

BLOG: BEOBACHTUNGEN DER WISSENSCHAFT

Verschränkung – Von einem bizarren und lange unverständenen Quantenphänomen zu einer Schlüsseltechnologie des 21. Jahrhunderts

28. Januar 2018 | Von Lars Jaeger | 19 Kommentare



Im Jahr 1981 hielt der berühmte theoretische Physiker Richard Feynman eine

vielbeachtete Rede, in der er einen Gedanken entwickelte, der Physiker und Ingenieure bis heute in Atem hält. Er entwarf die Vision einer ganz neuen Art von Computer, der heutige Hochleistungs-Computer aussehen lassen würde wie einen Commodore 64 aus den frühen 1980er Jahren: ein „Quantencomputer“. Grundlage eines solchen Computers ist das wohl ominöseste Phänomene in der Quantenwelt, das bereits den Gründungsvätern der Quantentheorie viel Kopfzerbrechen bereitete: die *Verschränkung* von Quantenteilchen.

Damals nur ein verwegener Gedanke eines einzelnen visionär denkenden Physikers treibt die Idee Feynmans heute eine ganze Schar von Physikern und Ingenieuren an, und mit ihnen milliardenschwere Investoren, die bereits die nächste technologische Revolution mitsamt beträchtlichem Gewinnpotential wittern. Sie alle wissen: Quantencomputer, einmal aus den Kinderschuhen er-

wachsen, werden ein neues Zeitalter in der Datenverarbeitung einleiten. Sie könnten das 21. Jahrhundert ähnlich prägen, wie die Entwicklung digitaler Schaltkreise das 20. Jahrhundert. Aber es ist nicht nur der Quantencomputer, der seit einigen Jahren die Herzen der Physiker höher schlagen lässt. Seit Beginn der 2000er-Jahre zeichnet sich eine *breite* neue Quantenrevolution ab. Sie hat auch bereits einen Namen: *Quantum 2.0*.

Ohne Zweifel ist die Quantentheorie die einflussreichste Theorie des 20. Jahrhunderts. Zahlreiche auf Quantenphysik beruhende Technologien sind nicht mehr aus unserem heutigen Alltag wegzudenken: Elektronische Bauteile und integrierte Schaltungen auf Halbleiterchips, Laser, Elektronenmikroskop, LED-Licht, spezielle Festkörper-Eigenschaften wie die Supraleitung, besondere chemische Verbindungen oder auch die Magnetresonanztomografie. Und nicht zuletzt beruhen die Nukleartechnologien auf den Gesetzen in der Quanten-

welt. So war die allererste technische Anwendung der Quantentheorie die furchtbarste Waffe, die jemals militärisch eingesetzt wurde: die Atombombe.

Alle *heutigen* Quantentechnologien besitzen eine Gemeinsamkeit: Sie beruhen auf den Eigenschaften *großer Ensembles von Quantenteilchen* und der Möglichkeiten ihrer Kontrolle: der Steuerung des Flusses *vieler* Elektronen, der gezielten Anregung einer *großen* Anzahl von Photonen, der Messung des Kernspins *massenhafter* Atomen. Beispiele sind der Tunneleffekt beim Transistor, die Kohärenz von Photonen beim Laser, die Spin-Eigenschaften vieler Atome bei der Magnetresonanztomographie oder die Quantensprünge in einer Atomuhr. An die damit verbundenen bizarren Quanteneffekte wie Quantentunneln oder der Wellencharakter von Materie haben sich die Physiker längst gewöhnt. Denn das statistische Verhalten eines Ensembles von vielen Quantenteilchen lässt sich mit der seit nun 90 Jahre etablierten Quantentheorie (der

Schrödinger-Gleichung) sehr gut erfassen, und die darin ablaufenden Prozesse sind noch einigermaßen anschaulich beschreibbar.

