

Wie das CERN dem Standardmodell den Krieg erklärt [25. Apr.]

Der *Large Hadron Collider* (LHC) [1] am Kernforschungszentrum *CERN* [1] machte bereits im Jahr 2012 von sich reden als das *Higgs-Teilchen* (*Higgs-Boson*) [1] entdeckt wurde, das fast allen bekannten *Elementarteilchen* [1] die Masse verleiht.

Seitdem suchen die Wissenschaftler mithilfe des LHC nach einer (neuen) **Physik jenseits des Standardmodells der Elementarteilchenphysik** („Standardmodell“) [1]. Im Rahmen des *LHCb* (*Large Hadron Collider beauty experiment*) [1] (Abb. 1) soll untersucht werden, was es der Materie nach dem *Urknall* [1] ermöglichte zu überleben und das Universum zu dem zu machen, wie wir es gegenwärtig beobachten.



Abb. 1 Einblick in die Forschungsanordnung des LHCb.
Messungen des LHCb zur Gültigkeit des Standardmodells sorgen erneut für Aufregung.
© CERN/LHCb

Seit dieser Zeit hat das LHCb **sehr interessante Ergebnisse** erzielt: beispielsweise die Entdeckung 5 neuer Teilchen, die Hinweise auf eine Asymmetrie zwischen der Materie und der Antimaterie [1] des Universums enthalten [2], oder die kürzliche Entdeckung ungewöhnlicher Ergebnisse des Beta-Zerfalls [1]. Diese Entdeckungen könnten ein **Hinweis auf eine neue Physik** sein, die nicht Bestandteil des Standardmodells ist [4] und bereits seit einiger Zeit von mehreren Theoretikern gefordert wird.

Der wundersame Zerfall der B-Mesonen

Unlängst untersuchten die Forscher des LHCb wie der Zerfall des kurzlebigen B^0 -Mesons [1] in ein angeregtes Kaon (K) [1] und ein Elektronen- (e) oder Myonenpaar (μ) [1] erfolgt ($B^0 \rightarrow K^{*0} \mu^+ \mu^-$ und $B^0 \rightarrow K^{*0} e^+ e^-$) [1] [Abb. 2]. Bei Myonen handelt es sich um *subatomare Teilchen* [1], die 200 Mal massereicher als Elektronen sind, jedoch die gleiche Art von Wechselwirkungen ausführen (soweit es das Standardmodell betrifft), sozusagen ein *schwerer Bruder des Elektrons*.



Abb. 2
Schematische Darstellung eines B-Mesons.
Ein B-Meson besteht aus zwei *Quarks* [1] (rechts), einem *bottom* (*b*)-*Quark* (rot) und einem *Anti-up* (*u*)-*Quark* [1] (blau).
© Fermilab

Dabei beinhaltet die **Leptonen-Universalität** [1] nicht nur die Vorhersage, daß sich Elektronen und Myonen gleich verhalten, sondern ebenfalls mit der gleichen Wahrscheinlichkeit erzeugt werden sollten (Abb. 3).

Die Leptonen-Universalität ist einer der wichtigsten Bestandteile des Standardmodells: diese Annahme des Standardmodells geht davon aus, daß die Wechselwirkungen der geladenen Leptonen, d.h. der Elektronen, Myonen etc., sich nur deswegen unterscheiden, weil sie unterschiedliche Massen besitzen.

