

Einstein II. dringend gesucht

„Einsteins unvollendete Revolution“ – unter diesem Motto hat die **MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT** im Sommer in Berlin ein öffentliches Festkolloquium veranstaltet. Die Referenten beleuchteten Einsteins revolutionäre Arbeiten aus dem Jahr 1905 und deren Wirkung aus natur-, geistes- und kulturwissenschaftlicher Sicht. Die Vorträge zeichneten dabei vor allem ein Porträt der modernen Physik, die seit **ALBERT EINSTEIN** unser Weltbild erheblich erweitert hat. Und doch sind grundlegende Fragen bis heute offen, ist Einsteins Revolution noch nicht vollendet.

Mit einer Arbeit über den Photoeffekt wurde Einstein nach Max Planck zum zweiten Pionier der frühen Quantenphysik. Er beschrieb ferner, wie die rätselhafte Brownsche Zitterbewegung kleiner Partikel in einer Flüssigkeit oder in einem Gas durch Stöße einzelner Moleküle verursacht wird. Einstein schlug damit eine Brücke zwischen der Mikrowelt der Moleküle und der Makrowelt der tanzenden Partikel. Den Mythos des Genies begründeten jedoch jene beiden Publikationen, die erst später den Namen Spezielle Relativitätstheorie bekamen. Darin entwickelte Albert Einstein auch die berühmteste Gleichung der Physik: $E = mc^2$.

Das Jahr 1905 wurde zu Einsteins Wunderjahr, zu seinem *annus mirabilis*. In den 1920er-Jahren stilisierten die Medien den Mann mit der markanten Mähne schließlich zum universellen Weisen. Und im Einstein-Jahr 2005 zieren seine Bonmots zu

Politik und Gesellschaft viele Anzeigen und Plakate. „Bei den Äußerungen von Einstein ist es beinahe so wie mit der Bibel, fast jeder kann sich auf etwas beziehen, was er gesagt hat, sogar Theologen“, sagte Renate Mayntz auf dem Berliner Festkolloquium denn auch mit einem gewissen Unbehagen angesichts dieses Kults. In ihrem Vortrag verglich die Sozialwissenschaftlerin des Kölner Max-Planck-Instituts für Gesellschaftsforschung die Methoden der Natur- und Geisteswissenschaften.

Überhaupt zeichneten die Rednerinnen und Redner ein facettenreiches Bild von Einsteins vielfältigen Einflüssen. Die Vorträge spannten einen Bogen von den Fundamenten der modernen Physik bis hin zum Einfluss der Relativitätstheorie auf die moderne Kunst und Architektur. Die kunstgeschichtliche Perspektive behandelte Gerhard Wolf, Direktor des Kunsthistorischen Instituts in Florenz. Der

Die Sehnsucht des Forschers: Im Jahr 1929 formulierte Albert Einstein sein Verlangen, alle physikalischen Vorgänge in der Natur in einer umfassenden und möglichst einfachen Theorie beschreiben zu können (rechts). Später prägte Werner Heisenberg, der Vater der Unschärferrelation, dafür den Begriff Weltformel – nach der die Wissenschaftler bis heute vergeblich suchen.

Bevor ich nun die Entwicklung der Feldtheorie weiter ins Auge fasse, möchte ich eine kurze Bemerkung über Ziel und Tendenz der theoretischen Forschung überhaupt einschalten. Die Theorie hat zwei Sehnsüchte:

1. möglichst alle Erscheinungen und deren Zusammenhänge zu umfassen (Vollständigkeit);
2. dies zu erreichen unter Zugrundelegung möglichst weniger von einander logisch unabhängiger Begriffe und willkürlich gesetzter Relationen zwischen diesen (Grundgesetze bzw. Axiome). Ich will dies Ziel das der „logischen Einheitlichkeit“ nennen. Grob aber ehrlich kann ich das zweite Desideratum auch so aussprechen: Wir wollen nicht nur wissen wie die Natur ist (und wie ihre Vorgänge ablaufen), sondern wir wollen auch nach Möglichkeit das vielleicht utopisch und anmassend erscheinende Ziel erreichen, zu wissen, warum die Natur so und nicht anders ist.

Auf diesem Gebiete liegen die höchsten Befriedigungen des wissenschaftlichen Menschen. So folgert man z. B. aus der Konzeption der molekularkinetischen

Psychologe Wolfgang Prinz, Direktor am Max-Planck-Institut für Kognitions- und Neurowissenschaften in München, sprach über die Idee des freien Willens. Und Max-Planck-Wissenschaftler aller großen naturwissenschaftlichen Disziplinen beleuchteten die Wirkung von Einsteins Ideen auf ihre Forschung an unbelebter und belebter Materie. Bei allem Kult um seine Person war Albert Einstein vor allem ein leidenschaftlicher Physiker und Grundlagenforscher ersten Ranges. Ist seine Revolution auf dem Gebiet fundamentaler physikalischer Fragen heute vollendet? Auf diese Frage versuchte das Kolloquium Antworten zu geben.

