

Quelle: PMO

PM

Titel - Quantenphysik

WIE DIE KRÄFTE DES KOSMOS UNSER LEBEN BESTIMMEN

TITEL: Die allmächtige Kraft des Kosmos - Spektakuläres Experiment: Physiker entdecken eine geheimnisvolle Energie, die unser Leben bestimmt! / Die Physiker sind auf ein unglaubliches Phänomen gestoßen: Quanten, die kleinsten Elementarteilchen, scheinen Informationen miteinander auszutauschen. Da der ganze Kosmos aus Quanten besteht, könnte hinter allem Geschehen eine unsichtbare mächtige Intelligenz stehen: allgegenwärtig und allmächtig. Wie sehr werden wir von dieser Kraft gelenkt? / VON JOSEPH SCHEPPACH

Joseph Scheppach

Der Anruf kam ungelegen. Ich diskutierte gerade angeregt mit P.M.-Kollegen über einen Artikel, den ich über Quanten schreiben wollte - ein komplexes und schwieriges Thema, das Ablenkungen nicht verträgt. Ich ging trotzdem ans Telefon. Am anderen Ende der Leitung meldete sich Heinz

Schauer aus Kronberg im Taunus: 'Ich habe gerade in einem alten P.M.-Heft geschmökert und bin dabei auf einen Bericht von Ihnen über Quantenphysik gestoßen. Mich hat das Thema so fasziniert, dass ich wissen möchte, ob es neue Erkenntnisse gibt.'

ICH FIEL FAST VOM STUHL. Konnte der Mann Gedanken lesen? Klar, dass am Telefon sofort das Wort 'Telepathie' fiel - was mich gleich noch einmal verblüffte, denn in meinem geplanten Artikel sollte es um so etwas Ähnliches wie Telepathie zwischen Quanten gehen. Wie sie zustande kommt und wie sie - wenn es ein solches Phänomen tatsächlich gibt - unser gesamtes Verständnis von der Realität auf den Kopf stellen könnte. Wie gesagt, ein schwieriges Thema, aber als ich den Telefonhörer aufgelegt hatte, war ich ganz 'heiß' darauf, tief in die Welt der kleinsten Teilchen einzutauchen. Danke, Herr Schauer! Hier ist 'Ihre' Geschichte.

An der Universität von Genf arbeitet Professor Antoine Suarez. Als Quantenphysiker kennt er sich in der Welt der Elementarteilchen bestens aus - heißen sie nun Elektronen oder Photonen, Neutronen oder Protonen. Suarez ließ mich an einem sensationellen Experiment teilnehmen, mit dem er zeigen wollte, dass es zwischen

Teilchen eine geheimnisvolle 'Quanten-Fernwirkung' gibt - eine 'telepathische' Beziehung, ähnlich der zwischen Herrn Schauer und mir. Was ich zu sehen bekam, verdient den Namen 'Wunder'.

Für sein Experiment stellte Suarez zunächst Photonen (Lichtteilchen) her: Laserlicht schießt durch einen Kristall, dabei entsteht ein Zwillingpaar von Photonen (s. Zeichnung oben). Die Experimentiervorrichtung zwingt die beiden Teilchen dazu, in entgegengesetzte Richtungen zu fliegen. Auf seinem Weg passiert jedes von ihnen ein raffiniert ausgeklügeltes System von halb durchlässigen Spiegeln. Diese werden nach dem Zufallsprinzip gesteuert: Mal lässt der eine Spiegel 'sein' Photon durch und der andere nicht - oder umgekehrt. Ob die Teilchen durchkommen, wird von einer Messapparatur hinter den jeweiligen Spiegeln registriert.

DA DER GANZE VERSUCHSABLAUF dem Zufall unterliegt, sollte man annehmen: Ob jedes der beiden Photonen

seinen Spiegel passiert oder nicht, ist ebenfalls eine Sache des reinen Zufalls. Aber nachdem Suarez das Experiment xmal mit immer wieder neuen Photonen-Pärchen wiederholt hatte, ergab sich ein völlig anderes Bild. Der Zufall war aufgehoben - jedes Teilchen verhielt sich exakt so wie sein Zwillingbruder: Passierte das eine Photon seinen Spiegel, kam auch das andere durch; blieb das eine hängen, war auch für das andere Schluss der Reise. Und dabei war es völlig egal, ob die Spiegel gerade auf 'durchlassen' oder 'stoppen' eingestellt waren.

So hinterließen die kleinen Teilchen ein großes Problem: Wie konnte es sein, dass die elementaren Zwillinge immer das Gleiche tun, unbeeinflusst von allem, was um sie herum passiert? Unser Denken ist vom Prinzip der Kausalität dominiert - aber was war in dem unerklärlichen Verhalten der Photonen Ursache, was Wirkung? Teilte da ein Teilchen dem anderen mit: Wir fliegen jetzt gemeinsam durch die Spiegel, oder wir bleiben

Quelle: PMO

PM

beide hängen? Wie war es zu dieser rätselhaften Quanten-Fernwirkung gekommen?

DASS SICH QUANTEN gegenseitig beeinflussen, dafür lieferte Suarez mit seinem historischen Experiment den Beweis. Aber wie das zustande kommt, da gerät auch der Quantenphysiker an die Grenzen des menschlichen Geistes: 'Hier ist eine mächtige unsichtbare Intelligenz am Werk: Gott, Engel oder sonst was.' So ist das 'Wunder von Genf' ein ernst zu nehmender Hinweis darauf, dass hinter der sichtbaren Welt unsichtbare Kräfte walten. Ich kam mir in Suarez' Labor vor wie Harry Potter auf dem Bahngleis 9 3/4: Ich war in eine 'magische' Welt eingetreten, die ständig um uns ist.

