

# Atomistik

Die Suche nach dem  
Urbaustein  
der Materie

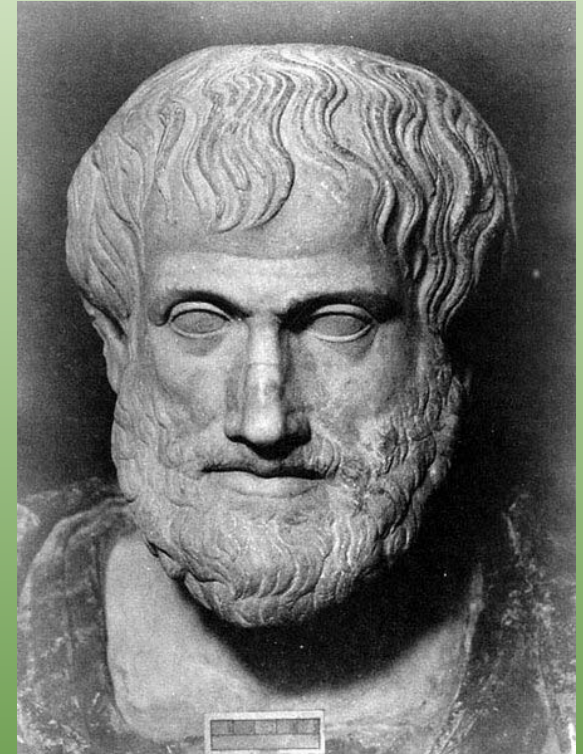
# Eine altes Problem

Was geschieht, wenn man ein Materieteilchen immer weiter halbiert?

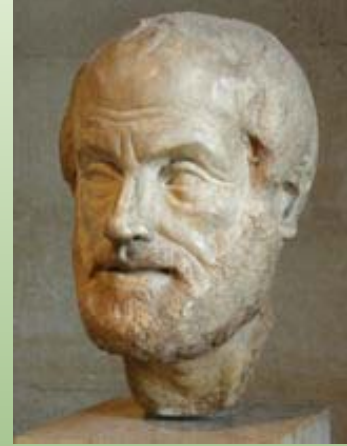
# 1. Antwort

Dieses Teilungsverfahren lässt sich beliebig weiter durchführen.

So jedenfalls war die Meinung von Aristoteles (griechischer Philosoph und Naturforscher, 383 bis 322 vor B.d.Z.). Er vertrat die Ansicht, prinzipiell gebe es gar keine Grenze der Teilbarkeit.



# Aristoteles von Stageira



Geb. 384 v. B. d. Z. in Stageira (Makedonien)

Gest. 322 v. B. d. Z. in Chalkis (Euböa)

Griechischer Philosoph und Naturforscher und einer der einflussreichsten Denker der abendländischen Geistesgeschichte.

Schüler von Platon

Zeitgenosse von Philipp II. von Makedonien

Lehrer von Alexander dem Großen

Musste nach dessen Tod 323 aus Athen fliehen (Anklage wegen Gottlosigkeit)

Im Lauf des 13. Jahrhunderts wurden die Schriften des Aristoteles als Standardlehrbücher zur Grundlage der an den Universitäten betriebenen scholastischen Wissenschaft. Aristoteles wurde „der Philosoph“ schlechthin.



# Andere Antwort

Irgendwann gelangt man zu einem Teilchen, das sich nicht mehr teilen lässt.

# Demokrit

Eine nette Wissenschaftslegende behauptet, dass der griechische Philosoph Demokrit (um 460 bis 370 vor Christus) einen halben Apfel gegessen hatte, dann die übrige Hälfte halbierte und darüber ins Grübeln kam: Was, wenn er immer so fortführe?

