

Die Gegenwelt

Mit der Entdeckung des Higgs-Teilchens beginnt für die Forscher eine Ära neuer Physik. Eine der Urfragen: Wieso besteht das Universum nicht aus Antimaterie? Teilchenschleudern und Weltraumlabs sollen die Antwort liefern.



Teilchendetektor am Cern

„Jetzt fängt die Arbeit erst richtig an“

lenken, kühlen, bremsen und schleudern die Forscher die künstlich erzeugten Partikel umher. So lernen sie, welche Formen der Manipulation mit dem Stoff aus einer rätselhaften Gegenwelt möglich sind. „Teilchengymnastik“ nennt es einer von ihnen.

„The race is on“ steht am Messcontainer. Jeffrey Hangst, der Leiter des Projekts, ist stolz darauf, in dem Rennen die Nase vorn zu haben. 15 Jahre lang hat Hangst an seiner Apparatur gebastelt, jetzt trägt er die Ernte ein.

Als erstem Forscher weltweit ist es ihm gelungen, einzelne Atome von Antiwasserstoff in Magnetfallen zu fangen. Niemand außer ihm schaffte es, sie eine gestrichene Viertelstunde lang in Gefangenschaft zu halten. Und dann, für Physiker eine Sensation, glückte ihm auch die erste Messung an einem dieser Antiatome.

Der Beschleunigerring, an dem Hangst seine Experimente macht, war einst das Herzstück des Cern. Er brachte dem Zentrum Weltruhm und seinen Entwicklern, Simon van der Meer und Carlo Rubbia, den Nobelpreis ein. Heute dagegen liegt der Antiprotonen-Entschleuniger versteckt in einer Sackgasse. Zwischen den Bürogebäuden, Werkstätten und Maschinenhäusern des Cern ist die Antimateriefabrik nicht leicht zu finden.

Längst richtet sich die Aufmerksamkeit der Öffentlichkeit auf den neuen, gewaltigen Superbeschleuniger namens LHC – und das besonders in diesen Tagen.

In der vergangenen Woche konnten die Physiker des Cern voller Stolz verkünden, dass der LHC seinen ersten wichtigen Etappensieg errungen habe: Die Daten, die während der großen Sommerkonferenz der Teilchenphysiker in Melbourne präsentiert wurden, lassen praktisch keinen Zweifel mehr daran, dass das sogenannte Higgs-Teilchen endlich gefunden ist, das allen anderen Teilchen ihre Masse verleiht. Eine fast 50-jährige Jagd geht damit zu Ende.

„Es ist schwer, angesichts dieser Ergebnisse nicht begeistert zu sein“, erklärt Sergio Bertolucci, der Forschungsdirektor des Cern. Mit seinen Kollegen ist er sich darin einig, dass dies ein großes Moment in der Geschichte ihres Faches ist – eine Jahrhundertentdeckung. Und doch haben sie alle damit gerechnet. Die größere Überraschung wäre gewesen, wenn sie das Higgs-Partikel nicht gefunden hätten. In diesem Fall hätte die Theorie der Teilchenphysik in Trümmern gelegen.

So gilt die eigentliche Erregung der Forscher weniger dem, was sie endlich vollbracht haben, als vielmehr dem, was vor ihnen liegt. „Jetzt fängt die Arbeit erst richtig an“, sagt Cern-Generaldirektor Rolf-Dieter Heuer (siehe Interview Seite 114).

Links neben der Pforte zur Antiwelt grasen Schafe. Rechts warten ein paar rostbraune Stahlflaschen darauf, abgeholt zu werden. Ein Schild warnt: „Vorsicht, Strahlung!“ Ein zweites verbietet, Fahrräder zu benutzen.

Eine gelbe Stahltür führt ins Innere der sogenannten AD-Halle auf dem Gelände des Forschungszentrums Cern bei Genf. „Antiprotonen-Entschleuniger“ heißt die Maschine, die sie hier aufgebaut haben. Das rhythmische Zischen und Stampfen von Vakuumpumpen und Kryoaggregaten mischt sich in das dumpfe Dröhnen der Klimaanlage. Hier stellen Forscher einen Stoff her, der schon deshalb geheim-

nisvoll ist, weil es ihn vermutlich an keinem anderen Ort des Universums gibt oder je gab: Antiatome.

In knapp vier Meter Höhe führt ein Steg durch eine bizarre Landschaft aus Kabeln, Rohren und Beton. Von dort oben fällt der Blick in Experimentierklauen, in denen Wissenschaftler zwischen Magneten, Elektronik, Heliumtanks und Strahlrohren umherklettern. Ihr Ziel: das Reich der Antimaterie zu erkunden.

Durch kleine Gatter voneinander getrennt, wetteifern hier vier Arbeitsgruppen darum, der Natur ihre Geheimnisse zu entreißen. Ihre Anlage ist eine Art Fabrik für sogenannte Antiteilchen. Hier

REX FEATURES / ACTION PRESS

„Dann gehen neue Fenster auf“

Physiker Rolf-Dieter Heuer über die ungelösten Rätsel der Teilchenforschung

Heuer, 64, ist Generaldirektor des Teilchenforschungszentrums Cern bei Genf.

SPIEGEL: Herr Professor, da am Cern endlich das Higgs-Teilchen gefunden wurde, können Sie Ihren Beschleuniger wohl bald zusperren?

Heuer: Keineswegs, wir haben einen Durchbruch geschafft, aber jetzt fängt die Arbeit erst richtig an. Wir müssen unseren Fund vermessen, seine Wechselwirkung mit anderen Teilchen beobachten, seine Eigenschaften klären. Und wenn wir dabei irgendetwas finden, das unserer Theorie widerspricht, dann öffnet sich automatisch das Fenster in eine neue Physik. Unser sogenanntes Standardmodell beschreibt ja gerade mal vier bis fünf Prozent des Universums.

SPIEGEL: Und der Rest?

Heuer: Ein knappes Viertel macht die Dunkle Materie aus. Wir verdanken ihr, dass die rotierenden Galaxien nicht einfach auseinanderfliegen. Mit der sichtbaren Materie allein lässt sich das nicht erklären. Die verbleibenden fast drei Viertel entfallen auf das, was wir die Dunkle Energie nennen. Sie bewirkt, dass das Universum sich immer schneller ausdehnt. Aber noch immer kennen wir den Mechanismus nicht, der das Weltall an jedem Punkt nach allen Richtungen gleichmäßig auseinandertreibt.

SPIEGEL: Könnte das Higgs neue Hinweise liefern?

Heuer: Das Higgs-Feld, das zu dem Teilchen gehört, hat immerhin eine entscheidende Eigenschaft, die zur Dunklen Energie passt: Es wirkt in alle Richtungen gleich.

SPIEGEL: Das Higgs könnte also ein Brückenkopf ins Unbekannte sein?

Heuer: Ganz genau. Wir wissen nicht, ob es selbst etwas mit der Dunklen Energie zu tun hat. Aber wir vermuten, dass es ein ähnliches Feld jenseits des Standardmodells gibt – sozusagen die andere Seite des Brückenkopfs.



Heuer: Bis Ende des Jahres werden wir noch Protonen aufeinanderschießen. Dann legen wir den Beschleuniger für knapp zwei Jahre still, um ihn zu warten. Und wenn er wieder in Betrieb geht, wird es spannend: Dann erhöhen wir schrittweise die Energie auf fast das Doppelte, wir erzeugen also Teilchen mit immer höherer Masse. Und es könnte sein, dass wir damit schon die Schwelle zur Dunklen Materie überschreiten. Dann gehen neue Fenster auf.

SPIEGEL: Was hoffen Sie zu finden?

Heuer: Vor allem erste Spuren der Supersymmetrie. So nennt sich die Theorie, nach der für jedes Teilchen ein Schattenteilchen existiert – eine Spiegelwelt, wie sie auch in der Vorstellung der Antimaterie angelegt ist. Das leichteste Teilchen der Supersymmetrie könnte so stabil sein, dass es in Reichweite unseres Beschleunigers liegt. Das wäre ein guter Kandidat für die Dunkle Materie. Wenn wir es finden, bedeutet das einen Riesensprung.

SPIEGEL: Wissen Sie genau, wo Sie suchen müssen? Oder machen Sie einfach nur irgendwo das Licht an?

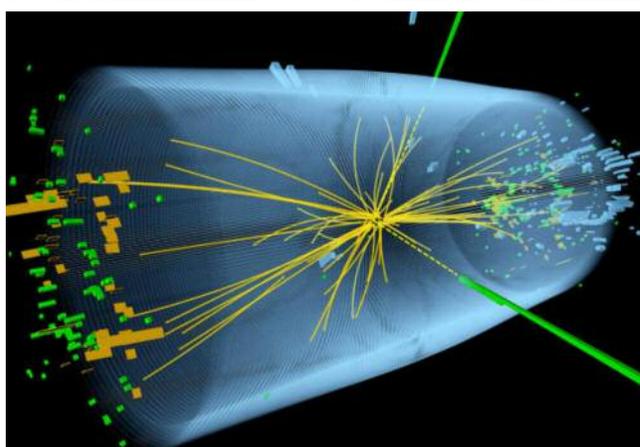
Heuer: Beides. Wir müssen rundum offen für unerwartete Funde sein. Bei der Supersymmetrie haben wir aber schon eine Richtung, da leuchten wir gezielt hin. Nur so genau wie beim Higgs wird die Zielvorgabe nicht mehr sein.

