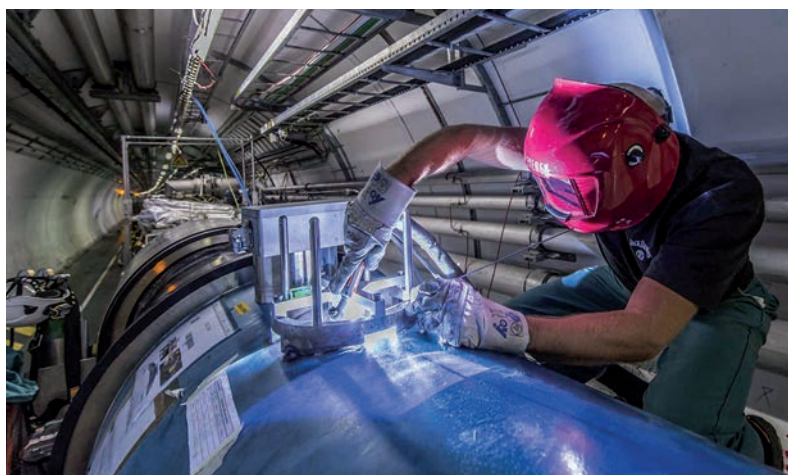


■ Neustart mit (fast) doppelter Energie

Der Large Hadron Collider ist rundum erneuert und nimmt bald seinen Betrieb bei einer Energie von 13 TeV auf.

„Es ist höchste Zeit, die Bruchstelle im Standardmodell zu finden“, sagte CERN-Generaldirektor Rolf-Dieter Heuer auf der Pressekonferenz zum Neustart des Large Hadron Collider (LHC) am 12. März.¹⁾ Dass es eine solche Bruchstelle gibt, scheint sicher. Das Standardmodell ist zwar bestens bestätigt, nicht zuletzt durch den ersten Run des LHC, bei dem 2012 das Higgs-Boson entdeckt wurde, aber solange 95 Prozent des Universums im Dunklen liegen, kann es nicht die ganze Wahrheit sein: Nur rund 5 Prozent des Universum bestehen aus „normaler“ baryonischer Materie, rund 25 Prozent entfallen auf die Dunkle Materie und 70 Prozent auf die abstoßende Dunkle Energie, deren Beschaffenheit noch völlig unklar ist.

Nun nähert sich die zweijährige Betriebspause des LHC dem Ende, und der Beschleuniger ist fast „eine neue Maschine“, wie Heuer betonte. So wurden in über zehntausend Verbindungen zwischen den supraleitenden Dipolmagneten Nebenzwischenströme (Shunts) eingesetzt, über die der Strom im Falle des Verlustes des supraleitenden Zustands der Magnete fließen kann. Damit soll ein Vorfall wie 2008 ausgeschlossen werden, bei dem eine fehlerhafte Schweißnaht zwischen zwei Magneten der Belastung nicht



Mittlerweile sind die umfangreichen Wartungen und Umbauarbeiten für den Neustart des Large Hadron Collider abgeschlossen.

standhielt und ein Heliumtank des Kühlsystems zerstört wurde. Die Reparaturmaßnahmen machten eine einjährige Betriebspause nötig.

Die Hohlraumresonatoren laufen nun bei höheren Spannungen, um eine Schwerpunktsenergie von 13 TeV zu erreichen, fast doppelt so viel wie beim ersten Run des LHC. Dafür wurden in den vergangenen zwei Jahren auch die Kühl- und Lüftungsanlagen und der Strahlenschutz für die empfindlichen elektronischen Geräte generalüberholt.

Der Beschleuniger wird noch nicht die geplante Maximalenergie von 14 TeV erreichen. Dadurch benötigt die Ertüchtigung der

Magneten weniger Zeit, und der LHC kann ein Jahr früher Daten produzieren. Auf die warten alle Teilchenphysikerinnen und -physiker bereits ungeduldig. Doch beim Hochfahren der komplexen „Weltmaschine“ gilt „Safety First“, schließlich wird der Teilchenstrahl des LHC eine Energie haben, die ausreicht, um 500 Kilogramm Kupfer zu schmelzen.