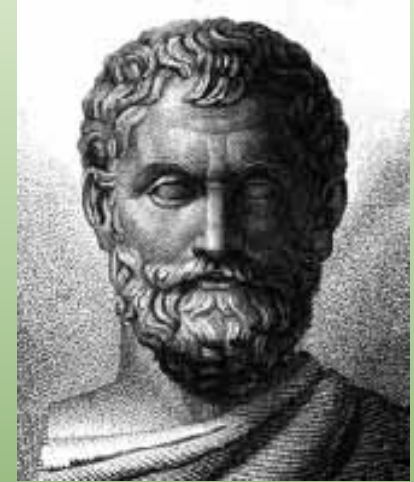
Der griechische Philosoph und sein Lehrer Leukipp schlossen jedenfalls, jede Substanz bestehe aus kleinsten, für ihre jeweiligen Eigenschaften spezifischen Teilchen, die atomos - unzerschneidbar - seien.



# Demokrit



# Atomhypothese



Der Gedanke, dass es unteilbar kleinste Bausteine der Materie gibt, geht auf die griechische Naturphilosophie zurück, die mit Thales von Milet (625-545 v. Chr.) ihren Anfang genommen hat.

Nach Leukipp von Milet (ca. 450 v. Chr.) bestehen alle Stoffe aus einzelnen voneinander abgegrenzten Teilchen, den Atomen, zwischen denen sich leerer Raum befindet. Diese letzten unteilbaren Bausteine alles Seienden sind sämtlich aus dem gleichen Urstoff gebildet und unterscheiden sich lediglich durch ihre Gestalt und Größe. Hierdurch sowie durch ihre verschiedene Lage und Anordnung soll nach Leukipp die ganze Vielgestaltigkeit der Wirklichkeit zustande kommen.

# Atomhypothese

Demokrit von Abdera ging noch einen Schritt weiter, indem er annahm, dass die Atome sich im leeren Raum bewegen. Sie können dabei zusammenstoßen, sich vereinigen und sich wieder trennen; bei allen diesen Vorgängen bleiben die Atome selbst erhalten.

Die Atome haben nach Demokrit also keine anderen physikalischen Eigenschaften als eine unveränderliche geometrische Gestalt und eine veränderliche Bewegung. Die übrigen Eigenschaften der uns umgebenden Körper, wie Farbe, Temperatur, Geruch, Geschmack usw. kommen den Atomen nicht zu. Der Mensch vermag mit seinen groben Sinnesorganen die wirkliche Gestalt und Beschaffenheit der sehr kleinen Atome nicht zu erkennen. Er nimmt nur ihre Wirkungen in einer oft getrüben Weise wahr; die unmittelbare Wahrnehmung der menschlichen Sinne ist für Demokrit nur Schein.



# Bedeutung der Atomistik

Für die auf Leukipp und Demokrit folgende Entwicklung der griechischen Naturforschung sind die Ideen der Atomisten ohne große Wirkung geblieben. Von Plato (427-347 v. Chr.) wird berichtet, dass er sich scharf gegen Demokrit ausgesprochen und gewünscht haben soll, dass dessen Schriften verbrannt würden. Auch bei Aristoteles hatte der Atomismus keinen Platz.

# Mittelalter

In der christlichen Scholastik beschäftigte man sich vor allem mit der antiken Naturphilosophie, und die Ernennung ARISTOTELES, unter dem Einfluss des italienischen Theologen THOMAS VON AQUIN (1225-1274), zum Philosophen schlechthin, dessen Widerlegung die Kirche nicht erlauben konnte, bedeutete die Niederlage der Atomisten.

Die Ansicht vom atomaren Aufbau der Materie war **gottlos und heidnisch**, weil die Atomisten ein gottloses, mechanisches Universum lehrten, wenn sie behaupteten, „dass sich die Atome im leeren Raum so bewegen, wie es der Zufall gerade will, und von selbst infolge eines jeder Ordnung baren Antriebes miteinander zusammenstoßen.“

# Die Chemie „entdeckt“ das Atom

Feuer, Luft, Wasser und Erde waren laut ARISTOTELES die vier Elemente, aus denen die irdische Welt aufgebaut ist. Verschiedene Mischungen dieser Elemente sollten die Fülle der Stoffe und den Reichtum der Chemikalien ergeben, die in unserer Welt existieren.