SPIEGEL: Für das Higgs hatten Sie quasi den Steckbrief, den Ihr Kollege Peter Higgs 1964 veröffentlicht hat. Hat er sich damit den Nobelpreis verdient?

Heuer: Ich denke schon. Es gibt aber auch noch andere Leute, die damals an ähnlichen Modellen gearbeitet haben ...

SPIEGEL: ... während die Regeln aber maximal drei Preisträger zulassen.

Heuer: Ja, das müsste geändert werden. In vielen Forschungsrichtungen – von der Teilchenphysik bis zur Genetik – arbeiten immer größere Gruppen zusam-



Cern-Chef Heuer, zerfallendes Higgs-Teilchen (Simulation)
„Wir planen bis zum Jahr 2030“

SPIEGEL: Und wenn das Higgs Ihnen nicht den Gefallen tut, merkwürdige Eigenschaften zu offenbaren?

Heuer: Dann haben wir jetzt immerhin das Teilchen gefunden, das allen anderen Teilchen ihre Masse verleiht. Damit ist endlich geklärt, dass unser Standardmodell voll und ganz zutrifft. Und nun gilt es, die Lücke in diesem Modell zu finden, durch die wir zu den restlichen 95 Prozent des Universums vordringen können. Wir wissen noch nicht, welche Rolle das Teilchen, das wir gefunden haben, dabei spielt. Es ist, wie wenn Sie in weiter Ferne jemanden erspürt haben, der aussieht wie Ihr bester Freund. Es könnte aber auch jemand sein, der ihm stark ähnelt und doch ein ganz anderer Mensch ist – erst im Näherkommen finden Sie es heraus.

SPIEGEL: Was haben Sie als Nächstes vor?

men, weil es anders gar nicht mehr geht. Die Zeit, in der man Einzelpersonen für große Entdeckungen dingfest machen konnte, ist irgendwann vorbei.

SPIEGEL: Wie viele Forscher waren auf dem langen Marsch zum Higgs dabei?

Heuer: Zuletzt zwischen drei- und viertausend in jedem der beiden beteiligten Großexperimente.

SPIEGEL: Können Sie so große internationale Haufen jetzt überhaupt auf neue Ziele einschwören? Oder macht bald wieder jeder sein Ding?

Heuer: Nein, unsere Leute bleiben sicher bei der Stange, gerade jetzt. Speziell einem Teilchenphysiker muss das Zusammenarbeiten ohnehin im Blut liegen. Zumindest lernt er sehr früh, dass er allein nicht weiterkommt, dass er sich ständig austauschen muss.

SPIEGEL: Verschwindet da nicht allmählich die Leistung der Einzelnen im großen Ganzen?

Heuer: Nein, es ist immer noch einfach, einen herausragenden Physiker, eine Physikerin zu identifizieren. Gute Leute steigen rasch auf von der Kleingruppe zur Unterabteilung zur Oberabteilung – wie in einem Unternehmen.

SPIEGEL: Bis zu welcher Größe lassen sich Forschergruppen noch koordinieren?

Heuer: Ich habe vor 15 Jahren ein Projekt mit 350 Leuten geleitet. Damals dachten wir, das geht gerade noch. Jetzt haben wir zehnmal so viele. Nein, an Grenzen stoßen wir eher bei der Technik, bei den Detektoren, die man bauen kann.

SPIEGEL: Wie lange können Sie mit Ihrem jetzigen Beschleuniger, dem „Large Hadron Collider“, noch experimentieren? Wann hat er seine Schuldigkeit getan?

Heuer: Wir planen bis zum Jahr 2030. Vielleicht lohnt es sich, in den Zwanzigern die Maschine noch einmal aufzurüsten – wir könnten dann für einen vergleichsweise geringen Aufpreis erheblich mehr Teilchen kollidieren lassen. Das hängt aber auch davon ab, was wir bis dahin gefunden haben.

SPIEGEL: Und danach? Brauchen Sie noch gewaltigere Erkenntnismaschinen?

Heuer: Die Größe ist nicht entscheidend, nur die Energie. Je schärfer wir gucken wollen, desto stärker müssen wir die Teilchen beschleunigen. In unserem Fall sind das Protonen. Einiges spricht dafür, dass wir uns als Nächstes einen Beschleuniger vornehmen, der Elektronen auf Positronen schießt. Das würde einen anderen Blickwinkel auf die Materie eröffnen – auch auf das Higgs-Teilchen. Die Pläne dafür liegen in der Schublade. Die Frage ist nur: Welche Weltregion wäre bereit, diese Maschine zu bauen?

INTERVIEW: MANFRED DWORSCHAK

Denn mit der Entdeckung des Higgs-Teilchens bestätigt sich nur ein weiteres Mal die bestehende Theorie. Jetzt aber, darin sind sich die Physiker einig, beginnt das Terrain, in dem die bestehenden Gleichungen nicht länger als Wegweiser taugen. Was nun kommt, ist ungewiss.

Denn um zu verstehen, warum die Welt so und nicht anders ist, um im Detail zu begreifen, wie das Universum im Urknall erschaffen wurde, reichen die bekannten Formeln nicht aus; dazu wird es notwendig sein, neue Naturgesetze zu entschlüsseln.

Und eines der zentralen Rätsel, die den Weg ins Neuland ebnen könnten, steckt in ebenjener Frage, die zu ergründen Jeffrey Hangst sich vorgenommen hat: Warum besteht die Welt aus Materie? Und wo ist die Antimaterie geblieben?

Hangsts Interesse gilt damit einem seltsamen Stoff. Er verhält sich genau wie

„Zu verstehen, warum das so ist, hat mich seit jeher fasziniert“, sagt Hangst. Denn das Verhältnis von Materie und Antimaterie richtig zu verstehen, davon sind die Physiker überzeugt, wäre gleichbedeutend mit einer Erklärung für das Wunder allen materiellen Daseins.

Schon Mitte des 19. Jahrhunderts kam der deutsche Philosoph Friedrich Wilhelm Schelling „zur letzten verzweifelungsvollen Frage: Warum ist überhaupt etwas? Warum ist nicht nichts?“ Schellings metaphysisches Staunen hat in der modernen Physik eine neue Formulierung erfahren: Warum sind Materie und Antimaterie im Universum nicht zu gleichen Anteilen vorhanden?

Denn die Glut des Urknalls, darin sind sich die Physiker einig, erschuf beide Formen der Existenz in gleicher Menge. Mit jedem Teilchen wurde zugleich auch sein Gegenteil, das entsprechende Antiteil-



MAXIMILIEN BRICE / CERN

Beschleuniger-Tunnel am Cern: „Warum ist nicht nichts?“

gewöhnliche Materie und ist doch so völlig anders. Zwar gleichen sich die Eigenschaften: Antiglas würde splintern wie Glas, Antigold glänzen wie Gold, Antiwasser plätschern wie Wasser. Und zwischen einem Menschen aus normaler Materie und einem Menschen aus Antimaterie gäbe es keinen sichtbaren Unterschied – beide glichen sich aufs Haar.

Doch wehe, beide – Stoff und Antistoff, Bild und Ebenbild – begegnen einander: Dann blitzt es grell, und beide sind verschwunden.

Vor allem aber: Dauerhaft gibt es Antimaterie eigentlich gar nicht. Die Antiwelt ist nicht mehr als eine Möglichkeit, die von der Natur aber offenbar nicht verwirklicht wurde. In den Gleichungen der Theoretiker spielen beide, Welt und Antiwelt, gleichberechtigte Rollen. Im realen, im beobachtbaren Universum jedoch bildet die Materie alles und die Antimaterie nichts.

chen, geboren. Und weil die Natur ihnen beiden die Fähigkeit mit auf den Weg gegeben hatte, sich wechselseitig zu vernichten, war im Moment ihrer Schöpfung damit gleichsam ihr Untergang bereits inbegriffen.

Dann aber muss irgendeine schicksalhafte Wendung den Weltenlauf grundlegend verändert haben. Zu gern würden die Physiker verstehen, was genau damals kurz nach dem Urknall geschah. Bisher wissen sie nur, welche Folgen die Ereignisse in jener kosmischen Frühzeit hatten: Sie bewirkten, dass die Materie gegenüber der Antimaterie die Oberhand gewann.

