschichte der Physik. Er war ein überragender Geist und zugleich der letzte Babylonier, ein Magier, ein Alchemist. Newton hat unter anderem:

die Grundsätze der Mechanik formuliert

die Differential- und Integralrechnung entwickelt

die Bewegung der Planeten, Monde und Kometen berechnet

Ebbe und Flut erklärt

das Gravitationsgesetz entdeckt

sowie tiefe Einblicke in Ausbreitung und Natur des Lichts gewonnen

Newton war aber auch launisch, misstrauisch, nachtragend und rachsüchtig. Er verbrachte manchmal mehrere Wochen in seinem Labor, ohne einen anderen Menschen auch nur zu empfangen, war kaum in Gesellschaft anzutreffen, interessierte sich weder für Essen, noch Kleidung, noch Kunst, noch Frauen. Newton vertrug absolut keinen Widerspruch und er war insbesondere als Vorsteher der königlichen Münzanstalt manchmal unbarmherzig und brutal.

Huxley schrieb wohl ganz zurecht: „Wenn wir eine Menschenrasse von Newtonen hochzuchten könnten, würde das keinen Fortschritt bedeuten. Der Preis, den Newton für seinen höheren Intellekt zahlen musste war zu hoch. Er war unfähig zu Freundschaft, Liebe, Vaterschaft und vielen anderen wünschenswerten dingen. Als Mensch war er ein Fiasko, als Koloss aber majestätisch!“.

Gegen Ende seines Lebens sprach Newton sich über seine Leistungen vermutlich aufrichtig und freimütig aus: „Ich weiß nicht, was sich die Welt für ein Bild von mir macht, aber mir selbst will es scheinen, ich sei ein Knabe gewesen, der am Strand spielte und sich damit begnügte, hin und wieder einen glatten Stein oder eine schöne Muschel zu finden, während der große Ozean der Wahrheit unentdeckt vor mir lag.“

Albert Einstein

Gegen Ende 1800 glaubte man nahezu alles Physikalisch erklären zu können und dass man in der Physik keine Meilensteine mehr erreichen würde. Wie weit die Wissenschaft damals falsch lag konnte keiner ahnen.

Albert Einstein verbrachte nach der Flucht vor dem Wehrdienst den Rest seiner Jugend in Italien, in dieser Zeit sammelte er seine schönsten Kindheitserinnerungen. Mit 16 wollte er zurück nach München um dort ein Polytechnikum zu besuchen da man dafür keine Matura benötigte. Das Mindestalter betrug 18 Jahre, er schaffte es dennoch durch Protektion am Aufnahmeverfahren teilzunehmen. Er fiel jedoch in Deutsch, Geschichte und Literaturgeschichte durch, er empfand dies jedoch als völlig berechtigt. Er holte daraufhin die Matura in einem Gymnasium nach, in dieser Zeit wohnte er bei einem seiner Professoren und meinte im Nachhinein: „Durch vergleichen mit sechs Jahren Schulung an einem deutsch, autoritär geführtem Gymnasium wurde mir eindringlich bewusst, wie sehr die Erziehung zu freiem Handeln und Selbstverantwortlichkeit jeder Erziehung überlegen ist, die sich auf Drill, äußere Autorität und Ehrgeiz stützt. Echte Demokratie ist kein leerer Wahn.“ Einstein maturierte als Klassenbester, zu seinen angeblich schlechten Noten bleibt lediglich zu sagen, dass es sich dabei um ein Gerücht handelt. Er hatte ausschließlich gute bis sehr gute Noten und war in Mathematik überragend!

In Japan wurde Einstein von Studenten gebeten, über die Entstehung der Relativitätstheorie zu sprechen. Einstein erzählte, dass er ursprünglich von der Existenz des Lichtäthers überzeugt war und sich ein Jahr lang mit dem Problem herumschlagen musste, dass die Invarianz der Lichtgeschwindigkeit dem Additions-Theorem der Geschwindigkeiten widerspricht. Und dann, es war ein besonders schöner Tag (im Mai 1905), sprach Einstein lange mit seinem Freund Michele Besso. Am nächsten Tag kam Einstein auf Besso zu und sagte "Herzlichen Dank, ich habe das Problem vollständig gelöst." Die Geschichte zur Allgemeinen Relativitätstheorie beginnt mit dem "glücklichsten Gedanken seines Lebens": "Für einen Beobachter, der sich im freien Fall vom Dach eines Hauses befindet, existiert - zumindest in seiner unmittelbaren Umgebung - kein Gravitationsfeld".

Die wohl bekannteste Entdeckung Einsteins ist mit Sicherheit die Relativitätstheorie (1905 spezielle Relativitätstheorie, 1915 allgemeine Relativitätstheorie). Seinen Nobelpreis (1921) erhielt er jedoch für die Entdeckung des photoelektrischen Effekts. Die Lichtquantenhypothese so wie die Relativitätstheorie waren zu diesem Zeitpunkt noch zu spekulativ als dass man ihm dafür den Nobelpreis verleihen wollte.

Er legte zu dem auch die Grundsteine für die Quantenmechanik obwohl er diese selbst ablehnte. Er legte die theoretische Grundlage für Laser obwohl dieser erst, nach seinem Tod, 1960 erfunden wurde.

Der Weg zu all dem war jedoch sicher kein einfacher. Als Einstein die Relativitätstheorie vorstellte war der abgebrannte Physiker am Patentamt in Bern beschäftigt, seine Frau hatte ihn mit seinen Kindern verlassen und zu allem Überfluss fand seine Arbeit keinen Anklang. 1919 stellte Arthur Stanley Eddington bei einer Sonnenfinsternis eine Verschiebung der scheinbaren Position der Sterne nahe der Sonne fest und lieferte mit diesem sehr direkten Hinweis auf eine Krümmung des Raums eine weitere Bestätigung der Theorie. Quasi über Nacht wurde Einstein weltweit bekannt und bis heute ist das Gesicht des „zerstreuten“ Professors nahezu jedem Schüler und jeder Schülerin bekannt.

Wenn seine Frau Mileva meinte, er könne so gekleidet nicht aufs Amt gehen, meinte Einstein lediglich: „Wieso, dort kennt mich doch jeder.“ Als sie vor Einsteins Reise zu seiner ersten großen Konferenz ihn abermals auf die Notwendigkeit eines gepflegten Äußeren hinwies, meinte er: „Wieso, dort kennt mich doch niemand.“

Die Relativitätstheorie gehört neben Newtons Gesetze der Mechanik und der Quantenmechanik zu den Fundamentalsten Theorien der Physik. Es dauerte fast 250 Jahre bis Einstein zeigte, dass die newton'sche Mechanik bloß einen Spezialfall darstellt und kein allgemein gültiges Gesetz ist. Es dauerte jedoch nur wenige Jahre bis die Welt endgültig aus den Angeln der Realität gehoben wurde, auch wenn Einstein dies lange nicht akzeptieren wollte.

Werner Heisenberg

Werner Heisenberg wird am 5. Dezember 1901 in Würzburg geboren, wo er seine Kindheit und die ersten Schuljahre verbringt. 1920 entscheidet sich Heisenberg – trotz seiner überragenden Fähigkeiten am Klavier und einer tiefen inneren Beziehung zur Musik – zum Studium der Physik an der Universität München; sein Lehrer ist Arnold Sommerfeld. In dessen Seminar lernt er Wolfgang Pauli kennen, der bereits als Wunderkind gilt. Sommerfeld erkennt früh das ebenfalls erstaunliche Talent Heisenbergs und ermutigt ihn zu selbstständigen Arbeiten, die 1921 zur ersten Fachpublikation führen. Im kommenden Jahr lernt Heisenberg Niels Bohr kennen, und mit den Gesprächen im Anschluss an Bohrs Seminare beginnt seine eigene wissenschaftliche Entwicklung.

1924 gelingt ihm der Durchbruch zur Quantenmechanik. 1925 erscheinen seine entsprechenden Arbeiten, zum Teil gemeinsam mit Max Born und Pascual Jordan verfasst. Heisenberg arbeitet mehrere Jahre als Assistent bei Bohr in Kopenhagen, und in intensiven Diskussionen der beiden Physiker wird die „Kopenhagener Deutung“ der neuen Physik geboren. Zu ihr trägt Heisenberg das bei, was die allgemeine Sichtweise der Physik radikal verändert: die Unschärferelation.

Als Heisenberg im Dezember 1933 in Stockholm den Nobelpreis für Physik (für das Jahr 1932) entgegennimmt, sind in Deutschland die Nationalsozialisten an der Macht. Sie ersticken fast jedes geistige Leben, üben brutalen Terror gegen anders Denkende aus und organisieren den Holocaust. Mit der Machtergreifung der Nazis beginnen für Heisenberg schwierige und einsame Jahre, da er sich nicht zur Emigration entschließen kann.

Auf dem Höhepunkt der militärischen Erfolge des nationalsozialistischen Deutschlands reiste Heisenberg mit Carl Friedrich von Weizsäcker im Jahre 1941 nach Kopenhagen, um mit seinem väterlichen Freund Niels Bohr über die Implikationen einer deutschen Atombombe zu sprechen. Außerdem wollte er, laut seinen späteren Aussagen, den Physikern in Amerika so die Botschaft zukommen lassen, dass die deutschen Physiker die Arbeit an der Bombe zurückgestellt hätten. Bohr, dessen Mutter jüdischer Herkunft war und der im dänischen Widerstand gegen die Deutschen aktiv war, reagierte jedoch schockiert. Er verstand die Äußerungen Heisenbergs so, dass Deutschland tatsächlich ernsthaft an einer Atombombe forschte, und verweigerte sich weiteren Gesprächen. 1943 floh er über Schweden in die USA, wo er den Los-Alamos-Physikern – so erinnert sich Hans Bethe – das Gespräch mit der Skizze einer Bombe, die in Wirklichkeit ein Reaktor war, rekonstruierte. Im Nachhinein deutete Heisenberg sein eigenes Vorgehen als naiv und die Schlussfolgerungen Bohrs als auf einem Missverständnis beruhend. Nach dem Krieg äußerten besonders die Mitglieder der amerikanischen Alsos-Mission (ihr Mitglied Samuel Abraham Goudsmit schrieb darüber ein gleichnamiges Buch), die die nukleare „Hinterlassenschaft“ der deutschen Physiker einsammelten, den Verdacht, dass Heisenberg die Physik der Kernreaktoren/Atombomben wohl nicht gemeistert habe. Daraufhin wehrte sich Heisenberg, indem er moralische Gründe für das Herunterfahren des deutschen Atombomben-Programms in den Vordergrund stellte.

Für Heisenberg waren Physik und Philosophie untrennbar miteinander verbunden. Philosophisch war er überzeugt, dass die moderne Physik Plato recht gibt: „Denn die kleinsten Einheiten der Materie sind tatsächlich nicht physikalische Objekte im gewöhnlichen Sinne des Wortes; sie sind Formen, Strukturen, oder im Sinne Platos, Ideen, über die man unzweideutig nur in der Sprache der Mathematik reden kann.“ Die Symmetrien in der Grundgleichung seiner einheitlichen Feldtheorie sieht er im Sinne Platos.

Die Materie verstand er im Sinne Descartes als Gegenstück zum Geist. Eine Unterscheidung zwischen Kraftfeld und Stoff geht seines Erachtens in der modernen Physik völlig verloren, weil zu jedem Kraftfeld eine besondere Art von Elementarteilchen gehört.

Wichtig war für ihn der Nachweis der Einheit der Materie: Alle Elementarteilchen können in Stößen hinreichender Energie in andere Teilchen umgewandelt werden, also einfach aus kinetischer Energie erzeugt werden und sie können sich in Energie, z. B. in Strahlung verwandeln. So formuliert er: „Alle Elementarteilchen sind aus der gleichen Substanz, aus demselben Stoff gemacht, den wir nun Energie oder universelle Materie nennen können.“

Die Suche nach der tiefsten Quelle allen Verstehens war für ihn der gemeinsame Ursprung von Religion und Wissenschaft

Werner Heisenberg starb 1976 in München.

eratosthenes 273-194v.C

Eratosthenes war nicht der erste, der auf die Idee kam, die Erde habe nicht die Form einer Scheibe sondern die einer Kugel.

Aber ihm wird zugeschrieben, eine besondere Begründung dafür gefunden zu haben, dass die Erde keine Scheibe sein kann. Er wendete mathematische Kenntnisse an. Winkelgrößen, Regeln zum Größenvergleich von Winkeln und der Begriff Parallelität spielten eine Rolle in seinen Überlegungen.

Über die Größen, die Eratosthenes verwendet haben soll, findet man (leicht) unterschiedliche Angaben. Übereinstimmung gibt es wohl darüber, dass er von diesen Beobachtungen ausging:

An einem 21. Juni konnte man in Syene (heute Assuan) zur Mittagszeit das Spiegelbild der Sonne in einem tiefen Brunnen sehen. (B1)

Also würden Sonnenstrahlen in Syene zu diesem Zeitpunkt senkrecht auf die Erde treffen.

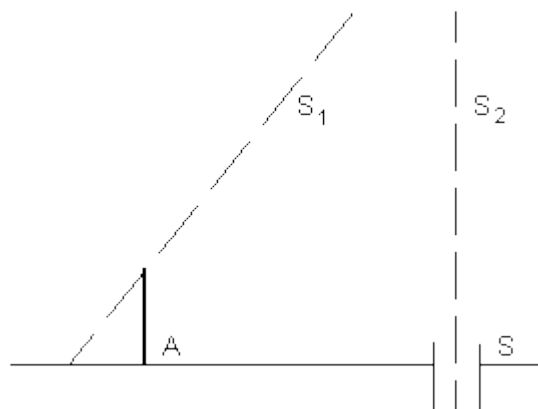
In Alexandria ('fast' auf demselben Längengrad wie Syene, Unterschied ca. 3°) dagegen warf zur selben Zeit ein Obelisk einen deutlichen Schatten. (B2)

Also treffen Sonnenstrahlen zu diesem Zeitpunkt in Alexandria nicht senkrecht auf die Erde.

Geht man von einer scheibenförmigen Erde aus, so ergibt sich aus B1 und B2 eine Situation wie in der folgenden Skizze 1.

Dabei sollen s_1 und s_2 Sonnenstrahlen sein. Bei S (Syene) ist der Brunnen dargestellt und bei A (Alexandria) der Obelisk.

Skizze 1



Die erwähnten Beobachtungen (B1 und B2) und die Annahme, die Erde sei eine Scheibe, führen also zu der Situation in Skizze 1.

Diese steht aber im Widerspruch zu der damals bekannten Tatsache, dass Sonnenstrahlen nahezu parallel auf die Erde treffen.²

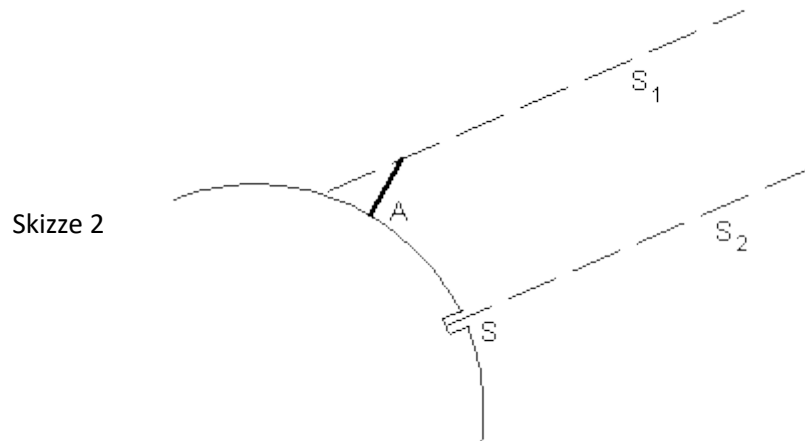
Die einzige nicht-sichere Voraussetzung in diesem Zusammenhang war die Annahme, die Erde habe die Form einer Scheibe.

Diese Annahme führte also zu einem Widerspruch und musste deshalb falsch sein.

