

Feinheiten der Wellenfunktion

Markus Aspelmeyer und Markus Arndt diskutierten, ob quantenphysikalische Phänomene auch bei großen Massen auftreten. (»Schrödingers Katze auf dem Prüfstand«, Oktober 2012, S. 44)

Norbert Hinterberger, Hamburg: Der Teilchenbegriff ist vermutlich rein subjektiv – intersubjektiv zwar, aber eben subjektiv für den Teil der Welt, den wir klassisch sehen. H. Dieter Zeh hat dazu wiederholt in überzeugender Weise argumentiert. Der Welle-Teilchen-Dualismus scheint physisch diskret nicht vorhanden zu sein. Objektiv beziehungsweise physisch fundamental scheint nur die Welle zu sein. Unter Laborbedingungen (ohne Dekohärenz) lässt sich das ja auch deutlich zeigen, wie wir hier – insbesondere in dem kleinen Film – sehen. Das Molekül wird von den Experimentatoren selbst als Materiewellenüberlagerung beschrieben, sobald wir seine Welleninterferenzen auf dem Schirm sehen. Warum lassen wir es nicht dabei? Was uns an dieser Welle erscheint wie ein »Kollaps der Wellen-

funktion« zu einem »Teilchen« an einem bestimmten Ort zu einer bestimmten Zeit im Fall einer Messung, ist einfach die inzwischen recht bekannte Tatsache, dass wir mit der Messung wie mit jeder beliebigen anderen Wechselwirkung auch das zu messende System stören oder zerstören beziehungsweise zur Dekohärenz bringen. Das heißt aber nicht, dass die Superposition »kollabiert«. Im Gegenteil: Sie ist jetzt in einer noch großräumigeren Verschränkung definiert.

Michael Engels, Krefeld: Im Artikel wird gesagt, dass die Schrödinger-Gleichung linear ist, so dass nicht klar ist, warum keine makroskopischen Überlagerungszustände beobachtbar sind. Wenn man Teilchen als tatsächlich punktförmig annimmt, ist dies auch richtig. Wenn man aber die Wellenfunktion als tatsächliche Verteilung des Teilchens beziehungsweise der Teilchen mit allen seinen beziehungsweise ihren Eigenschaften wie zum Beispiel Ladung interpretiert, wird die Wellenfunktion mehrerer gekoppelter Teilchen nichtlinear. Bei der Berechnung von Quantensystemen mit interagierenden Teilchen



Schrödingers Katze hat ein langes Leben: Aktuell untersuchen Forscher, ob sich auch Makroteilchen wie Quantenobjekte verhalten.

(etwa des Heliumatoms) wird auch wirklich so gerechnet, als wären die Teilchen gemäß der Wellenfunktion verteilt. Dies wird allerdings so interpretiert, als gäbe es einen tatsächlichen Ort des Teilchens, den man aber nicht kennt. Daher rechnet man mit einer mittleren Teilchendichte, die sich aus der Wellenfunktion ergibt.

Spektrum
DER WISSENSCHAFT

Chefredakteur: Dr. Carsten Könneker (v.i.S.d.P.)
Redaktionsleiter: Dr. Hartwig Hanser (Monatshefte), Dr. Gerhard Trageser (Sonderhefte)
Redaktion: Thilo Körkel, Dr. Klaus-Dieter Linsmeier, Dr. Christoph Pöppe (Online-Koordinator), Dr. Frank Schubert, Dr. Adelheid Stahnke, Antje Findekle (Bild des Monats); E-Mail: redaktion@spektrum.com
Ständiger Mitarbeiter: Dr. Michael Springer
Editor-at-Large: Dr. Reinhard Breuer
Art Direction: Karsten Kramarczik
Layout: Sibylle Franz, Oliver Gabriel, Anke Heinzelmann, Claus Schäfer, Natalie Schäfer
Schlussredaktion: Christina Meyberg (Ltg.), Sigrid Spies, Katharina Werle
Bildredaktion: Alice Krüßmann (Ltg.), Anke Lingg, Gabriela Rabe
Referentin des Chefredakteurs: Kirsten Baumbusch
Redaktionsassistenz: Erika Eschwei
Redaktionsanschrift: Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg, Tel. 06221 9126-711, Fax 06221 9126-729
Verlag: Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg; Hausanschrift: Silevogtstraße 3–5, 69126 Heidelberg, Tel. 06221 9126-600, Fax -751; Amtsgericht Mannheim, HRB 33814
Verlagsleiter: Richard Zinken
Geschäftsleitung: Markus Bossle, Thomas Bleck
Herstellung: Natalie Schäfer, Tel. 06221 9126-733
Marketing: Annette Baumbusch (Ltg.), Tel. 06221 9126-741, E-Mail: service@spektrum.com
Einzelverkauf: Anke Walter (Ltg.), Tel. 06221 9126-744
Übersetzer: An diesem Heft wirkten mit: Gerald Bosch, Dr. Markus Fischer, Dr. Susanne Lipps-Breda, Dr. Michael Springer
Leser- und Bestellservice: Helga Emmerich, Sabine Häusser, Ute Park, Tel. 06221 9126-743; E-Mail: service@spektrum.com

