

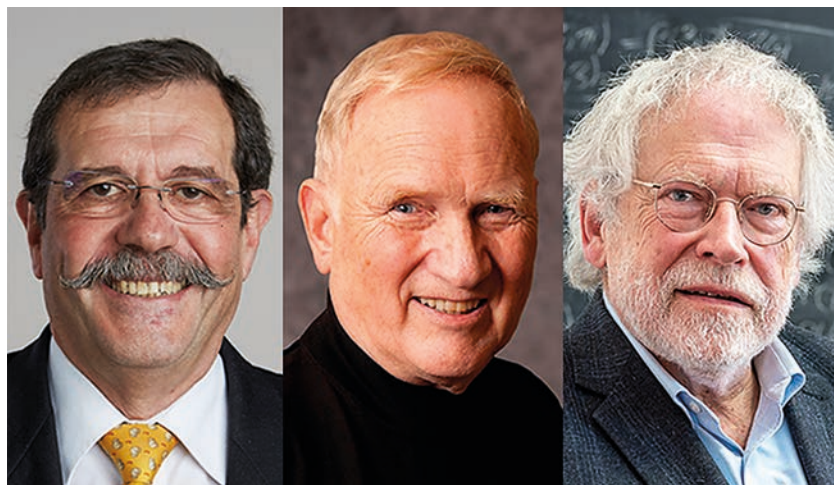
Vom Gedankenexperiment zur Quantentechnologie

Alain Aspect, John Clauser und Anton Zeilinger erhalten den Physik-Nobelpreis 2022 für ihre bahnbrechenden Experimente mit verschränkten Quantenzuständen.

Der diesjährige Physik-Nobelpreis würdigt Forschungen, die eine zentrale Rolle auf dem weiten Weg von der Grundlagenforschung bis zur Anwendung spielen, in diesem Falle bei der quantenmechanischen Verschränkung. Alain Aspect, John F. Clauser und Anton Zeilinger teilen sich den Preis für ihre „Experimente mit verschränkten Photonen, welche die Verletzung der Bell-Ungleichungen nachwiesen und den Weg für die Quanteninformationswissenschaft ebneten“. Bei einem verschränkten Paar bestimmt ein Teilchen scheinbar instantan, was mit dem anderen passiert, unabhängig von ihrer Entfernung. Verschränkte Teilchen zeigen somit Korrelationen, die sich nicht klassisch erklären lassen: Diese sind weder durch eine lokale Ursache am Ort ihrer Erzeugung begründet, noch beruhen sie auf einem Austausch von Informationen, denn dieser müsste überlichtschnell geschehen.

Lange Zeit stellte sich die Frage, ob sich die „spukhafte Fernwirkung“ dieser Korrelation darauf zurückzuführen lässt, dass die Teilchen in einem verschränkten Paar „versteckte Variablen“ enthalten, also Anweisungen, die ihnen sagen, welches Ergebnis sie in einem Experiment liefern sollen. Einstein und Schrödinger konnten sich mit einer nichtlokalen Quantenmechanik nicht abfinden und versuchten anhand ausgefeilter Gedankenexperimente wie dem Einstein-Podolsky-Rosen-Effekt zu zeigen, dass die scheinbar paradoxen Folgen der Verschränkung – den Begriff prägte Schrödinger selbst – einer lokal realistischen Physik nicht widersprechen.

In den 1960er-Jahren entwickelte der irische Theoretiker John Stewart Bell die nach ihm benannte mathematische Ungleichung, die besagt, dass bei Vorhandensein verborgener Variablen die Korrelation zwischen den Ergebnissen einer großen Anzahl von Messungen niemals einen bestimmten Wert überschreiten wird. Die Quantenmechanik sagt je-



Royal Society/John Clauser/Jacqueline Godany, Bearbeitung: K. Hirsch

Alain Aspect (geb. 1947 in Agen, Frankreich, links) studierte in Paris und Orsay Physik und Optik. Abgesehen von einem Aufenthalt in Kamerun von 1971 bis 1974 blieb er der französischen Hauptstadt treu: Er forschte und lehrte u. a. am Collège de France, am Laboratoire Kastler Brossel, an der École polytechnique und der École supérieure d'optique.