Auch wenn die Frage nach der Ursache der Fernwirkung zwischen Quanten erst einmal unbeantwortet bleiben muss, drängt sich eine andere förmlich auf. Wenn die aller kleinsten Teilchen in einem Informationsaustausch miteinander stehen: Gilt das nur für die isolierten Quanten im Laborversuch - oder für alle Quanten? Wenn alle Elementarteilchen in einer geheimnisvollen Verbindung stünden, müssten wir die telepathischen Fähigkeiten des Mikrokosmos für den ganzen Makrokosmos annehmen. Denn alle Materie besteht letztlich aus Quanten.

AM BEGINN DES URKNALLS war sämtliche Materie in einem imaginären Punkt konzentriert. Sie stob auseinander und bildete in einem Zeitraum von 15 Milliarden Jahren den Kosmos, wie wir ihn heute kennen - auch unsere Erde und mit ihr Pflanzen, Tiere und uns Menschen. Wie alles, was existiert, waren auch wir bereits im Urknall angelegt als Teil eines Universums. Wenn zu Beginn von Zeit und Raum alles mit allem vereint war - dann könnte dieses uralte Band

auch heute noch existieren. Dann wären alle fernen Sterne untereinander verkettet - aber auch mit unserer Sonne, unseren Planeten und uns selbst. Die Glieder dieser Kette wären die Quanten mit ihrer schier unglaublichen Fähigkeit, durch eine Art Telepathie Kontakt miteinander aufzunehmen. Und wenn alle Quanten des Universums auf dieser Kette aufgereiht sind, müsste auch alle Materie an dieser eigenartigen Kommunikation teilhaben. Was der Mars 'tut' - von irgendwoher ferngesteuert? Was wir als Menschheit tun - Ausführung eines 'Befehls', der uns über die Quantenkette erreicht? Aber wer gibt den Befehl?

Dass selbst 15 Milliarden Jahre nach dem Urknall noch alles mit allem verbunden sein könnte, dafür gibt es anschauliche Hinweise: die so genannten morphologischen Grundmuster in der Natur. Zum Beispiel die Spiralform: Sie findet sich in Schneckenhäusern ebenso wie in kosmischen Spiralnebeln. Verblüffend auch die Parallele zwischen Atomen und urzeitlichen Tierchen: Trilobiten, die vor 570 bis 300 Millionen Jahren in den Weltmeeren lebten, gleichen aufs Haar dem Atom des Elements Rubidium (s. Foto S. 56).

Solche Grundmuster gibt es in großer Zahl, und sie lassen den britischen Biochemiker Rupert Sheldrake vermuten, dass es 'morphologische Atomfelder' gibt, in denen das gesamte Wissen aller Geschichte und Evolution gespeichert ist. Von diesem gigantischen Reservoir könnte die quantenphysikalische Kommunikation zwischen verschiedenen Bereichen der Realität ihren Ausgang nehmen: mit der Folge, dass es so viele morphologische Grundmuster in der Natur gibt - aber auch Phänomene wie Vorahnung (Präkognition), Gedankenübertragung (Telepathie)

oder die Synchronizität von gleichartigen Ereignissen. Kann womöglich nichts in unserem Gehirn geschehen, ohne dass irgendetwas irgendwo im Universum darauf reagiert - und umgekehrt? Die jüngsten Erkenntnisse der Quantenphysik jedenfalls deuten darauf hin, dass wir den Kosmos auf eine völlig neuartige Weise als ein Ganzes ansehen müssen.

WIE ABER KÖNNTE das 'Quantenwissen' über Zeit und Raum in alle Teile der Materie eindringen - auch in unseren Körper, unseren Geist? Anders gefragt: Welche Vorstellung haben Quantenphysiker davon, wie die telepathischen Botschaften empfangen werden?

Auf der Suche nach einer Antwort, wie die kleinsten aller Teilchen 'ticken', ist der menschliche Verstand immer wieder auf Schwierigkeiten gestoßen. 'Wer von der Quantentheorie nicht schockiert ist, der hat sie nicht verstanden', sagte 1927 der Physiker Niels Bohr - ein Satz, den seine heutigen Kollegen noch unterschreiben würden.

Schock Nummer eins: Quanten sind 'unscharf'. Unzählige Versuche haben gezeigt: Ermittelt der Forscher den Ort eines Elektrons, kann er nicht gleichzeitig dessen Geschwindigkeit feststellen. Und umgekehrt: Misst er die Geschwindigkeit des Quants, erfährt er nichts über dessen Ort. Das Elektron als objektive Realität entzieht sich dem Beobachter. Eine für den 'Normalverstand' verrückte Vorstellung - der Mond steht ja auch nicht nur deshalb am Himmel, weil wir hinschauen. Schock Nummer zwei: Photonen sind gleichzeitig Teilchen und Welle - auch eine Art Unschärfe. Und eine Tatsache, die uns unfasslich erscheint. Oder hat man jemals so etwas beobachtet: Ein Skifahrer rast auf einen Baum zu und teilt

Quelle: PMO

PM

sich kurz davor wie eine Welle - mit dem einen Ski fährt er links, mit dem anderen rechts am Baum vorbei; danach gleiten beide Teile vereint weiter zu Tal. So könnten nur Quanten Ski fahren - weil sie Teilchen und Welle zugleich sind.