Vertrieb und Abonnementverwaltung:

Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, c/o ZENIT Pressevertrieb GmbH, Postfach 81 06 80, 70523 Stuttgart, Tel. 0711 7252-192, Fax 0711 7252-366, E-Mail: spektrum@zenit-presse.de, Vertretungsberechtigter: Uwe Bronn

Die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH ist Kooperationspartner des Nationalen Instituts für Wissenschaftskommunikation gGmbH (NaWik). Das NaWik ist ein Institut der Klaus Tschira Stiftung gGmbH und des Karlsruher Instituts für Technologie. Wissenschaftlicher Direktor des NaWik ist Spektrum-Chefredakteur Dr. Carsten Könneker.

Bezugspreise: Einzelheft € 7,90 (D/A) / € 8,50 (L) / sFr. 14,-; im Abonnement € 84,- für 12 Hefte; für Studenten (gegen Studiennachweis) € 69,90; E-Paper € 60,- im Jahresabonnement (Vollpreis); € 48,- ermäßigter Preis auf Nachweis. Zahlung sofort nach Rechnungserhalt. Konto: Postbank Stuttgart 22 706 708 (BLZ 600 100 70). Die Mitglieder des Verbands Biologie, Biowissenschaften und Biomedizin in Deutschland (VBio) und von Mensa e.V. erhalten SdW zum Vorzugspreis.

Anzeigen: iq media marketing gmbh, Verlagsgruppe Handelsblatt GmbH, Bereichsleitung Anzeigen: Marianne Dölz; Anzeigenleitung: Patrick Priesmann, Tel. 0211 887-2315, Fax 0211 887-97-2315; verantwortlich für Anzeigen: Christian Herp, Postfach 102663, 40017 Düsseldorf, Tel. 0211 887-2481, Fax 0211 887-2686
Druckunterlagen an: iq media marketing gmbh, Vermerk: Spektrum der Wissenschaft, Kasernenstraße 67, 40213 Düsseldorf, Tel. 0211 887-2387, Fax 0211 887-2686
Anzeigenpreise: Gültig ist die Preisliste Nr. 33 vom 01.01.2012.
Gesamtherstellung: L.N. Schaffrath Druckmedien GmbH & Co. KG, Marktweg 42–50, 47608 Geldern

Sämtliche Nutzungsrechte an dem vorliegenden Werk liegen bei der Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH.

Jegliche Nutzung des Werks, insbesondere die Vervielfältigung, Verbreitung, öffentliche Wiedergabe oder öffentliche Zugänglichmachung, ist ohne die vorherige schriftliche Einwilligung des Verlags unzulässig. Jegliche unautorisierte Nutzung des Werks berechtigt den Verlag zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer. Bei jeder autorisierten (oder gesetzlich gestatteten) Nutzung des Werks ist die folgende Quellenangabe an branchenüblicher Stelle vorzunehmen: © 2012 (Autor), Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH, Heidelberg. Jegliche Nutzung ohne die Quellenangabe in der vorstehenden Form berechtigt die Spektrum der Wissenschaft Verlagsgesellschaft mbH zum Schadensersatz gegen den oder die jeweiligen Nutzer.

Wir haben uns bemüht, sämtliche Rechteinhaber von Abbildungen zu ermitteln. Sollte dem Verlag gegenüber der Nachweis der Rechteinhaberschaft geführt werden, wird das branchenübliche Honorar nachträglich gezahlt. Für unaufgefordert eingesandte Manuskripte und Bücher übernimmt die Redaktion keine Haftung; sie behält sich vor, Leserbriefe zu kürzen.

ISSN 0170-2971

SCIENTIFIC AMERICAN

75 Varick Street, New York, NY 10013-1917
Editor in Chief: Mariette DiChristina, President: Steven Inchcoombe, Vice President, Operations and Administration: Frances Newburg, Vice President, Finance, and Business Development: Michael Florek, Managing Director, Consumer Marketing: Christian Dorbandt, Vice President and Publisher: Bruce Brandfon



Erhältlich im Zeitschriften- und Bahnhofsbuchhandel und beim Pressefachhändler mit diesem Zeichen.



Gentechnik versus Mutagenese

Im Kampf gegen das Denguefieber versuchen Forscher, Stechmücken durch genetische Manipulation zu dezimieren, berichtete die Molekularbiologin Bijal Trivedi. (»Moskitos mit Selbstmordgen«, August 2012, S. 34)

Dietrich H. Nies, Halle: Schöner Artikel, allerdings gab es 1969 (WHO, Indien) noch keine Gentechnik. Vermutlich wurden die Mücken mit mutagenen Agenzien behandelt, was kein Verfahren ist, das per se genetisch veränderte Organismen erzeugt. Beides sollte nicht vermengt werden, zumal schwer zu verstehen ist, warum die unkontrollierte Veränderung von Hunderten von Genen durch mutagene Agenzien bei Züchtungen »gut« und »biologisch« sein soll, die gezielte, kontrollierte Veränderung eines Gens aber »böse, böse Gentechnik«.