Bei der sich abzeichnenden zweiten Generation von Quantentechnologien steht dagegen etwas ganz Neues im Vordergrund: die gezielte Präparation, Kontrolle, Manipulation und nachfolgende Auslese der Zustände *einzelner Quantenteilchen* und ihre Wechselwirkungen miteinander. Hier rückt mit der Verschränkung genau jene Eigenschaft der Quantenwelt ins Zentrum, die die frühen Quantentheoretiker um Einstein Bohr und Co so sehr verwirrte und deren fundamentale Bedeutung die Physiker erst viele Jahre nach der ersten Formulierung der Quantentheorie vollständig erkannten. Sie beschreibt, wie sich eine beschränkte Anzahl von Quantenteilchen in einem Zustand befinden kann, in denen diese sich so verhalten, als wären sie mit einer Geisterhand aneinandergespleißt, auch wenn sie räumlich weit voneinander entfernt

sind. Jedes Teilchen „weiss“ dann sozusagen, was die anderen gerade treiben. Sie gehören allesamt einer gemeinsamen physikalischen Entität (die Physiker sagen: einer einzigen „Wellenfunktion“) an. Zwischen den Teilchen besteht dann eine Korrelation, die eine instantane (d.h. ohne jegliche Zeitverzögerung) Vorhersage darüber erlaubt, welcher Zustand für ein Teilchen realisiert ist, wenn man gerade ein anderes gemessen hat, auch dann, wenn viele Kilometer zwischen ihnen liegen. Es ist so, als wenn jemand in Deutschland instantan spüren würde, was seinem Zwilling in Australien gerade passiert. Es sollte fast 50 Jahre dauern, bis die Physiker dieses merkwürdige Phänomen der Quantenwelt so richtig verstanden hatten, und noch heute kommt es vielen von ihnen als Magie vor. Nicht weniger magisch erscheinen die mit ihm möglich werdenden Technologien.

So sind in den letzten Jahren weltweit zahlreiche Forschungszentrum für neue

Quantentechnologien entstanden, und zahlreiche staatliche Förderprojekte wurden ausgerufen mit Zuwendungen in Milliardenhöhe. Beispiele sind das kanadische *Institute for Quantum Computing* mit einer Anlauffinanzierung von rund 300 Millionen Dollar, das *Centre for Quantum Technologies* in Singapur, das *Joint Quantum Institute* in den USA, das *Engineering and Physical Sciences Research Council* in Großbritannien, und das *QuTech* in den Niederlanden. Und auch die Europäer sind unterdessen aktiv geworden: Im Jahr 2016 unterzeichneten 3.400 Wissenschaftler das *Quantum Manifesto*, einen Aufruf zur Förderung der Koordination zwischen Hochschulen und Industrie zwecks der Erforschung und Entwicklung von neuen Quantentechnologien in Europa. Darin heisst es:

„Europa braucht jetzt strategische Investition, um die zweite Quantenrevolution anzuführen. Auf seiner wissenschaftlichen Exzellenz aufbauend hat Europa die Ge-

legenheit, eine wettbewerbsfähige Industrie für langfristigen Wohlstand und Sicherheit zu schaffen.“

Diesen Ansatz hat schliesslich auch die Politik aufgegriffen: So beschloss die EU-Kommission, ein Flagship-Projekt für die Forschung an Quantentechnologien in den kommenden zehn Jahren mit einer Milliarde Euro zu fördern. Das ist eine Menge Geld für die chronisch schwachen Haushalte der europäischen Länder. Das Projekt konzentriert sich auf vier Quantentechnologien: Kommunikation, Computing, Sensoren und Simulationen. Konkrete neue Technologien, die daraus entstehen könnten, sind:

- Sichere Kommunikation durch die Quantenkryptologie: Die Eigenschaften verschränkter Quantenteilchen ermöglichen es, absolut sichere Verschlüsselungen zu produzieren.

- Quanteninformationsübertragung: Dies umfasst die Möglichkeit, Quanteninformation (Qubits) über große räumliche Distanzen zu transportieren, was oft als „Quantenteleportation“ bezeichnet wird. Dies könnte den Weg zu einem Quanteninternet ebnen.
- Hochempfindliche Quantensensoren: Verschränkte Quantenzustände erlauben vielfach genauere Messungen diverser physikalischer Variablen wie Zeit, Gravitationskräfte oder elektromagnetische Felder. Grundlage dafür ist die extreme Empfindlichkeit der Verschränkung gegenüber äußeren Einwirkungen.
- Nachbau biologischer Systeme, etwa bei der Herstellung eines künstlichen Blattes zur Energieumwandlung durch Photosynthese, bei der Quanteneffekte eine bedeutende Rolle spielen
- Und schliesslich das ultimative Ziel: Eine neue Ära des Rechnens mit der

Entwicklung eines Quantencomputers.