John F. Clauser (geb. 1942 in Pasadena, Kalifornien, USA, Mitte) studierte am Caltech und promovierte an der Columbia University. Nach Stationen am Lawrence Berkeley National Lab und am Lawrence Livermore National Lab forschte er an der University of California, Berkeley. Seit 1997 arbeitet er selbstständig als Physiker, Berater und Erfinder.

Anton Zeilinger (geb. 1945 in Ried im Innkreis, Österreich) hat Physik und Mathematik an der Universität Wien studiert und mit einer Arbeit zur Neutronendepolarisation promoviert. Der Habilitation an der TU Wien 1979 folgten Aufenthalte in den USA, Frankreich, Australien und Deutschland. Seine erste Professur trat er 1990 an der Universität Innsbruck an; 1999 wechselte er an die Universität Wien. Seit 2004 forschte er außerdem am IQOQI der Österreichischen Akademie der Wissenschaften in Wien.

doch voraus, dass eine bestimmte Art von Experimenten gegen die Bellsche Ungleichung verstößt, was zu einer stärkeren Korrelation führt, als sie klassisch möglich wäre.

Der amerikanische Physiker John F. Clauser entwickelte Bells Ideen weiter. In einem Experiment, das er 1972 zusammen mit seinem Kollegen Stuart Freedman (1944 – 2012) an der University of California (UoC) Berkeley durchführte, maßen die beiden die Korrelationen verschränkter Photonenpaare und realisierten damit ein Analogon zum Stern-Gerlach-Experiment zum Nachweis der Richtungsquantelung. Die Messungen von Clauser und Freedman verstießen gegen eine Bellsche Ungleichung: Die Quantenmechanik ließ sich demnach nicht durch eine Theorie mit versteckten Variablen ersetzen.

Nach diesem wegweisenden Experiment blieben jedoch einige Lücken

(„Loopholes“) für versteckte Variablen bestehen. Zehn Jahre später entwickelten Alain Aspect und seine Mitarbeiter am Institut d'Optique Théorique et Appliquée der Université Paris-Sud den Aufbau von Clauser und Freedman weiter. Sie führten eine Version des EPR-Gedankenexperiments durch. Dabei konnten sie die Messeinstellungen ändern, nachdem ein verschränktes Paar seine Quelle verlassen hatte, sodass die Einstellung zum Zeitpunkt der Emission das Ergebnis nicht beeinflussen konnte.

Anton Zeilinger lotete ab 1990 in Innsbruck und ab 1999 in Wien mit seinen vielseitigen Experimenten zur Verschränkung die Grenzen und Möglichkeiten der Quantenwelt weiter aus. So konnte seine Forschungsgruppe unter anderem 1998 die sogenannte Quantenteleportation nachweisen, d. h. die Übertragung eines Quantenzustands von einem Teilchen

auf ein anderes. 2012 gelang es, den Zustand eines Photons über eine Entfernung von 143 Kilometern von der kanarischen Insel La Palma nach Teneriffa zu übertragen.

Was in der Physik lange theoretisches Kopfzerbrechen verursachte, ist heute Basis bahnbrechender Anwendungen: Quantenmechanische Verschränkung und Teleportation bilden die Grundlage für Quantentechnologien in der Kommunikation, Kryptografie und als Quanten-

computer. „Die Experimente von Aspect, Clauser und Zeilinger zeigen uns, dass die Physik der Quanten eine ganz andere ist als das, was wir um uns herum sehen und typischerweise erleben“, sagt DPG-Präsident Joachim Ullrich. Zusammen mit vielen Journalistinnen und Journalisten verfolgte er im Magnus-Haus Berlin die Live-Übertragung zur Bekanntgabe des Nobelpreises für Physik.