Es war keineswegs ein großer Überschuss. Ganz im Gegenteil. Aus der Dichte der Teilchen im heutigen Universum lässt sich errechnen, wie das Verhältnis der beiden Teilchenarten gewesen ist. Und das Ergebnis mutet erstaunlich an: Auf 1000000000 Antiteilchen kamen

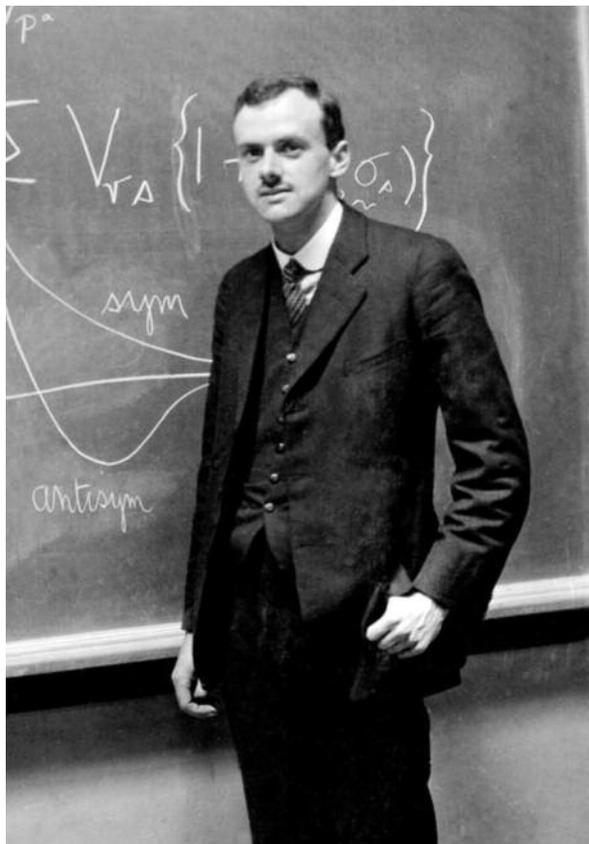
1 000 000 001 Teilchen – kann ein so winziges Ungleichgewicht von Bedeutung sein?

Es kann. Die weitere Evolution des Universums sollte offenbaren, dass dieses eine Teilchen mehr es in sich hatte. Denn hätten sich Materie und Antimaterie exakt die Waage gehalten, so hätten sie sich schon nach Sekundenbruchteilen kosmischer Existenz wechselseitig vernichtet. Zurückgeblieben wäre nichts als eine eintönige Strahlenwüste.

Keine Galaxien, keine Sterne und Planeten, ja nicht einmal einfachste Atome wären ohne diese kleine Unwucht im Weltengefüge entstanden – und schon gar nicht hätte je ein Mensch Gelegenheit bekommen, über das Rätsel des Daseins zu grübeln. Das Universum wäre nichts gewesen als ein gewaltiger, sich immer weiter aufblühender Ball aus Licht.

Dank jenes winzigen Ungleichgewichts aber gab es Überlebende des kosmischen Flächenbrands. In einem furiosen Inferno verglühten Materie und Antimaterie zu bloßer Strahlenenergie, die bis heute in Gestalt jener Hintergrundstrahlung fortbesteht, die das ganze Weltall ausfüllt. Der kleine Rest aber, jenes winzige bisschen Mehr an Materie, überlebte und bildete die Saat all dessen, was wir heute am Sternenhimmel bestaunen. Auch alles, was auf der Erde Berge, Ozeane, Pflanzen, Tiere oder Menschen bildet, besteht letztlich aus Überbleibseln jener großen Vernichtungsorgie, die am Anfang der kosmischen Geschichte stand.

Seit die Physiker begriffen haben, dass alle Vielfalt und Komplexität dieser Welt dem Sieg der Materie über die Antimaterie zu verdanken ist, zählt es zu den gro-



Antimaterie-Entdecker Dirac (um 1930)
„Seltsamster aller Menschen“

ßen Herausforderungen ihres Fachs, die Frage nach dem Ursprung des rätselhaften Ungleichgewichts zu lösen. Zwar gelang es den Physikern, die Chronik des Urknalls in verblüffender Detailgenauigkeit zu rekonstruieren. Diese Grundfrage jedoch ist noch immer ungeklärt.

Aber die große Suche nach Antworten hat begonnen. Und die Physiker treiben enormen apparativen Aufwand:

► Im Brookhaven-Forschungszentrum bei New York schmettern sie Goldionen

nahezu mit Lichtgeschwindigkeit aufeinander; im Sprühfeuer vieler Milliarden Teilchensplitter gelang es ihnen im vorigen Jahr, 18 Antihelium-Kerne zu identifizieren – die größten je nachgewiesenen Antiteilchen.

► Um womöglich noch größere Partikel von Antimaterie nachzuweisen, haben die Teilchenforscher eine Außenstelle im All eingerichtet; angedockt an die Raumstation ISS, horcht ihr Detektor seit Mai vergangenen Jahres nach Signalen aus der Antiwelt.

► In Japan bombardieren die Forscher einen Tank mit 50 000 Tonnen hochreinen Wassers mit Neutrinos – ihr Ziel ist es, winzige Unterschiede in den Eigenschaften von Neutrinos und ihren Antiteilchen, den Antineutrinos, aufzuspüren.

► An der großen Teilchenschleuder am Cern ist einer der vier gewaltigen unterirdischen Detektoren vor allem einer Aufgabe gewidmet: Differenzen im Verhalten von Materie und Antimaterie nachzuweisen.

Der erste Einblick ins Reich der Antiteilchen gelang jedoch nicht im Labor, sondern am Schreibtisch.

Paul Dirac, der Entdecker der Antiwelt (1902 bis 1984), war ein hagerer, blasser Engländer, der, wo immer er auftrat, durch seine linkische Art und seine geradezu krankhafte Schweigsamkeit auffiel. Selbst in der an Exzentrikern nicht armen Gemeinde der Quantenpioniere galt er als Exot. Niels Bohr bezeichnete ihn als „seltsamsten aller Menschen“, Albert Einstein zeigte sich beunruhigt über Diracs Drahtseilakt zwischen Genie und Wahnsinn.

Geselligkeit bereitete Dirac Unbehagen; selbst in seinem Fach, der theoretischen

Die Welt der Teilchen...

Aufbau von Materie und Antimaterie nach dem Standardmodell der Teilchenphysik

ATOME	PROTONEN/NEUTRONEN	QUARKS <i>nachgewiesen</i>	LEPTONEN			
<p>Atomkern</p> <p>Elektronenhülle</p>		Up <i>um 1970</i>	Elektron <i>bis 1899</i>	Normale Materie		
		Down <i>um 1970</i>	Elektron-Neutrino <i>1956</i>			
		Strange <i>um 1970</i>	Myon <i>1936</i>	Materie in höherem Energiezustand		
		Charm <i>1974</i>	Myon-Neutrino <i>1962</i>			
		Bottom <i>1977</i>	Tau <i>1975</i>			
		Top <i>1995</i>	Tau-Neutrino <i>2000</i>			
		<p>1 Atome besitzen eine äußere Elektronenhülle sowie einen Kern aus Protonen und Neutronen.</p>			<p>2 Protonen und Neutronen bestehen ihrerseits aus je drei Grundbausteinen, sogenannten Quarks.</p>	
		<p>3 Insgesamt sechs Arten von Quarks sowie sechs sogenannte Leptonen, zu denen beispielsweise das Elektron gehört, bilden jedwede Materie. Acht dieser zwölf Teilchen entstehen erst bei hohen Energien.</p>				

schen Physik, mied er die Zusammenarbeit mit anderen. Und im Gespräch gab es nur drei Themen, über die er sich in mehreren zusammenhängenden Sätzen auslassen mochte: Micky Maus, Chopins Walzer und die Sängerin Cher.

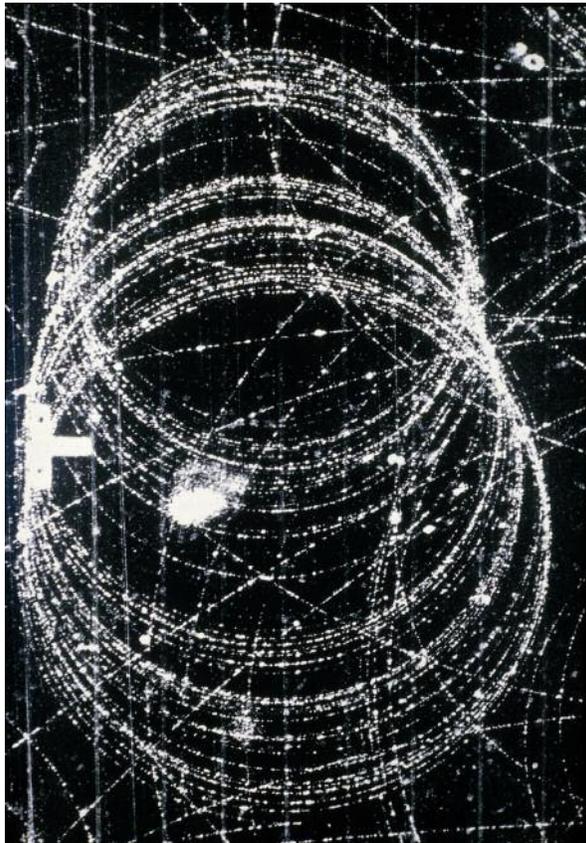
Am glücklichsten war Dirac, wenn er allein mit seinen Gleichungen sein konnte. Die Kollegen bewunderten und fürchteten den Scharfsinn des eigenbrötlerischen Briten.