Einstein hat bis heute eine so faszinierende Wirkung, weil er zu jenen unabhängigen Denkern zählt, die den Naturwissenschaften gewissermaßen „von außen“ entscheidende Impulse gaben. Jürgen Renn, der als Direktor am Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte in

Berlin die Tagung vorbereitet hatte, machte in seiner Einführungsrede auf ein ganz entscheidendes Merkmal von Einsteins Arbeitstechnik aufmerksam: Der junge Privatgelehrte bewegte sich damals in den Grenzgebieten der klassischen Physik. Und genau dort, in den Bruchzonen zwischen den großen Theorieblöcken, erzielte er und andere Physikrebellens seiner Zeit ihre großen Durchbrüche. Zuvor, im späten 19. Jahrhundert, hatten sich die Physiker in der so genannten klassischen Physik eingerichtet. Ihrer Ansicht nach erklärten drei Hauptgebiete die Welt recht schlüssig: Die Newtonsche Mechanik erfasste Raum, Zeit und Bewegung; die noch junge Elektrodynamik hatte gerade die elektrischen und die magnetischen Phänomene elegant vereinigt; die Thermodynamik behandelte alles, was mit Wärme zu tun hatte. Mehr schien nicht nötig. Noch 1878 riet der Münchner Physikprofessor Philipp von Jolly dem jungen Max Planck vom Studium der Theoretischen Physik ab, weil in diesem Fach prinzipiell Neues nicht mehr zu leisten sei. Doch er und viele seiner Kollegen übersahen

DAS FESTKOLLOQUIUM AUF DVD

Eine Dokumentation der Veranstaltung in der Berliner Urania sowie ein virtueller Streifzug durch die Ausstellung „Albert Einstein – Ingenieur des Universums“ findet sich auf vier DVDs, die unter dem Titel „Einsteins unvollendete Revolution: Grenzprobleme der Wissenschaft 1905 und 2005“ erschienen sind. Interessierte können das kostenlose Gesamtpaket bei der Pressestelle der Max-Planck-Gesellschaft (E-Mail: presse@gv.mpg.de) bestellen.

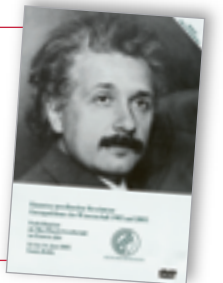




Foto: Urban Rühms

Hermann Nicolai, Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, führte die Zuhörer an die Grenzen des Wissens der modernen Physik.

damals die Risse und Lücken im Gebäude der klassischen Physik – weil sie es versäumten, über ihr eigenes Fachgebiet hinauszuschauen.

In dieser Zeit drangen die Naturwissenschaften mit immer subtileren Experimentier- und Beobachtungstechniken tiefer in die Welten des Allerkleinsten und des Allergrößten ein. Am unteren Ende der Größenskala, im Mikrokosmos, wurde die Theorie der Atome und Moleküle vom Streitobjekt zur unumstößlichen Realität – und die Teilchen entwickelten auch noch ein merkwürdiges, quantenhaftes Eigenleben. Am oberen Ende der Größenskala, im Kosmos, bereiteten das Licht und sein angebliches Ausbreitungsmedium, der Äther, Probleme. Die Physiker hatten den Äther postuliert, weil sie sich damals keine Welle ohne Transportmedium vorstellen konnten. Schließlich brauchten Wasserwellen das Wasser und Schallwellen zumindest ein Gas.

ERWEITERTE HORIZONTE – WACHSENDE WIDERSPRÜCHE

Die junge Physikergeneration konnte den wachsenden Widerspruch zwischen experimentellen Beobachtungen und großen Theorien nicht mehr ignorieren. Zur Jahrhundertwende führte Max Planck sein Wirkungsquantum ein. Für ihn war es zunächst noch eine mathematische Hilfskonstruktion und kein fundamentales Element der Natur. So begründete er eher ungewollt die

Quantenphysik. Doch wenige Jahre später wirbelte Einstein mit seinem unkonventionellen Denken die damalige Physik kräftig durcheinander.

So erklärte der junge Mann aus Bern erstmals schlüssig den Photoeffekt, bei dem Licht unterhalb einer bestimmten Wellenlänge in einem Metall einen elektrischen Strom fließen lässt. Einstein zeigte, dass die Elektronen nur quantisierte Portionen an Energie aus dem Licht aufnehmen können. Das gab der fundamentalen Wechselwirkung zwischen Licht und Materie ein völlig neues Gesicht. In seinen Arbeiten zur Relativitätstheorie befreite Einstein das Licht radikal vom Äther und machte die Vakuumlichtgeschwindigkeit c zur universellen Naturkonstanten. Diesem c mussten sich nun die Zeit und der Raum anpassen und verloren so den Charakter des Absoluten.

Heute sind Einsteins große Theorien vielfach durch Messungen bestätigt. Doch seine physikalische Revolution ist nach wie vor unvollendet, wie vor allem Hermann Nicolai zeigte. Der Direktor am Max-Planck-Institut für Gravitationstheorie in Potsdam widmet sich den großen, grundlegenden Fragen der Physik und führte die Zuhörer bis an die Grenzen des heutigen Wissens. Als theoretischer Physiker hatte Einstein ein Hauptziel: Er wollte die Natur in all ihren physikalischen Phänomenen mit einer möglichst einfachen Theorie möglichst umfassend beschreiben.

