

## ■ Ausgezeichnete Symmetrien

Physik-Nobelpreis 2008 für grundlegende theoretische Arbeiten zur Symmetrie in der Teilchenphysik

Den Physik-Nobelpreis 2008 erhält zur Hälfte Yoichiro Nambu für seine Arbeiten zur spontanen Symmetriebrechung in der Teilchenphysik. Diese Arbeiten hat der heute 87-jährige, in Japan geborene US-Amerikaner vor fast 50 Jahren veröffentlicht. Die andere Hälfte des mit rund einer Million Euro dotierten Preises teilen sich die Japaner Makoto Kobayashi und Toshihide Maskawa. Die Königliche Schwedische Akademie der Wissenschaften zeichnet sie aus für „die Entdeckung des Ursprungs der gebrochenen Symmetrie, die die Existenz von mindestens drei Quarkfamilien vorhersagt“.

Von einer spontanen Symmetriebrechung sprechen Physiker, wenn ein System einer gegebenen Symmetrie einen Grundzustand annimmt, der diese Symmetrie nicht aufweist. Ein anschauliches Beispiel dafür ist ein Sombrero-Hut, auf dessen Spitze eine Kugel in einem labilen Gleichgewicht liegt. Dieses System ist dann symmetrisch gegenüber beliebigen Drehungen um die Hutachse. Sobald aber die Kugel in die tiefer gelegene Hutkrempe rollt und dort zur Ruhe kommt, wird die Rotationssymmetrie „spontan“ gebrochen. Anstelle einer solchen geometrischen Symmetrie spielen in Feldtheorien abstrakte Eichsymmetrien eine Schlüsselrolle. In der Elektrodynamik bedeutet das, dass sich das Vektorpotential durch eine Eichtransformation ändern lässt, die elektromagnetischen Felder davon aber unabhängig sind. Für die klassische Berechnung dieser Felder lernt man in der Vorlesung, eine konkrete Eichung zu wählen, d. h. die Eichsymmetrie explizit zu brechen.

Mit der Brechung dieser Eichsymmetrie in einem Supraleiter beschäftigte sich Nambu Ende der 1950er-Jahre im Rahmen der noch jungen BCS-Theorie der Supraleitung.<sup>#)</sup> Ihm gelang eine Formulierung, in der sich alle Berechnungen durchführen lassen, ohne die



Lloyd DeGrane, U Chicago



dpa/picture-alliance



dpa/picture-alliance

Eichsymmetrie explizit zu brechen. Nambu erkannte die Bedeutung der spontanen Symmetriebrechung für die Teilchenphysik und berechnete Eigenschaften von Pionen und Nukleonen als Konsequenz einer spontan gebrochenen (chiralen) Symmetrie – damals waren Quarks und die Quantenchromodynamik als Theorie der starken Wechselwirkung noch unbekannt. Sehr viel später zeigte sich, dass die von ihm eingeführte spontane Symmetriebrechung eine Voraussetzung dafür bildet, dass die Theorie mathematisch konsistent ist. Dieses außerordentlich fruchtbare Konzept der theoretischen Physik ist heute ein Pfeiler des Standardmodells der Teilchenphysik und unmittelbar mit dem Higgs-Mechanismus verbunden, der höchstwahrscheinlich

Yoichiro Nambu (Jahrgang 1921, o. l.) wanderte nach Studium und Promotion in Tokio in den 50er-Jahren nach Amerika aus, wo er immer noch an der University of Chicago aktiv ist. Er gilt auch als einer der Väter der Stringtheorie. Zu seinen vielen Auszeichnungen zählt die Max-Planck-Medaille der DPG, die er 1985 erhielt. Makoto Kobayashi (geb. 1944, o. r.) studierte und promovierte in Nagoya, arbeitete dann gemeinsam mit Maskawa in Kyoto, bevor er 1979 an das Forschungszentrum KEK in Tsukuba wechselte, dessen Direktor er von 2003 bis zu seiner Pensionierung 2006 war. Toshihide Maskawa geb. 1940, l.) studierte und promovierte ebenfalls in Nagoya, bevor er an die Universität Kyoto wechselte, wo er den Großteil seiner Laufbahn verbrachte.

für die endlichen Massen von Quarks, Leptonen sowie W- und Z-Bosonen verantwortlich ist.

### Eine kühne Spekulation

Die ausgezeichneten Arbeiten von Kobayashi und Maskawa haben eng mit der Frage zu tun, warum heute die Materie im Universum dominiert, obwohl der Theorie zufolge beim Urknall Materie und Antimaterie zu gleichen Anteilen entstanden sind. Andrei Sacharov erkannte 1967, dass dieser Materieüberschuss u. a. eine Kraft voraussetzt, welche die sog. CP-Symmetrie verletzt. Darunter versteht man die Kombination aus Ladungskonjugation C (aus einem Teilchen wird sein Antiteilchen) und Paritätsoperation P (Raumspiegelung). 1964 hatten