Problematische Bohrungen

Der Geowissenschaftler Karl Urban stellte neue Techniken vor, mit denen sich auch in unseren Breiten die Wärme des Erdinnern anzapfen lässt. (»Energie aus der Tiefe«, September 2012, S. 72)

Klaus Gims, Holzkirchen: Die oberflächennahe Geothermie mittels Erdwärmepumpen ist in Deutschland problematisch. Grund ist eine bei nicht wenigen Bohrunternehmen anzutreffende ausgeprägte Betrugsmentalität. Betrogen wird bei der »Verpressung« genannten Abdichtung des Bohrkanals. Diese soll neben einer besseren Wärmeübertragung auch das Übertreten von Wasser in andere geologische Formationen verhindern, falls ein Grundwasserstockwerk angebohrt wird. Ob damit der Vorfall in Staufen hätte verhindert werden können, entzieht sich meiner Kenntnis. In jedem Fall führt eine unzureichende Verpressung zu einer Effizienzminderung bei der Wärmepumpe und macht das Vorhaben dadurch oft

unwirtschaftlich. Je nach geologischen Verhältnissen ergibt sich für das Bohrunternehmen durch den Betrug eine Kostenersparnis bis zur Hälfte des Auftragswerts. Nachdem ich große Unterschiede in der Verpressung verschiedener Bohrunternehmen auf dem gleichen Grundstück festgestellt hatte, habe ich einige Erdwärmepumpen beobachtet. Dabei konnte ich kein weiteres Bohrunternehmen mehr finden, das von sich aus und ohne Reklamation eine fachgerechte Verpressung ausgeführt hätte. Dennoch waren alle diese Firmen nach W120 für solche Erdwärmepumpen zertifiziert.

Virtuelle Teilchen

Mit der Unitaritätsmethode können die Physiker Zvi Bern, Lance Dixon und David Kosover selbst heftige Kollisionen im Teilchenbeschleuniger LHC beschreiben. (»Mit einem Rechenrick zur umfassenden Theorie der Naturkräfte«, September 2012, S. 38)

Florian König, Münster: In dem Artikel wird der Eindruck erweckt, dass virtuelle Teilchen nur in Feynman-Diagrammen mit Schleifen auftreten. Das ist falsch. Bereits die inneren Linien in Feynman-Diagrammen auf Baumgraphenniveau können virtuelle Teilchen darstellen. So erfüllt zum Beispiel das innere d-Quark in dem auf S. 41 gezeigten Diagramm (bei Abstrahlung eines Gluons endlicher Energie) nicht mehr die relativistische Energie-Impuls-Beziehung für ein d-Quark, ist also virtuell. Schade übrigens, dass nicht ein wenig detaillierter darauf eingegangen wurde, was denn nun die Unitaritätsmethode ausmacht.

Erinnert an Frankenstein

Der Neurowissenschaftler Henry Markram möchte mit der virtuellen Simulation des Gehirns unser Denkorgan besser verstehen. (»Auf dem Weg zum künstlichen Gehirn«, September 2012, S. 82)

Ernst Hammann, München: Das Ganze erinnert mich ein bisschen an Fran-

FOLGEN SIE UNS
IM INTERNET



www.spektrum.de/facebook



www.spektrum.de/youtube



www.spektrum.de/studivz



www.spektrum.de/twitter

kenstein, aber davon haben sich Menschen ja noch nie aufhalten lassen, im Gegenteil. Das Projekt könnte aber an einer ganz anderen Klippe zerschellen. Was, wenn das simulierte Gehirn erwacht und ein Bewusstsein und eine Persönlichkeit entwickelt? Dann ist es wohl als Mensch anzusehen (zumindest werden die üblichen gesellschaftlichen Querulantengruppen das lautstark fordern). Als Mensch hat es dann alle Menschenrechte, und man darf es nie mehr abschalten oder daran herumexperimentieren. An dieser Stelle endet dann unser Gottspielen.

Erratum

»Prionen bei Pilzen«, Forschung aktuell, Oktober 2012, S. 17

In der Grafik auf S. 18 ist uns ein Fehler unterlaufen: Es muss statt »DNA-Strang« »Boten-RNA-Strang« heißen.

BRIEFE AN DIE REDAKTION

... sind willkommen! Schreiben Sie uns auf
www.spektrum.de/leserbriefe

Spektrum der Wissenschaft
Leserbriefe / Sigrid Spies
Postfach 10 48 40, 69038 Heidelberg
E-Mail: leserbriefe@spektrum.com

Die vollständigen Leserbriefe und Antworten der Autoren finden Sie ebenfalls unter:
www.spektrum.de/leserbriefe