Später prägte der Quantenphysiker Werner Heisenberg dafür den Begriff Weltformel, der heute oft mit Albert Einstein verbunden wird. Das mag daran liegen, dass der Physiker tatsächlich in seinen letzten drei Lebensjahrzehnten an einer universellen Feldtheorie arbeitete, welche die Gravitation und den Elektromagnetismus miteinander vereinigen sollte – nach Einsteins Einschätzung die zwei Grundkräfte der Natur.

Einstein scheiterte. Seitdem gelangen den Physikern zwar bedeutende Fortschritte, aber von einer einheitli-

chen Theorie sind sie noch heute weit entfernt. Welche fundamentalen Hürden gilt es dabei zu überwinden? Und was verstehen die Physiker unter Vereinheitlichung?

Hermann Nicolai versetzte die Zuhörer in die Mitte des 19. Jahrhunderts zurück. Damals kannte die Physik ein ziemlich unübersichtliches Sammelsurium elektrischer und magnetischer Phänomene. Diese Effekte hatten etwas miteinander zu tun, aber wie genau standen sie miteinander in Verbindung? Keine Theorie konnte diesen Zusammenhang schlüssig formulieren. Die Lösung fand erst ein junger schottischer Physiker in den 1860er-Jahren: James Clerk Maxwell schaffte es dank seiner brillanten mathematischen Kenntnisse schließlich, die Gebiete der Elektrizitätslehre und des Magnetismus in einer neuen Theorie zu verbinden.

DER PHYSIKALISCHE KOSMOS WIRD ÜBERSICHTLICH

„Mit diesen Gleichungen lässt sich eine gewaltige Menge von Phänomenen einheitlich beschreiben“, sagte Nicolai. Als Maxwell seine Gleichungen betrachtete, stellte er fest, dass er aus rein mathematischen Gründen noch einen Term hinzufügen musste. Und dieser brachte Maxwell auf die Idee, das Licht sei eine elektromagnetische Welle. So schloss die neue Theorie der Elektrodynamik noch die Optik als drittes Gebiet mit ein. Damit wurde die physikalische Welt schlagartig einfacher und übersichtlicher. James Clerk Maxwell war allein durch Analyse der mathematischen Struktur seiner Formeln auf einen wichtigen physikalischen Zusammenhang gestoßen. Diese Arbeitstechnik ist typisch für die moderne theoretische Physik.

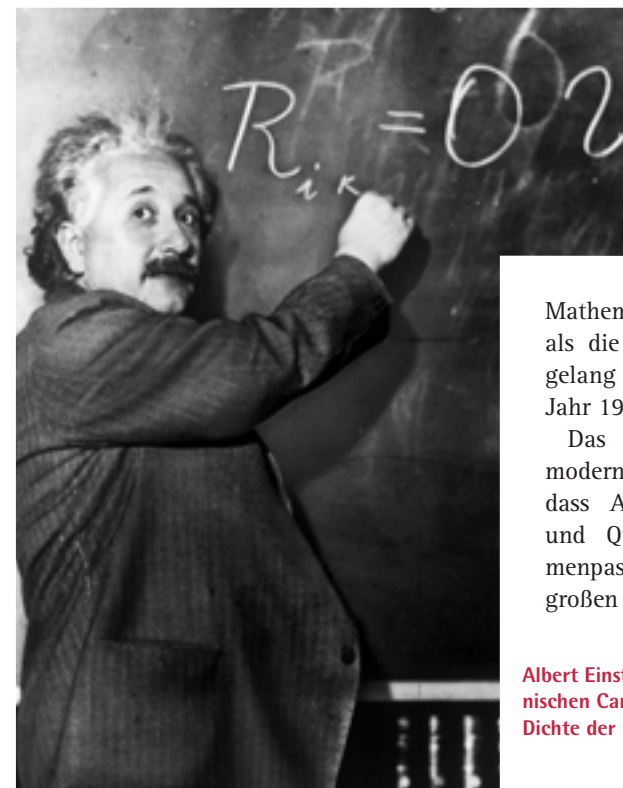
Die nächste große Vereinheitlichung und auch Vereinfachung gelang erst Albert Einstein mit der Speziellen Relativitätstheorie. Er hatte erkannt, dass die Maxwellsche Elektrodynamik und die Newtonsche Mechanik in einem ganz entscheidenden Punkt nicht zusammen passen. Die Mechanik genügte dem Galilei-

schen Relativitätsprinzip: Danach ändern sich die physikalischen Gesetze nicht, wenn man von einem gleichförmig bewegten System in ein anderes mit einer anderen gleichförmigen Bewegung springt. Für die Elektrodynamik schien dieses sinnvolle Relativitätsprinzip jedoch nicht zu gelten. Nach den Vorstellungen der klassischen Physik brauchte ja das Licht den Äther als Transportmedium, der damit zum absoluten Bezugssystem wurde. Einstein löste das Problem, indem er den Äther kurzerhand aufgab.