So wusste Werner Heisenberg zu berichten, dass Dirac ihn auf einer gemeinsamen Schiffsreise nach Japan einmal gefragt habe, warum er denn tanze. Als Heisenberg erklärte, es gebe doch viele nette Mädchen an Bord, erwiderte Dirac nur: „Und woher weißt du vorher, ob sie nett sind?“ Dass Robert Oppenheimer sich für Poesie begeistern konnte, fand Dirac vollends unbegreiflich: „In der Wissenschaft“, so erklärte er, „reden wir über Dinge, die niemand zuvor wusste, und zwar mit Worten, die jeder verstehen kann. Gedichte aber reden von Dingen, die jeder weiß, aber mit Worten, die niemand versteht.“

Für Zwischenmenschliches schien Dirac der Sinn zu fehlen. Umso mehr war er besessen von der Eleganz der Formeln. Wie wohl kein anderer Physiker ließ er sich von seinem Bedürfnis nach mathematischer Harmonie leiten. Zutiefst war er überzeugt davon, dass in der Schönheit von Gleichungen Wahrheit zu finden sei.

So war es kein Zufall, dass gerade der Formel-Magier Paul Dirac jene nach ihm bekannte Gleichung ersann, die seinen Kollegen als „absolutes Wunder“ erschien.

Auf der Suche nach einer neuen, besseren Theorie der Elektronen hatte Dirac



Anti-Elektron-Spur in Nebelkammer-Experiment
Elementarste Form von Schöpfung und Vernichtung

LAWRENCE BERKELEY LABORATORY / SPL / AGENTUR FOCUS

herumgetüftelt, bis er schließlich Ende 1927 auf eine Formel von betörender Schlichtheit stieß. Die Eigenschaften des Elektrons schienen plötzlich auf ganze neue Weise erklärlich. Frank Wilczek, wie Max Born später mit dem Nobelpreis geehrt, erklärte die Gleichung für geradezu „schmerzhaft schön“. Im Alter von nur 25 Jahren war Dirac endgültig zum Superstar der noch jungen Quantenphysik aufgestiegen.

Und doch gab es ein Ärgernis: So präzise die Theorie, die Dirac ausgebrütet

hatte, das Elektron auch beschrieb, so produzierte sie obendrein, wengleich mit umgekehrtem Vorzeichen, noch ein zweites rätselhaftes Zwillingsteilchen. Wie sollten die Forscher diese eigenartige Laune der Mathematik deuten?

Vergebens versuchten die Forscher zunächst, das lästige Geisterpartikelchen mit mathematischen Tricks verschwinden zu lassen. Doch es widersetzte sich hartnäckig all ihren Bemühungen.

Erst im Jahre 1931 taucht dann in einem Artikel von Paul Dirac erstmals der Begriff „Anti-Elektron“ auf. Doch nicht einmal er selbst scheint seiner Theorie so ganz zu trauen. Es bleibt unklar, ob er von einem wahrhaft nachweisbaren Teilchen spricht. Zu ungeheuerlich schien es wohl, einzig auf Grundlage einer Formel die Existenz einer ganzen Antiwelt zu postulieren. Warum er nicht damals schon das neue Teilchen klar vorhergesagt habe, wurde Dirac später gefragt. „Pure Feigheit“, lautete seine Antwort.

Selbst als Carl Anderson, ein 26-jähriger Amerikaner, seine große Entdeckung machte, nahm die Fachwelt davon zunächst kaum Notiz. Im Luft-Alkohol-Gebräu einer

Nebelkammer hatte er eigenartige Kondensstreifen gesehen, die aussahen, als rührten sie von positiv geladenen Elektronen her. Doch niemand zog den Schluss, hier könne es sich um die von Dirac beschriebenen Anti-Elektronen handeln.

Den Durchbruch brachte erst ein Vortrag vor der Royal Society in London, wo die Ergebnisse aus Amerika vorgestellt wurden. Gebannt bestaunte das Publikum Fotos der geisterhaften Teilchenspu-

4 Neben den Materieteilchen erfordert das Standardmodell zusätzlich noch das Higgs-Teilchen, welches den anderen Partikeln ihre Masse verleiht. Nach jahrzehntelanger Suche scheinen Experimente im Cern-Teilchenbeschleuniger seine Existenz jetzt zu bestätigen.

Higgs
2012
(endgültiger Nachweis steht noch aus)



... und ihr Spiegelbild

ANTILEPTONEN

- Anti-Elektron
- Anti-Elektron-Neutrino
- Anti-Myon
- Anti-Myon-Neutrino
- Anti-Tau
- Anti-Tau-Neutrino

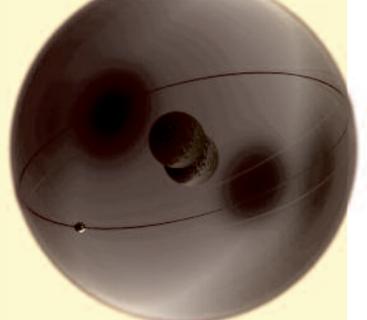
ANTIQUARKS

- Anti-Up
- Anti-Down
- Anti-Strange
- Anti-Charm
- Anti-Bottom
- Anti-Top

ANTI-PROTONEN/-NEUTRONEN



ANTIATOME



5 Jedem Materieteilchen steht ein entsprechendes Antiteilchen gegenüber, dessen Eigenschaften genau entgegengesetzt sind. So besitzt etwa das Anti-Elektron eine positive Ladung. Begegnen sich Materie und Antimaterie, verstrahlen sie vollständig zu Energie. Da unser heutiges Universum vollständig aus Materie besteht, müssen Antiteilchen mit großem Aufwand künstlich erzeugt werden.

ren. Welch ein Spektakel: Boten aus den Tiefen des Alls regneten da auf den Planeten Erde nieder und erschufen beim Aufprall Teilchen-Antiteilchen-Paare, die wenig später wieder im Nichts verschwanden.

Vor den Augen der Zuschauer vollzog sich hier die elementarste Form von Schöpfung und Vernichtung. Den „Todespakt“ nannte es der vortragende Redner Patrick Blackett.

Die Welt der Science Fiction ist seither um ein Element reicher. Schon der bloße Begriff „Antiwelt“ weckt Phantasien. Es ist, als tue sich da vielleicht die Möglichkeit einer anderen, irgendwie gegensätzlichen Form des Daseins auf. Himmel und Hölle, Christ und Antichrist, Materie und Antimaterie – könnte da womöglich ein Zusammenhang bestehen?

ihre gesamte Energie. Dan Brown entfesselt eine Jagd nach einer Flasche mit Antimaterie, mit welcher der Geheimbund der Illuminati den Vatikan vernichten will; und der Sternenkreuzer „USS Enterprise“ kann nur deshalb seine Expeditionen zu fernen Zivilisationen antreten, weil sein Warp-Antrieb Antimaterie verfeuert.

Die Physiker indes hegen nie große Hoffnungen, derlei Visionen verwirklichen zu können. Denn sie wissen: Alle Antiprotonen-Fabriken der Welt zusammen genommen produzieren weniger als ein Milliardstel Gramm Antimaterie pro Jahr. Um so auch nur eine einzige Superbombe zu erzeugen, hätten sie weit vor dem Urknall mit der Produktion beginnen müssen – ganz abgesehen von dem Problem, die Antimaterie so lange aufzu-

chenphysik und Kosmologie, die Lehre vom Kleinsten und die vom Größten, miteinander verwoben sind. Je tiefer die Physiker in die subatomare Welt vordringen, desto mehr erfuhren sie dabei zugleich über die Frühzeit des Kosmos – und dort, im Kreißaal des Universums, musste jene Asymmetrie zwischen Materie und Antimaterie entstanden sein, die allem materiellen Dasein seine Existenz erlaubt.

Den entscheidenden Zusammenhang stellte ein Physiker her, der am Ende den Nobelpreis erhielt – allerdings nicht für seine physikalische Forschung, sondern für seinen Beitrag zum Weltfrieden. Andrej Sacharow, einer der Väter der sowjetischen Wasserstoffbombe, begann sich, etwa zu jener Zeit, in der er allmählich zum Regimekritiker wurde, auch für kosmologische Fragen zu interessieren.