#) vgl. auch D. Vollhardt und P. Wölfle, Physik Journal, Januar 2008, S. 43

amerikanische Teilchenphysiker zur großen Überraschung entdeckt, dass die CP-Symmetrie beim Zerfall der neutralen K-Mesonen verletzt ist, ohne dass die Theorie dafür eine Erklärung hatte. Nicola Cabibbo hatte 1963 das Konzept der Quarkmischung eingeführt, um den Zerfall der K-Mesonen über die schwache Wechselwirkung zu erklären, und postulierte dazu, dass der Eigenzustand der schwachen Wechselwirkung eine Linearkombination

der Quarks ist. Dieses Konzept verallgemeinerten 1973 Kobayashi und Maskawa auf drei Quarkfamilien (d. h. sechs Quarks) und zeigten, wie sich damit eine CP-Verletzung erklären lässt – dies war eine kühne Spekulation angesichts der Tatsache, dass zu diesem Zeitpunkt erst drei Quarks (u, d, s) bekannt waren. Seither wurden die damals fehlenden Quarks (c, b, t) entdeckt und die CP-Verletzung mit K- und B-Mesonen intensiv

untersucht.<sup>4)</sup> Insbesondere die in den letzten Jahren durchgeführten Experimente mit B-Mesonen an den Detektoren BaBar und Belle haben die Theorie der diesjährigen Nobellaureaten präzise bestätigt. Allerdings reicht die beobachtete CP-Verletzung nicht aus, um den Materieüberschuss im Universum zu erklären – dazu ist offenbar neue Physik jenseits des Standardmodells der Teilchenphysik notwendig.

Stefan Jorda

4) vgl. K. Kleinknecht, Physik Journal, August/September 2008, S. 37 und A. Höcker und H. Lacker, ibid. Juli 2006, S. 33

## ■ Zeremonie trotz Zwangspause

Am 21. Oktober wurde der Large Hadron Collider am CERN offiziell eingeweiht.

Die Euphorie über den erfolgreichen Start des Large Hadron Collider (LHC) am CERN währte nur kurz: Wenige Tage nach der Inbetriebnahme am 10. September legte eine fehlerhafte Schweißverbindung den LHC auf Monate hinaus lahm. Entsprechend gedämpft war denn auch die Stimmung bei der offiziellen Einweihung am 21. Oktober, und der scheidende CERN-Generaldirektor Robert Aymar machte aus seiner „großen Enttäuschung“ keinen Hehl. Dennoch wollten sich die rund 2000 geladenen Gäste angesichts eines inzwischen identifizierten und eingegrenzten Defekts die Feierlaune nicht ganz vermiesen lassen. Das CERN und die Teilchenphysiker weltweit könnten stolz darauf sein, innerhalb einer 20-jährigen Planungs- und Bauzeit dieses „kühne Projekt“ realisiert zu haben, sagte Aymar bei dem Festakt. Zugleich bedankte er sich bei den hochrangigen Repräsentanten der 20 Mitgliedsstaaten für deren kontinuierliche Unterstützung der Grundlagenforschung.

Mit einem Anteil von 20 Prozent am CERN-Budget ist Deutschland der größte Beitragszahler. Bundesforschungsministerin Annette Schavan zeigte sich in ihrer Ansprache fasziniert von der Vorstellung, dass dieses „größte jemals durchgeführte Experiment“ Erkenntnisse liefern soll, die „unser Weltbild revolutionieren“ könnten.

Zugleich freute sie sich über das öffentliche Interesse am CERN. Damit komme die Wissenschaft dort an, wohin sie gehöre: „in die Mitte der Gesellschaft – als Quelle unseres künftigen intellektuellen, kulturellen und ökonomischen Fortschritts und Wohlstands.“ Mehrere der Festredner betonten die besondere Rolle des LHC für Europa. Für Lyndon Evans, den Projektleiter, ist der LHC ein Modell für künftige internationale Kollaborationen, während der portugiesische Wissenschaftsminister Jose Mariano Gago, der selbst als Physiker jahrelang am CERN gearbeitet hat, im LHC sogar „eines der Wunder der modernen Welt“ und „ein Monument der menschlichen Zivilisation“ sieht.

Den großen Fragen nach dem Ursprung des Universums

näherten sich zum Abschluss der Zeremonie der Fotograf Frans Lanting und das Orchestre de la Suisse Romande auf künstlerische Weise: Mit dem eigens für diesen Anlass vorbereiteten audiovisuellen Konzert „Origins“, das die Musik von Philip Glass mit großformatigen Fotos des Weltraumteleskops Hubble, Abbildungen von Teilchenkollisionen („Events“) und grandiosen Naturfotografien verknüpft, entführten sie die Gäste auf eine faszinierende „Zeitreise vom Urknall bis heute“.<sup>5)</sup> Anschließend lud der italienische Koch Ettore Bocchia, der Erkenntnisse aus Physik und Chemie mit feinsten italienischer Küche verbindet, zu einem „Molekularen Buffet“, das auch dem Geschmackssinn überraschende Eigenschaften von Materie zugänglich machte.

Hochrangige Repräsentanten der am CERN engagierten Länder, darunter Bundesministerin Annette Schavan (vorne, 3. v. l.), stellten sich bei der LHC-Einweihung gemeinsam mit Generaldirektor Robert Aymar (6. v. l.) dem Fotografen zum „Familienfoto“.

5) Origins ist eine Adaption von „Life: A Journey Through Time“, vgl. [www.lifethroughtime.com](http://www.lifethroughtime.com)