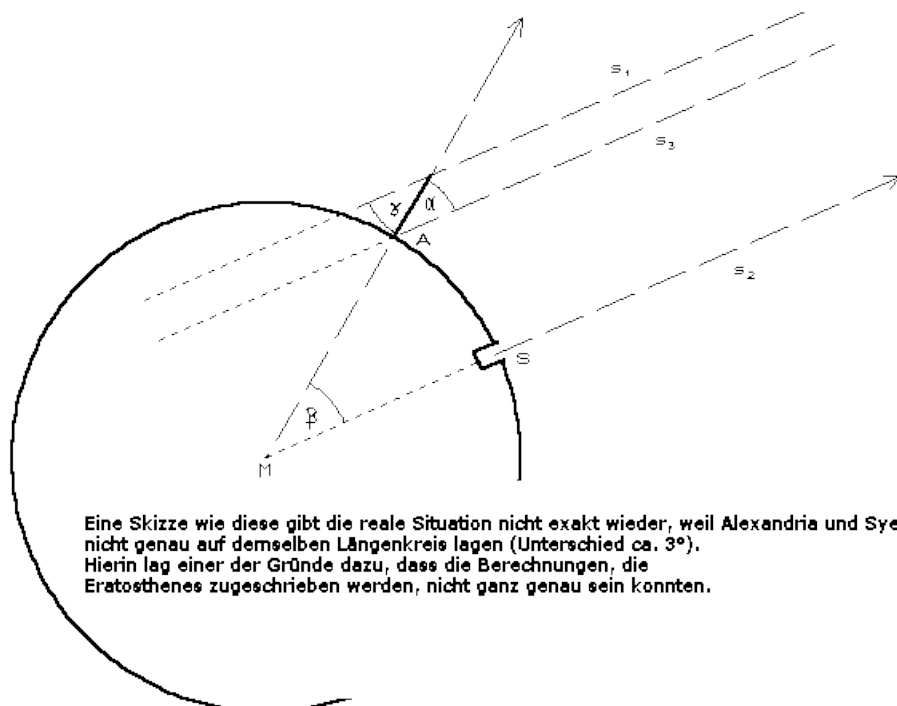
Dass Sonnenstrahlen fast parallel auf die Erde treffen (auch dann, wenn sie von weit

voneinander entfernten Teilen der Sonne ausgehen) liegt an der großen Entfernung der Erde von der Sonne.

Geht man dagegen davon aus, dass die Erde die Form einer Kugel hat, so stellt sich die Situation nach den erwähnten Beobachtungen B1 und B2 wie in Skizze 2 dar.



Bei der Annahme, die Erde sei eine Kugel, ergibt sich kein Widerspruch zwischen den Beobachtungen B1 und B2 und der (fast-) Parallelität der Sonnenstrahlen.



Wie berechnete Eratosthenes wahrscheinlich den Erdumfang?

Zum Verständnis des dem Eratosthenes zugeschriebenen Gedankenganges zur Berechnung des Erdumfangs ergänzen wir die letzte Skizze

Im Folgenden wird ein Weg zur Berechnung des Erdumfangs mit den Voraussetzungen, die Eratosthenes wahrscheinlich hatte (s. o.!), beschrieben. Die dazu verwendeten Begriffe und Ausdrucksweisen entsprechen den heute üblichen.

Kennt man die Größe des Mittelpunktswinkel Beta, so kann man berechnen, wie oft die Länge des Weges von Syene (S) nach Alexandria (A) in den Erdumfang passt (Unter der Voraussetzung, dass die Erde eine ideale Kugel ist). Zur Berechnung des Erdumfangs waren also zwei Größen zu bestimmen: Die Größe Beta und die Länge des Weges von Syene nach Alexandria.

Zur Berechnung der Größe Beta:

Wir gehen davon aus, dass die in Skizze 3 dargestellten Sonnenstrahlen s_2 und s_3 parallel sind (s. o!). Also sind Beta und Alpha Stufenwinkel an geschnittenen Parallelen und damit gleich groß.

Nach einigen Quellen soll Eratosthenes von Alpha = $7,2^\circ$ ausgegangen sein. Also musste Beta = $7,2^\circ$ sein. Damit passte Beta genau 50-mal in einen 360° -Winkel hinein. Der Erdumfang war demnach das 50-fache der Länge des Weges von Syene nach Alexandria. Also hatte man Erdumfang = Länge des Weges von Syene nach Alexandria * 50.

Eratosthenes soll davon ausgegangen sein, dass der Weg von Syene nach Alexandria 5000 Stadien lang war.

Also kam er auf einen Erdumfang von $5000 \text{ Stadien} * 50 = 250\,000 \text{ Stadien}$.

Die Länge eines Stadions wurde - je nach Region - unterschiedlich angegeben. Hier wird von 1 Stadion = 157,5 m ausgegangen (s. <http://de.wikipedia.org/wiki/Eratosthenes>).

Danach erhält man

Erdumfang = $5000 \text{ Stadien} * 50 = 250\,000 \text{ Stadien} = 250\,000 * 157,5 \text{ m} = 39\,375\,000 \text{ m} = 39\,375 \text{ km}$.

Keppler 1571-1630

Von 1594 bis 1600 war Kepler Landschaftsmathematiker in Graz, das heißt, Mathematiker des Landes Steiermark. Er unterrichtete Mathematik an der protestantischen Stiftsschule. Ab März 1600 kam es in Prag zu einer schwierigen Zusammenarbeit von Kepler mit Tycho Brahe bis der im Oktober 1601 starb und Kepler seinen Nachlass ordnete. Danach wurde Kepler kaiserlicher Mathematiker und behielt diese Stellung bis 1627. Von 1612 bis 1626 wirkte er zusätzlich als Landschaftsmathematiker in Linz. Im Dreißigjährigen Krieg diente Kepler zwischen 1625 und 1634 dem Oberbefehlshaber der kaiserlichen Armee Generalissimus Wallenstein als astrologischer Berater.

Johannes Kepler entdeckte die Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich Planeten um die Sonne bewegen. Sie werden nach ihm Keplersche Gesetze genannt. Er machte die Optik zum Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchung und bestätigte die Entdeckungen, die sein Zeitgenosse Galileo Galilei mit dem Teleskop gemacht hatte. Kepler zählt damit zu den Begründern der modernen Naturwissenschaften. Mit seiner Einführung in das Rechnen mit Logarithmen trug Kepler zur

Verbreitung dieser Rechenart bei. In der Mathematik wurde ein numerisches Verfahren zur Berechnung von Integralen nach ihm Keplersche Fassregel benannt.

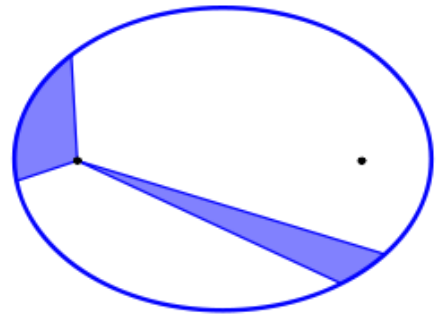
Seine Entdeckung der drei Planetengesetze machte aus dem mittelalterlichen Weltbild, in dem körperlose Wesen die Planeten einschließlich Sonne in stetiger Bewegung hielten, ein dynamisches System, in dem die Sonne durch Fernwirkung die Planeten aktiv beeinflusst. Er selbst allerdings nannte sie nie „Gesetze“; sie waren in seinen Augen vielmehr Ausdruck der Weltharmonie, die der Schöpfer seinem Werk mitgegeben hatte. Aus seiner Sicht war es auch göttliche Vorsehung, die den Theologiestudenten zum Studium der Gestirne führte. Die natürliche Welt war ihm ein Spiegel, in dem die göttlichen Ideen sichtbar werden konnten, der gottgeschaffene menschliche Geist dazu da, sie zu erkennen und zu preisen.

Kepler ging von dem Gedanken ab, das kopernikanische System sei lediglich ein (hypothetisches) Modell zur einfacheren Berechnung der Planetenpositionen. Das heliozentrische Weltbild als eine physikalische Tatsache zu sehen, stieß nicht nur bei der katholischen Kirche, sondern auch bei Keplers protestantischen Vorgesetzten auf erbitterten Widerstand. Denn auf beiden Seiten galten die Lehren von Aristoteles und Ptolemäus als unantastbar.

1. Keplersches Gesetz

Die Planeten bewegen sich auf elliptischen Bahnen. In einem ihrer Brennpunkte steht die Sonne.

Dieses Gesetz ergibt sich aus Newtons Gravitationsgesetz solange die Masse des Zentralkörpers wesentlich größer ist als die des Trabanten und somit die Wechselwirkung mit diesem vernachlässigt werden kann.



2. Keplersches Gesetz

Ein von der Sonne zum Planeten gezogener Fahrstrahl überstreicht in gleichen Zeiten gleich große Flächen.

Unter dem *Fahrstrahl* versteht man die Verbindungslinie zwischen dem Schwerpunkt eines Himmelskörpers, z. B. eines Planeten oder Mondes, und dem Gravizentrum, z. B. in erster Näherung der Sonne respektive des Planeten, um das er sich bewegt.

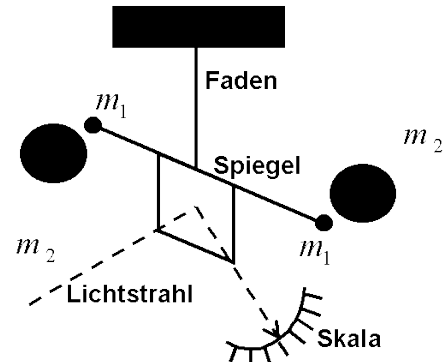
3. Keplersches Gesetz

Die Quadrate der Umlaufzeiten zweier Planeten verhalten sich wie die Kuben (dritten Potenzen) der großen Halbachse der Ellipse

Gravitationskonstante (Cavendish) (1797)

Die Gravitationskonstante G kann nur im Experiment ermittelt werden. Dazu werden beispielsweise zwei große Massen in die Nähe von zwei kleineren Massen gebracht. Diese sind an einem Stab befestigt, der an einer (torsionsfreien) Schnur hängt. Dadurch werden die Massen leicht angezogen, die Schnur verdreht sich, dabei entsteht eine elastische Kraft im Faden. Ist diese gleich der Gravitationskraft zwischen den beiden Massen, kommt der Stab zum Stillstand. Diese elastische Kraft kann sehr genau berechnet werden und somit F_G und die Gravitationskonstante G .

Cavendish gelang es damit, die Gravitationskonstante G zu ermitteln und die Masse der Erde zu bestimmen. Er selbst behauptete, von sich, die Erde gewogen zu haben, was genau genommen nicht stimmt. Es ist nicht möglich, die Erde zu wiegen, da man nur die Kraft (Gewichtskraft oder Gewicht) zwischen zwei Objekten messen kann. Würde man versuchen, die Erde zu wiegen, würde man nur das Gewicht der Waage ermitteln, welche man verkehrt herum auf den Boden legt.



Die Masse ist überall im Universum gleich (Es handelt sich dabei um einen Skalar) während die Gewichtskraft ein Vektor ist und (auf der Erde) in Richtung Erdmittelpunkt zeigt. Die Gewichtskraft ist also die Kraft, mit der eine Masse von der Erde angezogen wird. Kennt man die Erdbeschleunigung $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ und den Erdradius $r = 6,37 \cdot 10^6 \text{ m}$, lässt sich die Masse der Erde leicht durch Gleichsetzen des zweiten Newtonschen Gesetzes $F=ma$

$$mg = G \cdot \frac{mM}{r^2} \rightarrow M = \frac{gr^2}{G} \rightarrow 5,97 \cdot 10^{24} \text{ kg}$$

Die Gravitationskonstante gilt als eine der drei fundamentalen Naturkonstanten. Als fundamentale Naturkonstante werden die Konstanten bezeichnet, die sich auf allgemeine Eigenschaften von Raum, Zeit und physikalischen Vorgängen beziehen, die für jede Art Teilchen und Wechselwirkung gleichermaßen gelten. Diese sind die Lichtgeschwindigkeit, das Plancksche Wirkungsquantum und die Gravitationskonstante.

Schwerkraft und Orbit

Die Gravitation ist eine Kraft, welche keinen Anfang nur ein Ende hat. Das bedeutet sie nimmt nur ab (mit $\frac{1}{r^2}$) wird aber nie 0. Dadurch wirkt im Orbit ebenso die Schwerkraft. Schwerelosigkeit kommt also nicht durch das Fehlen von Schwerkraft zustande, sondern durch den Fall, bzw. das fallen um die Erde. Da alles gleich stark von der Erde beschleunigt wird ist die Masse der Gegenstände egal und somit haben die Astronauten auf der ISS das Gefühl Schwerelos zu sein während sie mit der ISS um die Erde herum fallen.

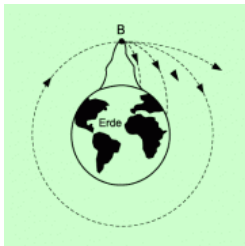
Kreisgeschwindigkeit oder 1. Kosmische Geschwindigkeit

Die benötigte Geschwindigkeit kann auf verschiedene Arten berechnet werden.

- 1) Über die Zentripetalkraft: Die Zentripetalkraft ($F_z = m \frac{v^2}{r}$) muss gleich der Gravitationskraft ($F_g = mg$) sein.

$$mg = \frac{mv^2}{r} \rightarrow v = \sqrt{rg} = 7,9 \text{ km/s}$$

- 2) Über den pythagoräischen Lehrsatz. Der Gegenstand muss in einer Sekunde so weit fliegen, dass er aufgrund der Erdkrümmung 4,905m ($s = \frac{1}{2}gt^2$) an Höhe gewinnt.



Somit gilt: $v = \sqrt{(r + 4,905)^2 - r^2} = 7,9 \text{ km/s}$

Die Fluchtgeschwindigkeit (2. Kosmische Geschwindigkeit)

Wird ein Körper mit einer Geschwindigkeit abgeschossen, die größer ist als die 1. kosmische Geschwindigkeit, so entfernt er sich von der Erde.

Hierbei wird ein Teil seiner kinetischen Energie in potentielle umgewandelt. Der Satellit beschreibt eine Ellipsenbahn. Sie berührt jedoch im Abschusspunkt die Erde. Deswegen würde auch dieser Satellit abstürzen, da er nach einer Umrundung der Erde wieder in die Atmosphäre eintaucht und so der Luftreibung ausgesetzt ist. Um dies zu vermeiden muss die Bahn nach dem Abschuss korrigiert werden. Steigert man die Abschussgeschwindigkeit des Satelliten immer weiter, so erreicht er schließlich eine Geschwindigkeit, bei der er sich von der Erde entfernt und nie mehr zu ihr zurückkehrt. Damit ein Körper aus dem Anziehungsbereich der Erde gebracht werden kann, muss man ihm beim Start mindestens so viel kinetische Energie E_{kin} mitgeben, dass diese die Differenz zwischen Endenergie und Anfangsenergie übersteigt. Im Grenzfall gilt dann:

Kinetische Energie = Bindungsenergie im Gravitationsfeld

$$\frac{mv^2}{2} = G \frac{Mm}{r} \rightarrow v = \sqrt{\frac{2GM}{r}} = \frac{10,8 \text{ km}}{\text{s}}$$

Schall

Schall wird durch mechanische Schwingungen von Körpern hervorgerufen. Schwingen können z. B. eine Stimmgabel, die Saiten einer Gitarre, die Luftsäule in einer Orgelpfeife, die Stimmbänder beim Menschen oder die Membran eines Tamburins.

So wird beispielsweise beim Schlag auf ein Tamburin (Bild 2) die Membran verformt und die umgebende Luft dadurch zusammengedrückt. Die Luft verdichtet sich an dieser Stelle; der Druck wird größer. Da Luft elastisch ist, dehnt sie sich dann wieder aus, was zu einer Verdichtung an einer benachbarten Stelle führt. Es entsteht eine Druckwelle, die sich im Raum ausbreitet. Das kann man auch mit dem Teilchenmodell deuten: Die Luftteilchen werden durch das Anschlagen der Membran zu Schwingungen angeregt. Sie schwingen somit hin und her. Dabei bilden sich Bereiche mit größerer Teilchenanzahl (größerem Druck) und Bereiche mit kleinerer Teilchenanzahl (kleinerem Druck).

Allgemein gilt:

Schallwellen sind die Ausbreitung von Druckschwankungen im Raum.