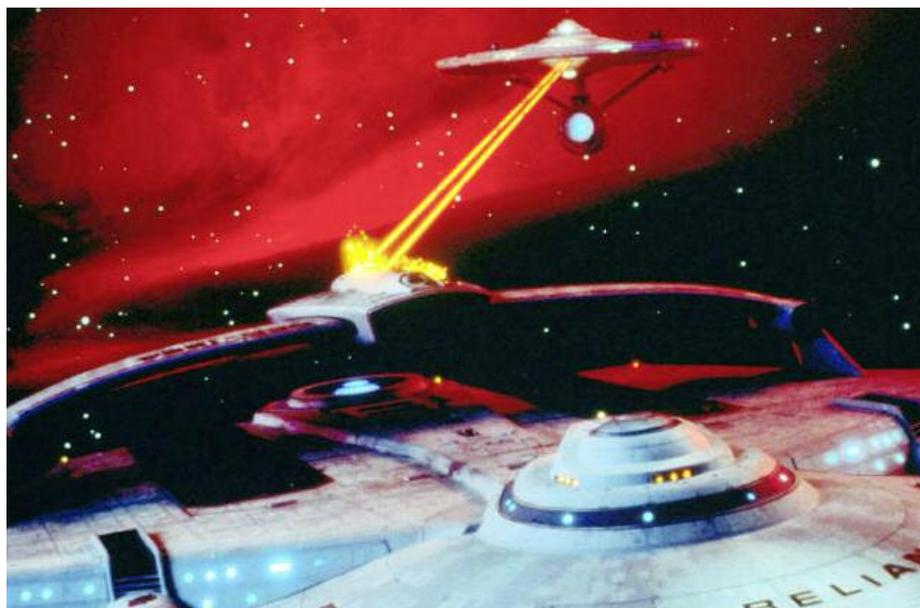
Abgeschnitten von seinen westlichen Kollegen grübelte er über die Frage nach, wie die Materie ihren Sieg über die Antimaterie davongetragen haben könnte – und formulierte Bedingungen, unter denen dies möglich gewesen sei.

Noch inmitten der Geburtswehen des Universums, nur Sekundenbruchteile nach dem Beginn der Zeit, muss es passiert sein: Ähnlich wie Eis bei der Verwandlung in Wasser all seine Eigenschaften verändert, so muss auch das Universum als Ganzes blubbernd und brodelnd eine Umwandlung durchgemacht haben – einen „Schluckauf“, wie es der Cern-Theoretiker John Ellis formuliert. Und noch etwas: Irgendwo tief verborgen in ihren Gesetzen, so Sacharows These, behandelt die Natur die scheinbar so gleichen Zwillinge Materie und Antimaterie unterschiedlich.

Kühn und spekulativ mutete an, was Sacharow formuliert hatte. Und doch schien die Natur ihm recht geben zu wollen: Gerade hatte eine sensationelle Entdeckung die Zunft der Teilchenphysiker erschüttert. Sogenannte Kaonen, äußerst kurzlebige und ansonsten nicht sonderlich bemerkenswerte Bewohner des Teilchenzoos, zerfielen offenbar auf andere Weise als ihr Gegenpart, die Anti-Kaonen.

Gewiss, der Unterschied ist winzig – so winzig, dass er bei weitem nicht ausreicht, um die Menge an Materie im Universum befriedigend erklären zu können. Und doch war nun ein Damm gebrochen. Es war bewiesen: Die Antimaterie ist doch nicht das exakte Gegenstück zur Materie. Es gibt Unterschiede. Und diese wollten die Teilchenphysiker nun genauer verstehen. Weltweit eröffneten sie die Jagd nach weiteren Asymmetrien. Und nirgendwo arbeiten die Forscher erbitterter daran als am Cern.

Dort, am Fuß der Gipfel des Jura-gebirges, haben es sich rund 10000 Forscher zur Aufgabe gemacht, Protonen mit größtmöglicher Wucht ineinanderkra-



Szene aus „Star Trek II“, 1982: Mit Antimaterie-Antrieb durch die Galaxis

Aber auch fernab aller metaphysischen Spekulationen fasziniert die Antimaterie, offenbart sie doch die ganze Sprengkraft von Einsteins berühmter Formel $E = mc^2$. Masse, so die Aussage dieser Gleichung, ist nichts anderes als hochkonzentrierte Energie. Normalerweise lässt sich diese jedoch nicht gewinnen. Doch wenn ein Teilchen und sein Antiteilchen aufeinandertreffen, wird sie augenblicklich freigesetzt – und zwar in beeindruckender Menge. Ein knapper Teelöffel voll Materie, vereinigt mit der entsprechenden Menge Antimaterie, reicht aus, um die Zerstörungskraft der Hiroshima-Bombe zu entfachen.

Kein Wunder, dass die Antimaterie deshalb in den Utopien der Science-Fiction-Autoren wahlweise die Rolle des Supertreibstoffs spielt oder die der Superbombe. Entweder löschen machtlüsterne Außerirdische mit ihren Antimaterie-Kanonen Planeten aus. Oder Megastädte schlürfen aus kleinen Antimaterie-Tuben

bewahren, ohne dass es zur vorzeitigen Zündung kommt.

Zwar haben die Physiker inzwischen andere Wege gefunden, die im Labor erzeugte Antimaterie in den Dienst des Menschen zu stellen. Der Positronen-Emissionstomograf zum Beispiel erlaubte erstmals den Blick ins denkende Gehirn. An Hamsterzellen erproben Wissenschaftler am Cern derzeit, wie wirksam Antiprotonen-Strahlen Tumoren zerstören können. Antimateriehaltiges Positronium wiederum könnte sich nutzen lassen, um winzige Haarrisse in Turbinen nachzuweisen.

Die eigentliche Faszination der Antimaterie jedoch ist nicht technischer, sondern philosophischer Art. Sie spielte eine Schlüsselrolle beim wohl spektakulärsten Brückenschlag, den die moderne Physik je gewagt hat: dem zwischen Mikro- und Makrokosmos.

In den sechziger Jahren war den Forschern bewusst geworden, wie eng Teil-



NASA / AP

Antimaterie-Detektor auf der Raumstation ISS: Botschaft aus der Unendlichkeit

chen zu lassen. In einem 27 Kilometer langen Tunnel flitzen die Teilchen, von Riesenmagneten beschleunigt, bündelweise im Kreis; 11 200-mal pro Sekunde rasen sie von der Schweiz nach Frankreich und wieder zurück, bis sie schließlich im Crash zerplatzen.

Die Forscher untersuchen dann den entstehenden Sprühregen aus Teilchensplintern. Ihr Ziel: neue Physik zu finden, Phänomene, die sich mit dem bekannten Formelwerk der Teilchenphysik nicht erklären lassen. Denn irgendwo da draußen, bei nie zuvor erkundeten Energien, müssen die Antworten auf die großen Rätselfragen der Teilchenphysik versteckt sein – auch das Geheimnis, das die Antimaterie erst begreiflich macht.

Vor zweieinhalb Jahren hat die Jahrhundertmaschine am Cern ihren Betrieb aufgenommen – und zwei Jahre lang schien es, als halte sich die Natur strikt an die bekannten Formeln. Enttäuschung machte sich breit.

Dann, Ende vorigen Jahres, zeigte er sich endlich, der womöglich erste Hinweis auf neue Physik. Und die Nachricht kam damals nicht von den vorige Woche gefeierten Higgs-Jägern an den beiden Riesendetektoren Atlas und CMS. Die Neuigkeit wurde von dem kleineren Team am Experiment LHCb verkündet – so bizarr ist die Welt an der Forschungsfabrik Cern, dass eine Arbeitsgruppe mit 750 Wissenschaftlern aus 15 Ländern als klein gelten darf.

„Es ist das erste wirklich aufregende Ergebnis, das der Beschleuniger geliefert hat“, verkündet voller Stolz LHCb-Physiker Thomas Ruf. Er blättert im „Particle Data Booklet“, das auf dem Schreibtisch keines Teilchenphysikers fehlen darf: einer kleinen Broschüre, in der all die Kaonen, Myonen, Omega-, Lambda- und Sigma-Teilchen der Teilchenwelt aufgeführt sind.