Auch die Industrie ist längst auf die neuen Möglichkeiten der Quantentechnologien aufmerksam geworden. Firmen wie IBM, Google und Microsoft erkennen in ihnen neue Milliardenengeschäfte und investieren massiv in die Forschung darüber, wie sich verschränkte Quantenzustände technologisch ausnutzen lassen. Beispiele dafür sind Partnerschaften von Google mit zahlreichen akademischen Forschungsgruppen, das kanadische Unternehmen *D-Wave Systems Quantum Computing* und die Investitionen vieler britischer Unternehmen im *UK National Quantum Technologies Programme*.

Regierung und Unternehmen haben längst verstanden: Die Quantentechnologien 2.0 sind Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts. Das Verständnis des bizarren und lange unverstanden gebliebenen Phänomens der Ver-

schränkung eröffnet uns zuletzt also einen Blick in eine scheinbar weit entfernte technologische Zukunft, die uns mit Sicherheit aber schon bald bevorsteht.



Veröffentlicht in: **Allgemein**



Veröffentlicht von **Lars Jaeger**

www.larsjaeger.ch

Jahrgang 1969 habe ich in den 1990er Jahren Physik und Philosophie an der Universität Bonn und der École Polytechnique in Paris studiert, bevor ich am Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme in Dresden im Bereich theoretischer Physik promoviert und dort auch im Rahmen von Post-Doc-Studien

weiter auf dem Gebiet der nichtlinearen Dynamik geforscht habe. Vorher hatte ich auch auf dem Gebiet der Quantenfeldtheorien und Teilchenphysik gearbeitet. Unterdessen lebe ich seit nahezu 20 Jahren in der Schweiz. Seit zahlreichen Jahren beschäftigte ich mich mit Grenzfragen der modernen (sowie historischen) Wissenschaften. In meinen Büchern, Blogs und Artikeln konzentriere ich mich auf die Themen Naturwissenschaft, Philosophie und Spiritualität, insbesondere auf die Geschichte der Naturwissenschaft, ihrem Verhältnis zu spirituellen Traditionen und ihrem Einfluss auf die moderne Gesellschaft. In der Vergangenheit habe ich zudem zu Investment-Themen (Alternative Investments) geschrieben. Meine beiden Bücher „Naturwissenschaft: Eine Biographie“ und „Wissenschaft und Spiritualität“ erschienen im Springer Spektrum Verlag 2015 und 2016. Meinen Blog führe ich seit 2014 auch unter www.larsjaeger.ch.

19 Kommentare



Martin Holzherr

Antworten

Ja, auch Quantentheorie-basierte -Messungen (quantum Meteorology), – Sensoren, – Datenübertragungen gehören zu den Technologien der 2. Quantenrevolution, nicht nur die vielbeschworenen Quantencomputer – wobei gerade diese Quantencomputer jetzt kurz vor 2020 grosse Fortschritte machen. Feynman dachte erstmals an den Sinn von Quantencomputern als er den exponentiell zunehmenden Rechenaufwand für die Berechnung von immer grösseren Molekülen erkannte, denn die Elektronen, welche die chemischen Bindungen bilden, sind alle verschränkt und je mehr Komponenten verschränkt sind, desto grösser wird der Rechenaufwand für einen konventionellen Computer – nicht aber für einen Quantencomputer. Quantencomputer können bei vielen Optimierungsproblemen wie sie etwa in der Künstlichen Intelligenz auftauchen auftrumpfen, ja bei entsprechender Anzahl QBits des Quantencomputers das Optimierungsproblem überhaupt erst lösbar machen. Doch bis zu solchen Quantencomputern mit vielen QBits und mit Fehlerkorrektur ist es noch ein weiter Weg, denn die dafür nötigen völlig nach aussen isolierten, mit nichts anderem interagierenden Systeme, verlangen eine Präzision, die selbst diejenige, die im Halbleitersektor üblich ist, deutlich übersteigen. Anders als bei den Technologien des 19. und 20. Jahrhunderts ist hier mit Entwicklungszeiten von vielen Jahrzehnten zu rechnen. Erst heute haben wir das Wissen und Vertrauen in die dahintersteckende Wissenschaft und Technologie um solche langfristigen Ziele verfolgen zu können.