Da die Ausbreitungsrichtung und die Schwingungsrichtung der Teilchen übereinstimmen, handelt es sich bei Schallwellen um Longitudinalwellen (Längswellen). Das menschliche Ohr ist in der Lage, Druckschwankungen von etwa 0,000 02 Pa (Hörschwelle) bis etwa 20 Pa (Schmerzschwelle) wahrzunehmen.

Schall breitet sich in einem Stoff konstanter Temperatur geradlinig aus. Die Geschwindigkeit, mit der sich Schall ausbreitet, wird als **Schallgeschwindigkeit** bezeichnet. Sie hängt von dem betreffenden Stoff sowie von der Frequenz und der Wellenlänge ab. Für Schallwellen gilt wie für andere mechanische Wellen:

$$v = \lambda * f$$

f = Frequenz und λ = Wellenlänge

Ton	Klang
Die Schwingung ist sinusförmig.	Die Schwingung ist periodisch, aber nicht sinusförmig.
	
	
Eine angeschlagene Stimmgabel erzeugt einen ganz klaren Ton.	Mit Musikinstrumenten kann man verschiedene Klänge erzeugen.
Geräusch	Knall
Die Schwingung ist unregelmäßig.	Die Schwingung hat eine große Amplitude und klingt schnell ab.
	
	
Geräusche entstehen z.B. bei Fahrzeugen und Maschinen.	Beim Explodieren eines Feuerwerkskörpers entsteht ein Knall.

Die Schallgeschwindigkeit wird berechnet durch:

$$c_{\text{Flüssigkeit,Gas}} = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

Wobei K das Kompressionsmodul ist (Werte aus liste entnehmen) und ρ die Dichte des Mediums.

Schall kann sich in festen Stoffen, Flüssigkeiten und Gasen ausbreiten.

Die Schallgeschwindigkeit und damit auch die Wellenlänge und die Frequenz können sehr unterschiedlich sein. Im Allgemeinen ist die Schallgeschwindigkeit in Gasen am kleinsten und in festen Körpern am größten. Das hängt mit den unterschiedlichen Kräften zusammen, die zwischen den Teilchen der Stoffe wirken. Bei Gasen ist die kräftemäßige Kopplung zwischen den Teilchen gering, bei festen Körpern groß. Deshalb breitet sich eine Druckschwankung in festen Körpern schneller aus als in Gasen.

Bei Wind z.B. wird die Wellenlänge der Schallwelle verändert, dadurch entsteht je nach Geschwindigkeit des Mediums bzw. der Schallwelle eine Stauchung oder Dehnung der Schallwelle. Bekannt ist dieses Phänomen als Dopplereffekt. Erreicht die Quelle die Schallgeschwindigkeit, wird die sogenannte Schallmauer erreicht.

Dopplereffekt

Doppler-Effekt, das Phänomen, dass ein Beobachter, der sich relativ zu einem Wellensender bewegt, eine andere Frequenz registriert als die tatsächlich von der Quelle erzeugte. Bewegen sich Sender und Empfänger aufeinander zu, so treffen die Wellenzüge in schnellerer Folge beim Beobachter ein, die Frequenz erscheint erhöht (*Blauverschiebung*). Bei einer Bewegung voneinander weg erscheint die Frequenz verkleinert (*Rotverschiebung*).

Benannt ist das Phänomen nach C.J. Doppler, der den Effekt 1842 zuerst bei Schallwellen bemerkte. Im Alltag kann man den Doppler-Effekt sehr gut bei schnell vorbeifahrenden Autos erkennen, vor allem, wenn diese eine Sirene eingeschaltet haben: die Sirene klingt bei der Annäherung des Fahrzeugs zunächst höher und nach der Vorbeifahrt am Zuhörer tiefer. Dies wird *akustischer Doppler-Effekt* genannt.

Breiten sich Wellen in einem Medium aus, so sind die Geschwindigkeiten des Beobachters v_B und der Quelle v_Q bezüglich des wellentragenden Mediums ausschlaggebend für die Stärke des Doppler-Effekts. Bewegen sich Sender und Empfänger auf einer Linie und sendet die Quelle Wellen der Frequenz f_Q aus, so misst der Beobachter die Frequenz

$$f_B = \frac{c - v_B}{c - v_Q}$$

wobei c die Phasengeschwindigkeit der Welle im umgebenden Medium ist.

Da elektromagnetische Wellen kein Übertragungsmedium benötigen, hängt die Frequenzverschiebung beim *optischen Doppler-Effekt*, also dem Doppler-Effekt von Licht, nur von der Relativbewegung zwischen Beobachter und Quelle ab. Man kann deshalb die Quelle als stationär und nur den Beobachter als bewegt betrachten. Bezeichnet man seine Geschwindigkeit wieder mit v_B , so kann die Berechnung der Frequenzverschiebung im Rahmen der Speziellen Relativitätstheorie sehr einfach durchgeführt werden, da man nur die Lichtwelle in das Bezugssystem des Beobachters zu transformieren braucht (Lorentz-Transformation). Bilden die Bewegungsrichtung des Beobachters und der Lichtstrahl den Winkel ϑ , so gilt mit

$$\beta = \frac{v_B}{c}$$
$$f_B = \frac{\sqrt{1 - \beta^2}}{1 - \beta \cdot \cos(\vartheta)}$$

Im Gegensatz zum akustischen Doppler-Effekt erfolgt beim optischen Doppler-Effekt auch bei senkrechter Beobachtungsrichtung eine Frequenzänderung. Dieser *transversale Doppler-Effekt* wurde an Licht emittierenden Kanalstrahlen experimentell bestätigt. Der optische Dopplereffekt ist in der Astronomie von großer Bedeutung, z.B. bei der Geschwindigkeitsbestimmung einer Galaxie anhand ihres Spektrums. Man interpretiert die dabei festgestellte Rotverschiebung in den Spektrallinien (*kosmologischer Doppler-Effekt*) als Maß für die Relativbewegung zur Erde, wodurch die Geschwindigkeit der Galaxien bestimmt werden kann. Oder zum entdecken exosolarer Planeten, wobei dabei die Gesamtmasse der Trabanten nicht sehr viel kleiner sein darf als die der Sonne, da sonst der solare Massenschwerpunkt, um den das System kreist zu weit in der Sonne liegt, um den Effekt messen zu können.

Arbeit und Energie

Es gibt mehrere Grundlegende Arten von Energie: kinetische Energie, potenzielle Energie, Wärme, chemische Energie, elektrische Energie. Diese können ineinander umgewandelt werden, es kann jedoch niemals dabei Energie vernichtet werden.

Der Energieerhaltungssatz besagt also, dass in einem geschlossenen System (nichts kann dieses System verlassen oder dazukommen) die Gesamtsumme aller Energieformen konstant ist.

$$E_{kin} + E_{pot} + E_{chem} + E_{temp} + \dots = E_{ges}$$

und

$$E_{ges} = \text{konstant}$$

Der Energieerhaltungssatz der Mechanik besagt, es gibt zwei Arten von Energie in der Newton'schen Mechanik. Kinetische Energie und potentielle. In einem abgeschlossenen System, das bedeutet ohne zufügen oder wegnehmen von Energie, gilt immer $E_{kin} + E_{pot} = E_{ges}$.

E_{ges} ist dabei konstant.

Die kinetische Energie (Bewegungsenergie) wird berechnet durch:

$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2$$

M = Masse in kg v = Geschwindigkeit in m/s

Die kinetische Energie beschreibt die Energie, die ein bewegter Körper besitzt bzw. die Energie, die mindestens benötigt wird um einen Körper auf eine Geschwindigkeit v zu beschleunigen.

Die potentielle Energie (Ruheenergie) wird berechnet durch:

$$E_{pot} = mgh$$

m = Masse in kg g = Erdbeschleunigung 9,81 m/s² h = der Höhenunterschied in m

Die potentielle Energie beschreibt die Energie die ein Körper in einer erhöhten, ruhenden Position besitzt.

Diese beiden Formen der Energie können problemlos ineinander umgewandelt werden. Durch gleichsetzen und umformen der beiden Formeln können auch problemlos andere Werte wie die maximal erreichbare Höhe eines bewegten Körpers oder die maximale Geschwindigkeit eines herabrollenden Gegenstandes berechnet werden.

$$\frac{1}{2}mv^2 = mgh$$

Die Einheit der Energie ist $\frac{kg \cdot m^2}{s^2}$ oder Nm und wird als Joule bezeichnet. Diese Einheit wird heute für alle Energieformen benutzt, also auch Wärme und Arbeit.

Kräfte, Beschleunigung und das Unabhängigkeitsprinzip

Kräfte sind vektorielle Größen, das bedeutet eine Kraft hat eine Richtung. Kräfte werden in der Physik als Vektoren dargestellt, dieser beschreibt die Richtung der Kraft während der Betrag dieses Vektors die Größe der Krafteinwirkung darstellt.

Die Einheit ist das Newton:

$$N = \frac{kg * m}{s^2}$$

Beschrieben werden die grundlegenden Gesetze der Kräfte durch die drei newton'schen Gesetze.

1. Trägheitsgesetz:

Ein Körper verharrt im Zustand der Ruhe oder der gleichförmig geradlinigen Bewegung, sofern er nicht durch einwirkende Kräfte zur Änderung seines Zustands gezwungen wird.

2. Aktionsprinzip:

Die Änderung der Bewegung ist der Einwirkung der bewegenden Kraft proportional und geschieht nach der Richtung derjenigen geraden Linie, nach welcher jene Kraft wirkt.

$$\vec{F} = m\vec{a}$$

3. Wechselwirkungsprinzip:

Kräfte treten immer paarweise auf. Übt ein Körper A auf einen anderen Körper B eine Kraft aus (actio), so wirkt eine gleich große, aber entgegen gerichtete Kraft von Körper B auf Körper A (reactio).

Weiters gibt es noch das Superpositionsprinzip (Unabhängigkeitsprinzip)

Wirken auf einen Punkt (oder einen starren Körper) mehrere Kräfte $\vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$, so addieren sich diese vektoriell zu einer resultierenden Kraft $\vec{F}$ auf.

$$\vec{F}_{res} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$

Das bedeutet soviel wie: Führt ein Gegenstand mehrere Bewegungen in verschiedene Koordinatenrichtungen (x; y; z) gleichzeitig aus, so werden diese nicht voneinander beeinflusst.

Diese verhalten wird deutlich, wenn man Kräfte vektoriell betrachtet.

$$\begin{pmatrix} x \\ 0 \\ z \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ y \\ -z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ 0 \end{pmatrix}$$

Die Koordinaten geben die Richtung und Orientierung der Kraft an, der Betrag des Vektors gibt die Größe der Kraft an.

Wirkt eine Kraft auf einen Gegenstand so ist dieser einer Beschleunigung ausgesetzt.

Dabei gilt:

$$F = ma \rightarrow a = \frac{F}{m}$$

Oder:

$$a = \frac{\frac{kg * m}{s^2}}{kg} \rightarrow a = \frac{m}{s^2}$$

Ist ein Körper in einem Kraftfeld (Schwerefeld der Erde) so ist dieser einer ständigen Beschleunigung ausgesetzt. Wir nehmen diese Beschleunigung als Erdanziehungskraft wahr, es gibt jedoch keine Möglichkeit zwischen Gravitation und Beschleunigung zu unterscheiden. (mehr in Relativitätstheorie)

Teilchen und das PSE

Prinzipiell können bei Umwandlungen von Teilchen nur gleich viele positive und negative Ladungen entstehen oder vernichtet werden.

Atomkerne halten trotz ihrer positiven Ladungen der Protonen wegen der starken Wechselwirkung nicht auseinander. Diese Kraft wirkt zwischen allen Nukleonen (Protonen und Neutronen) und ist ca. 100mal so groß wie die elektrische Kraft.

Um das Verhältnis zwischen elektrischer Kraft und Gravitationskraft zu bestimmen muss F_E/F_G berechnet werden. Daraus folgt, dass die Elektrische Kraft um einen Faktor 10^{36} größer ist als die Gravitationskraft. Trotzdem ist im Universum die Gravitationskraft die Kraft, welche in kosmischen Maßstäben die stärkere ist. Das liegt daran, dass ein elektrisches Feld immer einen Anfang (-) und ein Ende haben muss (+) während die Gravitationskraft zwar ein Ende hat (Massepunkt) jedoch keinen Anfang. Sie wirkt somit im gesamten Universum, nimmt jedoch mit $1/r^2$ ab.

Wenn in der Physik und Chemie eine Stoffmenge angegeben wird, dann macht man das in mol. Ein mol ist die Anzahl an Teilchen, welche man benötigt um die Atommasse eines Stoffes in g zu erhalten, die Atommasse ist im PSE abzulesen und ist immer ungefähr das doppelte der Ordnungszahl (Nicht genau das doppelte, da die Atommasse ein gewichteter Mittelwert aller Isotope eines Elements ist). Das bedeutet 1 mol Wasserstoff = 1g; 1 mol Sauerstoff = 16g; 1mol H_2O = 18g (2 Wasserstoff, 1 Sauerstoff). 1 mol besteht immer aus $6 \cdot 10^{23}$ Teilchen

Das PSE

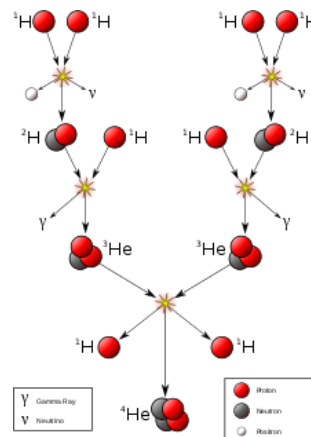
Im Periodensystem sind die Atome nach deren Protonenzahl (Ordnungszahl) geordnet. Daher ist die Atommasse immer ca. das doppelte der Ordnungszahl (Protonen + Neutronen). Ebenso gibt die Ordnungszahl an wie viele Elektronen ein Element besitzt (Für jedes Proton ein Elektron).

Die Hauptgruppen 1-8 haben alle Valenzelektronen (Außenelektronen, welche wichtig für das reaktionsverhalten sind und den Elementen ihre Eigenschaften geben → Elemente in den selben Spalten haben ähnliche Eigenschaften) im s-Orbital (1 und 2 Hauptgruppe) oder im p-Orbital (3-8) Wobei die Nummer der Hauptgruppenspalte immer die Anzahl der Valenzelektronen zeigt. In jedem s-Orbital haben 2 Elektronen Platz in jedem p-Orbital 6. Man spricht auch gerne von Schalen (Bohrsches Atommodell) wobei in der ersten Schale (erste Zeile) 2 Elektronen Platz haben und in jeder weiteren Schale (zweite Zeile usw.) 8 Elektronen. 1. Schale s1 Orbital; 2. Schale s2 und p1 Orbital; 3 Schale s3 und p2 Orbital...

Allgemein kann man sagen dass die Atome mit jeder Zeile Größer werden und von links nach rechts kleiner. Das liegt an dem stärker positiv geladenen Kern, der die Elektronen im selben Orbital dadurch mehr anziehen kann.

Alle Elemente (außer den Edelgasen) neigen dazu Elektronen abzugeben oder aufzunehmen um 8 Valenzelektronen zu erhalten.

Die Sonnen Fusionierten den beim Urknall entstandenen Wasserstoff und das Helium immer weiter bis zum heutigen Tag.



Rutherford

1. Ergebnisse des berühmten Streuversuchs (angelehnt an die Originalarbeit von 1911)

Ernest RUTHERFORD untersuchte seit 1898 Alpha-Teilchen. Er war mit dieser neuartigen Strahlung völlig vertraut und konnte später auch nachweisen, dass es sich dabei um Helium-Kerne handelte. 1909 wurde er mit einer ziemlich unverständlichen Eigenschaft der Alphateilchen konfrontiert, auf die seine Schüler Hans GEIGER und Ernest MARSDEN bei Streuversuchen gestoßen waren.

GEIGER und MARSDEN beschossen 1909 eine sehr dünne Goldfolie mit einem eng begrenzten Strahl von Alphateilchen über mehrere Monate (sie führten diese Untersuchungen bis 1913 weiter). GEIGER verwendete eine Dicke von $8,6 \cdot 10^{-6}$ cm für die Folie. Tatsächlich war die Folie so dünn, dass sie auf ein Gitter aufgebracht wurde (bei dem Gitter ohne Folie wurden keine Reflexionen von Alphateilchen festgestellt, es war für Alphastrahlung durchsichtig). Die verwendete Apparatur ist auf der Seite über den Versuchsaufbau detailliert dargestellt.