Dutzende mögliche Zerfallsprozesse sind darin verzeichnet, bei denen inzwischen Asymmetrien zwischen Materie und Antimaterie nachgewiesen wurden. Doch diesmal ist es anders: Der Effekt ist fünf-, vielleicht sogar zehnmal stärker als er eigentlich sein dürfte, und vor allem – er zeigt sich bei sogenannten D-Mesonen,

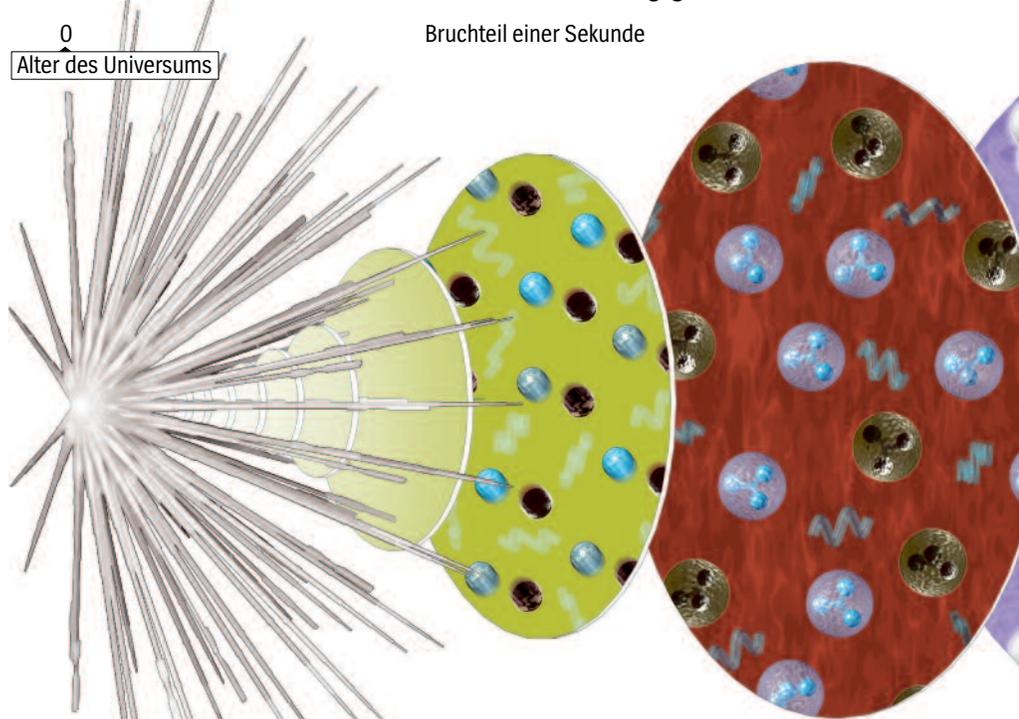
Teilchen, die nur ein charm-Quark enthalten. An diese Möglichkeit hatte bisher kaum jemand gedacht.

Eifrig stürzen sich die Theoretiker nun darauf, das Verhalten der charm-Quarks zu studieren, die sie bisher stets vernachlässigt hatten. Und die LHCb-Physiker versuchen, ihr Gerät neu zu kalibrieren, um es möglichst empfindlich für Zerfälle von D-Mesonen zu machen.

Vielleicht, so hoffen Ruf und seine Kollegen, warten ja längst weitere Überraschungen in den Datenspeichern der LHCb-Kollaboration. Und dann sind da noch die restlichen Ergebnisse des vorigen Jahres, auch sie noch nicht abschließend ausgewertet. Ein gutes Dutzend Wissenschaftler brütet derzeit darüber. Ob sich der D-Mesonen-Effekt dabei bestätigt? Das wissen sie bisher selbst nicht. Denn alle Daten, die sie bekommen, sind verfälscht – dafür haben sie selbst gesorgt.

Um zu vermeiden, dass sich die Forscher bei der Auswertung von ihrer eigenen Euphorie blenden lassen, sind die Ergebnisse mit Hilfe einer speziellen Software gleichsam hinter Milchglas versteckt. Erst wenn die Analyse beendet und von Gutachtern für fehlerfrei befunden wurde, wird sie, wie es im Fachjargon heißt, „entblindet“. Dann wird sich erweisen, ob sich der Verdacht auf neue Physik erhärten lässt.

Der Rest von heute Wie sich im Kosmos Materie gegen Antimaterie durchsetzte



1 Urknall
Es herrscht unvorstellbare Energiedichte.

2 Inflation
Das Universum dehnt sich auf astronomische Größe aus.

3 Teilchen- und Antiteilchen-Bildung
In ständiger Wechselwirkung entstehen Elementarteilchen wie Quarks und Elektronen und ihre jeweiligen Antiteilchen. Symmetrie von Materie und Antimaterie.

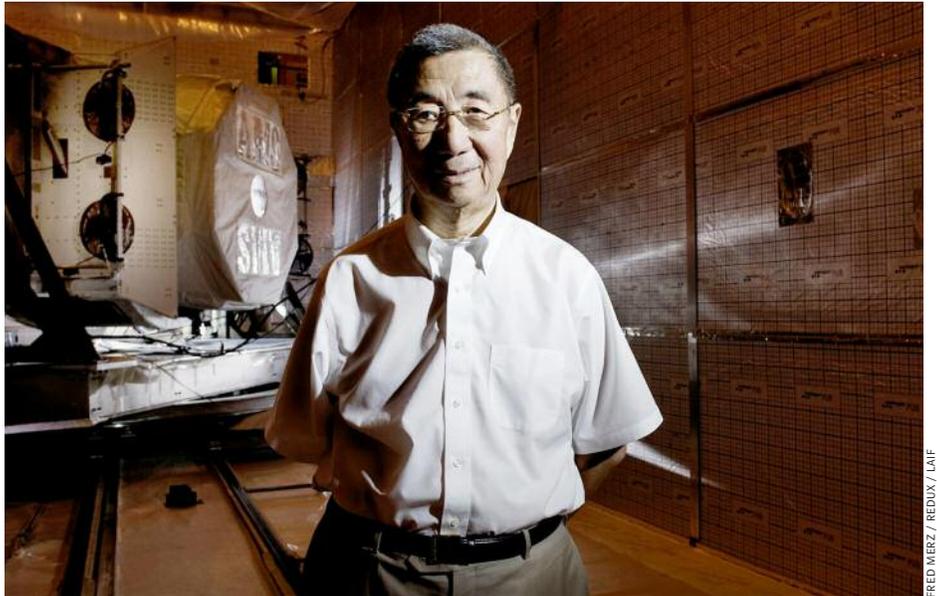
4 Vernichtung von Teilchen und Antiteilchen
Bildung von Protonen und Antiprotonen, die anschließend fast vollständig zerstrahlen. **Es entsteht ein winziger Überschuss von Materie, aus dem unser Universum erwächst.**

Auf Antworten hofft auch einer, der sein Lager jetzt ebenfalls am Cern aufgeschlagen hat: Nobelpreisträger Samuel Ting. Doch nicht im Beschleunigertunnel tief unter der Erde, sondern 400 Kilometer über ihr glaubt er die Lösung des Antimaterie-Rätsels finden zu können.

Schon von weitem lockt ein poppig gestaltetes Plakat auf dem Gebäude zu seiner Arbeitsgruppe. Es zeigt, wie von einem fernen Sternennebel Strahlen auf den Planeten Erde niederregnen.

Hier residiert Ting. Er war es, der gegen alle Widerstände durchsetzte, dass die Internationale Raumstation ISS im vergangenen Jahr mit einem Teilchendetektor bestückt wurde. Selbst als die zur Beförderung vorgesehene Raumfähre Columbia explodierte, gab er seine Mission nicht auf. So lange antichambrierte er in Washington, bis ein zusätzlicher Shuttle-Flug für sein Experiment genehmigt wurde. Das Ziel, nach Antimaterie im Weltall zu fahnden, faszinierte offenbar auch die Politiker.

Es ist wahrlich ein kühnes Unterfangen, das Ting unter seinen Kollegen viel Skepsis eintrug. 1,5 Milliarden Dollar – für ein Experiment, dem nur die wenigsten nennenswerte Erfolgchancen einräumen: War das nicht ein aberwitziges Projekt?



Nobelpreisträger Ting: „Das Wichtigste an Konferenzen ist, dass sie kurz sind“

Aber Ting war nicht zu bremsen. „Bei wirklich ungewöhnlichen Ideen ist es immer das Gleiche. Die Theoretiker sagen: ‚Das bringt doch nichts‘, und die Experimentatoren sagen: ‚Das geht doch nicht‘“, sagt er.

Mit nicht mehr als hundert Dollar in der Tasche, erzählt er, sei er einst von

Taiwan aus in die USA gekommen und habe doch Karriere gemacht. Als Teilchenphysiker habe er später gesucht, wo niemand Überraschungen erwartete – und am Ende sei ein Nobelpreis dabei herausgekommen. Warum sollte er diesmal falschlügen?