Karl Bednarik

Antworten

Die Kommunikation mit verschränkten Photonenpaaren kann prinzipiell nicht abgehört werden.

Das gilt für die Anordnung Sender-Lichtleiter-Empfänger.

Wenn der Abhörende aber noch eine Empfänger-Draht-Sender-Gruppe einbaut, dann funktioniert das Abhören wieder.

Das sieht dann so aus:

Sender-Lichtleiter-Empfänger-Draht-Sender-Lichtleiter-Empfänger.

Es handelt sich dann dabei um zwei von einander unabhängige im einzelnen nicht abhörbare Verbindungen.

Das Abhören oder Verfälschen kann dann an der elektrischen Verbindung zwischen Empfänger und Sender stattfinden.

Falls jemand die Laufzeiten zwischen Sender und Empfänger überprüft, dann kann man die fehlende Länge des Lichtleiters durch eine Spule von Lichtleiterfasern ergänzen.

Der Sender kommuniziert ja nur mit dem Abhörenden.

Herr Senf

Antworten



Funktioniert nicht, weil die Zustände nicht geklont werden können.



Karl Bednarik

Antworten

Hallo Herr Senf,
das funktioniert, weil die Zustände gar nicht geklont werden müssen.
Der Sender kommuniziert nur mit dem Abhörenden.
Der Abhörende kommuniziert nur mit dem Empfänger.
Der Sender hat keinerlei Kontakt mit dem Empfänger.
Mit freundlichen Grüßen, Karl Bednarik.



Dr. Webbaer

Antworten

Die Kommunikation mit verschränkten Photonenpaaren kann prinzipiell nicht abgehört werden.

Irgendwo hat der Schreiber dieser Zeilen gelesen, dass es auch dann -theoretisch!- möglich wäre parallel zur Verbindung stehende Gerätschaft aufzubauen, die n sogenannten Quantenkanälen, äußerlich, sozusagen mitschwingt und in der Lage ist die Daten zu kopieren, vglw. auch hiermit :

-> **https://en.wikipedia.org/wiki/Quantum_key_distribution#Attacks_and_security_proofs**

Zeilinger bspw. ist insofern auch ein wenig vorsichtig und konnte wie folgt feststellen :

-> **<http://www.salzburg24.at/abhoersichere-interkontinentale-quantenkommunikation-getestet/5100616>** (Zitat : 'Sie war dadurch eine Million Mal sicherer gegen Abhören als alles was sonst derzeit möglich ist' + ' Für Zeilinger ist das "der Schritt in ein zukünftiges Quanteninternet, wo man wirklich sicher sein kann, dass das, was man ins Netz schickt, oder das was von dort zurückkommt, sicher ist".' – also ist keine absolute Abhörsicherheit feststellbar)

Philosophisch angemerkt kann verschlüsselter und somit i.p. Information stattfindender Austausch zwischen A und B nur stattfinden, wenn die Kodierungsvorschriften nur zwischen A und B geteilt bleiben.

MFG

Dr. Webbaer



Dr. Webbaer

Antworten

*

die [i]n sogenannten Quantenkanälen

**

‘Sie war dadurch eine Million Mal sicherer gegen Abhören als alles was sonst derzeit möglich ist’
[Zeilinger] – hier gilt es aufzuhorchen, i.p. Mengenangabe, Zeilinger ist stets “diplomatisch”.



Immanuel Quant

Antworten

Nicht die Kommunikation läuft über verschränkte Paare, sondern lediglich der Schlüsselaustausch.
Direkt über verschränkte Paare zu kommunizieren, funktioniert beweisbar nicht (vgl. Bellsches Telefon).

Martin Holzherr



Antworten

Lesenswert ist das **Interview mit Professor Martinis im Spektrum 2/18** (das aktuelle), in dem er über eine 49 QBit-Computer berichtet, den er gerade für Google aufbaut (Frühling/Sommer 2018 als Zieldatum). Die Fehlerrate für eine QBit-Operation dieses Google-Quantencomputers beträgt 0.5%, womit ihr Quantencomputer sehr viel mehr Quantenoperationen hintereinander ausführen kann, ohne die Kohärenz zu verlieren als etwa der geplante IBM-Quantencomputer mit einer Fehlerrate von 5% pro Operation. Mit 50 QBits und einer genügend langen Sequenz von Quantenoperationen sei theoretisch bereits Quantum-Supremacy (Überlegenheit über konv.Computer) möglich, denn ein auf einem konventionellen Computer laufendes Quantensimulationsprogramm scheitere am mit der Anzahl der Operationen zunehmenden Speicherbedarf.