Der LHC soll nicht nur mit deutlich höherer Energie, sondern auch mit größerer Präzision arbeiten, indem er schmalere Teilchenstrahlen und kleinere, aber dafür dichter gepackte Protonen-Pakete produziert. Das bedeutet mehr Wechselwirkungen und Kollisionen, die sich von den großen Experimenten ATLAS, CMS, LHCb und ALICE studieren lassen. Nach den bisherigen Vorarbeiten und ersten Tests der Einzelkomponenten und der Vorbeschleuniger dürfte der LHC in etwa zwei Monaten mit voller Kapazität laufen. Dann soll der eigentliche wissenschaftliche Betrieb starten.

Welche Entdeckungen sind im zweiten Lauf des LHC zu erwarten? „Das wissen wir nicht“, bekannte der Sprecher des CMS-Experiments Tiziano Camporesi. Klar sei nur, dass sich mit der Energie von 13 TeV Materiezustände erzeugen lassen, die noch nie zuvor beobachtet wurden. „Gleichzeitig können

1) Weitere Artikel zum Large Hadron Collider finden sich im entsprechenden Dossier auf www.pro-physik.de/physik/dossier.html

KURZGEFASST

■ Ungarn tritt ESA-Abkommen bei

Ende Februar hat Ungarn das Abkommen über seinen Beitritt zum ESA-Übereinkommen unterzeichnet. Nach Ratifizierung wird Ungarn damit der 22. ESA-Mitgliedsstaat sein. Bereits seit 1991 kooperiert Ungarn mit der ESA.

■ Wertschätzung für Lehrer

In der gemeinsamen Qualitätsoffensive Lehrerbildung von Bund und Ländern stehen die erfolgreichen Hochschulen der ersten Bewilligungsrunde fest. 19 innovative Konzepte, welche die Lehrkräfteausbildung voranbringen sollen, überzeugten dabei. Die Qualitätsoffensive hat zwei Förderphasen und läuft bis 2023. Über die Laufzeit investiert der Bund bis zu 500 Millionen Euro.

■ BER II nimmt Betrieb wieder auf

Nach Abschluss der über ein Jahr dauernden Wartungsarbeiten steht die Neutronenquelle BER II wieder zur Verfügung. Unter anderem wurde ein neuer Hochfeldmagnet (bis zu 26 Tesla) montiert. Mit ihm sind neuartige Experimente möglich, z. B. zur Erforschung von Supraleitung und magnetischen Phasenübergängen in Feststoffen.

■ Richtfest bei European XFEL

Im Februar wurde beim European XFEL Richtfest für das Hauptgebäude gefeiert, das auf der unterirdischen Experimentierhalle des Röntgenlasers steht. Die Veranstaltung markiert einen Meilenstein beim Bau des European XFEL, der 2017 in Betrieb gehen soll.

wir Phänomene auf noch kleineren Längenskalen beobachten“, sagte David Charlton, Sprecher der ATLAS-Kollaboration. Das bedeutet nicht nur einen tieferen Blick in die Grundbausteine der Materie, sondern könnte auch Hinweise auf winzige Extradimensionen liefern.

Ein Ziel ist es auf jeden Fall, mit dem LHC die Eigenschaften des Higgs-Teilchens noch genauer zu vermessen und herauszufinden – so Heuer –, ob es ein „Einzelkind“ ist

oder zu einer größeren Familie von Higgs-Teilchen gehört. Hoffnungen ruhen auch auf der Entdeckung neuer Teilchen mit größeren Massen, etwa solche, die supersymmetrische Theorien vorhersagen. Dies könnte ein Beitrag sein, um das Rätsel der Dunklen Materie zu lösen. Daneben soll der LHC neue Erkenntnisse über die Unterschiede zwischen Materie und Antimaterie und die Eigenschaften des Quark-Gluon-Plasmas liefern.

Ob und wann die Forscher mit dem LHC auf neue Teilchen oder neue Physik jenseits des Standardmodells stoßen werden, ist nicht abzusehen. „Das hängt davon ab, wie nett die Natur zu uns ist“, meinte Rolf-Dieter Heuer. Was er selbst in diesem Fall unter „nett“ versteht, erklärte er auch: „Wenn die Natur erlaubt, dass erstes Licht ins dunkle Universum fällt.“