Schwerwiegende Einwände gegen die alte Elementlehre wurden in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhundert laut, als zahlreiche Experimente bestätigten, dass es verschiedene „Lüfte“ gibt. Mit der Entdeckung des Wasserstoffes, des Sauerstoffes und des Chlorgases - wie wir sie heute bezeichnen - begann die Reform des alten Systems.

# John Dalton

## Das Modell von Dalton

Es war das Verdienst des englischen Physikers John Dalton (1766 bis 1844), der durch seine Gedanken die moderne Chemie begründete (Daltonsche Atomhypothese).



# Das Modell von Dalton

1. Die Materie besteht aus unteilbaren Atomen.
2. Jedes Element besteht aus einer besonderen, für dieses Element charakteristischen Art von untereinander gleichen Atomen; es gibt infolgedessen soviel verschieden Arten von Atomen wie es Elemente gibt.
3. Die Atome sind unwandelbar.
4. Wenn zwei oder mehrere Elemente sich zu einer Verbindung vereinigen, so bestehen die kleinsten Teile dieser Verbindung aus einer bestimmten Anzahl von Atomen jedes Elementes.
5. Bei chemischen Reaktionen werden Atome weder geschaffen noch zerstört, sondern lediglich umgelagert.

# Das Modell von Thomson

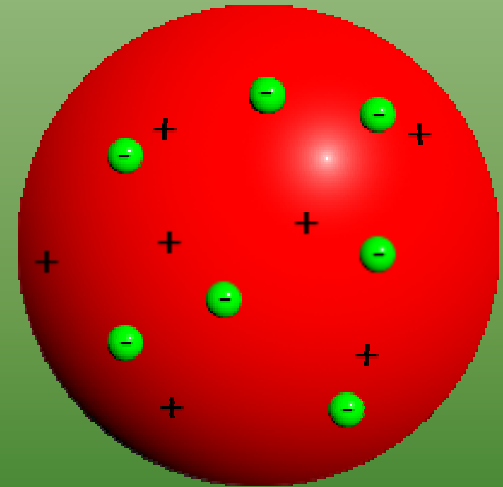
Der englische Physiker Joseph John THOMSON entwickelte 1898 das erste Atommodell der Neuzeit, das u.a. die Ionisierung und den Aufbau des Periodensystems teilweise auf eine atomare Grundlage stellen konnte: Nach seinem "Rosinenkuchenmodell" sollten sich negativ geladene Elektronen (Rosinen) in einer positiv geladenen Grundmasse (Teig) befinden.



Joseph Thomson

1856 – 1940

Nobelpreis 1906



# Das Modell von Thomson

1897 hatte Thomson bei Versuchen mit der Kathodenstrahlröhre die Existenz von kleinen negativ geladenen Teilchen, **Elektronen** ( $e^-$ ), nachgewiesen. Da er diese Teilchen in seinen Versuchen aus allen Metallen gewinnen konnte, musste er schließen, dass diese Elektronen im Metall enthalten sind und somit das Atom nicht unteilbar ist, sondern aus kleineren Teilchen aufgebaut ist.