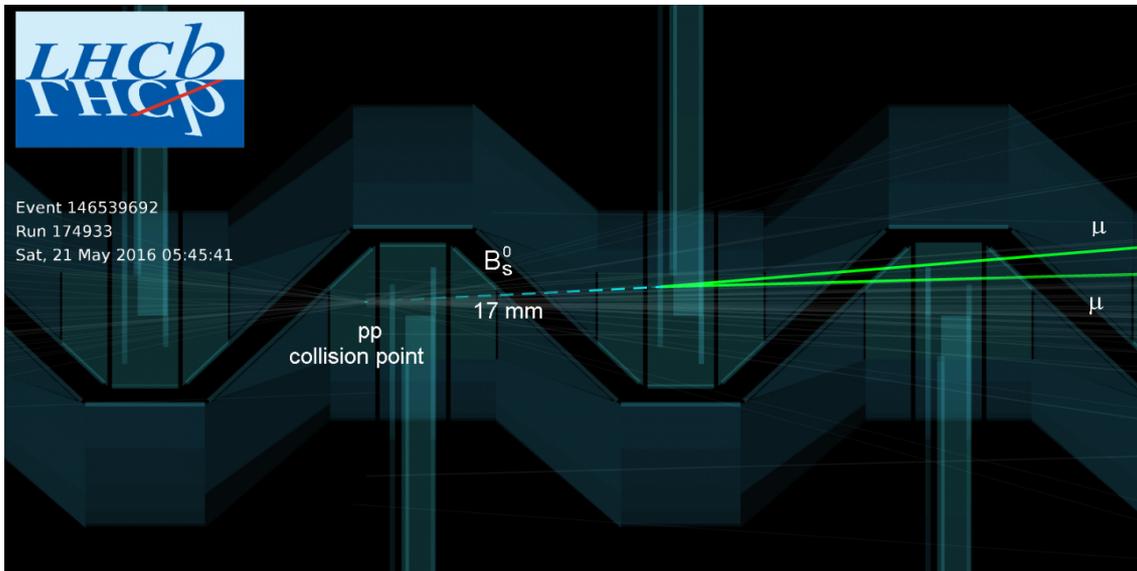


Abb. 3 Zerfall eines B^0 -Mesons in zwei Myonen (μ).

Bei der Kollision zweier Protonen (pp) [links] entstehen neue Teilchen. Beim Zerfall der B^0 -Mesonen (Mitte) sollten nach dem Standardmodell genausooft Elektronen wie Myonen (μ) [rechts] entstehen. Jedoch beobachteten die Forscher am LHCb häufiger den Zerfall in Elektronen.

© CERN/LHCb Collaboration

Experimente zum Zerfall des B^0 -Mesons im Zeitraum 2009-2013 (Run 1) zeigen, daß der Prozeß **weniger Myonen** erzeugt als erwartet. Anstelle einer 50:50-Erzeugung von Myonen und Elektronen, scheinen nur 40 Myonen gegenüber jeweils 60 Elektronen zu entstehen (Abb. 3). Auf alle Fälle liegen sämtliche Resultate seit dem Jahr 2014 deutlich unter den Vorhersagen des Standardmodells.

Die aktuellen Ergebnisse hierzu wurden in der letzten Woche im Rahmen eines CERN-Seminars [3] veröffentlicht (Abb. 4). Sie unterstreichen Resultate früherer Experimente des LHCb-Teams [5], auch wenn diese nur in gleichem Maße signifikant sind wie die aktuellen Resultate.

Signifikanz und mögliche neue Physik

Das könnte bedeuten, daß die Wissenschaftler eine „**neue Physik**“ außerhalb des Standardmodells beobachtet haben. Der b-Mesonen-Zerfallsprozeß soll nun im Rahmen weiterer Experimente (Run 2 bis 2018) weiter untersucht werden, bevor eindeutige Schlußfolgerungen gezogen werden können.

Bisher beträgt die **Signifikanz** für die unterschiedliche Erzeugung von Myonen und Elektronen, d.h. die Abweichung von der Vorhersage des Standardmodells, lediglich **2,2-2,5 σ** . Im Vergleich lagen die Ergebnisse zur Entdeckung des Higgs-Teilchens bei 5 σ .

Eine **Signifikanz von 5 σ** stellt eine Messung bezüglich statistischer Abweichungen dar, bei der die Wahrscheinlichkeit, daß die Messung korrekt ist, bei 1:3,5 Millionen liegt und es sich nicht um einen unglücklichen statistischen Zufall handelt. Erst bei derartig großen Signifikanzen gehen die Physiker von einer wirklichen Entdeckung aus.

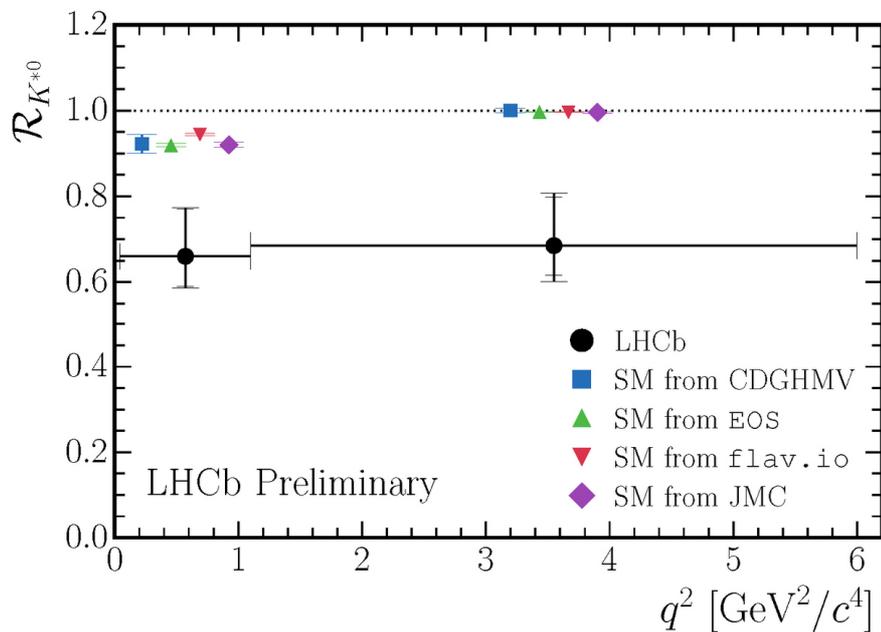


Abb. 4 Vorläufiges Ergebnis des LHCb zum Beta-Zerfall.