„Das war vor hundert Jahren, wo steht die Physik heute?“, fragte Nicolai. Längst haben sich die Wissenschaftler mit modernen Techniken eine gewaltige Spanne an Größenskalen zwischen dem Allerkleinsten und dem Allergrößten erschlossen. Am tiefsten in den Mikrokosmos dringen die riesigen Beschleunigeranlagen der Teilchenphysiker ein. Als „Supermikroskope“ können sie noch Partikel erfassen, die nur 10^{-18} Meter groß sind – der milliardste Teil eines milliardstel Meters, kleiner als der Durchmesser eines Protons.

„In all diesen Experimenten hat sich eine Theorie bestens bewährt“,

Foto: Picture-Alliance/DPA



sagte Nicolai, „im Wesentlichen ist das die Quantentheorie, allerdings verbessert durch Einsteins Spezielle Relativitätstheorie.“ Diese relativistische Quantentheorie bildet eine der beiden großen Säulen der modernen Physik. Sie steckt im heutigen Standardmodell der Elementarteilchen, das bis dato viele Beschleunigerexperimente bestens bestätigt haben.

Am anderen Ende der Größenskala forschen die Astronomen und Astrophysiker. Mit ihren großen optischen Fernrohren, Radioteleskopen und Beobachtungssatelliten blicken sie heute sehr weit ins All. Die modernen Techniken haben den beobachtbaren Makrokosmos auf die Größenordnung von 10^{26} Metern ausgedehnt. „Das ist ungefähr der Durchmesser des sichtbaren Universums mit etwa 14 Milliarden Lichtjahren“, stellte Nicolai fest. Damit können die Instrumente heute Objekte erfassen, die in der Frühzeit unseres Universums entstanden sind, kurz nachdem es durch Abkühlung lichtdurchlässig wurde.

Auch der Makrokosmos ist aus Sicht der Theoretischen Physik gut erklärt. „Das hat zum so genannten Standardmodell der Kosmologie geführt und der Rahmen für dieses Modell ist die Allgemeine Relativitätstheorie Einsteins“, erklärte Hermann Nicolai. Sie ist die zweite Säule der modernen Physik und beschreibt die Gravitationskraft durch eine Verkrümmung der vierdimensionalen Raumzeit.

Mathematisch viel anspruchsvoller als die Spezielle Relativitätstheorie, gelang es Albert Einstein erst im Jahr 1915, sie zu vollenden.

Das fundamentale Problem der modernen Physik besteht nun darin, dass Allgemeine Relativitätstheorie und Quantentheorie nicht zusammenpassen. Alle Versuche einer großen vereinheitlichten Theorie sind

Albert Einstein schreibt 1931 im kalifornischen Carnegie Institute die Gleichung zur Dichte der Milchstraße an die Tafel.



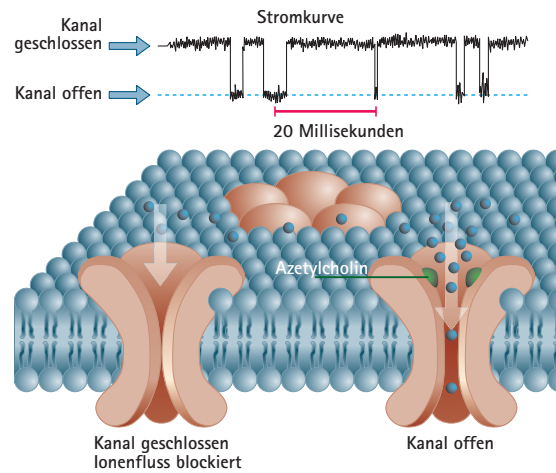
Einblicke ins Denklabor eines Genies erlaubte die Ausstellung „Albert Einstein – Ingenieur des Universums“, die bis Ende September in Berlin zu sehen war.

bisher gescheitert. Hermann Nicolai erklärte, warum: „Die Allgemeine Relativitätstheorie hat mit Geometrie zu tun, mit Glattheiten.“ Sie behandelt Raum und Zeit als vollkommen glatte Gebilde ohne Sprünge oder Brüche und erlaubt damit eine mathematische Unterteilung der Raumzeit in beliebig kleine Portionen. In jeder dieser Raumzeit-Portionen ist zudem immer noch genau definiert, welchen Ort und welche Geschwindigkeit jedes physikalische Teilchen hat – sei es Atom, Proton oder Elektron.

SPRÜNGE IN DER GLATTEN RAUMZEIT

„Bei der Quantentheorie ist die Welt nicht glatt und geometrisch“, sagte Nicolai. Im Mikrokosmos gelten ganz eigene Gesetze. Ort und Geschwindigkeit eines Teilchens lassen sich gemäß der Heisenbergschen Unschärferelation niemals gleichzeitig exakt bestimmen. Physikalische Prozesse bekommen den Charakter eines Lottos: Sie geschehen nur noch mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit. Diese Wahrscheinlichkeit kann allerdings die Quantentheorie wiederum präzise berechnen. Gott würfelt tatsächlich – was Albert Einstein nie akzeptieren wollte. Heute ist die Theorie durch viele Experimente präzise bestätigt.