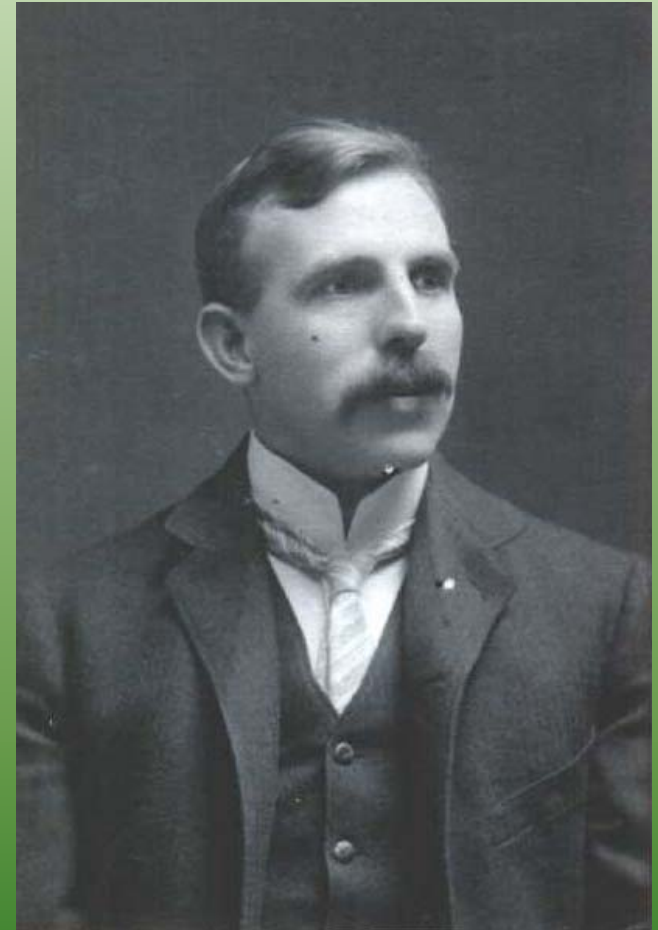
1886 entdeckt der Physiker Goldstein dass die Atome denen Elektronen entrissen wurden ein positive Ladung tragen. Diese positive Ladung wird von den **Protonen** ( $p^+$ ) getragen. Die Atome, die nach außen hin neutral sind, bestehen also aus Elektronen und Protonen.

Das Atommodell von Thomson besteht deshalb aus genauso vielen positiven wie negativen Teilchen, um die Neutralität des Atoms zu gewährleisten, die gleichmäßig im massiven Atom verteilt sind.

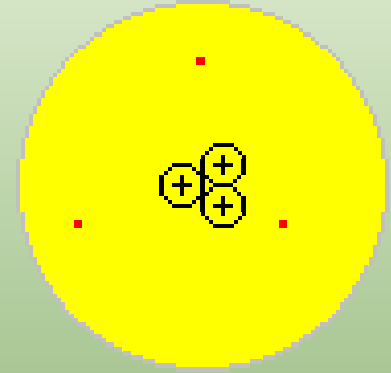
# Streuversuche

Große Bedeutung in der Entwicklung der Atomvorstellungen erhielt der in Neuseeland geborene Atomphysiker Ernest Rutherford (1871-1937, seit 1931 Baron Rutherford of Nelson).

Rutherford war schon Chemie-Nobelpreisträger (1908), als er 1911 in Manchester seine berühmten Streuversuche durchführte, deren Ergebnisse damals eine wissenschaftliche Sensation darstellten.



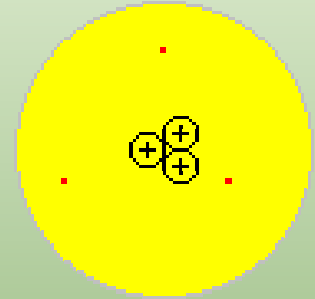
# Ernest Rutherford



Beobachtung aus dem Rutherford'schen Streuexperiment (Beschuss einer dünnen Goldfolie mit Heliumkernen):

- Feste Stoffe sind für  $\alpha$ -Strahlen unerwartet gut durchlässig.
- Von den hindurchgelassenen  $\alpha$ -Strahlen werden die meisten beim Durchgang durch das Metall nur wenig von ihrer ursprünglichen Bahn abgelenkt.
- Wenige Strahlen werden sehr stark abgelenkt bzw. reflektiert.