Martin Holzherr

Antworten

Hochaktuell ist die Satelliten-Quantenkommunikation über ultralange Distanzen über die im arxiv-Artikel **Satellite-relayed intercontinental quantum network** berichtet wird. In der Kurzzusammenfassung liest man (übersetzt von DeepL):

Wir führen eine Quantenschlüsselverteilung zwischen einem Satelliten mit niedriger Erdumlaufbahn und mehreren Bodenstationen in Xinglong, Nanshan und Graz durch, die sichere Schlüssel mit einer Frequenz von ~kHz pro Durchgang des Satelliten Micius über eine Bodenstation herstellen. Der Satellit stellt damit einen sicheren Schlüssel zwischen sich selbst und z.B. Xinglong und einen weiteren Schlüssel zwischen sich und z.B. Graz her. Dann, auf Anfrage des Bodenbefehls, fungiert Micius als vertrauenswürdiges Relais. Es führt bitweise exklusive ODER-Operationen zwischen den beiden Schlüsseln durch und leitet das Ergebnis an eine der Bodenstationen weiter. Auf diese Weise entsteht ein geheimer Schlüssel zwischen China und Europa an Orten, die durch 7600 km auf der Erde getrennt sind. Diese Schlüssel werden dann für die interkontinentale quantengesicherte Kommunikation verwendet. Dies war zum einen die Übertragung von Bildern in einer einmaligen Pad-Konfiguration von China nach Österreich sowie von Österreich nach China. Außerdem wurde eine Videokonferenz zwischen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und der Chinesischen Akademie der Wissenschaften durchgeführt, die auch eine 280 km lange optische Bodenverbindung zwischen Xinglong und Peking beinhaltete. Unsere Arbeit zielt darauf ab, eine effiziente Lösung für ein globales Quantennetzwerk mit ultralangen Entfernungen zu finden, die den Grundstein für ein zukünftiges Quanteninternet legt.

Martin Holzherr



Viele Quantenteilchen im Gleichtakt (im gleichen Quantenzustand) ermöglichen überhaupt erst die heutige 2. Quantenrevolution wie Lars Jaeger oben schreibt (Zitat):

Alle heutigen Quantentechnologien besitzen eine Gemeinsamkeit: Sie beruhen auf den Eigenschaften großer Ensembles von Quantenteilchen und der Möglichkeiten ihrer Kontrolle: der Steuerung des Flusses vieler Elektronen, der gezielten Anregung einer großen Anzahl von Photonen, der Messung des Kernspins massenhafter Atomen

Eine grosse Anzahl gleichgeschalteter Quantenteilchen machen aus der Quantentheorie, die man früher für allem für Phänomene auf der atomaren- und subatomaren Ebene verantwortlich machte, eine Theorie auch für Phänomene, die so gross sind, dass man sie direkt mit blossen Auge beobachten kann wie etwa eine ganze Gaswolke, in der alle Atome sich im gleichen Quantenzustand befinden, etwas was man ein Bose-Einstein-Kondensat nennt. Allerdings sind solche makroskopischen Quantenobjekte nur unter Extrembedingungen "haltbar", sie überleben nur dann Sekunden, wenn sie von der Umgebung völlig isoliert und meist auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt gekühlt sind. Auch für die Quantencomputer von Proffessor John Martinis, der für Google arbeitet, gilt das. Sie werden in einem Kryostaten bei 1 Tausendstel Kelvin, also einem Tausendstel Grad über dem absoluten Nullpunkt betrieben. Das bedeutet natürlich auch, dass es nie Quantencomputer geben wird, die als Chip in unseren Smartphones eingebaut sein werden. Quantencomputer werden immer in einer Umgebung arbeiten, die eher an den Weltraum als an eine irdische Umgebung erinnern. Trotzdem können später einmal alle Quantencomputerleistungen beanspruchen, indem sie sie über das Internet, die Cloud in

Anspruch nehmen.