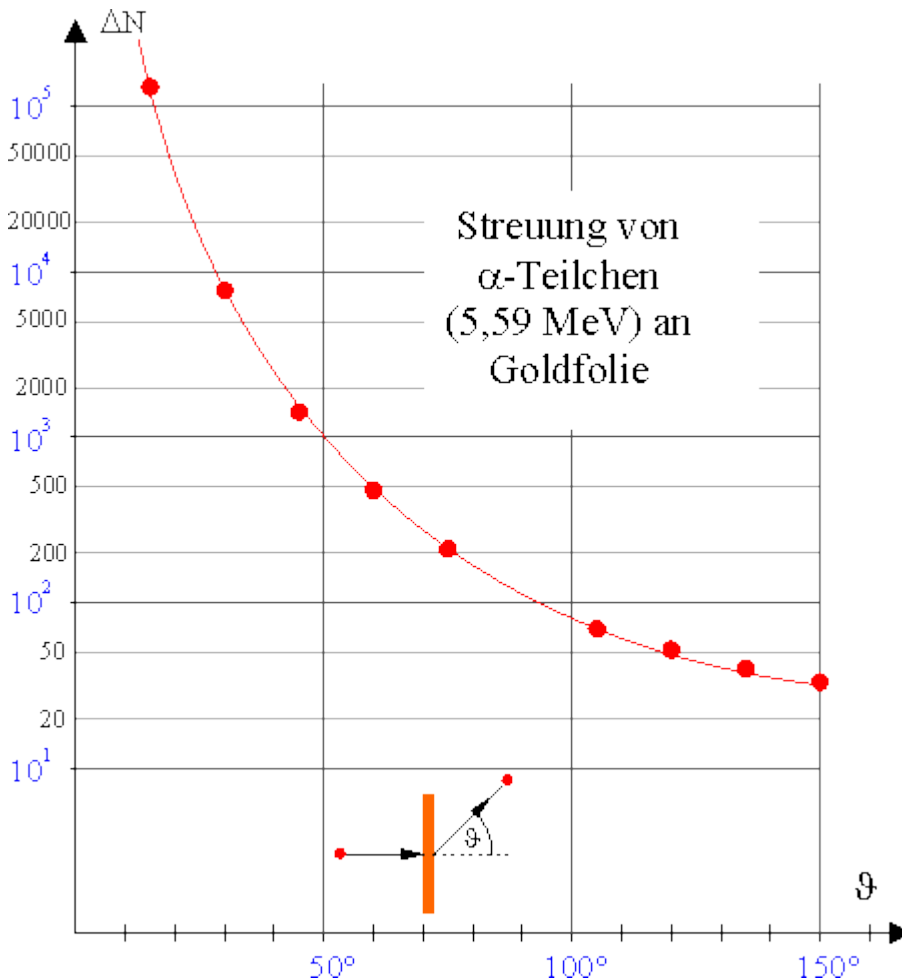
Sie fanden drei wesentliche Dinge:

- 1) Nahezu alle Alphateilchen gingen durch die Goldfolie hindurch, so als wäre sie nicht da. Diese Alphateilchen bewegten sich geradlinig weiter, bis sie auf die Wand oder den Detektor aufschlugen.
- 2) Einige wenige Alphateilchen wurden geringfügig abgelenkt, üblicherweise um einen Winkel von 2° und weniger. Geiger fand heraus, dass ein Alphateilchen im Durchschnitt an einem Goldatom um $0,005^\circ$ abgelenkt wird. Die wahrscheinlichste Ablenkung an der ganzen Goldfolie lag unter einem Grad (Rutherford benannte sie in seiner Veröffentlichung von 1911 mit $0,87^\circ$).

Ganz wenige Teilchen wurden um einen Winkel von mehr als 90° abgelenkt. (1 von 8000 bei einer Platinfolie, Rutherford nannte in seiner Veröffentlichung von 1911, dass es 1 von 20 000 bei der verwendeten Goldfolie sind). Dieses Ergebnis veranlasste Rutherford zu der oft zitierten Aussage:

"Es war bestimmt das unglaublichste Ergebnis, das mir je in meinem Leben widerfuhr. Es war fast so unglaublich, als wenn einer eine 15-Zoll-Granate auf ein Stück Seidenpapier abgefeuert hätte und diese zurückgekommen wäre und ihn getroffen hätte."

Die folgende Abbildung zeigt den Zusammenhang zwischen dem Ablenkwinkel ϑ und der Zahl ΔN der in einen bestimmten Raum- und Zeitbereich gestreuten Alphateilchen. Man beachte, dass es sich bei der Hochwertachse um keinen linearen Maßstab handelt.



- 3) Das Diagramm zeigt, dass der größte Teil der auf die Folie treffenden Alphateilchen nahezu unabgelenkt die Folie passieren konnte. Es kommen aber auch (zwar nicht sehr häufig) Streuungen um Winkel größer als 90° vor.

Hinweis:

Die Erklärung der Großwinkelstreuung als Folge mehrerer hintereinander erfolgten Kleinwinkelstreuungen an verschiedenen Goldkernen ist nicht haltbar, da es aufgrund der sehr dünnen Folie unwahrscheinlich ist, dass ein Alphateilchen beim Durchdringen der Folie sehr nah an mehreren Kernen vorbeifliegt.

2. Rutherfords Deutung

Rutherford war ein hervorragender und sehr kooperativer Wissenschaftler. Er liebte das Leben, ging aus, feierte und konnte sich an allen Dingen erfreuen. Er war aber auch ein hart arbeitender Mann, der die Wissenschaft - allein wegen ihrer Möglichkeit neue Erkenntnisse zu gewinnen - liebte und der unermüdlich in seinem Labor forschte und variierte. Er hatte selten irgendwelche Probleme mit

anderen Menschen, manches Mal gelang es ihm sogar, einen potenziellen Widersacher dazu zu gewinnen, dass er ein effektiver Mitarbeiter wurde. Wenn er Leute wie Einstein, Lorentz oder Planck traf, gelang es ihm auf Anhieb, sie in eine fruchtbare und konstruktive Diskussion zu führen. Er hatte eine sehr freundschaftliche Beziehung zu Marie Curie. Beide waren begeisterte Wissenschaftler, die sich von den Experimenten mitreißen ließen, die einzig und allein den Zweck hatten, neue Erkenntnisse zu gewinnen und das Wesen der Dinge zu verstehen.

Seine Lösung des Rätsels von der Streuung der Alphateilchen an Goldatomen sowohl um kleine als auch große Winkel war der Atomkern. Es war bereits bekannt, dass das Atom einen Radius von etwa 10^{-10}m hat. Beim thomsonschen Modell (auch Wassermelonenmodell oder Rosinenkuchenmodell genannt) verteilte sich die ganze Atommasse homogen auf den Raum, den das Atom in Anspruch nahm. Rutherford erklärte, dass die ganze Atommasse im Zentrum des Atoms auf einem sehr kleinen Raum vereinigt ist, dies ist der Atomkern.

In seiner Veröffentlichung von 1911 schlug er vor, den Kern als einen Punkt zu betrachten:
"Wir müssen uns die Masse und die positive Ladung sowohl des Atoms als auch des Alphateilchens in einem Punkt konzentriert vorstellen, dessen Ausmessungen weniger als 10^{-14}m sind."

Rutherford verwendete in seiner Veröffentlichung nicht das Wort "Kern". Er nannte es "Ladungskonzentration". In einem Artikel von 1912 schrieb er einige Seiten über das Atommodell und verwendete dort erstmals das Wort "*Kern*".

Das Standardmodell der Teilchenphysik

Physiker haben ihre Kenntnisse über die kleinsten Teilchen im so genannten Standardmodell der Teilchenphysik zusammengefasst. Es beschreibt perfekt alle uns bekannten Phänomene des Mikrokosmos und beinhaltet die folgenden Teilchenarten:

- die Teilchen, aus denen Materie aufgebaut ist (**Materieteilchen**),
- die Teilchen die zwischen ihnen wechselwirken (**Kraftteilchen**).
- Ein weiterer Bestandteil des Standardmodells ist das **Higgs-Teilchen**, das weder Materie- noch Kraftteilchen ist. Laut Standardmodell verleiht das Higgs-Feld den Elementarteilchen ihre Masse.

Materieteilchen

Alles, was wir sehen – Menschen, Tiere, Pflanzen, Erde und Planeten – besteht aus Materieteilchen. Insgesamt gibt es **zwölf Materieteilchen**, die in sechs **Quarks** und sechs **Leptonen** unterteilt werden. Beide Gruppen bestehen aus Teilchen dreier Familien.

Quarks

Quarks sind im Standardmodell der Teilchenphysik die elementaren Bestandteile (Elementarteilchen), aus denen **Hadronen** (z. B. die Atomkern-Bausteine Protonen und Neutronen) bestehen. Als Hadronen bezeichnet man subatomare Teilchen, die von der starken Wechselwirkung zusammengehalten werden. Die bekanntesten Hadronen sind die Nukleonen (Neutronen und Protonen), die Bestandteil der Atomkerne sind. Je nach **Spin** werden die Hadronen in zwei Typen eingeteilt:

- **Mesonen**, sie haben ganzzahligen Spin und sind damit **Bosonen**. Sie bestehen aus einem Quark und einem Antiquark, dem Antiteilchen eines Quarks
- **Baryonen**, sie haben halbzahligen Spin und sind damit **Fermionen**. Sie bestehen aus drei Quarks. Beispiele für Baryonen sind **Proton** und **Neutron**.

Die elektrische Ladung der Quarks ist entweder $-1/3$ oder $+2/3$ der Elementarladung.

NAME	SYMBOL	LADUNG IN E
UP	u	$\frac{2}{3}$
DOWN	d	$-\frac{1}{3}$
CHARM	c	$\frac{2}{3}$
STRANGE	s	$-\frac{1}{3}$
TOP	t	$\frac{2}{3}$
BOTTOM	b	$-\frac{1}{3}$

Leptonen

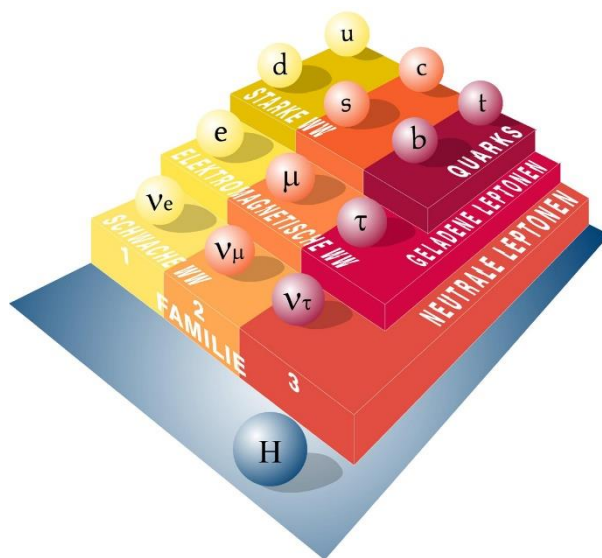
Insgesamt gibt es sechs Leptonen, die aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften in drei sogenannte **Generationen** aufgeteilt werden. Leptonen unterliegen der schwachen Wechselwirkung

und der Gravitation. Sofern sie eine elektrische Ladung tragen, wechselwirken sie auch durch die elektromagnetische Wechselwirkung. Alle Leptonen sind Fermionen und besitzen einen Spin $\frac{1}{2}$.

GENERATION	NAME	SYMBOL	ELEKTRISCHE LADUNG	LEBENSDAUER
1	Elektron	e	-1	∞
	Elektron-Neutrino	ν_e	0	∞
2	Myon	μ	-1	$2,197 \cdot 10^{-6}$
	Myon-Neutrino	ν_μ	0	∞
3	Tauon	τ	-1	$2,9 \cdot 10^{-13}$
	Tauon-Neutrino	ν_τ	0	∞

Elektron, Myon und Tauon tragen eine negative Elementarladung. Die Neutrinos sind nicht geladen. Zu jedem Lepton existiert ein Antiteilchen. Die Anti-Neutrinos haben keine elektrische Ladung, die elektrische Ladung der Antiteilchen von Elektron, Myon und Tauon ist eine positive Elementarladung.

Die Familien der Materieteilchen



Die Teilchen verschiedener Familien ähneln sich in ihren Eigenschaften, sie unterscheiden sich aber in ihrer Masse voneinander: Die Materieteilchen der zweiten und dritten Familie sind schwerer als die der ersten Familie. Zudem sind die Elementarteilchen der zweiten und dritten Familie instabil, das heißt sie zerfallen in Teilchen der ersten Familie. Die Materieteilchen der zweiten und dritten Familie, die es in der Frühphase unseres Universums in großen Mengen gab, sind im Laufe der Ausdehnung des Universums in ihre leichteren Geschwister zerfallen. Heute besteht die uns umgebende sichtbare Materie ausschließlich aus Teilchen der ersten Familie. Im Grunde bestehen wir also nur

aus drei verschiedenen Teilchen: Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen. Teilchen der zweiten und dritten Familie können allerdings in Teilchenbeschleunigern wie dem LHC künstlich für sehr kurze Zeit erzeugt werden, bevor sie wieder in ihre leichteren Familienmitglieder zerfallen. Darüber hinaus entstehen sie häufig in der auf die Erde niedergehenden kosmischen Strahlung.

Protonen und Neutronen, die Bestandteile des Atomkerns, sind aus Quarks aufgebaut. Zu den Quarks der ersten Familie zählen Up- und Down-Quarks. Leptonen der ersten Familie sind das Elektron und das Elektron-Neutrino.

Kraftteilchen

Zwischen den Materieteilchen herrschen Wechselwirkungen oder Kräfte, die die Materie zusammenhalten. Wäre das nicht der Fall, würde die Welt um uns herum in ihre winzigsten

Bestandteile zerfallen. Die Wechselwirkungen, die zwischen Materieteilchen herrschen, sind die elektromagnetische, die schwache und die starke Kraft. Sie entstehen, weil die Materieteilchen winzige Kraftteilchen, so genannte Bosonen, austauschen. Die vierte bekannte Grundkraft, die Gravitation, spielt im Mikrokosmos keine Rolle. Deshalb haben Wissenschaftler zwar einige theoretische Vermutungen, aber bisher keinerlei experimentelle Hinweise, wie eine entsprechende Theorie der Gravitation mit Gravitonen als Kraftteilchen aussehen könnte.

Den Austausch von Teilchen kann man sich etwa so vorstellen wie zwei Menschen (die zwei Materieteilchen repräsentieren) auf einer eisglatten Oberfläche. Stehen sie einander gegenüber und werfen sich einen Ball zu (das Kraftteilchen), so vergrößert sich der Abstand zwischen ihnen, weil der Werfer durch den Schwung seines Wurfes nach hinten gleitet, während der Fänger durch Wucht des Balles ebenfalls nach hinten rutscht. Der Austausch des Balls wirkt sich also auf beide Menschen aus.

Die elektromagnetische Kraft entsteht durch den Austausch von Photonen, aus denen auch das Licht besteht. Zwei negativ geladene Elektronen stoßen sich über den Austausch von Photonen voneinander ab. Da das Photon masselos ist, wirkt die elektromagnetische Kraft über sehr große Reichweiten zwischen geladenen Teilchen. Daher wird gelegentlich auch die Bezeichnung Lichtquant oder Lichtteilchen verwendet. In der Quantenelektrodynamik gehört das Photon als Vermittler der elektromagnetischen Wechselwirkung zu den Eichbosonen und ist somit ein Elementarteilchen.

Die starke Kraft hält die Quarks im Inneren von Protonen und Neutronen zusammen. Hier tauschen die Materieteilchen so genannte Gluonen aus, von denen es acht unterschiedliche gibt. Sie besitzen eine Farbladung, die sich immer aus einer „Farbe“ und einer „Antifarbe“ zusammensetzt. Durch diese können die verschiedenen Gluonen unterschieden werden. Die starke Wechselwirkung ist die "stärkste" unter den Wechselwirkungen, wie ihr Name schon sagt, ihre effektive Reichweite ist allerdings auf den Atomkern beschränkt.