# Ernest Rutherford



## Folgerungen aus dem Rutherford'schen Streuexperiment

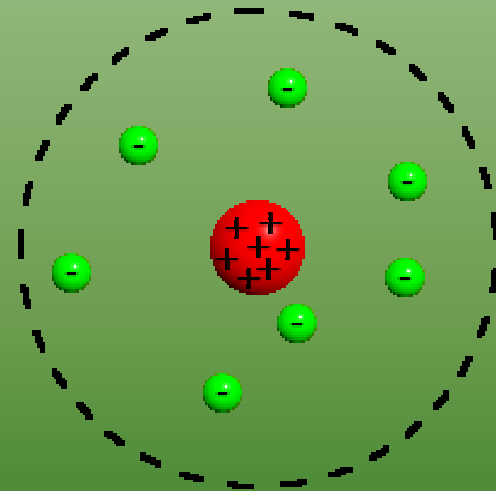
- Materie ist nicht dicht gepackt. Ihre Masse beschränkt sich auf kleine Zonen.
- Materie baut sich aus räumlich getrennten positiv und negativ geladenen Teilchen auf.
- Die negativen Ladungen sind in kleinen Beträgen locker im Raum verteilt.
- Die positiven Ladungen sind zusammen mit der Masse in eng begrenzten Raumbereiche konzentriert.
- Die Summe der positiven und der negativen Ladungen sind jeweils gleich.

# Ernest Rutherford

Die Atome bestehen somit vorwiegend aus leerem Raum.

Lediglich ein Milliardstel des Atoms wird von Materie ausgefüllt.

**Die Leere eines Atoms ist vergleichbar mit der Leere im Weltall!**



# Ernest Rutherford

Und so erzählt Lord Rutherford selber von seinem legendären Experiment: "In den ersten Tagen hatte ich die Streuung von  $\alpha$ -Teilchen beobachtet und Dr. Geiger hatte sie in meinem Labor in allen Einzelheiten untersucht. Er fand, dass die Streuung bei dünnen Schichten von Schwermetall gewöhnlich klein war, von der Größenordnung eines Grades. Eines Tages kam Geiger zu mir und sagte: "Meinen Sie nicht auch, dass der junge Marsden, den ich in radioaktiven Methoden unterrichte, eine kleine Forschungsaufgabe beginnen müsste?" Ich hatte ebenfalls daran gedacht und so sagte ich: "Warum lassen wir Ihn nicht nachsehen, ob irgendwelche  $\alpha$ -Teilchen in große Winkel gestreut werden können?"

Ich kann Ihnen im Vertrauen sagen, dass ich nicht mehr daran glaubte, dass dies geschehen würde, da wir ja wussten, dass das  $\alpha$ -Teilchen ein sehr schnelles und massives Teilchen war mit einer großen Energie, und sie konnten zeigen, dass die Chance für die Rückstreuung eines  $\alpha$ -Teilchens sehr gering war, wenn die Streuung auf der akkumulierten Wirkung einer Anzahl von Kleinwinkel-Streuungen beruhte.

Dann erinnere ich mich, wie Geiger zwei oder drei Tage später in großer Aufregung zu mir kam und sagte: "Es ist uns gelungen, einige  $\alpha$ -Teilchen zu bekommen, die zurückkamen."

**... Es ist so ziemlich das unglaublichste Ereignis, das mir je in meinem Leben passierte. Es war fast genauso unglaublich, als ob Sie eine 38 cm Granate gegen ein Stück Seidenpapier abfeuern, und sie kommt zurück und trifft Sie."**

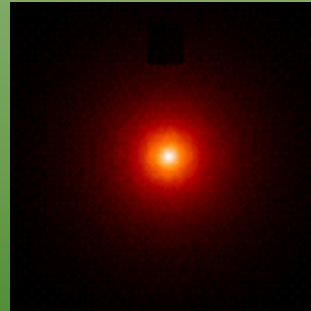
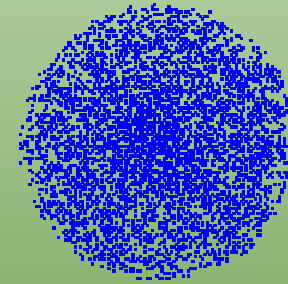
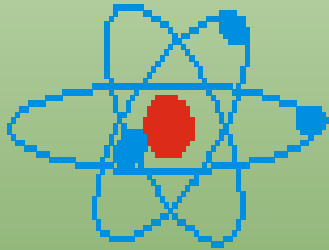
# Ernest Rutherford

Hätte ein Atom die Größe der Erde, so müsste sein Nucleus bzw. Kern so groß sein wie eine Kugel mit einem Radius von 6 m. Ein Atomkern ist außerordentlich dicht. Der Radius eines Protons (Wasserstoffkerns) beträgt ungefähr  $10^{-15}$  m, und seine Masse ist  $1,7 \cdot 10^{-27}$  kg. Daraus ergibt sich ein Volumen von  $4 \cdot 10^{-45}$  m<sup>3</sup> und eine Dichte von  **$4 \cdot 10^{17}$  kg/m<sup>3</sup>**.