Was ist zu erwarten von einem Teilchen, das sich ständig einer objektiven Darstellung entzieht? Jedenfalls keine Antwort auf die Frage, ob und wie es mit seinen telepathischen Fähigkeiten den ganzen Kosmos determinieren könnte. Auch der Physiker Albert Einstein hatte mit den kleinsten Teilchen so seine Probleme. Einerseits war er zwar felsenfest davon überzeugt, dass den Quanten durchaus eine objektive Realität zukommt. Andererseits endete eines seiner Gedankenexperimente, mit dem er Suarez' Versuch im Kopf vorwegnahm, irgendwie im Nebulösen. Er stellte sich vor: Zwei Photonen rasen in entgegengesetzter Richtung durch den Raum. Da jedes von ihnen mit Lichtgeschwindigkeit unterwegs ist, können sie sich unmöglich gegenseitig beeinflussen: Denn jede Form von Informationsübertragung müsste in doppelter Lichtgeschwindigkeit geschehen - laut Relativitätstheorie unmöglich. Wenn sich Teilchen gegenseitig beeinflussen, dann muss dahinter eine physikalische Ursache stecken - basta! Akausale Wirkungen ließ Einstein nicht zu, denn 'Gott würfelt nicht'. Und was stellte sich das Genie als denkbare Ursache der Fernwirkung zwischen Quanten vor? Eine 'verborgene Variable'. Das Denken über Quanten in den herkömmlichen physikalischen Kategorien war damit offensichtlich an ein Ende gekommen.

ABER AUCH für die Quantenphysiker lag die Latte noch lange Zeit hoch. 'Unschärfe', 'Teilchen-Welle-Dualität' - wie sollte

man bei so viel Unklarheit klare Aussagen treffen: ob die Teilchen einander Informationen übermitteln, wie sie das tun und ob der Transfer sich auf den ganzen Kosmos erstreckt? Das erste quantenphysikalische Experiment, das die wissenschaftliche Erkenntnis in dieser Richtung voranbrachte, gelang erst 1982 dem französischen Physiker Alain Aspect. Sein Versuchsaufbau war dem von Professor Suarez schon sehr ähnlich - würde es die Einstein'sche 'verborgene Variable' als physikalische Ursache einer Quanten-Telepathie geben, hätte sie bei diesem Versuch entdeckt werden müssen. Aber da war nichts. Trotzdem zeigte sich zwischen den Teilchen eine unerklärliche

Informationsübertragung - doppelte Lichtgeschwindigkeit hin oder her. 22 Jahre später bestätigte Suarez mit seinem Experiment nicht nur die Ergebnisse von Aspect - er drang sogar noch tiefer in die Geheimnisse der Quantenwelt ein. Denn in einer Variante seines Versuchs konnte er erstmals einen handfesten Hinweis darauf entdecken, dass hinter der Quanten-Telepathie eine 'mächtige unsichtbare Intelligenz' steht.

SUAREZ WANDELTE SEIN Experiment insofern ab (Zeichnung Seite 48), als er die Zwillingen-Photonen nicht nur wie bisher durch ein statisches, stehendes Spiegelsystem schickte - sondern zusätzlich durch ein dynamisches: Hier bewegte sich der Spiegel mit hoher Geschwindigkeit von der Photonenquelle weg. Dadurch befanden sich die Teilchen - wieder nach dem Zufallsprinzip gesteuert - in unterschiedlichen Zeitsystemen: mal in einem 'schnellen', mal in einem 'langsamen' System. Mit den Folgen, die Einsteins Relativitätstheorie beschreibt und die experimentell bewiesen sind: In schnellen Systemen - wie

Flugzeugen oder Raketen - verläuft die Zeit langsamer. Weil die Zeit also relativ ist, können Beobachter in verschiedenen Zeitsystemen die zeitliche Reihenfolge zweier Ereignisse unterschiedlich wahrnehmen. Das war auch in Suarez' Experiment so: Bei der Messung im Zeitsystem des stehenden Spiegels trifft das Photon hier früher auf als das andere Photon auf den schnellen Spiegel; bei der Messung im Zeitsystem des schnellen Spiegels trifft das Photon hier früher auf als das andere auf den stehenden Spiegel. Welches Teilchen zuerst auftritt, ist also relativ - es gibt kein absolutes Vorher und Nachher. Das bedeutet: Keines der beiden Teilchen kommt als erstes an! Also steht keinem von beiden für eine 'Absprache' über ein konformes Verhalten auch nur die geringste Zeit zur Verfügung - dennoch taten sie exakt dasselbe. Suarez' ungeheuerliche Schlussfolgerung: 'Bei der Wechselbeziehung zwischen den Teilchen steht die Zeit still. Es ist, als ob bei der Quanten-Telepathie die Zeit außer Kraft gesetzt ist.'

ABER WER KANN DIE ZEIT außer Kraft setzen? Dass es zu einer Informationsübertragung jenseits der Zeit kommt, erklärt Suarez so: Teilchen, die miteinander durch eine Wechselwirkung verknüpft sind, werden zu Bestandteilen eines unteilbaren Systems - sie sind zeitgleich über einen gewissen Raum verteilt. Alles, was wir in unserem Alltagsleben sehen - Häuser, Berge oder Menschen -, ist eindeutig zu lokalisieren. Teilchen dagegen können sich zur selben Zeit in Köln und Berlin aufhalten: Sie sind nonlokal - überall. Und hinter dieser Non-Lokalität könnte sich das eigentliche Wunder verbergen - eine solche Vorstellung kannten wir bisher nur aus der Religion: Gott ist allgegenwärtig.