Die Abbildung zeigt den gemessenen Wert $R_{K^{*0}}$ in zwei Regimes (Quadrat der *invarianten Masse* q^2 [1]). Die farbigen geometrischen Figuren entsprechen den unterschiedlichen Vorhersagen des Standardmodells. Die farbigen Werte liegen bei 1,0 bzw. etwas darunter, bei rund 0,9. Demnach sollten die Zerfallsprodukte (Myonen oder Elektronen) in gleichem Maße erzeugt werden, d.h. der Wert $R_{K^{*0}}$ bei 1 liegen. Die Messungen des LHCb sind durch schwarze Kreise dargestellt und liegen allesamt unterhalb der Vorhersagen des Standardmodells, im Bereich von 0,6-0,8, selbst bei der Berücksichtigung der (vertikalen) Fehlerbalken.

© CERN/LHCb Collaboration

Die Signifikanz früherer ähnlicher Messungen (B^0 durch B^+ und K^{*0} -Meson durch K^+ ersetzt) lag bei 2,6 σ . Eine Signifikanz 2,5 σ bedeutet, daß die Wahrscheinlichkeit, daß es sich um eine neue Physik handelt und nicht um eine statistische Fluktuation, bei 1:125 liegt.

Verfälschung der Messungen?

Bisher ist unklar, ob ein schweres *Z-bosonenartiges Teilchen*, das Z [1], möglicherweise mit den Zerfallsprodukten (Myonen und Elektronen) wechselwirkt und dadurch das Ergebnis verfälscht oder ein hypothetisches *skalares Leptoquark*, das Δ [1], durch seine Wechselwirkung (mit den beteiligten *Quarks* [1] und Leptonen) die Messung verändert oder eine bisher unbekannte Physik berücksichtigt werden muß (Abb. 5).

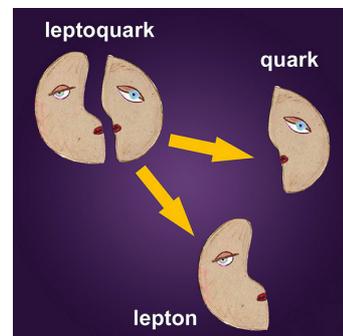


Abb. 5

Schematische Darstellung von Z- und Leptoquarks. Ein Leptoquark besteht wahrscheinlich aus einem Quark und einem Lepton (rechts). Bisher konnte es nicht entdeckt bzw. gemessen werden. Links ein Z-Boson.

© fnal.gov

Die Messung zum Beweis der Gültigkeit der Leptonen-Universalität gleicht dem Wurf einer Münze. Erst durch beliebig viele Würfe kann festgestellt werden, daß beide Seiten der Münze gleich oft gewählt werden. Je öfter man die Münze wirft, desto genauer wird das Ergebnis.

Nun sollen weitere Daten gesammelt werden, bevor die Forscher definitiv von der Existenz neuer Teilchen bzw. einer neuen Physik ausgehen oder die Messungen als statistische Fluktuation abtun können.

Quark-Unterstützung

Übrigens hat das LHCb bereits in der Vergangenheit das **merkwürdige Verhalten von ähnlichen Prozessen** beobachtet: beim Zerfall eines Teilchens, an dem *b-Quarks (bottom quarks)* [1] beteiligt sind, die sich in *c-Quarks (charm Quarks)* [1] umwandeln. Bei der Messung des Verhältnisses zwischen Myonen : τ -Leptonen (τ) [1] erwarteten die Wissenschaftler das Auftreten von 25 τ pro 100 Myonen, jedoch wurden 35 τ je 100 Myonen gemessen. Auch dieses Experiment liegt statistisch gesehen unterhalb der 5σ -Grenze. Jedoch weisen auch die Ergebnisse zweier anderer Experimente, das *BaBar-Experiment* am SLAC [1] und das *Belle-Experiment* [1] in Japan, die den gleichen Prozeß beobachteten, auf ein ähnliches Ergebnis. (s. auch [6])

Fazit und Ausblick

Die Gültigkeit der Leptonen-Universalität galt seit Jahren als gesichert, bis vor kurzem wurde keine Verletzung beobachtet. Dennoch scheinen aktuell mehrere physikalische Experimente am Standardmodell der Elementarteilchenphysik zu rütteln, darunter eine **aktuelle Bestimmung des Protonenradius** [1] aus Präzisionsmessungen in *myonischen Wasserstoffatomen* [1, 10]. Dabei wurde eine **Abweichung von rund 4 Prozent** gegenüber Messungen bei normalen Wasserstoffatomen und anderen Experimenten festgestellt.