Die schwache Kraft wirkt auf alle, auch auf elektrisch ungeladene Elementarteilchen. Sie ist beispielsweise für radioaktive Zerfälle verantwortlich und dafür, dass die Sonne scheint. Sie erfolgt über den Austausch von so genannten Z-Bosonen und W-Bosonen. Die Reichweite der schwachen Kraft ist sehr klein, da die sie vermittelnden Austauschteilchen sehr große Masse haben. Die W- und Z-Bosonen wiegen fast 100 Mal so viel wie ein Proton.

- **Z-Boson** Es vermittelt ebenso wie das mit ihm verwandte W-Boson die schwache Wechselwirkung. Während das W-Boson elektrisch geladen ist, ist das Z-Boson neutral. Es ist sein eigenes Antiteilchen. Ähnlich wie das Photon, aber anders als die W-Bosonen, vermittelt das Z-Boson eine Wechselwirkung zwischen Teilchen, ohne dabei deren Art (genauer: Flavour) zu ändern. Während das Photon nur Kräfte zwischen elektrisch geladenen Teilchen vermittelt, wechselwirkt das Z-Boson auch mit den ungeladenen Neutrinos.
- **W-Boson** Während das Z-Boson elektrisch neutral ist, trägt das W-Boson eine elektrische Ladung; man unterscheidet W^+ und W^- , sie sind gegenseitig Antiteilchen.

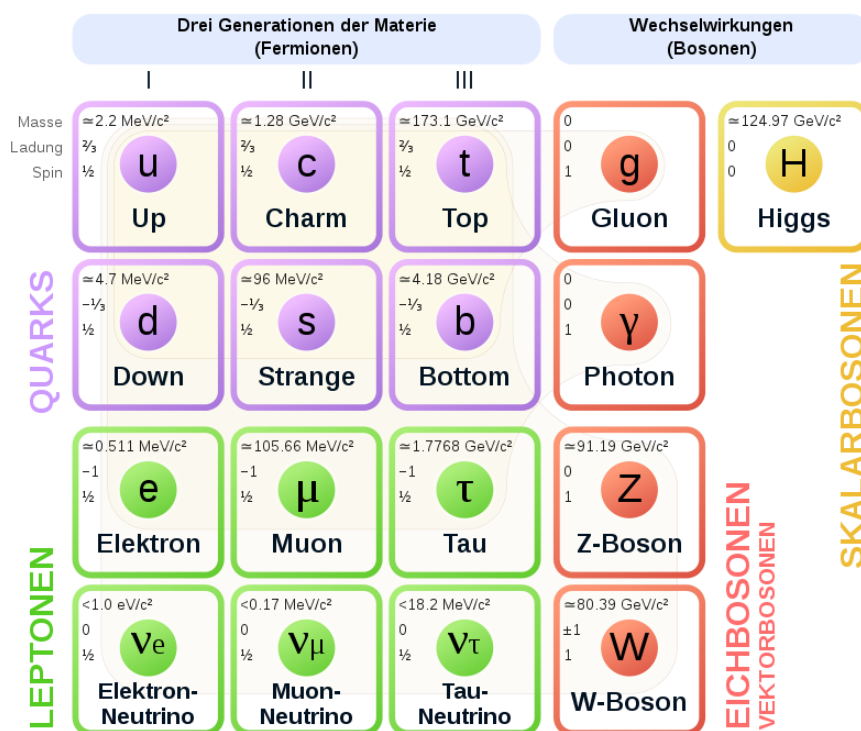
Da die W- und Z-Bosonen mit ihrer rund 80-fachen Protonenmasse recht schwer und mit einer Lebensdauer von $3 \cdot 10^{-25}$ s sehr kurzlebig sind, ist die Reichweite und damit auch die Reichweite der schwachen Wechselwirkung sehr gering (ca. 10^{-18} m, etwa ein Tausendstel Protondurchmesser).

Spin

Spin ist in der Teilchenphysik der Eigendrehimpuls von Teilchen. Bei den fundamentalen Teilchen ist er wie die Masse eine unveränderliche innere Teilcheneigenschaft.

SPIN	TYP	TEILCHEN (BEISPIEL)
0	Boson	Higgs-Boson
$\frac{1}{2}\hbar$	Fermion	Elektron, Neutrino, Quark
$1\hbar$	Boson	Photon Gluon, W-Boson, Z-Boson
$\frac{3}{2}\hbar$	Fermion	supersymmetrische Teilchen (hypothetisch)
$2\hbar$	Boson	Gravitation (hypothetisch)

Standard-Modell der Elementarteilchen



Symetrien

Tatsächlich ist das Standardmodell den Geheimnissen des Universums noch sehr viel weiter auf die Spur gekommen. Physiker haben festgestellt, dass alle Wechselwirkungen durch den Austausch von Kraftteilchen hervorgerufen werden. Sie haben sogar die Ursache für die Existenz der Wechselwirkungen und ihrer Kraftteilchen gefunden: die Symmetrien. Die Materieteilchen erfüllen nämlich drei ganz bestimmte Symmetrien, das heißt bei Veränderungen zu jeder Zeit und an jedem Ort bewahren sie ein gleich bleibendes Erscheinungsbild. Dazu brauchen sie jedoch Helfer. Beim ständigen Hin- und Hersausen zwischen den Materieteilchen erzeugen diese die oben beschriebenen Kraftwirkungen.

Symmetrie herrscht immer dort, wo man etwas ändert, aber trotzdem das Erscheinungsbild gleichbleibt. Räumliche Symmetrien sind beispielsweise die Spiegelsymmetrie. Vertauscht man links und rechts oder oben und unten, bleibt dennoch alles beim Alten (wie bei der Zahl 8), oder die Rotationssymmetrie, bei der bestimmte Drehungen nichts am Aussehen ändern (wie eine Schneeflocke oder ein gleichseitiges Dreieck).

Das Standardmodell beruht auf drei Symmetrien, die aber nichts mit der räumlichen Form der Elementarteilchen, sondern vielmehr mit ihren Ladungseigenschaften zu tun haben. Zu jeder der drei Symmetrien gehört genau eine Ladungsart: Die uns vertraute elektrische Ladung, eine „starke Farbladung“ (starke Wechselwirkung) der Quarks, und eine "schwache Ladung" (schwache Wechselwirkung).

Die Ladungs-Symmetrien kann man sich als Veränderung von Maßstäben vorstellen. Um zu erreichen, dass sich bei Änderung der Eichung, das heißt bei Veränderung der mit den Ladungen zusammenhängenden Maßstäbe, nichts am Erscheinungsbild ändert, sind dauernde Anpassungen an die neuen Maßstäbe nötig. Diese Arbeit erledigen zu jeder Symmetrie gehörige Kraftteilchen, die zwischen den Materieteilchen hin- und her eilen und dadurch eine Wechselwirkung hervorrufen. Die Häufigkeit der Veränderung an neue Maßstäbe bestimmt über die Häufigkeit der hin- und her fliegenden Kraftteilchen die Stärke der jeweiligen Kraft.

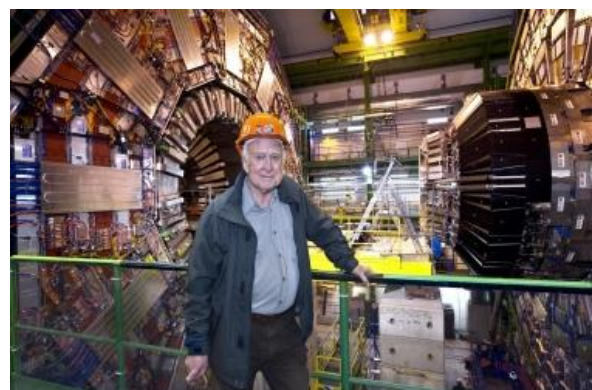
Higgs Teilchen

Eine Party! Es wimmelt von Menschen. Ein Star tritt durch die Tür, die Partybesucher stürzen sich auf ihn. Er schafft es nur mit Mühe, den Raum zu durchqueren. Die Partybesucher stehen für das Higgs-Feld des Standardmodells. Der Star wird langsamer, als erhielte er aufgrund seiner Wechselwirkung mit dem Higgs-Feld eine Masse.

Woher kommt die Masse der Elementarteilchen? Teilchenphysiker beschäftigt diese Frage schon seit geraumer Zeit, denn die Masse spielt im Universum eine zentrale Rolle. Es ist bisher nicht genau geklärt, über welchen Mechanismus die Elementarteilchen, aus denen die Materie besteht, ihre Masse erhalten. Als Verursacher haben die Physiker ein überall im Universum vorhandenes Medium in Verdacht, durch das sich alles hindurchbewegt: das Higgs-Feld. Zu diesem Feld gehört ein Teilchen – das Higgs-Teilchen – das sich mit Hilfe von Teilchenbeschleunigern wie dem LHC nachweisen lässt. Im Juli 2012 verkündeten Wissenschaftler der zwei großen LHC-Experimente ATLAS und CMS, dass sie ein Teilchen entdeckt haben, auf das die Beschreibung passt.

Materie besteht aus Teilchen

Alles Sichtbare – Menschen eingedreht – besteht aus drei verschiedenen Teilchen: Up-Quarks, Down-Quarks und Elektronen. All diese Teilchen haben eine Masse. Interessanterweise ist die Teilchenmasse kein primärer Bestandteil des Standardmodells, ganz im Gegenteil: Es beruht sogar auf masselosen Teilchen. Aber ohne die Masse würden alle Teilchen auseinanderfliegen, und



PETER HIGGS BESUCHT DEN CMS-DETEKTOR (2008)
FOTO: CERN

nichts wäre so, wie wir es kennen.

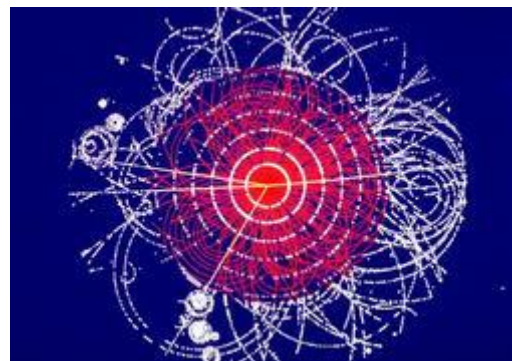
Um zu erklären, warum doch alles so ist, wie wir es kennen, hat der theoretische Physiker Peter Higgs aus Schottland eine These aufgestellt. Laut seiner Theorie ist das Universum mit einer Art "Quantensirup" gefüllt, dem Higgs-Feld. Dieser Quantensirup bremst die durch ihn fliegenden Teilchen, er zieht praktisch an ihnen. Dadurch gewinnen sie an Masse. Je stärker ein Teilchen auf das Higgsfeld reagiert, umso mehr Masse hat es, und umso leichter kann es wiederum das Higgsfeld in Schwingungen versetzen. Diese "Wirbel im Quantensirup" äußern sich physikalisch in der Erzeugung von Higgs-Teilchen, nach denen man seit mehr als 40 Jahren sucht. Ihre Entdeckung wäre der Beweis der Existenz des Higgs-Feldes.

Zusammenhang mit dem Standardmodell

Das Standardmodell der Teilchenphysik ist überaus erfolgreich: Seit seiner Einführung ist es an allen Teilchenbeschleunigern der Welt aufs Äußerste getestet worden. Das Ergebnis: Es beschreibt die Bestandteile der Materie und ihre Wechselwirkungen, also die Kräfte, die zwischen ihnen wirken, hervorragend. Allerdings ist die Theorie der Teilchenphysik, das Standardmodell, nur zusammen mit dem Higgs-Teilchen mathematisch konsistent.

Beobachtung eines neuen Teilchens am LHC – Hinweise auf Higgs-Teilchen verstärken sich

Am 4. Juli 2012 gaben Wissenschaftler am CERN die Entdeckung eines neuen Teilchens bei etwa 126 Gigaelektronenvolt bekannt. Inzwischen konnten sie bestätigen, dass es sich bei dem entdeckten Teilchen um das im Standardmodell vorhergesagte Higgs-Teilchen handelt. Jetzt wollen sie seine Eigenschaften detailliert untersuchen.



SIMULATION EINES HIGGS-TEILCHENS, DAS IN VIER MYONEN ZERFÄLLT, AM ATLAS-DETEKTOR. GRAFIK: CERN

C₁₄ Radiocarbonmethode

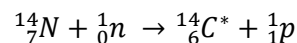
Entwickelt wurde die Radiokarbondatierung 1946 von Willard Frank Libby, der für diese Leistung 1960 mit dem Nobelpreis für Chemie ausgezeichnet wurde. Die Radiokarbondatierung wird in der archäologischen Altersbestimmung, Archäobotanik und Quartärforschung angewandt

Das Verfahren beruht darauf, dass in abgestorbenen Organismen die Menge an gebundenen radioaktiven ¹⁴C-Atomen gemäß dem Zerfallsgesetz abnimmt. Lebende Organismen sind von diesem Effekt nicht betroffen, da sie ständig neuen Kohlenstoff aus der Umwelt aufnehmen, der wieder den normalen Anteil an ¹⁴C-Atomen einbringt. Dieser „normale Anteil“ ist trotz des ständigen Zerfalls nahezu konstant, da ¹⁴C ständig in der oberen Atmosphäre neu gebildet wird.

In der Natur kommen drei Isotope des Kohlenstoffs vor: ¹²C, ¹³C, ¹⁴C. Isotopenuntersuchungen zeigen, dass der Anteil am Gesamtkohlenstoffgehalt in der Luft für ¹²C etwa 98,89 %, für ¹³C etwa 1,11 % und für ¹⁴C etwa 10⁻¹⁰ % beträgt. Auf 1 Billion ¹²C-Kerne kommt so statistisch nur ein einziger ¹⁴C-Kern. Im Gegensatz zu ¹²C und ¹³C ist ¹⁴C nicht stabil und wird deswegen auch Radiokohlenstoff genannt.

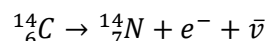
Entstehung von ¹⁴C

¹⁴C wird ständig durch Kernreaktionen in den oberen Schichten der Erdatmosphäre neu gebildet. Wenn die kosmische Strahlung auf Atome der Atmosphäre trifft, werden durch Spallation (durch einen harten Aufprall herausgeschlagen) Neutronen freigesetzt. Wenn das in der Atmosphäre mit Abstand häufigste Isotop, das Stickstoff-Isotop ¹⁴N, von einem solchen Neutron getroffen wird, so kann die Kernreaktion ¹⁴N(n,p) ¹⁴C erfolgen, in der dieses Neutron eingefangen und dafür ein Proton abgespalten wird. Dadurch entsteht aus dem ¹⁴N-Kern ein ¹⁴C-Kern:



Zerfall von ¹⁴C

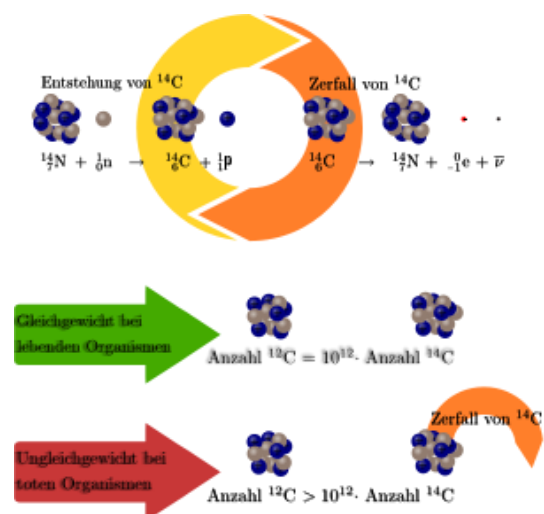
¹⁴C zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5730±40 Jahren (sog. „Cambridge-Halbwertszeit“) durch β--Zerfall zu ¹⁴N, einem Elektron und einem Antineutrino:



Innerhalb dieser Zeit verteilt sich der Radiokohlenstoff weiträumig.