Quelle: PMO

PM

Gott ist auch allwissend. Und sogar zu dieser religiösen Vorstellung schlagen Quantentheoretiker heute eine Brücke. Für den französischen Physiker Jean Charon sind Quanten 'denkende Einheiten'. Ihr 'Denkvermögen' erlangen sie auf geradezu abenteuerliche Weise: Elektronen beispielsweise schlucken unablässig Photonen; weil Lichtteilchen masselos sind, wäre dies theoretisch möglich. Die geschluckten Photonen haben - wie nachweislich alle Teilchen - einen 'Spin': Sie drehen sich um sich selbst. Wenn jetzt zwei Photonen im Elektron ihren Drehsinn von 'linksherum' auf 'rechtsherum' verändern könnten, wäre eine binäre Informationsübertragung wie in einem Computer möglich: Der Schaltzustand 'Eins' oder 'Null' entscheidet, ob eine Informationen fließt oder nicht. Auf diese Weise, so Charon, würden die geschluckten Photonen zum 'Gedächtnis' des Elektrons. Sie würden Informationen von außen aufnehmen, also lernen - und das Gelernte an andere Elektronen übermitteln, indem sie ihre Photonen an ein Nachbarerlektron weitergeben. So soll die Quantenwelt allmählich 'allwissend' werden - das gesamte Wissen der Schöpfung enthalten.

AUCH WENN MAN CHARON auf seinen Gedankenflügen nicht folgen mag, sollten wir akzeptieren, dass wir in der Quantenphysik ein völlig neues Weltbild kennen lernen. 'Der Quanten-Spuk', so Professor Suarez, 'deutet darauf hin, dass hinter der sichtbaren Welt Kräfte Entscheidungen treffen, welche sich vollends der menschlichen Kontrolle entziehen.' Ob man das Wirken einer jenseitigen Intelligenz als unheimlich empfindet oder als beruhigend - das muss letztlich jeder für sich selbst entscheiden.

INTERNET-ADRESSEN

- Zentrum für Quanten-Philosophie:

www.quantumphil.org
- Weitere Informationen und Links finden Sie unter

www.pmmagazin.de

Die 'telepathische' Eigenschaft von Quanten wird technisch genutzt; z. B. zur Verschlüsselung (Kryptografie) von Daten. Dieses Verfahren verwenden bereits Banken im unbaren Geldverkehr. Bei der Quanten-Kryptografie wird ein abhörsicherer Schlüssel verschickt, der bewirkt, dass Nachrichten für Dritte nicht lesbar sind. Wie das Verfahren funktioniert, zeigt das Beispiel links, in dem Alice das digitale Bild der 'Venus von Willendorf' per Internet an Bob schickt. Dazu hat Alice einen Schlüssel (Key) aus Photonen erzeugt. Mit diesem Schlüssel wird das Originalbild der Venus vermischt und dieses verschlüsselte Bild per Internet an Bob geschickt. Bob kann mithilfe seines Schlüssels wieder das Originalbild erhalten. Im Einzelnen funktioniert das so: Addiert man zur Nachricht - Original (a) - den Schlüssel 'Alices key', dann erhält man ein völlig zufällig verteiltes Punktmuster: 'Encrypted (b)'. Addiert man den Schlüssel ein zweites Mal, entsteht wieder das Original 'Decrypted (c)'. Dass bei diesem Verschlüsselungsverfahren die Botschaft absolut vertraulich bleibt, dafür bürgen die durch nichts auszutricksenden Quanten-Gesetze. Sie sorgen dafür, dass die beiden Partner (Alice und Bob) stets merken, ob ein Spion in der Leitung hängt. Verhindern können sie den Lauschangriff zwar nicht, doch sie bemerken den Spion. Denn die Photonen, also die Lichtteilchen, die z. B. durch ein Glasfaserkabel geschickt werden, lassen sich nicht ungestört beobachten. Darin unterscheiden sie sich z. B. von einem Tennisball. Dessen Flug kann man verfolgen, ohne seine Bahn zu verändern. Anders bei Photonen: Will man sie

beobachten, dann beeinflusst man sie unweigerlich. Und dieser Einfluss wird stets bemerkt. Wenn nun Alice herausfindet, dass ein Spion den Schlüssel abgefangen hat, wird sie die eigentliche Botschaft, die auf herkömmliche Weise chiffriert wird, natürlich nicht mehr abschicken. Und sollte der Spion nur die Nachricht mitlesen, kann er mit ihr ohne den Schlüssel nichts anfangen.

Mit dieser Methode hat der österreichische Physiker Antoin Zeilinger jüngst die weltweit erste quantenkryptografisch verschlüsselte Geldüberweisung durchgeführt - und damit unter Beweis gestellt, dass diese Sicherheitstechnologie im Alltag funktioniert.

Eine weitere technische Anwendungen der Quantenphysik ist der Quanten-Computer. Er kann nicht nur Einsen und Nullen miteinander verrechnen, sondern auch alle daraus möglichen Kombinationen. Dieses Prinzip soll den Quanten-Computer einmal äußerst leistungsfähig machen, denn es ermöglicht, gleichzeitig mehrere Rechnungen durchzuführen.

ZWEI PHOTONEN GEHEN AUF DIE REISE - UND DABEI TUN SIE IMMER DASSELBE

KANN NICHTS IN UNSEREM HIRN GESCHEHEN, OHNE DASS IRGENDWAS IRGENDWO IM UNIVERSUM DARAUF REAGIERT - UND UMGEKEHRT?

QUANTEN SIND VERWANDLUNGSKÜNSTLER: SIE SIND WELLE UND TEILCHEN - GLEICHZEITIG

WIE QUANTEN 'TICKEN', WISSEN WIR NICHT. ABER WIR ARBEITEN SCHON MIT IHNEN GEHEN VIELE GRUNDMUSTER IN DER NATUR AUF QUANTEN-TELEPATHIE ZURÜCK?