Dies ist eine unvorstellbar große Dichte.

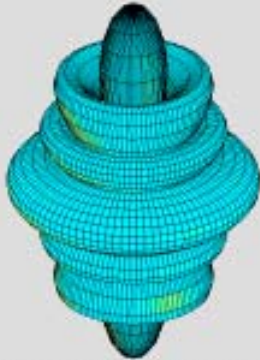
Zum Vergleich: Blei besitzt eine Dichte von  $11 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>.

# Modelle



# Modelle

f-Orbitale



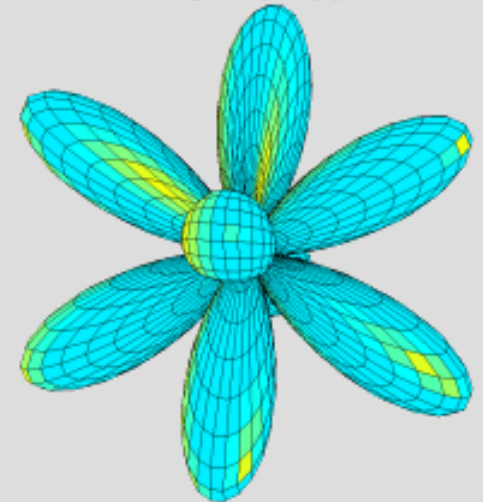
[www.quantenwelt.de](http://www.quantenwelt.de)

f-Orbital



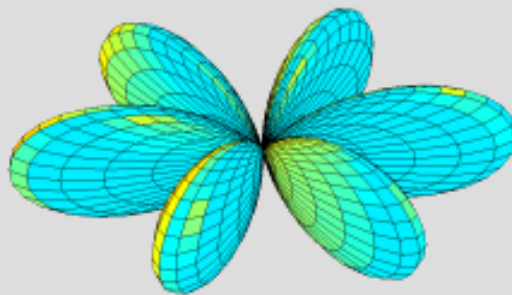
[www.quantenwelt.de](http://www.quantenwelt.de)

f-Orbital



[www.quantenwelt.de](http://www.quantenwelt.de)

f-Orbital



[www.quantenwelt.de](http://www.quantenwelt.de)

# Zahlreich, klein und langlebig

Atome sind, gelinde gesagt, wirklich **zahlreich**:

Ein Kubikzentimeter Luft (das ist ungefähr das Volumen von der Größe eines Zuckerwürfels) enthält ca. 45 Milliarden Milliarden Atome.

Vor allem aber sind sie klein - sehr **klein**:

Eine halbe Million von ihnen, nebeneinander aufgereiht, können sich hinter einem menschlichen Haar verstecken.

Und sie sind unglaublich **dauerhaft**:

Jedes Atom hat wahrscheinlich schon Aufenthalte in mehreren Sternen hinter sich und war auf dem Weg zu seiner jetzigen Position schon Bestandteil von Millionen Lebewesen.

# Sonderbare Welten

„Da Atome sich so ganz anders verhalten, als nun dies auch unserer alltäglichen Erfahrung vertraut ist, fällt es äußerst schwer, sich daran zu gewöhnen; jedem, sowohl dem Neuling auf diesem Gebiet wie auch dem erfahrenen Physiker, erscheint es **seltsam und geheimnisvoll.**“

Richard Feynman

„**Wie man sich ein Atom vorstellen soll? Versucht es gar nicht erst !**“

Werner Heisenberg

# Sonderbare Welten

Die Physiker waren „auf einen Bereich des Universums gestoßen, zu dessen Verständnis die Verdrahtung unseres Gehirns nicht ausreicht“.