„Seit Jahrzehnten suchen die nach dem Verbleib der Antimaterie“, spottet Ting. „Und was haben sie bisher gefunden? Nichts.“

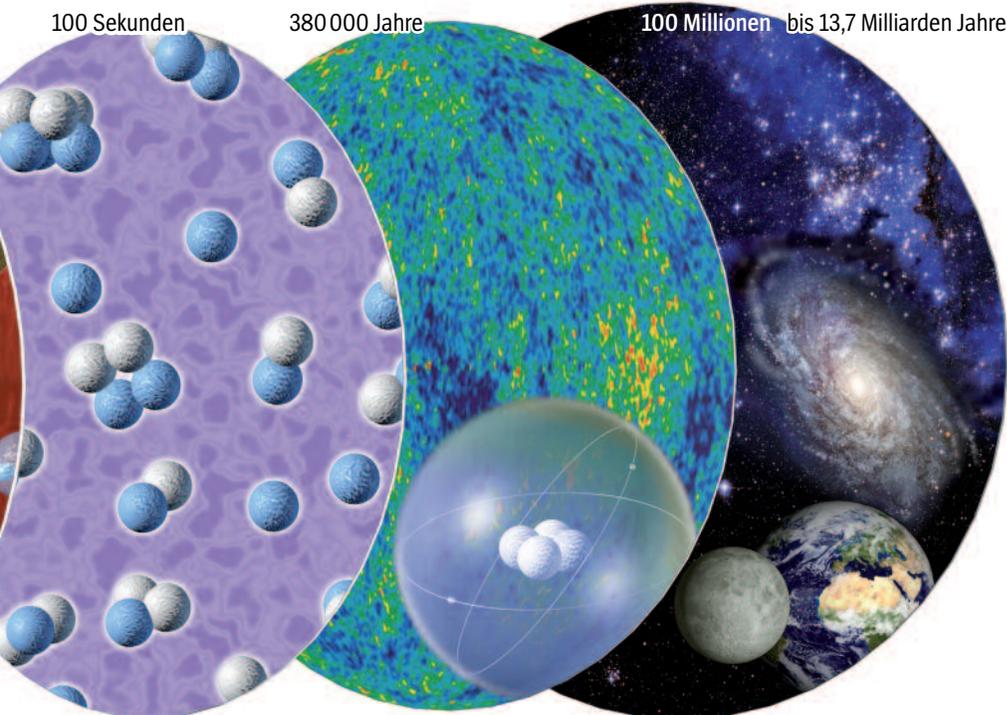
Deshalb, meint er, sei es an der Zeit, eine ganz andere Frage zu stellen: Was, wenn die Antimaterie gar nicht verschwunden ist? Wenn sie nur in anderen Regionen des Universums ihr Dasein fristet?

Tatsächlich hatte schon Antimaterie-Entdecker Dirac spekuliert, dass die Erde vielleicht nur zufällig aus Materie bestehe: „Es ist durchaus möglich“, so orakelte er in seiner Nobelpreisrede, „dass es bei einigen Sternen genau umgekehrt ist.“

Mit Teleskopen allein, erklärt Ting, lasse sich das nicht erkennen. Ebendeshalb hat er den 8,5 Tonnen schweren Magnetdetektor AMS ins All hieven lassen. Sollten sich je irgendwelche Antiatome in unseren Winkel der Milchstraße verirren – dieses Gerät könnte sie aufspüren. Und ein einziges Atom Antisilizium oder Antikohlenstoff wäre genug, um die Fachwelt davon zu überzeugen, dass es irgendwo im Universum auch Antisterne und ganze Antigalaxien geben muss.

Es mangelt Ting nicht an Selbstvertrauen. Wie bei keinem anderen Experiment der Teilchenphysik ist bei AMS alles auf den Leiter des Projekts zugeschnitten. Während sonst das Kollektiv der Forscher zählt, steht hier der Chef im Mittelpunkt.

Jeden Tag um kurz vor 17 Uhr strömt seine Mannschaft aus den umliegenden Gebäuden zusammen. Kurz sammeln sie



100 Sekunden

380 000 Jahre

100 Millionen bis 13,7 Milliarden Jahre

5 Nukleosynthese

Nach Abkühlung auf rund eine Milliarde Grad Celsius bilden Protonen und Neutronen einfache Atomkerne.

6 Erste neutrale Atome

Entkopplung der Strahlung von der Materie: Das Universum wird durchsichtig. Ein Abbild dieses Zustands findet sich noch heute in der kosmischen Hintergrundstrahlung.

7 Bildung komplexer Materie

Sterne und Galaxien entstehen. Unser eigenes Sonnensystem formt sich 9,1 Milliarden Jahre nach dem Urknall.

sich im Foyer, spielen noch ein wenig mit den Solarpaddeln des ISS-Modells oder verfolgen, wie der bewölkte Atlantik langsam über den riesigen Monitor zieht: Zu sehen sind dort Live-Aufnahmen aus dem All, die eine Art Webcam von der Raumstation sendet.

Dann, Punkt 5 Uhr, ist Einlass in Tings Büro. Er thront an einem Schreibtisch, an dessen mächtiger Eichenplatte bequem zwei Dutzend Forscher Platz finden. Die Stirnseite des Bürosaals, Ting gegenüber, ist aus Glas. Sie erlaubt den Blick hinab in den Kontrollraum, in dem die Techniker 365 Tage im Jahr rund um die Uhr ihr außerirdisches Labor überwachen. Aber jetzt lässt Ting eine Leinwand von der Decke herabsurren, die den Blick hinab versperrt.

Der Statusreport erscheint auf dem Bildschirm, die Ereignisse der letzten 24 Stunden. Temperatur? Signale? Unregelmäßigkeiten? Mit leiser, aber bestimmter Stimme stellt Ting seine Fragen. Prompt und knapp kommen die Antworten.

Keine besonderen Vorkommnisse; um 17.04 Uhr gehen die Forscher zurück an ihre Arbeit. „In Maos roter Bibel steht, das Wichtigste an Konferenzen ist, dass sie kurz sind“, konstatiert Ting.

Über 17 Milliarden Mal ist den kosmischen Teilchenjägern in ihrer Außenstelle im All bereits von weither kommende Materie ins Netz gegangen. Helium, Silizium, Kohlenstoff, Eisen – fast alle Elemente des Periodensystems konnten sie bisher nachweisen, alles Botschaften aus der Unendlichkeit. Doch ob es auch Hinweise auf Antihelium oder gar noch komplexere Teilchen aus Antimaterie in der kosmischen Strahlung gibt, mag Ting nicht verraten. „Nur eines kann ich versprechen“, meint er, „ich werde so spät wie irgend möglich veröffentlichen – erst will ich meiner Sache ganz sicher sein.“

Auf vergleichsweise direkte Weise nähern sich Jeffrey Hangst und die anderen Forscher in der AD-Halle dem Antimaterie-Problem. Plasma-, Hochenergie-, Laser- und Atomphysiker haben sich dort zusammengefunden, um das Hantieren mit dem Stoff aus der Gegenwelt zu üben. Verborgener hinter einem Gebirge aus Betonziegeln verläuft das Strahlrohr, durch das die Techniker alle anderthalb Minuten ein Bündel von einigen Millionen Antiprotonen schießen. Diese Teilchen bremsen die Forscher ab, lenken sie mit Hilfe elektrischer und magnetischer Felder und versuchen, Antiatome aus ihnen zu formen.

Mit ihrem vergleichsweise bescheidenen Millionen-Budget steht die AD-Physik

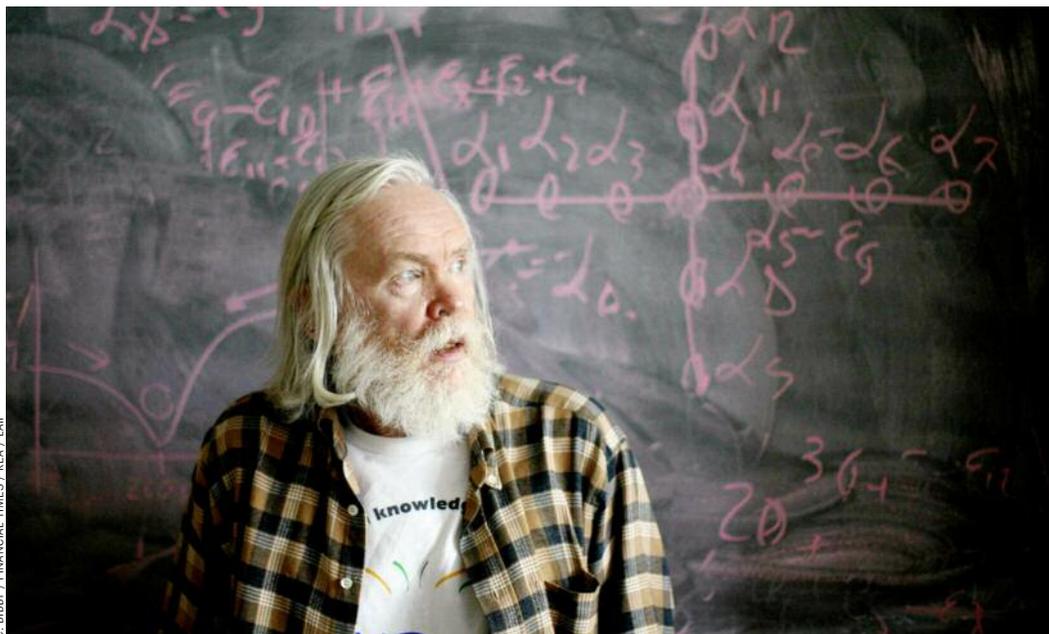
am Cern eher im Schatten der Großprojekte. Vielen der Kollegen von der drei Milliarden Euro teuren Riesenschleuder LHC erscheint die Fabrikation von Antiatomen eher als reizvolle Spielerei. „Ein bisschen solch schöner Physik muss erlaubt sein“, meint Cern-Theoretiker Ellis, und Hochmut und Hochachtung vermischen sich dabei.