Martin Holzherr

Antworten

Warum wirklich leistungsfähige Quantencomputer noch viele Jahre der Entwicklung brauchen zeigt der Quanta-Artikel **The Era of Quantum Computing Is Here. Outlook: Cloudy**

Der wichtigste Grund sind die unvermeidlichen Fehler beim Quantencomputing. Diese können mit KorrekturQBits aufgefangen werden, wobei es typischerweise ein Vielfaches von KorrekturQBits braucht als es "Arbeits-"QBits hat.

Die Quantencomputer, die jetzt bald zur Verfügung stehen, haben noch keine solchen Fehlerkorrekturen eingebaut und liefern deshalb oft fehlerhafte Resultate. Indem man die gleiche Quantenberechnung mehrmals wiederholt kann man aber das Vertrauen in die Korrektheit des Resultats erhöhen.

Martin Holzherr

Antworten



New algorithm for simulating the structure of quantum systems on a quantum photonic chip

berichtet über einen Quantenalgorithmus für die Berechnung/Simulation der Energiestruktur von Quantensystemen (Grund- und angeregte Zustände) womit chemische und physikalische Systeme untersucht werden können. Zitat (übersetzt von DeepL):

Es wird erwartet, dass große Quantencomputer in der Lage sein werden, komplexe chemische Systeme zu simulieren, eine Aufgabe, die für klassische Computer unmöglich ist, und die unser Wissen über Physik und Chemie erweitert.

Zu den Zeitperspektiven sagt der Artikel (übersetzt von DeepL):

Es wird erwartet, dass große Quantencomputer in der Lage sein werden, komplexe chemische Systeme zu simulieren, eine Aufgabe, die für klassische Computer unmöglich ist, und die unser Wissen über Physik und Chemie erweitert.

Fortschrittliche Quantencomputer werden leistungsfähige Anwendungen ermöglichen, und dies wird voraussichtlich in den nächsten Jahrzehnten möglich sein, wenn Quantencomputer mit etwa 200 Qubits verfügbar sein werden.

Fazit: Die meisten Forscher erwarten, dass Quantencomputer mit 200 Arbeits-Qubits, zu denen viele tausende Korrektur-QBits gehören, erst in Jahrzehnten bereit sein werden. Immerhin: Zukünftige

Physikstudenten müssen wohl nicht um eine Arbeitsstelle fürchten. Wobei Quantencomputing nur eine von vielen “Beschäftigungsmöglichkeiten” von Physikern sein werden.



fossilium

Antworten

Hallo Herr Jäger,

der Titel Ihres Betrages suggeriert, daß die Quantenverschränkung lange nicht verstanden wurde, aber nun irgendwie verstanden sei. Das ist nicht richtig. Sie ist genauso unverstanden wie früher.

Das hindert allerdings nicht an Ihrer Nutzung, die wie beschrieben im Gange ist.

Grüße Fossilium

Martin Holzherr

Antworten



Ja, da stimme ich ihnen für einmal zu, denn die Mathematik, die die Quantenverschränkung (unter anderem) beschreibt hat sich seit den 1930er Jahren meines Wissens nicht geändert. Es sind höchstens ein paar Interpretationen dazugekommen. Doch Interpretationen (was bedeutet das, was die Mathematik beschreibt) ändern in der Physik nicht allzuviel – zumal Interpretationen ja keine neuen Physikphänomene hervorbringen.

Was dann hat sich geändert, dass es erst jetzt zur zweiten Quantenrevolution gekommen ist? Ich vermute: Hier sind (für einmal) die Experimentalphysiker verantwortlich. Sie haben die Quantentheorie (die erste Quantenrevolution) schlicht verschlafen und erst sehr spät Experimente entwickelt, die die Quantenverschränkung auf den Prüfstand gestellt haben, indem beispielsweise Alain Aspect 1982 (erst 1982) in Experimenten nachwies, dass bei der Quantenverschränkung die Bellschen Ungleichungen verletzt werden, womit er zeigte, dass die Quantenverschränkung sich einer lokal realistischen Interpretation entzieht, was nichts anderes hiess, als dass Einstein und Podolsky falsch lagen und die Verrücktheiten (quantum weirdness), die das Einstein-Podolsky-Paradoxon beschreibt („spooky action at a distance“), entweder tatsächlich auftreten oder aber nach einer radikalen Revision des lokalrealistischen Weltbildes verlangten. Doch selbst die Experimente von 1982 boten noch nicht die Basis für die zweite Quantenrevolution, denn sie eröffneten noch nicht die nötige Manipulierbarkeit von Quantenensembeln. Das änderte sich erst mit der Schaffung von Bose-Einstein Kondensaten im Juni und September 1995 – also quasi gestern. Dabei wurden Bose-Einstein Kondensate schon 1924 von