James Trefil

„Dinge in kleinem Maßstab verhalten sich keineswegs wie Dinge in großem Maßstab.“

Richard Feynman

# Subatomare Teilchen

Wolfgang Pauli 1925

Paarweise zusammengehörige subatomare Teilchen „wissen“ selbst dann, wenn sie durch beträchtliche Entfernungen getrennt sind, was der jeweils andere Partner gerade tut.

Man braucht nur den „Spin“ eines Teilchens festzustellen, dann nimmt sein Schwesterteilchen im gleichen Augenblick den entgegengesetzten, ebenso großen Spin an, ganz gleich, wie weit es entfernt ist.

# Zwillingsphotonen

Stellen wir uns zwei genau gleiche Billardkugeln vor, von denen sich die eine in Hannover und die andere in Neuseeland befindet; sobald wir die eine in Drehung versetzen beginnt die andere genau mit der gleichen Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung zu rotieren.

Experiment 1997 in Genf (Beam me up, Scotty):

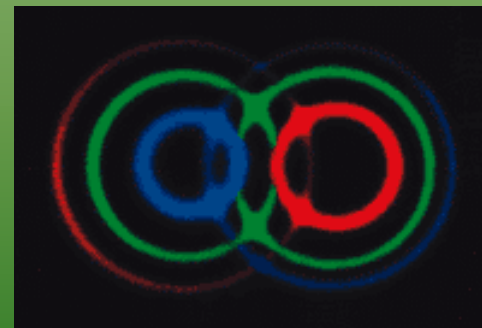
Photonen wurden elf Kilometer in entgegengesetzte Richtungen geschickt. Ein Eingriff bei einem davon führte sofort zu einer Reaktion bei dem anderen.

# Verschränkte Photonen

*Teilchen, die einmal in Wechselwirkung gestanden haben, lassen sich nicht mehr als getrennte Objekte betrachten, selbst wenn sie räumlich weit voneinander entfernt sind.*

*Die atomare Wirklichkeit besteht demnach aus ausgedehnten "Quantenobjekten", die nur als Ganzheit beschrieben werden können.*

**Die Quantentheorie lässt überlichtschnelle Kommunikation zwischen Teilchen prinzipiell zu.**



# Lichtmauer durchbrochen

Um die Lichtmauer zu durchbrechen, verwandelten die Forscher die Stadt Genf samt Umgebung in ein riesiges Laboratorium. In der “Zentrale” in der Genfer City schossen sie rotes Laserlicht durch einen Kristall aus Kaliumniobat. Dieser spaltete die Photonen in zwei Teile mit jeweils rund der halben Energie auf. Diese nunmehr infraroten Photonen leiteten die Forscher in entgegengesetzte Richtung durch normale Glasfaserleitungen. Die eine führte in den Nachbarort Bellevue, die andere in das 11 Kilometer entfernte Bernex. Bis kurz vor dem Ziel hielten sich die Teilchen an die bekannten Regeln der Physik.

Doch dann geschah etwas Merkwürdiges: In beiden Städten gabelte sich die Leitung vor den Messdetektoren Y-förmig. Sowohl in Bellevue als auch in Bernex mussten die Photonen zwischen einem kürzeren oder einem 20 Zentimeter längeren Ast der Verzweigung “wählen”. Auf geheimnisvolle Weise “wussten” die geteilten Partikel, was ihre weit entfernte andere Hälfte tat, denn sie entschieden sich in der Regel für den gleichen Weg. Die Forscher schließen nunmehr daraus, dass die überlichtschnelle Kommunikation zwischen den Teilchen nicht nur über irdische Entfernungen, sondern auch über Lichtjahre hinweg funktioniert.

# Wozu das Ganze?

Die Grundlagenforschung in der Physik dient nicht nur dem Erkenntnisinteresse einer abgehobenen Gruppe von Menschen (den Physikern).

Die Ausnutzung von Zuständen subatomarer Partikel nimmt unterliegt einer rasanten Entwicklung.

Ziel ist die Entwicklung von **Quanten-Computern**, deren Rechenleistungen die der bisherigen Computer um Größenordnungen übertreffen werden.