„Wenn man nun die Quantentheorie loslässt auf Einsteins Theorie, dann kommt man auf unsinnige Resultate“, beschrieb Nicolai das zent-



GRAFIK: ROHNER NACH VORLAGE DES MPI FÜR GRAVITATIONSPHYSIK

In der Biologie trifft die Mikrowelt der Moleküle auf die Makrowelt der Lebensprozesse. Das elektrische Signal kleiner Nervenzellen zeigt Sprünge (oben): Sie markieren das Öffnen oder Schließen einzelner molekularer Ionenkanäle in der Zellmembran.

rale Problem der modernen Physik. „Es entstehen mathematische Gleichungen, die für existierende physikalische Vorgänge plötzlich ‚Unendlich‘ als Lösung ausspucken!“ Selbst den brilliantesten Physikern gelang es bisher nicht, vollständige Lösungen zu finden.

Immerhin jedoch erzielten sie beachtliche Fortschritte in jenem Teil der Physik, der auf den beiden Säulen Quantentheorie und Allgemeine Relativitätstheorie ruht. Stellt man sich die Bausteine der Materie als Spielfiguren vor, dann bestimmen vier physikalische Grundkräfte die Spielregeln. Zwei dieser Kräfte haben eine sehr große Reichweite und gehören deshalb zum Makrokosmos der Physik: die Gravitation und die elektrische Kraft. Nur über mikroskopische Distanzen wirken dagegen zwei weitere Kräfte: Die starke Kernkraft klammert die Atomkerne gegen die heftige elektrische Abstoßung der Protonen zusammen; manche Atomkerne bleiben trotzdem instabil, und dann regt sie die schwache Kernkraft zum radioaktiven Zerfall an.

In den vergangenen Jahrzehnten gelang es den Physikern, die elektrische Kraft und die schwache Kernkraft zu einer elektroschwachen Kraft zu vereinigen. Auch für die weitere Vereinigung dieser elek-

trochwachen Kraft mit der starken Kernkraft haben die Theoretiker immerhin schon den mathematischen Rahmen abstecken können. Allein die Gravitation sperrt sich gegen den weiteren Zusammenschluss und damit gegen die vollkommene Vereinheitlichung.

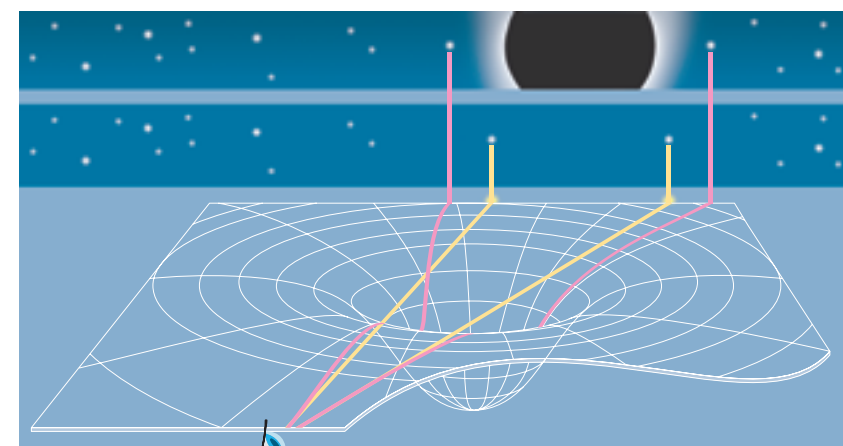
MATERIE AUF DEN PUNKT GEBRACHT

Ab der Mitte des 20. Jahrhunderts wurde die Physik komplexer. Was so übersichtlich mit nur drei Materiebausteinen – Elektron, Proton und Neutron – begann, führte mit immer besserer Beschleunigertechnologie zu einem wahren Zoo von Teilchen. Den Physikern erging es also wie den Kindern der frühen 1970er-Jahre, die für die wachsende Vielfalt an neuen Legosteinen immer mehr Fächer in ihren Legokästen brauchten. Trotz allem ließ sich der Teilchenzoo halbwegs übersichtlich gliedern. Eines der Ordnungsprinzipien sind drei Generationen verschiedener Quarks.

Doch „warum gerade diese Kräfte und warum gerade dieses Schema der Elementarbausteine?“, steuerte Nicolai auf eine Grundfrage der moder-

nen Physik zu. Eine physikalische Theorie, die alle Teilchen und Kräfte vereinigt, muss dies schlüssig beantworten können. Warum das allein schon aus mathematischer Sicht so enorm schwierig ist, verdeutlichte Hermann Nicolai am so genannten Hierarchieproblem. Die elektrische Kraft ist nämlich 10^{40} -mal stärker als die Gravitationskraft; das ist eine Eins mit 40 Nullen. Die Gravitation wird also im Vergleich zur elektrischen Kraft beinahe zu einem Nichts. Und doch hält sie uns auf der Erde und bindet riesige Galaxien fest zusammen. Sie ist also viel zu wichtig und darf bei einer umfassenden Theorie nicht fehlen. „Aber welche Mathematik produziert schon natürlicherweise solche Zahlenverhältnisse?“, sagte Nicolai.