Einstein vorausgesagt. Wiederum haben die Experimentalphysiker geschlafen – oder aber sie waren bis 1995 nicht in der Lage, die Laborbedingungen für so etwas wie Bose-Einstein Kondensate zu schaffen.



Martin Holzherr

Antworten

Eine der ersten Anwendungen von Quantencomputern ist die Künstliche Intelligenz, sind tiefe neuronale Netze, denn die dort auftauchenden Optimierungsprobleme können nicht selten von Quantencomputern gelöst werden, teilweise sogar von adiabatischen Quantencomputern wie die von DWave, die keine allgemeine Quantenrechnungen durchführen können, sondern die nur in der Lage sind, das Optimum (Minimum) eines Optimierungsproblems zu lösen. Darüber berichtet der Quanta-Artikel **Job One for Quantum Computers: Boost Artificial Intelligence**



Rudi Knoth

Antworten

Beispiele sind der Tunneleffekt beim Transistor,

Gibt es in einem pnp oder npn Transistor oder gar im MOSFET einen Tunneleffekt? In einem pnp oder npn Transistor ist die Basis zwar dünn, aber es tritt noch kein Tunneleffekt auf. Erst recht gilt dies für FET und MOSFET. Es gibt zwar die Tunneldiode mit einer sehr dünnen Sperrschicht, bei der der Tunneleffekt auftritt. Aber meines Wissens nicht im gewöhnlichen Transistor.



Martin Holzherr

Antworten

@Rudi Knoth: Anstatt *Beispiele sind der Tunneleffekt beim Transistor* müsste es wohl heissen *Beispiele sind der Tunneleffekt beim Tunneleffekt-Transistor* oder vielleicht sogar *Beispiele sind der Tunneleffekt bei der **Josephson junction*** (*The Josephson effect is an example of a macroscopic quantum phenomenon (tunneling of superconducting Cooper pairs.)*)



Rudi Knoth

Antworten

Das kommt wohl eher hin. Danke nochmal. Den Josephson-Effekt hatte ich im

Experimentalphysikpraktikum dann aber eher mit einer Simulation mit PLL-Schaltkreisen untersucht. Es gibt noch einen Tunneleffekt, in dem die supraleitenden Materialien verschieden sind.



Frank Wappler

Antworten

fossilum schrieb (29. Januar 2018 @ 20:05):

> *daß die Quantenverschränkung lange nicht verstanden wurde, aber nun irgendwie verstanden sei [...] ist nicht richtig.*

> *Sie ist genauso unverstanden wie früher.*

Seit **Malus "sein Gesetz" aufstellte** kann die Quantenverschränkung allerdings als verstanden gelten:

"Winkel α zwischen

Analysator (a_oder_nicht-a) und Analysator (b_oder_nicht-b),

für eine bestimmte in Betracht stehende Menge von Versuchen"

=(ist-definiert-als)=:

```
ArcSin[
(Anzahl_der_Versuche_mit_a_und_b +
Anzahl_der_Versuche_mit_nicht-a_und_nicht-b -
Anzahl_der_Versuche_mit_nicht-a_und-b -
Anzahl_der_Versuche_mit_a_und_nicht-b)
/
(Gesamte_Anzahl_der_Versuche)
].
```

Schreibe einen Kommentar

Nachricht (Pflichtfeld)

Name (Pflichtfeld)

Email (Pflichtfeld)

Webseite

E-Mail-Benachrichtigung bei weiteren Kommentaren.

-- Auch möglich: **Abo ohne Kommentar.** +



Senden

Vorschau

« VORHERIGER ARTIKEL

©2018 Beobachtungen der Wissenschaft | **SciLogs - Wissenschaftsblogs** |

Über SciLogs | Impressum | Nutzungsbedingungen | Datenschutz