



Die neue Jagdsaison am Cern ist eröffnet

Teilchenphysiker sind in den letzten Jahren auf mehrere Anomalien gestossen, die an den Grundfesten der Physik rütteln. Nach Wiederhochfahren des Beschleunigers wollen sie wissen, was dahintersteckt. VON CHRISTIAN SPEICHER

Der Large Hadron Collider ist aus einem langen «Winterschlaf» erwacht. Seit letzter Woche zirkulieren in dem ringförmigen Beschleuniger am Cern wieder Protonen. Es wird zwar noch einige Wochen dauern, bis die ersten Protonen miteinander kollidieren, aber schon jetzt ist die Spannung am Cern mit den Händen greifbar. Viele Teilchenphysiker hoffen, dass die dritte Messperiode endlich handfeste Hinweise auf neue Teilchen oder Naturkräfte liefert.

Diese Aufbruchstimmung ist keine Selbstverständlichkeit. Noch vor einigen Jahren sahen sich Teilchenphysiker mit einem Szenario konfrontiert, das ihnen Albträume bereitet. Dieses lautete: das Higgs-Teilchen und sonst nichts.

Ein Albtraum nimmt Gestalt an

Der Hintergrund ist der folgende: Im Jahr 2012 entdeckten Teilchenphysiker am Cern das Higgs-Teilchen und feierten damit einen ihrer grössten Triumphe. Das Higgs-Teilchen ist die materielle Verkörperung eines Feldes, ohne das das Standardmodell wie ein Kartenhaus in sich zusammenbräche. Laut Theorie haben die Bausteine der Materie (also Elektronen und Quarks) nur deshalb eine Masse, weil sie mit dem allgegenwärtigen Higgs-Feld wechselwirken. Der Nachweis des Higgs-Teilchens bestätigte diese Vorstellung und vollendete damit das Standardmodell.

So weit, so gut. Gleichzeitig lässt das Standardmodell aber viele Fragen offen. So kann es zum Beispiel nicht erklären, woraus die dunkle Materie besteht. Die meisten Teilchenphysiker sind deshalb überzeugt, dass es ein umfassenderes Modell mit neuen Teilchen oder Naturkräften geben muss.

Bis jetzt hält sich diese tiefere Realität allerdings bedeckt. Obwohl der Large Hadron Collider der energiereichste Beschleuniger auf der Welt ist, ist es bisher

nicht gelungen, andere Teilchen als das Higgs-Teilchen nachzuweisen. Die Vorstellung, dass das so bleibt, bereitet den Physikern Albträume. Denn wer will schon wieder und wieder ein Modell bestätigen, von dem man aus theoretischen Gründen weiss, dass es unvollständig ist.

Endlich einmal eine Anomalie

Inzwischen ist die gedrückte Stimmung jedoch vorsichtiger Zuversicht gewichen. Zwar gibt es immer noch keinen überzeugenden direkten Nachweis neuer Teilchen, doch es mehren sich die indirekten experimentellen Hinweise, dass mit dem Standardmodell etwas nicht stimmt. Den Anfang machte ein Experiment am Cern. Dort hatten Mitglieder der LHCb-Arbeitsgruppe Zerfälle von sogenannten B-Mesonen untersucht und schon vor Jahren festgestellt, dass diese eine leichte Schlagseite haben: Die kurzlebigen B-Mesonen zerfallen etwas seltener in Myonen und ihre Antiteilchen als in Elektronen und ihre Antiteilchen. Dieses Ergebnis wurde vor einem Jahr mit mehr Daten untermauert.

Elektronen und Myonen gehören zur gleichen Familie, den sogenannten Leptonen. Das Myon koppelt zwar stärker an das Higgs-Feld und ist daher schwerer als das Elektron. In jeder anderen Hinsicht sollte es aber keine Unterschiede zwischen den Familienmitgliedern geben. Man bezeichnet das auch als Leptonen-Universalität. Die asymmetrischen Zerfälle der B-Mesonen deuten darauf hin, dass diese Vorhersage des Standardmodells verletzt sein könnte.

Das ist nicht der einzige Befund, der an der Vollständigkeit des Standardmodells zweifeln lässt. Die Forscher der LHCb-Arbeitsgruppe haben auch andere Zerfälle der B-Mesonen untersucht und sind dabei auf weitere Anomalien gestossen. Wichtig sei, dass all diese Anomalien ein konsistentes Bild lie-

feren, sagt Nicola Serra von der Universität Zürich, der zur LHCb-Arbeitsgruppe gehört.

Die indirekten experimentellen Hinweise mehren sich, dass mit dem Standardmodell etwas nicht stimmt.