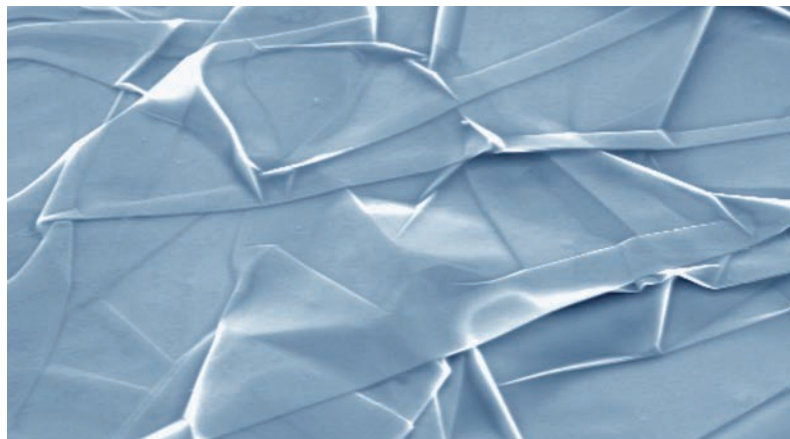
Alexander Pawlak

■ Fahrplan für das Flaggschiff

Das Graphene Flagship hat Ende Februar eine Roadmap veröffentlicht, die den Stand der Forschung zusammenfasst und die wichtigsten Themenfelder identifiziert.

Graphen gilt als Wundermaterial des 21. Jahrhunderts. Es ist extrem dünn und 100- bis 300-mal reißfester als Stahl, es leitet elektrischen Strom und Wärme besser als jedes Metall, ist biokompatibel und transparent. Im Alltag ist Graphen bereits angekommen – als Teil eines Kompositmaterials, aus dem Tennisschläger hergestellt werden. Seit nunmehr zwei Jahren spielt die derzeitige Nummer 1 der Weltrangliste, Novak Djokovic, mit einem besonders stabilen und gut ausbalancierten Tennisschläger basierend auf Graphen-Technologie. Grund genug, dieses Wundermaterial genau zu erforschen und viele weitere Anwendungen zu erschließen. Diesen Aufgaben widmet sich seit anderthalb Jahren das Graphene Flagship – eine Initiative im Rahmen des EU-Programms „Future and Emerging Technologies“ mit einer Fördersumme von bis zu einer Milliarde Euro über zehn Jahre. Als Bestandsaufnahme und Ausblick haben die Partner des Flagships kürzlich eine Roadmap veröffentlicht, in der sie für verschiedene Anwendungsfelder die wichtigsten Herausforderungen und notwendigen Arbeitsschritte nennen.^{#)}

Die Roadmap identifiziert drei Schwerpunkte für die künftige Arbeit: Erstens geht es darum, neue Schichtmaterialien über Graphen hinaus zu identifizieren und ihr Potenzial zu erkunden. Zweitens



K. Novoselov

Wie ein zerknittertes Seidentuch sieht eine einzelne Graphenschicht unter dem Elektronenmikroskop aus.

wollen die Forscher neuartige Gerätekonzepte basierend auf zweidimensionalen Materialien entwickeln. Drittens sollen Komponenten und Strukturen aus zweidimensionalen Materialien in bestehende Systeme integriert werden, um neue Funktionalitäten und Anwendungen zu ermöglichen. Die Roadmap ist untergliedert in elf verschiedene Bereiche, zu denen elektronische Bauteile, Spintronik, Photonik und Optoelektronik, flexible Elektronik, Kompositmaterialien oder auch biomedizinische Anwendungen zählen.

Der Bereich Biomedizin ist neu hinzugekommen. „Bisherige Elektronik basierend auf Silizium oder GaAs ist nicht besonders biokompatibel. Graphen besteht allerdings aus Kohlenstoff und lässt sich für

die Sensorik in der Biomedizin daher deutlich besser einsetzen“, erläutert Daniel Neumaier von der AMO GmbH in Aachen. Er selbst leitet den Bereich Hochfrequenztechnik, in dem es seit Beginn des Programms vor allem darum geht, die Prozesstechnologie zu entwickeln, um Graphen in Systeme einbinden bzw. daraus Bauteile fertigen zu können. „Unser Ziel wäre es, die Bauteile reproduzierbar wie beim Brezelbacken herzustellen“, sagt Neumaier.

Eine Herausforderung besteht allerdings darin, die Prozesstechnologie so zu skalieren, dass sie für die großtechnische Fertigung infrage kommt. Auch die Integration von Graphenbauteilen in die Silizium-Technologie ist bislang noch nicht geklärt. Angelegt ist

#) Das gesamte Dokument findet sich unter: <http://pubs.rsc.org/en/content/articlepdf/2015/nr/c4nr01600a>