„Die große Herausforderung ist die Vereinigung von Quantentheorie und Allgemeiner Relativitätstheorie zu einer Quantengravitation“, beschrieb der Potsdamer Max-Planck-Forscher das „Ziel unserer Wünsche“. Die Lösung des Problems erwarten die theoretischen Physiker also vom Schritt von einer glatten Raumzeit zu einer, die aus einer Quantenstruktur be-



Die Allgemeine Relativitätstheorie beschreibt die Gravitation durch die Krümmung der Raumzeit. Stellt man den dreidimensionalen Raum als zweidimensionales, elastisches Tuch dar (unten), dann läuft eine kleine Masse (blaue Kugel) ohne Störung auf einer geradlinigen Bahn (links). Eine große Masse (grüne Kugel) erzeugt eine Schwerkraft in der Raumzeit (Mitte), welche die kleine Masse nun ablenkt.

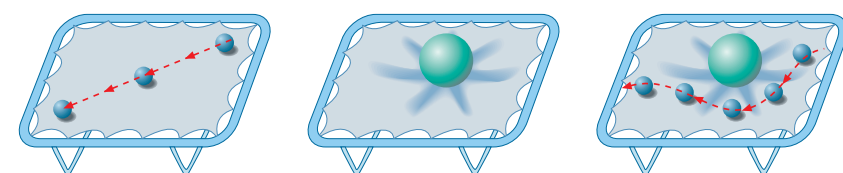


ILLUSTRATION: ROHNER NACH VORLAGE VON ERWIN NEHER/MPI FÜR BIOPHYSIKALISCHE CHEMIE

steht. Das stellt sie vor zwei Fragen: Wie müsste ein Schwarzes Loch im Inneren aussehen? Welche physikalischen Eigenschaften hatte unser Universum zum Zeitpunkt des Urknalls?

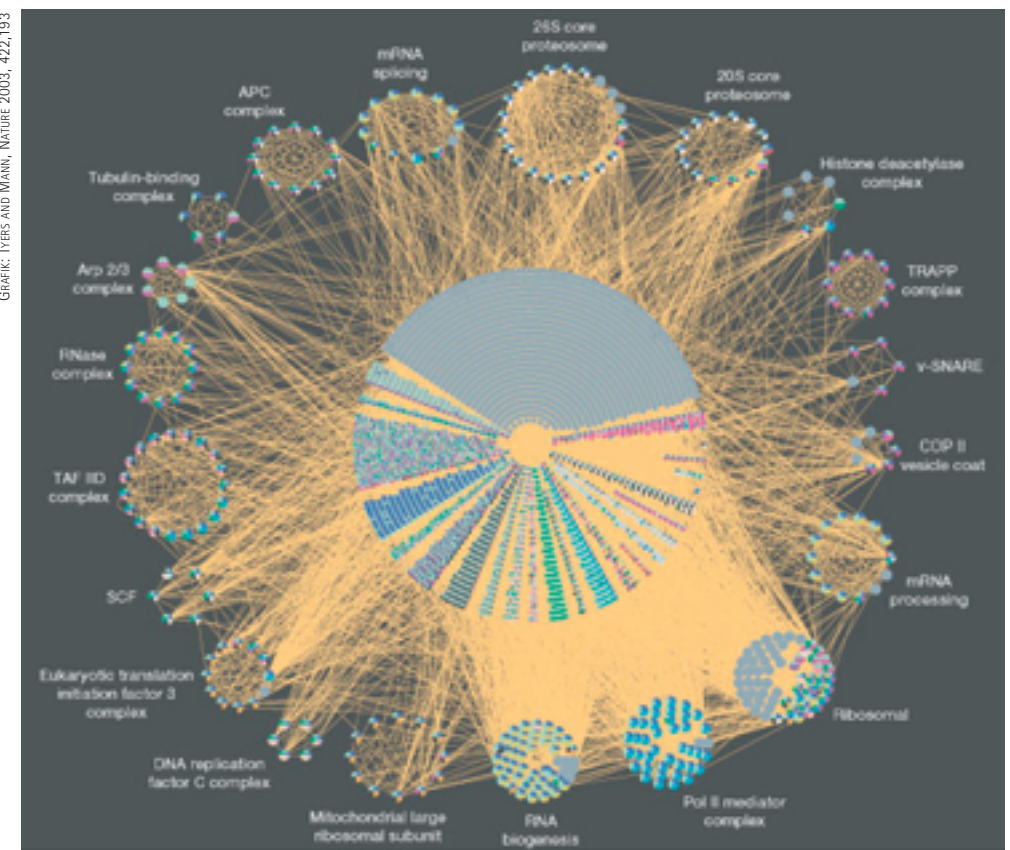
Beide Probleme sind eng miteinander verknüpft. Die Kosmologie, die das mathematische Werkzeug der Allgemeinen Relativitätstheorie anwendet, beschreibt diese beiden Extremzustände als „Singularitäten“. Rein mathematisch bedeuten sie, dass sich die Masse, die ein Schwarzes Loch im Lauf seines Lebens verschluckt, auf unendlich kleinem Raum konzentriert. Noch extremer ist die Situation zum Zeitpunkt der Geburt unseres Universums: Dann sollen sich Masse und Energie unseres gesamten Kosmos in einem solchen mathematischen Punkt zusammengepresst haben.