Auch am Fermilab bei Chicago tut sich Merkwürdiges. Dort haben Forscher vor einem Jahr das magnetische Moment des Myons sehr präzise vermessen und herausgefunden, dass es grösser ist als vom Standardmodell vorhergesagt. Die jüngste Meldung ist erst wenige Wochen alt und kommt ebenfalls vom Fermilab. Sie betrifft das sogenannte W-Boson. Dieses Teilchen vermittelt die schwache Kernkraft, die Atomkerne zerfallen lässt. Wie eine Analyse alter Messdaten zeigt, weicht die Masse des W-Bosons sehr viel stärker vom theoretisch vorhergesagten Wert ab, als es bei dem überaus kleinen Messfehler zu erwarten wäre.

Bis jetzt reicht keiner dieser Befunde aus, um in Jubel auszubrechen. So weicht der neue Wert für die Masse des W-Bosons nicht nur von der Vorhersage des Standardmodells ab, sondern auch von früheren Messungen. Und die anderen Anomalien haben noch nicht die statistische Signifikanz, die Teilchenphysiker voraussetzen, bevor sie von einer Entdeckung reden. Fügt man die Puzzlestücke aber zusammen, ergibt sich ein verheissungsvolles Bild.

Das erklärt, warum man so gespannt auf die nächste Messperiode am Cern wartet. Zwar werden die Protonen nach der Revision des Large Hadron Collider nur mit geringfügig höherer Ener-



gie aufeinanderprallen als in den Jahren zuvor. Aber es wird pro Zeiteinheit deutlich mehr Kollisionen geben. Zudem haben die Arbeitsgruppen die Zeit genutzt, um ihre Detektoren zu verbessern. Das erlaubt es, in Zukunft noch präziser nach subtilen Andeutungen von «neuer Physik» zu suchen.

Er sei sehr zuversichtlich, dass man nach dem Ende der dritten Messperiode verlässliche Aussagen darüber machen könne, ob die Leptonen-Universalität bei den Zerfällen der B-Mesonen verletzt sei, sagt Serra. Die vordringlichste Aufgabe bestehe nun darin zu schauen, welche Anomalien überlebten. Dann könne man sich Gedanken darüber machen, wie das alles zusammenpasse.

Hinweise auf eine fünfte Kraft?

So lange wollen theoretische Physiker nicht warten. Schon seit geraumer Zeit wälzen sie Ideen, wie die jüngst entdeckten Anomalien – ob real oder nicht – erklärt werden könnten. Sie spekulieren zum Beispiel, dass es neben den vier bekannten Naturkräften eine fünfte Kraft geben könnte, die Myonen und Elektronen unterschiedlich stark anzieht.

Eine solche Kraft könne sowohl die asymmetrischen Zerfälle der B-Mesonen als auch eine grössere Masse der W-Bosonen erklären, sagt der theoretische Physiker Andreas Crivellin von der

Universität Zürich und dem Paul-Scherer-Institut. Das anomale magnetische Moment des Myons erfordere jedoch eine fünfte Kraft mit anderen Eigenschaften. Also brauche man im Prinzip eine sechste Kraft, um alle Anomalien zu erklären.

Ein ähnliches Problem stellt sich mit den sogenannten Leptoquarks. Diese

Verbesserte Detektoren erlauben es, am Cern noch präziser nach subtilen Andeutungen von «neuer Physik» zu suchen.

hypothetischen Teilchen verwischen die strikten Grenzen zwischen den Quarks und den Leptonen und führen ebenfalls zu neuen Wechselwirkungen zwischen den Teilchen des Standardmodells. Auch hier seien die einfachsten Modelle nicht in der Lage, alle Anomalien gleichzeitig zu erklären, so Crivellin.