Aspect, Clauser und Zeilinger erhielten bereits 2010 gemeinsam den

Wolf-Preis für ihre grundlegenden konzeptionellen und experimentellen Beiträge zu den Grundlagen der Quantenphysik. OPTICA (früher OSA) und DPG haben Alain Aspect 2012 mit dem Herbert-Walther-Preis ausgezeichnet „für seine bahnbrechenden experimentellen Beiträge auf dem Gebiet der Quantenverschränkung und der Physik kalter Atome“.

Alexander Pawlak

Mit Astrophysik in eine strahlende Zukunft

Das Deutsche Zentrum für Astrophysik entsteht in der Lausitz und soll den Strukturwandel in der Region fördern.

Im Wettbewerb „Wissen.schafft.Perspektiven“ des BMBF¹⁾ ist nach einem anderthalbjährigen Auswahlprozess die Entscheidung über zwei neue Großforschungszentren gefallen: In der Lausitz entsteht das Deutsche Zentrum für Astrophysik; das Center for the Transformation of Chemistry wird im mitteldeutschen Revier angesiedelt. Beide Projekte sollen den Strukturwandel in den Regionen des Braunkohlebergbaus vorantreiben; der Bund, der Freistaat Sachsen und das Bundesland Sachsen-Anhalt sorgen für die Finanzierung. So will allein der Bund bis 2038 insgesamt mehr als 1,1 Milliarden Euro in jedes der Zentren stecken.

Das Deutsche Zentrum für Astrophysik (DZA) ist eine gemeinsame Initiative der Astronomie und Astroteilchenphysik.²⁾ Mehr als tausend Mitarbeitende sollen an den Standorten in Görlitz und im Kreis Bautzen Beschäftigung finden. Das Konzept des DZA hat drei Säulen: astronomische Spitzenforschung, Datenverarbeitung und Green Computing sowie ein Technologiezentrum. In letzterem sollen mithilfe der sächsischen Industrie neue Entwicklungen zu Halbleitersensoren, Silizium-Optiken und Regelungstechniken für Observatorien entstehen. Ziel ist es, das Know-how durch Ausgründungen in hochwertige Arbeitsplätze vor Ort umzusetzen.

Bei der Datenverarbeitung zielt das DZA darauf ab, die Datenströme internationaler astronomischer Einrich-



Günther Hasinger freut sich nach der Entscheidung für das Deutsche Zentrum für Astrophysik.

tungen in Sachsen zu bündeln und der Community weltweit zur Verfügung zu stellen. Um dies zu bewerkstelligen, gilt es, eine ressourcensparende Digitalisierung voranzutreiben und ein nachhaltiges Green Computing zu entwickeln. Beides komme der Gesellschaft auch im Allgemeinen zugute, da die IT sich unaufhaltsam zum größten Stromverbraucher weltweit entwickle. „Dieser Wettbewerb eröffnete Perspektiven und ist ein wichtiges Zeichen für die Zukunft in einer schwierigen Zeit“, sagte der designierte Gründungsdirektor des DZA Günther Hasinger.

In Görlitz ist ein offener Campus für Spitzenforschung auf dem Kahl-

baum-Areal geplant. Eingebettet in die Stadt sollen die Zentren für Astrophysik und Datenwissenschaften, das Technologiezentrum und das Zentrum für Innovation und Transfer entstehen; ein Besucherpark gehört ebenfalls zum Konzept. Das Low Seismic Lab, ein Untergrundlabor zwischen Hoyerswerda, Bautzen und Kamenz, wird in den Tiefen des Granitgesteins der Lausitz gebaut. Probebohrungen an möglichen Standorten sind bereits angelaufen. Die ruhigen geologischen Bedingungen sind ideal

1) Physik Journal, Juni 2022, S. 3 und Oktober 2020, S. 3

2) www.dza-lausitz.de