Nun scheinen auch die Zerfallsreaktionen von B-Mesonen die Gültigkeit der Leptonen-Universalität anzugreifen. Die daran beteiligten Zerfallsprozesse, an denen Leptonen beteiligt sind, sind im Rahmen des Standardmodells gut verstanden. Daher bieten die aktuellen Ergebnisse eine einzigartige Möglichkeiten für die Suche nach bisher unbekanntem Phänomenen, beispielsweise eines bisher unentdeckten **geladenen Partners des Higgs-Bosons**.

Die oben beschriebenen Experimente zeigen **unerwartete Ergebnisse**. Eine experimentelle Bestätigung einer möglichen Verletzung der Leptonen-Universalität und eine Erklärung im Rahmen neuer physikalischer Prozesse wären nicht nur aufregend, sondern für viele Wissenschaftler unerwartet. Bisher reichen die experimentellen Ergebnisse nicht aus, um definitiv von einer Verletzung der Leptonen-Universalität auszugehen.

Dennoch sind es die besprochenen Abweichungen der Ergebnisse anhand von drei Experimenten in unterschiedlicher Umgebung bzw. mit unterschiedlichen Beschleunigern wert beachtet zu werden. Es scheint derzeit zwar unwahrscheinlich, jedoch kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, daß die theoretischen Vorhersagen des Standardmodells nicht unumstößlich sind – wie bisher angenommen.

Bis Ende des Jahres soll die Datenmenge am **LHCb** um einen Faktor 3 ansteigen. Am japanischen Beschleuniger soll ein Upgrade für eine größere Datenmenge sorgen. Innerhalb von 10 Jahren soll die Datenmenge um zwei Größenordnungen ansteigen. Parallel dazu soll der **Belle-Detektor** bis zum Jahr 2018 ein Upgrade erfahren. Das alles klingt vielversprechend.

Die Bestätigung einer neuen Physik würde an den Fundamenten unseres Verständnisses von Materie rütteln und sicherlich ein intensives Programm experimenteller und theoretischer Forschung triggern (Abb. 6).



Abb. 6 Künstlerische Darstellung einer neuen Physik.

Ob die besprochenen physikalischen Experimente bzw. deren Ergebnisse den Schlüssel zu einer neuen Physik darstellen, ist bisher ungewiss, aber nicht unmöglich.

© symmetrymagazine.com

Falls Sie Fragen und Anregungen zu diesem Thema haben, schreiben Sie uns unter **kontakt@ig-hutzi-spechtler.eu**

Ihre
IG Hutzi Spechtler – Yasmin A. Walter

Quellenangaben:

[1] Mehr Information über astronomische und physikalische Begriffe
www.wikipedia.de

[2] Mehr Information zu den Ergebnissen des CERN-Seminars
LHCb Collaboration, *Nature Physics* **13**, 391-396 (2017)
Castelvecchi, D., *Nature* (19 Apr 2017)
<http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>

[3] Mehr zum CERN und dem LHCb-Projekt
<https://home.cern>
<http://lhcb-public.web.cern.ch>
http://lhcbproject.web.cern.ch/lhcbproject/Publications/LHCbProjectPublic/Summary_all.html

[4] <http://lhcb-public.web.cern.ch/lhcb-public/Welcome.html#RKstar>

[5] ATLAS Collaboration, *JHEP* **12**, 55 (2015)

[6] Mehr Information zu asymmetrisch verlaufenden Experimenten am LHC
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/neutrinoanomalie%20daya%20bav%20-%20feb%202016%20-%20tsan.pdf>
<http://theskyatnight.de/sites/default/files/neues%20elementarteilchen%20lhc%20-%20nachgehakt%20-%20apr%202016%20-%20tsan.pdf>
http://ig-hutzi-spechtler.eu/aktuelles_noch_mehr_quark.html
http://ig-hutzi-spechtler.eu/aktuelles_neues_elementarteilchen.html

[7] Geng, L.-S., et al., *CERN-TH-2017-085* (20 Apr 2017)

[8] Mehr Information über das *BaBar-* und das *Belle-Experiment*
<http://belle.kek.jp/>
<http://www-public.slac.stanford.edu/babar/>

[9] Ciezarek, G., et al., *Nature* (24 Apr 2017)

[10] Huber, G. M., *Physics International* **6** (1) 1.2 (2015)