Graphik: HISTORISCHES EXPERIMENT - Mit diesem Versuch wies Antoine Suarez nach,

Quelle: PMO

PM

dass es zwischen Quanten auch dann einen Informationsaustausch gibt, wenn dafür eigentlich gar keine Zeit ist. Er erzeugte ein Photonen-Pärchen, schickte die beiden Quanten in identische Versuchsanordnungen - und maß die Zeit, die jedes Teilchen für seinen Weg brauchte. Da die Photonen je- weils einen nach dem Zufalls- prinzip gesteuerten 'Hindernis-Parcours' überwinden mussten, sollte man annehmen: Sie werden nur selten zur gleichen Zeit am Ziel eintreffen. Doch egal, wie der Zufall spielte - sie kamen immer zum gleichen Zeitpunkt an. Das bedeutet: Jedes Quant hatte sich genauso verhalten wie sein 'Bruder' - sie hatten sich 'abgesprochen'. Das Geheimnisvolle: Die Versuchsanordnung sorgte dafür, dass entsprechend Einsteins Theorie die Zeit relativ wurde und sich jedes Photon in einem anderen 'Zeitsystem' bewegte. Gemäß der Messung im Zeitsystem des stehenden Spiegels trifft das Photon auf diesen Spiegel früher als das andere Photon auf den schnellen Spiegel. Gemäß der Messung im Zeitsystem des schnellen Spiegels trifft das Photon auf diesen früher als das andere auf den stehenden Spiegel. Wenn aber keines der Teilchen das erste sein kann, steht auch keine Zeit für eine 'Absprache' mit dem anderen zur Verfügung - trotzdem taten beide stets dasselbe - LAURENT HINDRYKX/LE MACHINE A REVER/SCIENCE & VIE

Graphik: 1905 - EINSTEIN : 'JEDE URSACHE HAT EINE WIRKUNG' (KAUSALITÄT) - RAUM UND ZEIT - Einsteins Relativitätstheorie liefert die Grundlage für das Experiment von Prof. Suarez. Oben: Die horizontale Ebene stellt den Raum dar, der vertikale Pfeil die Zeit. Jedes Ereignis (A) kann durch einen Punkt markiert werden. Alles, was sich darüber abspielt (B), ereignet sich 'nachher', also nach

A. Alles was sich darunter ereignet, passiert 'vorher', also vor A
Graphik: EINFLUSSZONE - Das Ereignis A kann sich nur innerhalb einer bestimmten Einflusszone (gelb) auswirken. Diese Zone ist durch die Lichtgeschwindigkeit begrenzt: Keine Wirkung kann schneller sein als das Licht. Kein Ereignis (B) außerhalb der Zone steht also in einem kausalen Zusammenhang mit A ('Raumzeitliche Kausalität')

Graphik: 'KAUSALITÄTS-KEGEL' - Da sich die kausale Einflusszone im mehrdimensionalen Raum erstreckt, ergibt sich ein 'Kausalitäts-Kegel' (C). Er reicht symmetrisch in Vergangenheit und Zukunft. Alle Ereignisse, für die A der Grund sein könnte, spielen sich im Kegelbereich ab

Graphik: RELATIVITÄTSTHEORIE - Einstein erkannte: Wenn ein Ereignis A in einem System stattfindet, das sich in Bezug auf B bewegt (Pfeil), dann verschieben sich die 'Raum-Zeit'- Achsen - Raum und Zeit ('vorher' und 'nachher') werden relativ

Graphik: 1982 - DAS EXPERIMENT VON PROF. ASPECT: ' ES GIBT AUCH WIRKUNGEN OHNE URSACHE' - 'AKAUSALITÄT': Hier werden die Ereignisse A und B in Systemen beobachtet, die nicht in Bewegung sind. Prof. Aspect schickte Paare von Lichtteilchen auf fest stehende Spiegel. Die Ankunft eines Teilchens ist Ereignis A, die Ankunft des anderen ist Ereignis B. Jedes Ereignis befindet sich außerhalb des Kausalitätskegels des anderen: Es kann also keine kausale Verbindung geben. Das Experiment aber zeigte: Zwischen Photonen gibt es Wirkungen ohne Ursache ('Akausalität') - ein überlichtschnelles Signal?

Graphik: 2004 - DAS EXPERIMENT VON PROF. SUAREZ : 'ES GIBT SOGAR AKAUSALE WIRKUNGEN, BEI

DENEN KEINE ZEIT VERGEHT' - ZEITSTILLSTAND - Dasselbe Experiment wie bei Aspect (l.) - allerdings mit Spiegeln, die sich schnell voneinander entfernen. Folge: die Raum- und Zeitachsen verschieben sich wie in Darstellung 4. Für Ereignis A (Ankunft eines Photons im Spiegel) trifft das Ereignis B (Ankunft des anderen Photons in seinem Spiegel) ein, nachdem A selbst schon stattgefunden hat. Für Ereignis B trifft das Ereignis A ein, nachdem B schon stattgefunden hat. Schlussfolgerung: Kein Photon hat Zeit, auf das andere einzuwirken. Prof. Suarez: 'In der Quantenwelt gibt es Wirkungen, ohne dass Zeit vergeht.' - PATRICK MACALLISTER (6)

Graphik: Grafische Darstellung - INSTITUT FÜR EXPERIMENTALPHYSIK/UNI WIEN
Bildunterschrift: DIE GROSSE FRAGE - Welche Rolle spielen wir Menschen in Raum und Zeit? Das Experiment in Genf hat gezeigt: Wir sind Teil des Universums - und sind mit seinen Kräften aufs Engste verbunden. Der Illustrator Fred Jürgen Rogner hat dieser Idee Gestalt gegeben: Die Galaxie umschlingt mit einem Arm das Paar, als wolle sie es aufnehmen. Und im Nautilus wiederholt sich die Form der Galaxie - als Symbol für die immer wiederkehrenden Grundmuster im Kosmos. Die Sanduhr steht für die Zeit, die bei diesem spektakulären Versuch stillstand - FRED JÜRGEN ROGNER