GIBT ES AUCH WEISSE LÖCHER?

Solche Singularitäten erlaubt die Quantentheorie nicht. Doch wie könnten sie dann aussehen? Beim punktförmigen Universum am Beginn des Urknalls ist die Beantwortung sehr schwierig. Sie führt zu der Frage, ob es eine Physik jenseits von Raum und Zeit gibt. Bei Schwarzen Löchern ist die Lage etwas einfacher, wenn auch schwierig genug. Stephen Hawking unterzog sie in den 1970er-Jahren einer quantenmechanischen Kur. Das Resultat: Diese Massenmonster sind weder punktförmig, noch schlucken sie Licht und Materie für immer. Sie strahlen sogar selbst wieder.

Manche Theoretiker spekulieren sogar über die Existenz Weißer Löcher, die wie ein rückwärts laufender Film alle geschluckte Materie ausspucken. Solche Ideen gehören zum „Gewächshaus des theoretischen Physikers“, wie Nicolai diese Sammlung von Einfällen selbstironisch bezeichnete. Sie reicht von Multiversen oder Schattenwelten bis zu den Strings. „Die Stringtheorie ist nach allgemeiner Auffassung der führende Kandidat, Quantentheorie und Gravitation konsistent zu verbinden.“

GRAFIK: TYBIS AND MANN, NATURE 2003, 422,193



Selbst in einer simplen Hefezelle ist das Beziehungsgeflecht der Proteinmoleküle extrem komplex. Um es umfassend zu beschreiben, wird es einen genialen mathematischen Kunstgriff brauchen: Dieser muss auf elegante Weise die Mikro- mit der Makrowelt verknüpfen. Albert Einstein gelang ein solcher Brückenschlag vor 100 Jahren bei der Brownschen Molekularbewegung.

Das Bestechende an dieser Theorie ist die Tatsache, dass sie mit einem einzigen Teilchen auskommt – einem winzigen schwingenden Fädchen (englisch: *string*). „Wie mit einer Violinensaiten lassen sich damit verschiedene Töne erzeugen“, veranschaulichte Nicolai das abstrakte Konstrukt. Denn mit seinen Tönen kann ein einziger fundamentaler Typ von String alle Elementarteilchen des Teilchenzoos hervorbringen.

STRINGS ZIEHEN NEUE SAITEN AUF

Die Stringtheorie zwingt die Theoretiker allerdings in Bereiche des Mikrokosmos, die weit jenseits der Möglichkeiten der heutigen Experimentalphysik liegen – ein großes Problem. Nach ihren Berechnungen hat ein String eine Länge von unvorstellbar kleinen 10^{-35} Metern. Zum Vergleich: Ein Proton hat einen

Durchmesser von 10^{-15} Metern. Würde man es auf den Durchmesser des Erdballs aufblasen und den String gleichermaßen, dann wäre der String nur hundertmal größer als ursprünglich das Proton.

Und dann sollen Strings auch noch in zehn Dimensionen existieren. Das Hauptargument für die Strings liegt darin, dass sie die Unendlichkeiten beseitigen. „Sie können zumindest im Prinzip das Spektrum der beobachteten Elementarteilchen erklären – was nicht heißt, dass sie es tatsächlich tun“, sagte Nicolai. Noch sind die Stringtheorie und ihre mathematischen Verwandten nur attraktive Kandidaten für eine Theorie der Quantengravitation. Im Hinblick auf die fundamentalen Fragen der Physik ist Einsteins Revolution noch längst nicht vollendet. „Wir träumen diesen Traum weiter“, sagte Hermann Nicolai.

„Aber ich kann Ihnen nicht sagen, wie lange es noch dauern wird, bis wir die endgültige Erkenntnis darüber haben werden.“

Erwin Neher, Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie in Göttingen, vermittelte den Zuhörern, welche fundamentale Bedeutung Einsteins Lösung des Rätsels der Brownschen Bewegung hat. Einstein gelang dabei ein mathematisch eleganter Brückenschlag zwischen der Mikrowelt der Moleküle und der Makrowelt, der auch der Biophysik wichtige Impulse lieferte.

BRÜCKENSCHLAG ZWISCHEN ZWEI WELTEN

Neher erläuterte das an Beispielen aus seinem eigenen Forschungsgebiet, auf dem er 1991 den Nobelpreis für Medizin erhielt. Eine wichtige Rolle beim Transport von Nervensignalen spielen die Membranen, die lebende Zellen umhüllen. Sie sind eine wichtige Schnittstelle in der elektrischen Signalübertragung. In ihnen können sich mikroskopische Poren öffnen, durch die elektrisch geladene Natrium- oder Kaliumatome fließen und so das Signal transportieren. Diese Ionenkanäle werden von komplexen Molekülen gebildet, sie gehören also zur mikroskopischen Welt.