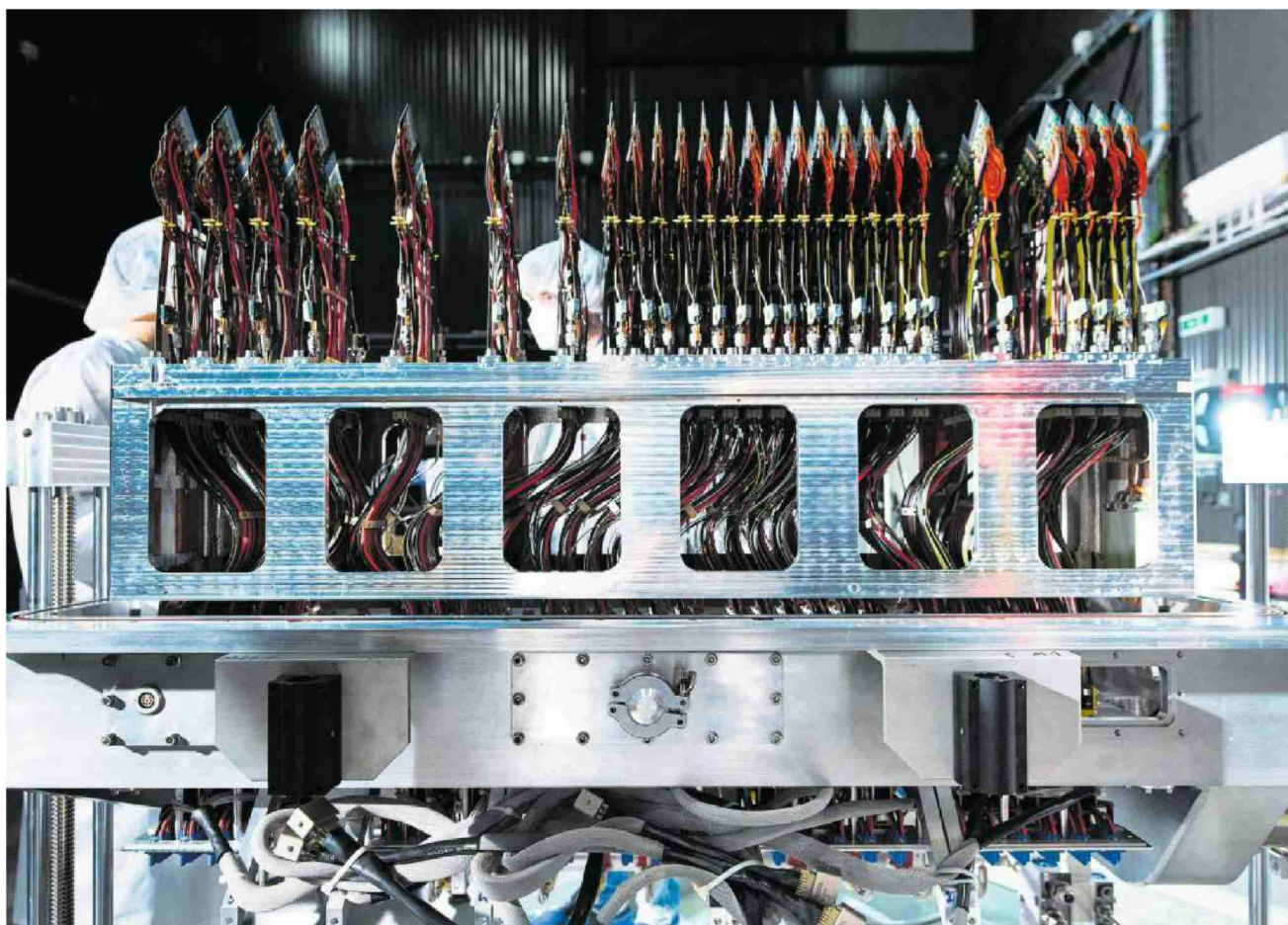
Wenn es gut läuft, bringen die Experimente am Cern neue Anomalien ans Licht. So sollten Leptoquarks auch die Zerfälle des Higgs-Teilchens beeinflussen und zu neuen Zerfällen der B-Mesonen führen. Dafür gibt es bis jetzt keine Anzeichen. Aber mit den Daten, die in

den nächsten Jahren zu erwarten sind, wird man das wesentlich genauer überprüfen können.

Das Nonplusultra wäre es, wenn man ein neues Teilchen direkt nachweisen könnte. Nehme man die Anomalien ernst, müsse es neue Teilchen mit einer nicht zu grossen Masse geben, sagt Serra. Je nachdem, welches Modell man bevorzuge, könnte die Energie des Large Hadron Collider gerade ausreichen, diese Teilchen zu erzeugen.

Das sind eigentlich rosige Aussichten. Und trotzdem ist die Euphorie der Teilchenphysiker verhalten. Dafür gibt es gute Gründe. Crivellin erinnert an das Jahr 2015. Damals lieferten das Atlas- und das CMS-Experiment am Cern Hinweise auf ein neues Teilchen, das nach kurzer Zeit in zwei Photonen zerfällt. Innerhalb von Wochen erschienen Hunderte von Publikationen. Doch der Zauber währte nur kurz. Ein Jahr später stellte sich heraus, dass die Teilchenphysiker einer statistischen Fluktuation aufgesessen waren.

Eine solche Erfahrung mache vorsichtig, so Crivellin. Das Standardmodell sei fünfzig Jahre lang immer wieder bestätigt worden. Es wäre zu schön, um wahr zu sein, wenn gerade jetzt der grosse Durchbruch käme. Doch wie alle Teilchenphysiker fiebert auch Crivellin den neuen Ergebnissen des Large Hadron Collider entgegen.



Techniker installieren eine zentrale Komponente des LHCb-Detektors. Diese erlaubt es, den Zerfall von B-Mesonen sehr genau zu lokalisieren.

MAXIMILIEN BRICE / CERN