QUANTEN-SPUK - Die Frau auf Rene Magrittes Bild 'Die Blankovollmacht' (1965) scheint mit ihrem Pferd durch die Bäume hindurchzureiten. Das Spukhafte dieser Szene hat eine Entsprechung in der Welt der allerkleinsten Teilchen: Quanten ist es tatsächlich möglich, wie von Zauberhand gelenkt durch Materie zu fliegen - AKG / VG BILD-KUNST

Quelle: PMO

PM

DAS INSTRUMENTARIUM DER QUANTENFORSCHER - Laser und Linsen, Spiegel und Glasfaserkabel, Messapparate und Computer - damit wurde in einem epochalen Experiment nachgewiesen: Wenn Lichtteilchen miteinander in eine Wechselbeziehung treten, steht die Zeit still. Unten: Die Quantenphysiker, die diesen Nachweis führten, in ihrem Labor an der Universität von Genf: Antoine Suarez, Hugo Zbinden und Andre Stefanov (von r. nach l.)

Quanten-Revolution - Physiker Alain Aspect bewies 1982 im Experiment, dass sich Teilchen auch über große Entfernung miteinander austauschen - PSAILA (2)

QUANTEN-ZANK - Die kleinsten Teilchen sorgten schon immer für größten Streit. Der Physiker Niels Bohr (l.) war der Ansicht: Zur Fernwirkung zwischen Quanten bedarf es keiner Ursache - die neuesten Versuche mit Photonen geben ihm Recht. Albert Einstein

(r.) lehnte diese Vorstellung vehement ab: Jede Wirkung habe eine Ursache - AKG (2)

WELLE-TEILCHEN-DUALITÄT - Warum Quanten dem Denken so große Probleme machen? Unter anderem deshalb, weil jedes Teilchen gleichzeitig eine Welle ist. Um das zu begreifen, hilft ein Gedankenkonstrukt: Der Skifahrer oben rast auf den Baum zu, aber kurz davor teilt er sich wie eine Welle - mit dem einen Ski fährt er links, mit dem anderen rechts vorbei; danach gleiten beide Teile vereint weiter zu Tal. Eine haarsträubende Vorstellung, fand auch der Physiker Niels Bohr: 'Wer von der Quantentheorie nicht schockiert ist, der hat sie nicht verstanden' - IVICA LITRIC

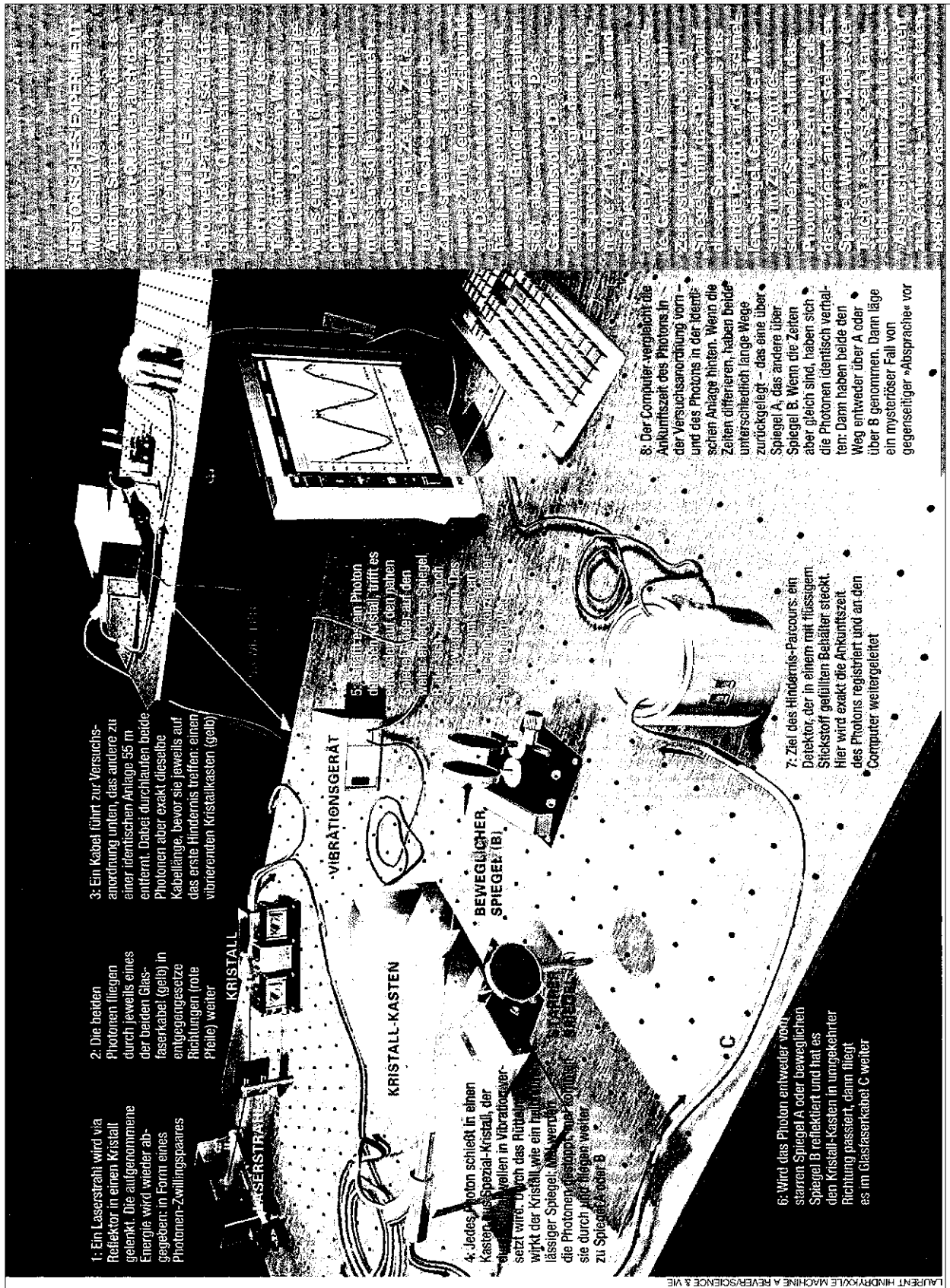
GLEICHZEITIGKEIT - 'Im Reich der Lichter' heißt dieses Magritte-Bild von 1954. Er schrieb dazu: 'Die Landschaft lässt an Nacht und der Himmel an Tag denken. Ich finde, diese Gleichzeitigkeit von Tag und Nacht hat die Kraft zu überraschen und zu bezaubern. Ich nenne diese