Gleichgewichtskonzentration

Neubildung und Zerfall bilden ein Fließgleichgewicht. Die relative Gleichgewichtskonzentration von Radiokohlenstoff hängt ab von der Neubildungsrate, von der Halbwertszeit des Zerfalls und von der Menge des Kohlenstoffs, der auf dieser Zeitskala in Kontakt mit der Atmosphäre ist, wo Kohlenstoff in Form von Kohlenstoffdioxid vorliegt.



Heisenbergsche Unschärferelation

Link zu OneNote Physikkurs: [Quantenmechanik](#) ([Webansicht](#))

In seiner berühmten Arbeit, die 1927 veröffentlicht wurde, gelangte Werner HEISENBERG (1901 - 1976) nach Überlegungen, die an der Schule in der Regel nicht nachvollzogen werden können, zu folgender Feststellung:

Ort und Impuls eines Teilchens können prinzipiell nicht gleichzeitig beliebig genau bestimmt werden. Mit anderen Worten: Eine gleichzeitige Bestimmung von Ort und Impuls eines Teilchens ist nur möglich, wenn für beide Größen eine Unschärfe in Kauf genommen wird. Dabei gilt stets die Ungleichung:

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \geq h/4\pi$$

Anmerkung: In der Literatur finden sich für die rechte Seite dieser Ungleichung verschiedene Werte. Wesentlich ist dabei die Größenordnung!

Erläuterungen

Δx ist die Unsicherheit in der Angabe des Ortes x

Δp_x ist die gleichzeitig vorhandene Unsicherheit in der Angabe des Impulses p_x

h ist das plancksche Wirkungsquantum

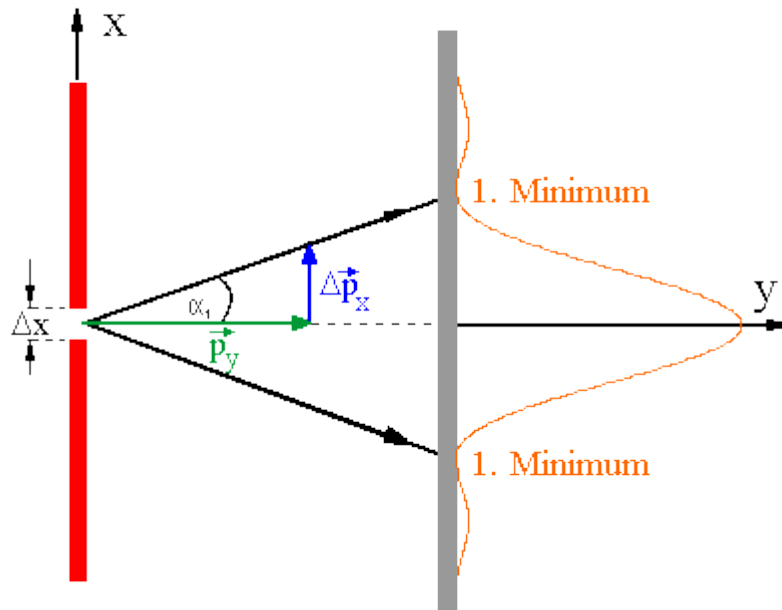
Ähnliche Unschärferelationen gibt es auch für die anderen Raumrichtungen, d.h. $\Delta y \cdot \Delta p_y \geq h/4\pi$ und $\Delta z \cdot \Delta p_z \geq h/4\pi$

Eine einfache Ortsbestimmung eines Photonen- oder Elektronenbündels lässt sich mit einem Spalt (Spaltbreite Δx) machen.

Für einen breiten Spalt (große Ortsunschärfe) ergibt sich eine relativ kleine Impulsunschärfe (kleiner Öffnungswinkel des Bündels nach dem Spalt).

Für einen schmalen Spalt (kleine Ortsunschärfe) ergibt sich eine relativ große Impulsunschärfe (großer Öffnungswinkel des Bündels nach dem Spalt).

Im Kapitel über die Interferenzerscheinungen beim Licht wurde im Wesentlichen der Doppelspalt und das Gitter behandelt. Interferenz tritt jedoch auch beim Einzelspalt auf. Hier sehen die Bedingungen für Maxima und Minima etwas anders aus.



Vor dem Spalt haben alle Quantenobjekte in dem Parallelbündel den Impulsbetrag p_y . Durch die Einengung auf den Ort Δx weitet sich das Bündel auf dem Weg zum Schirm auf. Die Quantenobjekte erhalten nun eine Unschärfe im Querimpuls, der im Folgenden abgeschätzt werden soll:

Der größte Teil der Quantenobjekte befindet sich innerhalb des Hauptmaximums der am Schirm entstehenden Beugungsfigur. Das Hauptmaximum ist durch die beiden Minima 1. Ordnung begrenzt.

Für das 1. Minimum bei der Beugung am **Einfachspalt** mit der Spaltbreite Δx gilt (anders als beim Doppelspalt)

$$\Delta x \cdot \sin(\alpha_1) = 1 \cdot \lambda \Leftrightarrow \sin(\alpha_1) = \lambda / \Delta x$$

Für den Zusammenhang zwischen Querimpuls und ursprünglichem Impuls gilt (vgl. Skizze)

$$\tan(\alpha_1) = \Delta p_x / p_y$$

Unter Berücksichtigung der Kleinwinkelnäherung ($\sin(\alpha_1) \approx \tan(\alpha_1)$) erhält man durch Gleichsetzen

$$\Delta p_x / p_y \approx \lambda / \Delta x \Leftrightarrow \Delta p_x \cdot \Delta x \approx p_y \cdot \lambda \quad (1)$$

Für die de BROGLIE-Wellenlänge λ gilt $\lambda = h / p_y$. Setzt man dies in (1) ein, so erhält man

$$\Delta p_x \cdot \Delta x \approx p_y \cdot h / p_y = h$$

Die hiermit gewonnene Unschärferelation stimmt zwar nicht ganz genau mit der von Heisenberg hergeleiteten überein. Dies ist aber nicht so entscheidend: wichtig ist nur

die Erkenntnis, dass das Produkt aus den Unschärfen von Ort und Impuls nicht beliebig klein werden kann.

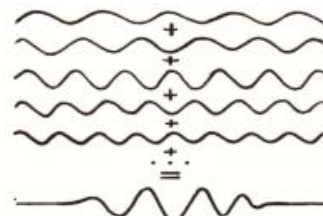
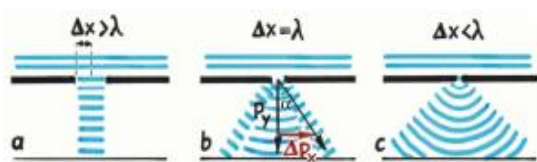
Diese Herleitung ergab auf der rechten Seite der Unschärferelation eine etwas andere Konstante. Dies ist aber nicht so entscheidend: wichtig ist nur die Erkenntnis, dass das Produkt aus den Unschärfen von Ort und Impuls nicht beliebig klein werden kann. Mit anderen Worten:

Man kann den Ort und den Impuls von Quantenobjekten gleichzeitig nicht beliebig genau bestimmen.

Diese Erkenntnis ist gleichbedeutend mit dem Abschied von der klassischen Bahnvorstellung bei Quantenobjekten, da die Beschreibung einer Bahn die gleichzeitige präzise Kenntnis von Ort und Impuls eines Objekts voraussetzt.

Außer der oben angegebenen Unschärferelation für Ort und Impuls gelten noch weitere Relationen ähnlichen Typs. Eine wichtige Unschärferelation besteht zwischen der Dauer Δt eines Vorgangs und der Genauigkeit ΔE , mit der die Energie der beteiligten Teilchen festgelegt ist:

$$\Delta E \cdot \Delta t \geq h/4\pi$$



fällt demnach dann aus wenn $\Delta x \leq \lambda$ das heißt, Wellenlänge kleiner oder gleich der Spaltbreite ist. Je kleiner Δx desto stärker fällt die Beugung aus. Das bedeutet je kleiner Δx desto größer ist die Unschärfe des Impulses Δp .

Um ein Photon mit einer Wellenfunktion zu beschreiben, könnte man eine Sinuswelle deren Länge genau der Wellenlänge des Photons entspricht nehmen. Diese ist aber dann unendlich ausgedehnt beziehungsweise ist der Ort völlig unbestimmt. Durch Überlagerung verschiedener Wellen mit unterschiedlicher Frequenz und Amplitude bekommt man eine Welle mit endlicher Ausdehnung. (Abb. Rechts) Je genauer man den Ort eingrenzen möchte umso mehr Wellen benötigt man. Dadurch erhöht man die Frequenz- und Impulsunschärfe. Es ist also nicht möglich Ort und Impuls gleich exakt zu modellieren. Die Unschärfe ist also eine direkte Folge der Wellen- und Teilcheneigenschaften.

Sie stellt dadurch eine Grenze da. Wir können nicht beliebig genau Messen, nicht weil wir technisch nicht in der Lage dazu wären, sondern weil es diese Eigenschaft der Unschärferelation gibt. Es verhält sich ähnlich wie mit einem Bild am Computer. Irgendwann kommt man zu dem Punkt, an dem man nur noch die einzelnen Pixel sieht, man kann das Bild nicht mehr weiter vergrößern.

Das **Planck'sche Wirkungsquantum**, oder die **Planck-Konstante** h , ist das Verhältnis von Energie (E) und Frequenz (f) eines Photons, entsprechend der Formel:

$$E = hf$$

Durch die Unschärfe in Energie und Zeit $\Delta E \cdot \Delta t = \frac{h}{4\pi}$ kann selbst aus dem Nichts ein Teilchen-Antiteilchen Paar entstehen, ohne dass der Energieerhaltungssatz gebrochen wird. Diese entstehen nur für eine kurze Zeit und zerfallen nach Δt Zeiteinheiten wieder. Aufgrund ihrer kurzen Lebensdauer nennt man sie auch virtuelle Teilchen.

Um abzuschätzen wie lange diese Virtuellen Teilchen leben geht man folgendermaßen vor:

Ein Elektronen Positronen Paar hat eine Gesamtmasse von $2 \cdot 10^{-30} \text{ kg}$,

$$c = 2,998 \cdot 10^8 \text{ m/s}, h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$$

Die mindestens benötigte Energie ist $\Delta E = mc^2 \rightarrow \Delta t = \frac{h}{4\pi mc^2} \rightarrow$ Die ungefähre Lebensdauer liegt demnach bei 10^{-22} sek .

Tunneleffekt

Der Tunneleffekt ist eine direkte Folge aus der Unschärferelation. Das Quant kann sich für einen kurzen Zeitraum Δt die Energie ΔE ausleihen um über den „Energieberg“ zu kommen, dabei gilt immer $\Delta E \cdot \Delta t \geq \frac{h}{4\pi}$ (h = Plancksche Wirkungsquantum)

Weiters kann der Tunneleffekt mit der Beschreibung durch die Wellenfunktion erklärt werden. Diese gibt die Aufenthaltswahrscheinlichkeit des Quant an. Die Wellenfunktion sinkt bei einem Hindernis nicht gleich auf null ab, daher kann sie bis hinter dieses reichen und somit gibt es eine gewisse Wahrscheinlichkeit, dass das Quant durch das Hindernis durchtunnelt.

Wichtig ist dieser Effekt bei Fusionsreaktionen wie sie in der Sonne stattfinden. Weil die Kerne positiv geladen sind steigt bei der Annäherung zueinander die elektrische Abstoßung. Dadurch entsteht eine Potentialschwelle (Energieberg), erst bei 10^{-15} m würde die starke Wechselwirkung überwiegen und die Kerne fusionieren. Ohne den Tunneleffekt wären dies erst ab 10^9° C möglich ($pV = nRT$), in der Sonne herrschen aber nur $1,5 \cdot 10^7^\circ \text{ C}$.

Rastertunnelmikroskop

Eine winzige Metallspitze, nur ein paar Atome dick, wird ca. 1 nm an das Untersuchungsobjekt herangefahren. Dann wird Spannung angelegt, zwischen Spitze und Oberfläche bildet sich eine Potentialschwelle. Hin und wieder können Elektronen den Zwischenraum durchtunneln und erzeugen somit einen Tunnelstrom. Je kleiner der Abstand desto größer wird dieser Strom. Der Tunnelstrom sieht also nicht die Elektronen, sondern die Wahrscheinlichkeitsdichte. Mit dem RTM wird also aufgezeichnet wo Elektronen sich mit größerer oder kleinerer Wahrscheinlichkeit aufhalten. Da die Elektronen Welleneigenschaften besitzen können sich nur stehende Wahrscheinlichkeitswellen ausbilden, die zu den Abmessungen des Objekts passen. Mit dem RTM kann man also die Wahrscheinlichkeitsdichte sichtbar machen, und diese sieht in diesem Fall wie Wasserwellen in einem ovalen Pool aus.

Doppelspalt

Nach dem damaligen Stand des Wissens hätte man im Rahmen des Teilchenmodells erwartet, dass hinter dem Doppelspalt zwei helle Streifen entstehen. Tatsächlich gab es aber viele helle und dunkle Streifen wie man es nur im Rahmen des Wellenmodells durch Beugung und Interferenz erklären kann. Daraus schloss Young, dass Licht Welleneigenschaften besitzt.

Als Beugung bezeichnet man die Ablenkung einer Welle an einem Hindernis. Beugung tritt dabei sowohl bei mechanischen Wellen, wie z.B. Wasserwellen, auf als auch bei elektromagnetischen Wellen wie Licht.



Der Begriff "Interferenz"

Die Überlagerung von Wellen wird als Interferenz bezeichnet. Dabei sind zwei Fälle von besonderer Bedeutung: konstruktive Interferenz und destruktive Interferenz. Bei konstruktiver Interferenz verstärken sich die einzelnen Wellen, bei destruktiver Interferenz löschen sich die Wellen gegenseitig aus.

Beispiele: Interferenzerscheinungen können in der Regel ebenfalls bei allen Wellenphänomenen auftreten, zum Beispiel bei Wasserwellen, Schallwellen oder auch bei Licht. Bei Licht führt konstruktive Interferenz zu verstärkter Helligkeit, destruktive Interferenz zu Dunkelheit. Bei Schall führt konstruktive Interferenz zu höherer Lautstärke, destruktive Interferenz zu Stille.

Damit konstruktive oder destruktive Interferenz zwischen den Wellen auftritt, müssen die Wellen einen bestimmten Gangunterschied Δs besitzen.