Der Japaner Masaki Hori vom Garching-er Max-Planck-Institut für Quantenoptik zum Beispiel hat es geschafft, bizarre Kunstobjekte aus Helium und Antiprotonen herzustellen. Sie erlaubten es ihm, die Masse des Antiprotons zu messen. Schon tüftelt Hori und seine Mitstreiter im Laserlabor an einer Methode, mit der er die Masse sogar genauer messen können, als es je mit normaler Materie

Doch wird sich dabei wirklich zeigen, dass das Energiespektrum des Antiwasserstoffs anders ist als das seines Zwillingsatoms aus Materie? Kann es überhaupt sein, dass ein Antiproton leichter ist als ein Proton? Und ist es möglich, dass die Schwerkraft an Materie und Antimaterie unterschiedlich zerrt?

Hori, Doser und Hangst wissen wohl, dass kaum einer ihrer Kollegen darauf wetten würde. „Wenn wir wirklich etwas finden, dann ist es etwa so, als ginge die Sonne plötzlich im Westen auf“, meint Hori. Diracs geheiligte Elektronen-Gleichung jedenfalls lässt Unterschiede, wie sie die Physiker in der AD-Halle suchen, eigentlich nicht zu.

Durch solche Einwände mögen die sich jedoch nicht verdrießen lassen. „Manch-



Physiker Ellis: Hat sich das Schicksal der Welt in der ersten trillionstel Sekunde entschieden?

gelang. „Dann werden wir Lehrbuchwissen schreiben“, sagt er stolz.

Zwei Kammern weiter bastelt Michael Doser an einem anderen Experiment: Er will messen, wie das Schwerefeld der Erde auf Antimaterie wirkt. Selbst die Anziehung des Mondes auf Antiatome hofft er dann messen zu können.

Die größte Aufmerksamkeit aber bekam Jeffrey Hangst, als er es schaffte, ein einzelnes Antiatom mit Mikrowellen zu beschließen. „In den letzten anderthalb Jahren gelang uns ein Durchbruch nach dem anderen“, sagt er. „Das Cern ist sehr zufrieden mit uns.“

Ungeduldig treibt er nun seine Leute zur Eile an. Sie entwickeln eine neue Antiatom-Falle, die auch ein Fenster haben soll. Dann wird es möglich sein, die Gefangenen aus der Antiwelt mit Lasern zu bestrahlen. Hangst will, dass das neue Gerät funktioniert, ehe der Beschleuniger im Spätherbst zu Wartungszwecken abgeschaltet wird.

mal muss man eben auf Wunder hoffen“, erklärt Doser, und sein Kollege Hangst verkündet: „Ich liebe es, Risiken einzugehen. Wer nur auf die Theoretiker hört, gerät schnell in Schwierigkeiten.“

Hier offenbart sich ein Riss, der die Physikergemeinde spaltet. Denn wie in keiner anderen Wissenschaft wird in der Physik unterschieden zwischen zwei Arten von Forschern: Die einen, die Theoretiker, versuchen, gleichsam als Erben Paul Diracs, die Wahrheit durch bloße Geisteskraft zu ergründen. Für die anderen, Experimentalphysiker genannt, gilt ausschließlich, was die Messinstrumente sagen.

John Ellis zählt zur ersten Sorte. Der agile Brite mit dem weißen Schamanenbart gehört zum Urgestein des Cern. Seit 40 Jahren verfolgt er von seinem Schreibtisch aus die Experimente seiner Kollegen an den Beschleunigern, jahrelang leitete er die Theorie-Abteilung.

Als Jungforscher hat er noch erlebt, wie die Forscher das sogenannte Stan-

dardmodell der Teilchenphysik zimmer-ten, ein Formelwerk, das alle bekannten Gesetze des Mikrokosmos zusammen-fasst. Später prägte er den Begriff „Theory of Everything“. Er formulierte dabei ein Fernziel, das viele Theoretiker bei ihrer Arbeit anspornt: die Aussicht, ir-gendwann eine Art Weltformel zu fin-den, die alle Naturgesetze in sich ver-eint.

Doch die Suche nach solch einer all-umfassenden Theorie erwies sich als frustrierendes Geschäft. Nicht dass es an Ideen gefehlt hätte. Ganz im Gegenteil: Im Laufe der Jahre hat sich auf Ellis' Schreibtisch ein Gebirge von Welt-entwürfen abgelagert: Stapel voller Ar-tikel, in denen von Raum-Zeit-Schaum und Sphaleronen, Dunkler Materie und

Für Theoretiker Ellis ist das aufre-nd – aber auch bitter. Denn ausgerech-net jetzt, da die Ära bloßen Spekulierens endlich zu Ende geht, kommt er ins Ren-tenalter.

Nur noch gelegentlich findet er den Weg in sein Büro am Cern. Auf den Bü-chern im Regal sammelt sich bereits der Staub; das Papiergebirge auf seinem Schreibtisch beginnt zu erodieren.

Doch Ellis ist zu rege, um sich ganz zur Ruhe zu setzen. Gerade erst ist er zurück von einer Konferenz in der Ukraine, das Wochenende hat er in Tunis verbracht, wo er junge Physiker vom nördlichen und südlichen Ufer des Mittelmeers zusam-menbrachte. Und zwischendrin legte er einen Stopp in Cambridge ein, um ein neues Projekt zu besprechen.

Und das Gute: Der LHC beschleunigt Protonen stark genug, um Energien zu er-reichen, wie sie in jener entscheidenden Epoche typisch waren. Die Theorien, die diese Prozesse beschreiben, werden damit überprüfbar. Anfang des Jahres haben die Ingenieure die Leistung ihres Superbe-schleunigers noch einmal hochgeschraubt. Seither flutet ein Tsunami von Daten aus den Detektoren ins Rechenzentrum. Und je genauer sich daraus die Eigenschaften des Higgs-Teilchens ermitteln lassen, desto klarer werden sich die Konturen der er-sehten neuen Physik abzeichnen. „Bis zum Ende dieses Jahres“, verspricht Ellis, „werden wir mehr wissen.“

Und was, wenn sich wieder nur die Vor-hersagen des Standardmodells bestäti-gen? Was, wenn auch die Untersuchung



KAMIOKA OBSERVATORY / ICRP / THE UNIVERSITY OF TOKYO

Unterirdischer Neutrino-Detektor: *Wir alle sind Überlebende des Vernichtungswerks am Anfang des Universums*

zehndimensionalen Superpartnern die Rede ist.

Doch all diesen Ideen war bisher eines gemein: Sie ließen sich nicht testen. Denn in ihren Gedankenspielen steigerten die Theoretiker die Energien bis zu atem-beraubenden Dimensionen. Geräte, mit denen sich Phänomene dieser Art hätten studieren lassen, gab es nicht.

Jetzt aber, darin ist sich Ellis mit vielen seiner Kollegen einig, könnte die Physik an einem Wendepunkt stehen. Endlich steht mit dem LHC eine Teilchenschleu-der bereit, die bis in die interessanten Be-reiche vorzudringen vermag.

Während die Welt die Entdeckung des Higgs-Teilchens feiert, des letzten Bau-steins des Standardmodells, hat unter den Theoretikern längst das Nachdenken über das Danach begonnen. Denn jetzt be-ginnt der Aufbruch ins Unbekannte, in Gefilde, die sich mit den bisher bekann-ten Naturgesetzen nicht mehr beschrei-ben lassen.

Seine Ideen bringt er notfalls eben im Flugzeug oder in der Lounge eines Flug-hafens zu Papier. Noch immer veröffent-licht Ellis fast im Wochentakt.

Oft befasst er sich dabei mit der Frage, wo sich erstmals Physik jenseits des Stan-dardmodells offenbaren könnte. Und vie-les spricht dafür, dass gerade die Anti-materie den Weg in die neue Ära ebnen könnte.

Denn bisher gilt: Praktisch alles, was die Detektoren messen, wird von den For-meln des Standardmodells richtig vorher-gesagt. Nur bei einem Phänomen versagen sie: Den Verbleib der Antimaterie vermögen sie nicht zu erklären.

Um das Rätsel zu klären, tastet sich El-lis mit seinen Formeln in die erste bil-lionstel Sekunde nach dem Urknall vor. In dieser Frühzeit des Universums, so vermutet er, wurden die Naturgesetze in ihrer heutigen Form gleichsam eingefro-ren. Damals schieden sich die Wege von Materie und Antimaterie.

der Antiatome keinerlei Unterschied zur Materie zutage fördern?

Ellis wäre kein guter Theoretiker, wenn er nicht auch für diesen Fall vorgesorgt hätte. „Dann wurden die Weichen noch früher gestellt“, erklärt er. Nicht in der ersten billionstel, sondern in der ersten trillionstel Sekunde müsste sich dann das Schicksal der Welt entschieden haben. „Für die Theorie bedeutet das einen ries-igen Unterschied“, sagt er.

Szenarien, wie sich das alles vollzogen haben könnte, hat Ellis längst im Kopf. Geisterhafte Neutrinos spielen eine Schlüsselrolle dabei.

JOHANN GROLLE



**Video:
Was ist
Antimaterie?**

Für Smartphone-Benutzer:
Bildcode scannen, etwa mit
der App „Scanlife“.