Kraft Poesie.' Auch in der Quantenwelt gibt es das mysteriöse Phänomen der Gleichzeitigkeit: Ein Quant kann sich zum selben Zeitpunkt an zwei Orten befinden - AKG / VG BILD-KUNST

DOUBLETTE - Quantenphysiker halten für möglich: Wenn Quanten in einer geheimnisvollen Verbindung miteinander stehen - dann könnte im gesamten Kosmos alles mit allem zusammenhängen. Gestützt wird diese Überlegung dadurch, dass es in der Natur viele 'morphologische Grundmuster' gibt. So ähnelt beispielsweise das Computerbild eines Rubidium-Atoms (rechts) verblüffend dem Urzeittierchen Trilobit (darunter), das vor Hunderten von Jahrmillionen die Weltmeere bevölkerte - CREATION OF POLAR AND NONPOLAR ULTRA-LONG-RANGE RYDBERG MOLECULES, C.H. GREENE, A.S. DICKINSON, AND H.R. SADEGHPOUR, PHYSICAL REVIEW LETTERS 85, P. 2458 (2000) - AGENTUR FOCUS/SPL

Quelle: PMO

PM



HISTORISCHES EXPERIMENT
 Mit diesem Versuch wurde Anfang der 1980er Jahre das erste Mal experimentell ein Informationsparadoxon (ein Paradoxon) nachgewiesen. In dem Versuch wurde ein Teilchenpaar erzeugt, das sich in entgegengesetzte Richtungen (rote Pfeile) bewegt. Jedes Teilchen wird in einem Kristallkasten (gelb) in einen Kristall geschossen, der durch ein Vibrationsgerät in Schwingung versetzt wird. Durch das Rütteln wird der Kristall wie ein Pendel in Schwingung versetzt. Die Photonenpaare werden durch einen beweglichen Spiegel (B) in zwei Richtungen weitergeleitet. Entweder werden sie in den Anankunftskasten (A) oder in den Anankunftskasten (C) weitergeleitet. Die Zeit, die die Teilchen benötigen, um den Anankunftskasten zu erreichen, wird durch einen Computer registriert. Die Zeit, die die Teilchen benötigen, um den Anankunftskasten zu erreichen, wird durch einen Computer registriert. Die Zeit, die die Teilchen benötigen, um den Anankunftskasten zu erreichen, wird durch einen Computer registriert.

1: Ein Laserstrahl wird via Reflektor in einen Kristall gelenkt. Die aufgenommenen Energie wird wieder abgegeben: in Form eines Photonen-Zwillingspaares

2: Die beiden Photonen fliegen durch jeweils eines der beiden Glasfaserkabel (gelb) in entgegengesetzte Richtungen (rote Pfeile) weiter

3: Ein Kabel führt zur Versuchsanordnung unten, das andere zu einer identischen Anlage 55 m entfernt. Dabei durchlaufen beide Photonen aber exakt dieselbe Kabellänge, bevor sie jeweils auf das erste Hindernis treffen: einen vibrierenden Kristalkasten (gelb)

4: Jedes Photon schießt in einen Kristall-Kasten (gelb), der durch ein Vibrationsgerät in Schwingung versetzt wird. Durch das Rütteln wird der Kristall wie ein Pendel in Schwingung versetzt. Die Photonenpaare werden durch einen beweglichen Spiegel (B) in zwei Richtungen weitergeleitet. Entweder werden sie in den Anankunftskasten (A) oder in den Anankunftskasten (C) weitergeleitet. Die Zeit, die die Teilchen benötigen, um den Anankunftskasten zu erreichen, wird durch einen Computer registriert.

5: Sobald ein Photon den beweglichen Spiegel trifft, wird es entweder auf den Anankunftskasten (A) oder auf den Anankunftskasten (C) weitergeleitet. Die Zeit, die die Teilchen benötigen, um den Anankunftskasten zu erreichen, wird durch einen Computer registriert.