Bedingung für konstruktive Interferenz (Verstärkung):

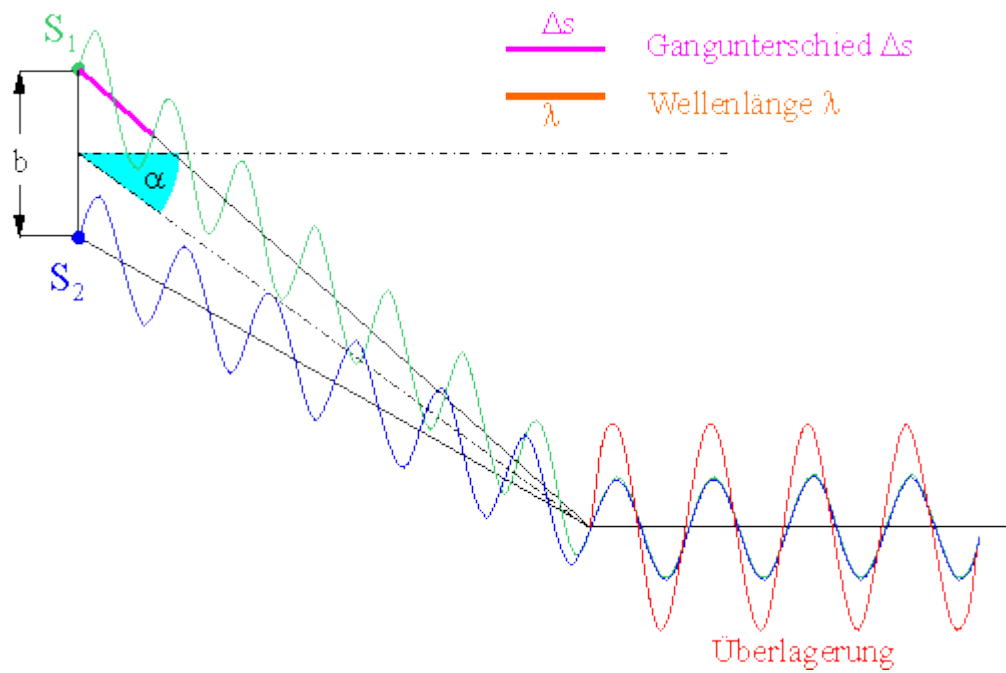
$$\Delta s = k \cdot \lambda ; k \in \{0; 1; 2; 3; \dots\}$$

Bedingung für destruktive Interferenz (Auslöschung):

$$\Delta s = (k + 0,5) \cdot \lambda ; k \in \{0; 1; 2; 3; \dots\}$$

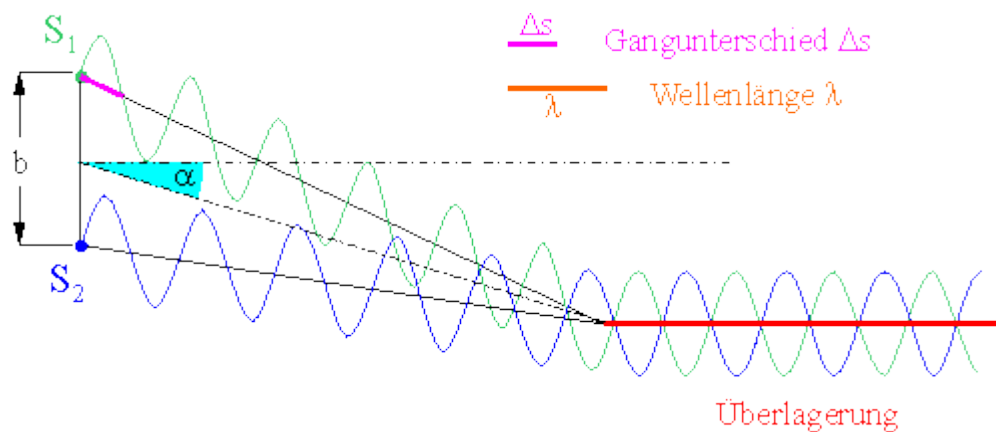
λ = die Wellenlänge

Konstruktive Interferenz



Ein Berg von Welle 1 trifft auf einen Berg von Welle 2 oder ein Tal von Welle 1 trifft auf ein Tal von Welle 2. In diesem Fall kommt es zur Maximalauslenkung (z.B. des Korkens)

Destruktive Interferenz



Ein Berg von Welle 1 trifft auf ein Tal von Welle 2 oder ein Tal von Welle 1 trifft auf einen Berg von Welle 2. In diesem Fall kommt es zur Auslöschung (z.B. keine Auslenkung des Korkens).

Photoeffekt

Das irritierende ist, dass man die Elektronen mit UV-Licht aus einer Zinkplatte herauslösen kann, nicht aber mit einer normalen Lampe gleicher oder größerer Intensität. Das kann nicht mit dem Wellenmodell erklärt werden denn nach diesem würde es nur auf die Intensität des Lichtes ankommen. Einstein zeigte auf theoretischem Weg, dass man den Photoeffekt mit der Teilchennatur des Lichts erklären kann. (Dafür bekam er den Nobelpreis) Es kommt dabei vereinfacht gesagt auf die Wucht des einzelnen Photons an. Dies spielt auch beim Sonnenbrand eine Rolle, da es nicht auf die Intensität, sondern nur auf die Energie der einzelnen Photonen ankommt.

Das Licht besitzt also Welleneigenschaften (Doppelspaltversuch) und Teilcheneigenschaften (Photoeffekt) Man weiß jedoch nicht was Licht wirklich ist.

Masse und impuls eines photons

1923 gelang es *Compton*, diesen Effekt mit Hilfe der Vorstellung von „Lichtteilchen“ zu erklären, die wie die Kugeln beim Billardspielen auf die Elektronen nach den Stoßgesetzen des *elastischen Stoßes* aufeinanderprallen:

Ein Röntgenphoton mit der Energie hf prallt auf ein Elektron (mit der Masse m_0) des Streumaterials, ändert dabei seine Richtung und überträgt einen Teil seiner Energie auf das Elektron. Danach fliegt das Photon mit weniger Energie hf' in eine andere Richtung weiter.

Compton ordnete den Photonen neben einer Energie einen *Impuls* zu und behandelte den Stoß zwischen Photonen und Elektronen wie den zweier Billardkugeln.

Der Photonenimpuls (s.o.) beträgt nach $p = mv$ und der Einstein'schen Beziehung $E = mc^2$ sowie der Photonenenergie $E_{\text{Photonen}} = hf$

$$p_{\text{Photonen}} = \frac{hf}{c}$$

Damit lässt sich dem Photon auch eine Masse zuordnen:

$$m_{\text{Photonen}} = \frac{hf}{c^2}$$

Da sich Photonen stets mit Lichtgeschwindigkeit ausbreiten, kann man ihnen keine *Ruhemasse* zuordnen, sondern nur relativistische Masse und Impuls.

Der Photonenimpuls macht sich als Strahlungsdruck bemerkbar und ist auch für den Sonnenwindverantwortlich.

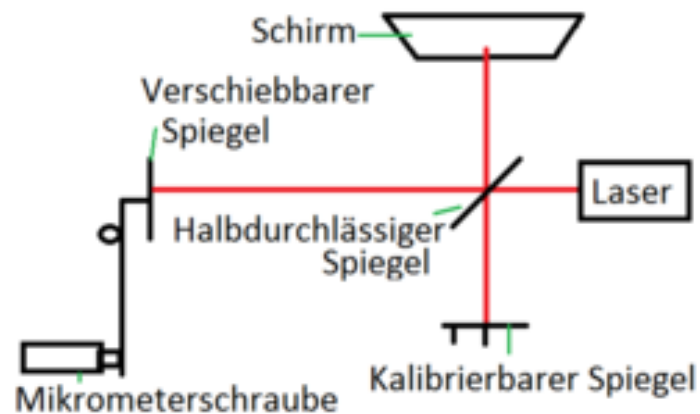
Der Strahlungsdruck des Sonnenwindes ist dafür verantwortlich, dass der Schweif von Kometen stets von der Sonne weggerichtet ist.

Michelson Morley Experiment (Äther)

Durch den Doppelspaltversuch war man der Ansicht, das Licht eine Welle ist und diese wie Wellen im Wasser oder Schallwellen ein Medium benötigen. Weiters benötigte man dieses Medium um die Ausbreitung von Licht in einem Vakuum zu erklären. Dieser Äther musste jedoch absurde Eigenschaften besitzen. Um die Geschwindigkeit von Licht erklären zu können musste der Äther härter als Metall sein (analog zu Schallwellen). Andererseits musste dieser Äther den Planeten keinen Widerstand leisten, bei ihren Bewegungen um die Sonne, da sonst Newtons Gravitationsgesetz nicht funktionieren würde. Er war Überall aber nicht bemerkbar und nicht von Vakuum zu unterscheiden. Der Äther war also ein Stahlhartes Vakuum!

Michelson und Morley wollten mit ihrem Experiment den Äther beweisen.

Da der Äther im Universum ruhen sollte musste sich die Erde durch ihn bewegen und man müsse einen Ätherwind messen können. Dafür schickten sie Lichtstrahlen in verschiedene Richtungen. Die Auswirkungen des Ätherwindes mussten ähnlich sein wie bei einer Fahrt gegen den Wind. Weil der erwartete Laufzeitunterschied extrem gering sein sollte wollte man diesen nicht direkt messen, sondern durch eine Verschiebung des Interferenzmusters. Die Ergebnisse waren jedoch so gering, dass die Erklärung mit dem Äther falsch sein musste.

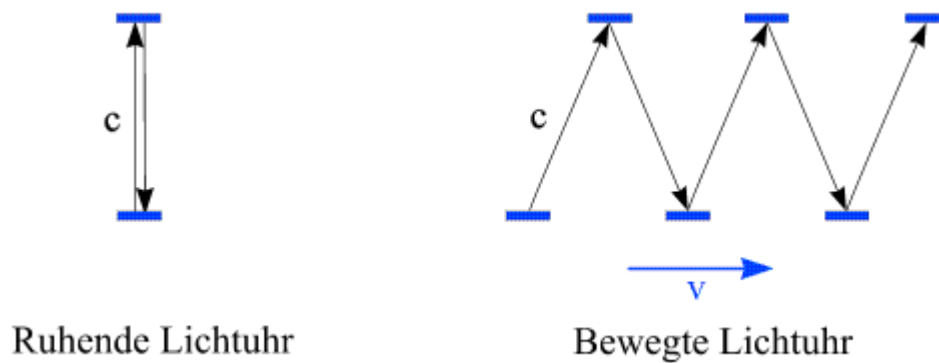


Relativitätstheorie

Link Zu OneNote Kurs: [Spezielle Relativitätstheorie](#) ([Webansicht](#))

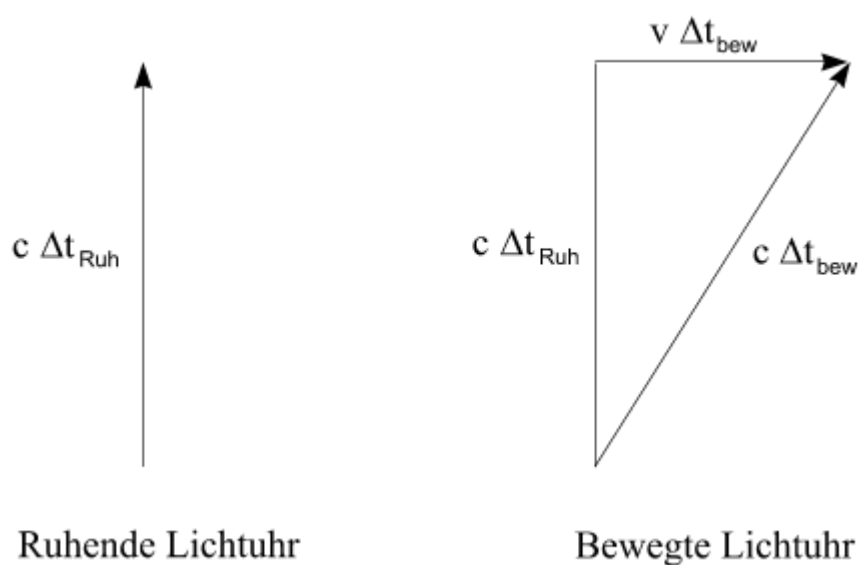
Zeitdilatation

Die Photonen haben in jedem Inertialsystem die Geschwindigkeit c . Das führt zu einer für die galileische Physik unangenehmen Konsequenz:



Alle hier dargestellten Photonen haben dieselbe Geschwindigkeit. Die Wegstrecke vom unteren bis zum oberen Spiegel ist jedoch für das Photon der bewegten Lichtuhr *länger* als für das der ruhenden Lichtuhr, und daher vergeht eine *größere Zeitspanne*, bis es vom einen zum anderen Spiegel gelangt! Für die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit muss also ein Preis gezahlt werden: Die Zeitdauer, die ein Prozess in einem Inertialsystem dauert, ist nicht unbedingt gleich der Zeitdauer, die während *desselben* Prozesses in einem *anderen* Inertialsystem vergeht.

Die soeben gemachte Aussage, dass eine Uhr in einem relativ zu ihr bewegten Inertialsystem langsamer geht als in ihrem Ruhesystem, lässt sich quantitativ präzisieren. Betrachten wir die Bewegung des Photons vom unteren bis zum oberen Spiegel. Alle Längen, die in dieser Situation auftreten, sind in der folgenden Abbildung angegeben:



Die Dauer des Prozesses im **Ruhsystem** der Lichtuhr wird mit Δt_{Ruh} bezeichnet. Der Abstand der beiden Spiegel ist daher $c \Delta t_{\text{Ruh}}$, da c die Geschwindigkeit des Photons ist. (Wir könnten diesen Abstand mit einem eigenen Buchstaben bezeichnen, aber das ist nicht notwendig).

Vom **bewegten System** aus betrachtet, vergeht während desselben Prozesses ein Zeitintervall, das wir zunächst nicht kennen und mit Δt_{bew} bezeichnen. Der vom Photon (das sich ja auch in diesem Inertialsystem mit Geschwindigkeit c bewegt) zurückgelegte Weg hat daher die Länge $c \Delta t_{\text{bew}}$. Als Abstand der beiden Spiegel übernehmen wir den im Ruhsystem ermittelten Wert $c \Delta t_{\text{Ruh}}$. Während des Prozesses ist der obere Spiegel um die Strecke $v \Delta t_{\text{bew}}$ vorgerückt (da sich die Lichtuhr in diesem System mit der Geschwindigkeit v nach rechts bewegt). Insgesamt bilden diese drei Längen ein rechtwinkeliges Dreieck.

Unsere bisher nur qualitative Argumentation können wir nun in einer Formel ausdrücken: $\Delta t_{\text{bew}} > \Delta t_{\text{Ruh}}$. Um die Größe des Effekts quantitativ zu bestimmen, wenden wir den Satz von Pythagoras auf das rechtwinkelige Dreieck im rechten Teil der obigen Abbildung an:

$$(c \Delta t_{\text{Ruh}})^2 + (v \Delta t_{\text{bew}})^2 = (c \Delta t_{\text{bew}})^2 \quad (1)$$

und lösen nach Δt_{bew} auf. Wir erhalten

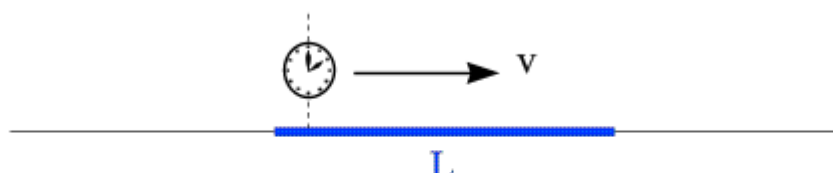
$$\Delta t_{\text{bew}} = \frac{\Delta t_{\text{ruh}}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} \quad (2)$$

Das ist die **Formel für die Zeitdilatation**, die wir kompakter auch als $\Delta t_{\text{bew}} = \Delta t_{\text{Ruh}} (1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ schreiben können. In Worten kann sie so formuliert werden:

"Eine mit Geschwindigkeit v bewegte Uhr geht um den Faktor $(1 - v^2/c^2)^{-1/2}$ langsamer als in ihrem Ruhsystem."

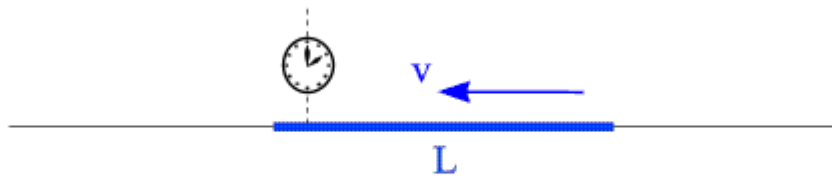
Längenkontraktion

Betrachten wir folgende Situation: Gegeben sei ein Maßstab, der in einem Inertialsystem ruht und die Länge L hat. Entlang dieses Maßstabs bewege sich eine Uhr mit Geschwindigkeit v nach rechts. Das ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



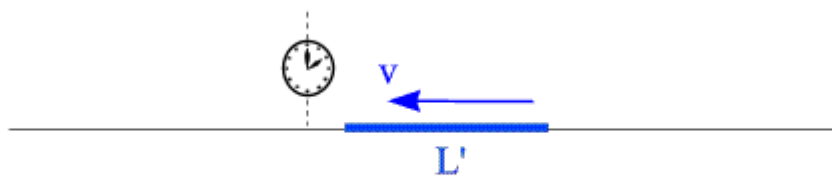
Ruhsystem des Maßstabs

Nun betrachten wir **dieselbe Situation**, wie sie sich **im Ruhssystem der Uhr** darstellt: Nach der galileischen Physik wäre folgendes zu erwarten:



Ruhssystem der Uhr (nach Galilei)

Im Ruhssystem der Uhr bewegt sich der Maßstab mit Geschwindigkeit v nach links. Die Länge des Stabes ist nach wie vor L (denn in der galileischen Physik ist die Länge eines Körpers unabhängig vom Inertialsystem, in dem sie gemessen wird). Jetzt kann aber etwas nicht stimmen: Da die Uhr an einem Maßstab der Länge L mit Geschwindigkeit v vorbeifliegt, sollte *für sie (in ihrem Ruhssystem)* der Prozess des Vorbeiwegens gerade so lange dauern, wie man benötigt, um eine Strecke der Länge L mit Geschwindigkeit v zurückzulegen (d.h. L/v). Andererseits haben wir aber soeben aufgrund des Effekts der Zeitdilatation festgestellt, dass die für die Uhr in ihrem Ruhssystem vergangene Zeit *kleiner* als L/v ist. Wenn die Uhr zum Vorbeibewegen also weniger Zeit zur Verfügung hat, stellt die obige Abbildung die Situation nicht korrekt dar und muss durch folgende ersetzt werden:



Ruhssystem der Uhr (nach Einstein): $L' < L$

Die Länge des Maßstabs ist **kleiner** als L , damit der Maßstab es schafft, sich an der Uhr in der zur Verfügung stehenden (kürzeren) Zeit an ihr vorbeizubewegen! Konkret ist er um denselben Faktor "geschrumpft", um den die Uhr im Ruhssystem des Maßstabs langsamer geht als in ihrem eigenen Ruhssystem.