Der Wissenschaftler zeigte dem Publikum, wie eine sehr große Nervenzelle des Tintenfischs, die in ihrer

Membran viele Kanäle hat, einen kräftigen und gleichmäßigen Ionenstrom produziert – und die jähe Flucht des Tiers auslöst. Ganz anders ist die Situation bei den viel kleineren Nervenzellen von Säugetieren. Diese haben vergleichsweise wenig Ionenkanäle und erzeugen deshalb ein stark fluktuierendes elektrisches Signal. Weil es die Beiträge der einzelnen Ionenkanäle als Sprünge sichtbar macht, trägt es die Signatur der Mikrowelt. Und doch steuert es makroskopische Lebensfunktionen des Organismus.

Die Verbindung zwischen der Mikrowelt der Moleküle und den makroskopischen Lebensprozessen beschäftigt die Forscher heute intensiver denn je. Erwin Neher wendete sich am Schluss seines Vortrags einer damit verknüpften, grundlegenden Frage der heutigen Lebenswissenschaften zu: Wie funktioniert das ungeheuer komplexe Zusammenspiel der vielen tausend Proteine in einer Zelle? Die Forscher haben das biochemische Wirken der einzelnen Eiweiße schon recht gut entschlüsseln können. Doch diese Bausteine lassen sich nicht einfach wie ein Puzzle zu-



FOTO: URBAN RUTHS

Erwin Neher, Medizin-Nobelpreisträger und Direktor am Max-Planck-Institut für biophysikalische Chemie, erläuterte Einsteins Einfluss auf die moderne Biophysik.

sammenlegen. „Wir sehen ein unheimlich kompliziertes Beziehungsgeflecht zwischen diesen einzelnen Molekülen“, sagte Neher. Zur Illustration zeigte er eine komplexe Grafik, welche die heute bekannten Beziehungen zwischen den Proteinen einer Hefezelle nachzeichnet.

HOFFEN AUF DEN ZWEITEN EINSTEIN

„Wir stehen nun vor dem Problem, dass wir diesen Mikrokosmos in Beziehung bringen müssen zu makroskopisch messbaren Größen, zum Beispiel den physiologischen Parametern des Blutdrucks“, erklärte der Göttinger Forscher. Diese Aufgabe ist dem Problem der Brownschen Bewegung vor hundert Jahren verwandt. Sie ist allerdings methodisch viel komplizierter, weil die Proteine sich ungleich komplexer verhalten als einfache Moleküle in Gasen oder Flüssigkeiten.

Trotz der enormen Herausforderung ist Erwin Neher optimistisch: „Ich wäre nicht erstaunt, wenn hundert Jahre nach Einstein ein ‚Zweistein‘ den Ansatz findet.“ Vielleicht wäre es wieder ein Privatgelehrter wie Einstein in Bern, spekulierte der Nobelpreisträger. Er hätte mit PC und Internet einen problemlosen Zugang zu allen wichtigen Informationen. Mit frischem und unabhängigen Denken könnte er den Durchbruch schaffen – wie einst der Experte II. Klasse im Berner Patentamt.

ROLAND WENGENMAYR

„AUF DEN SCHULTERN VON RIESEN ...

... und Zwergen“. So lautet der Titel eines im Dezember erscheinenden Buchs von Jürgen Renn, Direktor am Berliner Max-Planck-Institut für Wissenschaftsgeschichte. Der Autor erzählt darin die Geschichte von „Einsteins unvollendeter Revolution“ (so die Unterzeile) – einer tief greifenden Veränderung unserer Begriffe von Raum, Zeit, Materie und Strahlung. Die Revolution begann im „Wunderjahr 1905“, wurde mit der Allgemeinen Relativitätstheorie 1915 fortgesetzt und wirkt heute in dem Bemühen der Wissenschaftler weiter, Geburt und Schicksal des Universums zu verstehen und Gravitations- und Quantentheorie zusammenzubringen. Renns These: Einstein stand nicht nur auf den Schultern von „Riesen“, also großer Denker wie Newton, sondern auch auf den Schultern von „Zwergen“: dem wissenschaftlichen Wissen, dem technischen Wissen und dem Alltagswissen, das Generationen im Verlauf der Menschheitsgeschichte angehäuft haben. Zu den „Zwergen“ gehören nicht zuletzt Einsteins unbekannte Freunde und Helfer, deren Beitrag in dem Buch zum ersten Mal umfassend gewürdigt wird.

Jürgen Renn, AUF DEN SCHULTERN VON RIESEN UND ZWERGEN, Einsteins unvollendete Revolution, 450 Seiten mit 50 Abbildungen, Verlag Wiley-VCH, Weinheim 2005, 24,90 Euro (Erscheinungstermin: Dezember 2005).