6: Wird das Photon entweder vom stärkeren Spiegel A oder beweglichen Spiegel B reflektiert und hat es den Kristall-Kasten in umgekehrter Richtung passiert, dann fließt es im Glasfaserkabel C weiter

7: Ziel des Hindernis-Paares: ein Detektor, der in einem mit flüssigem Stickstoff gefüllten Behälter steckt. Hier wird exakt die Ankunftszeit des Photons registriert und an den Computer weitergeleitet

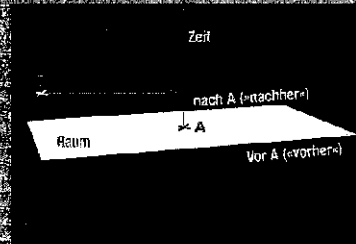
8: Der Computer vergleicht die Ankunftszeit des Photons in der Versuchsanordnung vorn und des Photons in der identischen Anlage hinten. Wenn die Zeiten differieren, haben beide unterschiedlich lange Wege zurückgelegt – das eine über Spiegel A, das andere über Spiegel B. Wenn die Zeiten aber gleich sind, haben sich die Photonen identisch verhalten: Dann haben beide den Weg entweder über A oder über B genommen. Dann läge ein mysteriöser Fall von gegenseitiger »Absprache« vor

LAURENT HINDRYKYLE MACHINE A REVERSISSEMENT

Quelle: PMO

PM

1905 – EINSTEIN – JEDE URSACHE HAT EINE WIRKUNG / KAUSALITÄT

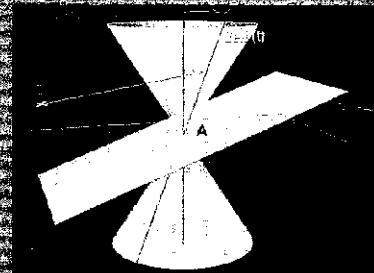
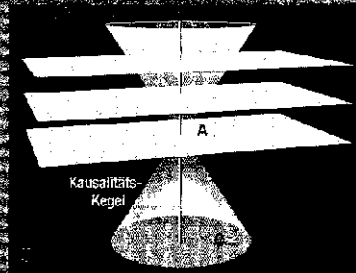


RAUM UND ZEIT

Einsteins Relativitätstheorie liefert die Grundlage für das Experiment von Prof. Suarez. Oben: Die horizontale Ebene stellt den Raum dar, der vertikal durch die Zeit. Jedes Ereignis tritt an einem bestimmten Punkt im Raum ein. Alles, was sich danach abspielt (B), ereignet sich 'nachdem', also nach A. Alles, was sich davor abspielt (C), ereignet sich 'vorher', also vor A.

EINFLUSSZONE

Das Ereignis A kann sich nur innerhalb einer bestimmten Einflusszone (hellblau) auswirken. Die Einflusszone ist durch die Lichtgeschwindigkeit begrenzt. Keine Wirkung kann schneller sein als das Licht. Ein spätes Ereignis (B) außerhalb der Zone steht als 'in einem kausalen Zusammenhang' mit A ('Raumzeitliche Kausalität').



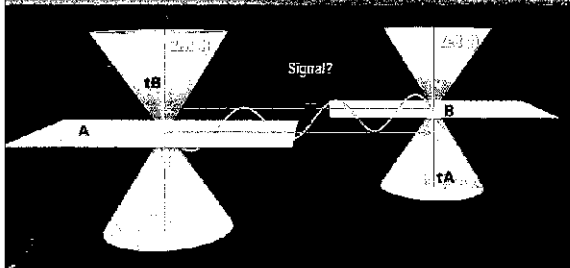
KAUSALITÄTSKEGEL

Da sich die kausale Einflusszone im mehrdimensionalen Raum erstreckt, ergibt sich ein Kausalitätskegel (C). Er reicht symmetrisch in Vergangenheit und Zukunft. Alle Ereignisse für die A der Grund sein könnte, spielen sich im Kegelmantel ab.

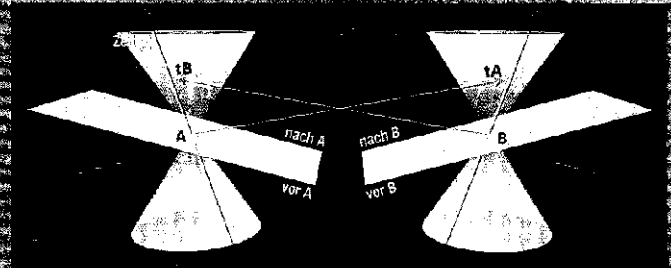
RELATIVITÄTSTHEORIE

Einsteins erkannte: Wenn ein Ereignis A in einem System stattfindet, das sich in Bezug auf B bewegt (fliegt), dann verschieben sich die Raum-Zeit-Achsen (Raum und Zeit (->vorther- und ->achter-) werden relativ).

1982 – DAS EXPERIMENT VON PROF. ASPECT – ES GIBT AUCH WIRKUNGEN OHNE URSACHE



2004 – DAS EXPERIMENT VON PROF. SUAREZ – ES GIBT Sogar AKAUSALE WIRKUNGEN, BEI DENEN KEINE ZEIT VERGEHT



AKAUSALITÄT

Hier werden die Ereignisse A und B in Systemen beobachtet, die nicht in Bewegung sind. Prof. Aspect schickte die Paare von Lichtteilchen auf fest stehende Spiegel. Die Anknüpfungsteilchen ist Ereignis A, die Anknüpfungsteilchen ist Ereignis B. Jedes Ereignis befindet sich außerhalb des Kausalitätskegels des anderen. Es kann also keine kausale Verbindung geben. Das Experiment aber zeigt zwischen Photonen gleiches Verhalten ohne Ursachen ('Akausalität') – ein überlichtschnelles Signal?

ZEITSTILUSTAND

Dasselbe Experiment wie bei Aspect (1) – allerdings mit Spiegeln, die sich schnell voneinander entfernen. Folge: die Raum- und Zeitachsen verschieben sich wie in Darstellung. Für Ereignis A (Anknüpfung eines Photons an Spiegel) tritt das Ereignis B (Anknüpfung des anderen Photons an seinem Spiegel) ein, nachdem A selbst schon stattgefunden hat. Für Ereignis B tritt das Ereignis A ein, nachdem B schon stattgefunden hat. Schlussfolgerung: Kein Photon hat Zeit auf das andere einzuwirken. Prof. Suarez: In der Quantenwelt gibt es Wirkungen, ohne dass Zeit vergeht.