Das [Postulat](#) von der Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zieht also neben dem Effekt der Zeitdilatation eine weitere Konsequenz nach sich. Kurz ausgedrückt lautet sie

"Bewegte Maßstäbe sind in Bewegungsrichtung verkürzt."

$$L_{bew} = L_{ruh} \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

"Ein mit Geschwindigkeit v bewegtes Objekt ist in Bewegungsrichtung um den Faktor $(1 - v^2/c^2)^{1/2}$ kürzer als in seinem Ruhssystem."

Relativistische Geschwindigkeitsaddition

Geschwindigkeiten werden folgendermaßen berechnet:

$$w = \frac{u + v}{1 + \frac{uv}{c^2}}$$

W: resultierende Geschwindigkeit u; v Geschwindigkeit Objekt 1 und 2

Falls die Geschwindigkeiten u und v klein gegenüber der Lichtgeschwindigkeit c sind (wie etwa im Fall des eingangs erwähnten Beispiels mit dem Zug und der Bowlingkugel), ist der Nenner in sehr nahe bei 1, und die Geschwindigkeit w ist *näherungsweise* durch die Summe u + v gegeben, wie es dem Resultat der galileischen Physik entspricht. Setzen wir beispielsweise die Werte des zu Beginn dieses Abschnitts gegebenen Beispiels u = 60 km/h und v = 5 km/h ein, so berechnen wir w = 64.99999999999999 km/h.

Sind große Geschwindigkeiten im Spiel, so **verhindert** die Formel **auf wunderbare Weise das Auftreten von Überlichtgeschwindigkeiten**: Es lässt sich ganz allgemein zeigen, dass $-c < w < c$, solange $-c < u < c$ und $-c < v < c$ ist. Versuchen wir es mit $u = v = 3c/4$, so erhalten wir $w = 0.96 c$, was kleiner als c ist (wohingegen die galileische Rechnung auf 1.5 c, also eineinhalbfache Lichtgeschwindigkeit führen würde)!

Im Grenzfall $v = c$ (wenn es sich nicht um eine materielle Kugel, sondern um ein Photon handelt) erhalten wir $w = c$, d.h. ein Teilchen (Photon), das sich im System I' mit Geschwindigkeit c bewegt, hat dann auch im Inertialsystem I die Geschwindigkeit c. Hier haben wir den mathematischen Grund, der die – in der galileischen Physik unmögliche – **Konstanz der Lichtgeschwindigkeit** ermöglicht.

Gemeinsam mit sehr schnellen Bewegungen führt die Konstanz der Lichtgeschwindigkeit zu optischen Verzerrungen. Das ist zwar eindrucksvoll, macht die Beschreibung schnell bewegter Objekte jedoch schwieriger.

Die Masse aus relativistischer Sicht

Eine wesentliche Folgerung aus der speziellen Relativitätstheorie ist die, dass die Masse eines Körpers nicht konstant ist, sondern mit der Geschwindigkeit ihren Wert vergrößert.

Es muss deshalb zwischen der Masse eines ruhenden Körpers und der eines bewegten Körpers unterschieden werden.

Die Masse eines Körpers oder Teilchens, die ein Beobachter registriert, der sich in einem Inertialsystem gegenüber den Körpern oder Teilchen in Ruhe befindet, wird als Ruhemasse bezeichnet.

Sie kann mit einer Waage bestimmt werden. Bewegt sich ein Körper oder Teilchen, so nimmt seine Masse mit der Geschwindigkeit zu. Experimentell kann das relativ einfach am Beispiel von Elektronen untersucht werden, da sich Elektronen durch entsprechende Beschleunigungsspannungen auf solche Geschwindigkeiten bringen lassen, bei denen eine deutliche Zunahme der Masse nachzuweisen ist (Bild 1).

Die Masse eines bewegten Körpers oder Teilchens wird als relativistische Masse, als dynamische Masse oder als Impulsmasse bezeichnet. Diese relativistische Masse kann berechnet werden mit der Gleichung:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} = k \cdot m_0$$

m relativistische Masse

m_0 Ruhemasse

v Geschwindigkeit des Körpers im Inertialsystem

c Lichtgeschwindigkeit

k LORENTZ-Faktor $\left(k = \frac{1}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \right)$

Der experimentelle Nachweis der Vergrößerung der Masse mit der Geschwindigkeit wurde erstmals 1909/10 durch die Physiker KAUFMANN und BUCHERER bei Elektronen nachgewiesen. Die nachfolgende Übersicht zeigt den Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Masse für Elektronen. Es ist auch die erforderliche Beschleunigungsspannung angegeben, um die Elektronen aus der Ruhe auf die jeweilige Geschwindigkeit zu bringen.

Beschleunigungsspannung in Volt	Geschwindigkeit der Elektronen in km/s	Elektronenmasse m im Verhältnis zu Ruhemasse
0	0	1
1 000	18 700	1,001 9
10 000	58 700	1,019 3
100 000	164 800	1,262
1 000 000	283 000	2,87
10 000 000	299 210	13,8

Herleitung der Gleichung für die relativistische Masse

Die Gleichung für die relativistische Masse lässt sich ausgehend von einem Gedankenexperiment herleiten, bei dem die Impulse aus der Sicht verschiedener Inertialsysteme verglichen werden. Dazu betrachten wir einen Körper, der vollkommen unelastisch gegen eine Wand stößt, aus der Sicht zweier Bezugssysteme S und S' (Bild 2).

Aus der Sicht des mit der Mauer verbundenen ruhenden Systems S stößt das Auto unelastisch gegen die Wand und hinterlässt eine bestimmte Wirkung. Ursache dafür ist sein Impuls $p = m \cdot v$.

Aus der Sicht des Systems S' , das sich mit hoher Geschwindigkeit in x -Richtung bewegt, tritt die gleiche Wirkung auf, die nur durch einen gleich großen Impuls $p' = m' \cdot v'$ hervorgerufen sein kann.

Wegen der Zeitdilatation muss aber der Vorgang für einen Beobachter in S' viel langsamer verlaufen. Die gleiche Wirkung ist nur dann erklärlich, wenn von S' aus die Masse des Körpers sehr viel größer ist.

Da offensichtlich die Wirkungen und damit die Impulse unabhängig vom gewählten System sind, kann man setzen:

$$p = p' \text{ oder}$$

$$m \cdot u = m' \cdot u'$$

Die Umstellung der Gleichung nach m' ergibt:

$$m' = \frac{u}{u'} \cdot m \quad (1)$$

Für die Geschwindigkeiten u und u' gilt:

$$u = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (2)$$

$$u' = \frac{\Delta s'}{\Delta t'} \quad (3)$$

Da quer zur Bewegungsrichtung keine Längenkontraktion auftritt, ist $\Delta s = \Delta s'$. Aus der Sicht von S' tritt aber eine Zeitdilatation auf.

Demzufolge gilt:

$$\Delta t' = \frac{\Delta t}{\sqrt{1 - v^2/c^2}} \quad (4)$$

Setzt man die Gleichungen (2) und (3) unter Einbeziehung von Gleichung (4) in die Gleichung (1) ein, so erhält man:

$$m' = \frac{u}{u'} \cdot m = \frac{\frac{\Delta s}{\Delta t}}{\frac{\Delta s'}{\Delta t'}} \cdot m = \frac{\Delta t'}{\Delta t} \cdot m = \frac{\Delta t}{\Delta t \cdot \sqrt{1 - v^2/c^2}} \cdot m$$

$$m' = \frac{m}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}$$

Mit der Masse m als Ruhemasse und der Masse m' als relativistischer Masse erhält man die weiter oben genannte Gleichung.

Folgerungen aus der Veränderlichkeit der Masse

Bei den im Alltag üblichen Geschwindigkeiten ist die Massezunahme mit der Geschwindigkeit vernachlässigbar klein und braucht nicht beachtet zu werden.

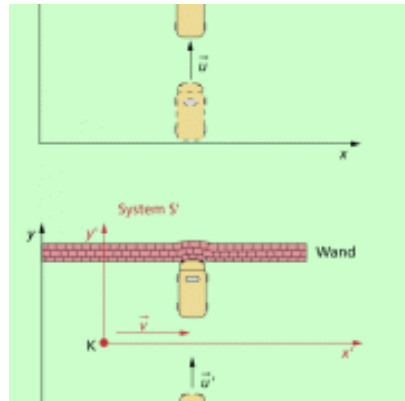
Bei größeren Geschwindigkeiten ergeben sich aus der Masseveränderlichkeit folgende Schlussfolgerungen:

Der Erhaltungssatz der Masse aus der klassischen Physik gilt nicht mehr. Er ist im allgemeinen Energieerhaltungssatz aufgehoben.

Wirkt auf einen Körper oder auf ein Teilchen eine konstante Kraft, so ist die Beschleunigung wegen der mit der Geschwindigkeit wachsenden Masse nicht mehr konstant, sondern nimmt ab.

Da die Masse mit Annäherung an die Lichtgeschwindigkeit stark zunimmt, ist für eine bestimmte Beschleunigung eine immer größere Kraft erforderlich. Das ist z.B. die Erklärung für die Notwendigkeit sehr starker Magnete in Beschleunigern.

Bei Lichtgeschwindigkeit wäre die Masse eines Körpers unendlich groß. Es wäre demzufolge eine unendlich große Kraft erforderlich, um die für das Erreichen der Lichtgeschwindigkeit notwendige Beschleunigung aufzubringen. Eine solche unendlich große Kraft ist nicht realisierbar, die Lichtgeschwindigkeit demzufolge für einen Körper oder ein Teilchen nicht erreichbar.



$T = 0$

Allgemeine Relativitätstheorie

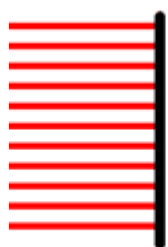
Link zu OneNote: [Allgemeine Relativitätstheorie](#) ([Webansicht](#))

Sonstiges

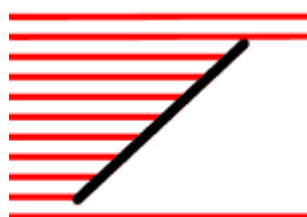
Strahlung

Die Intensität der Strahlung ist abhängig vom Einfallswinkel. Bemerkbar macht sich dies z.B. bei den Jahreszeiten oder bei Solaranlagen. Im Sommer fällt die Sonnenstrahlung senkrechter ein als im Winter. An den Polen fällt die Sonnenstrahlung generell flacher bis fast waagrecht ein. Deshalb ist es dort immer kalt. Berechnet kann dies mithilfe des Sinus vom Einfallswinkel zur Horizontale.

$$W_{\alpha} = W_{90^{\circ}} * \sin(\alpha)$$



$T = 11$



$T = 7,8$

Sonnenstrahlung wird in Watt/m² bzw. Joule/m² angegeben.

Physikalische Größen und Einheiten

Internationales Einheiten System auch **SI** (**S**ystème **I**nternational d'unités) genannt.

SI definiert Basiseinheiten für physikalische Grundgrößen und abgeleitete Einheiten (Potenzprodukte der Basiseinheiten).

Basiseinheiten:

Basisgröße	Formelzeichen	Einheit	Einheitenname
Länge	l, s, r	<i>m</i>	Meter
Zeit	t	<i>s</i>	Sekunde
Masse	m	<i>kg</i>	Kilogramm
Temperatur	T	<i>K, °C</i>	Kelvin, °Celsius
Elektr. Stromstärke	I	<i>A</i>	Ampere
Stoffmenge	n	<i>mol</i>	Mol

Abgeleitete Einheiten:

Größe	Formelzeichen	Einheit	Einheitenname	Formel
Fläche	A, Q	m^2		
Volumen	V	m^3		
Dichte	ρ	$\frac{kg}{m^3}$		$\rho = \frac{m}{V}$
Geschwindigkeit	v	$\frac{m}{s}$		$v = \frac{s}{t}$
Beschleunigung	a	$\frac{m}{s^2}$		$a = \frac{v}{t}$
Erdbeschleunigung	g = 9,81	$\frac{m}{s^2}$		
Kraft	F	$N = \frac{kg \cdot m}{s^2}$	Newton	$F = m \cdot a$
Schwerkraft	G, F	N	Newton	$G = m \cdot g$
Druck	P	$Pa = \frac{N}{m^2} = \frac{kg}{m \cdot s^2}$	Pascal	$P = \frac{F}{A}$
Arbeit	W	$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	Joule	$W = F \cdot s$
Energie	E		Joule	
Wärme	Q	$J = \frac{kg \cdot m^2}{s^2}$	Joule	

Leistung	P	$W = \frac{J}{s} = \frac{kg \cdot m^2}{s^3}$	Watt	$P = \frac{W}{t}$
Spannung	U	V	Volt	
Elektr. Widerstand	R	$(ohm) = \frac{V}{A}$	Ohm	$R = \frac{U}{I}$
Ladung	Q	$C = A \cdot s$	Coulomb	$Q = I \cdot t$
Kapazität	C	$F = \frac{C}{V}$	Farad	$C = \frac{Q}{U}$
Winkel	$\alpha, \beta, \gamma, \dots$	rad	Radian	
Frequenz	f, ν	$Hz = \frac{1}{s}$	Hertz	$f = \frac{1}{T(Periodendauer)}$
Kreisfrequenz	ω	$rad \cdot \frac{1}{s}$		$\omega = 2\pi \cdot f$

Bogenmaß eines Winkels

Das Bogenmaß eines Winkels α ist definiert als das Verhältnis der Länge des Kreisbogens b zum Radius r .

$$\alpha = \frac{b}{r}$$

Für den Einheitskreis ($r = 1$) ist das Bogenmaß gleich der Länge des Kreisbogens b .

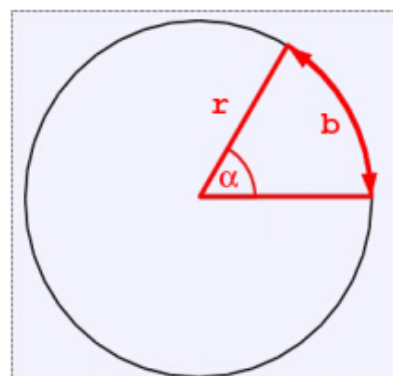
Das Bogenmaß ist also eine dimensionslose Zahl mit dem Einheitenzeichen „rad“ (Radian). Ist die Bogenlänge gleich dem Radius ($b = r$), so ist der Winkel 1 rad. Das Verhältnis Kreisumfang zu Radius ist 2π . Der

Vollwinkel (360°) beträgt daher im Bogenmaß 2π rad.

180° sind π rad

90° sind $\frac{\pi}{2}$ rad

1° ist $\frac{\pi}{180}$ rad



Wärme und Druck

Das Verhältnis zwischen Wärme und Druck kann durch folgende Formel beschrieben werden:

$$p * v = nRT$$

Wobei p = Druck in Pascal; v Volumen in m^3 ; n Stoffmenge in mol; R die universelle Gaskonstante ($8,3144598 \text{ kgm}^2/\text{s}^2\text{molK}$) und T Temperatur in °Kelvin.

Daraus folgt für geschlossene Systeme:

$$p * v \sim T$$

$$p * v = \text{konstant}$$

$$\frac{p_1}{p_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

