



SM@LHC 2013: Internationale Konferenz in Freiburg

Theorie-Experiment-Diskussion über die neuesten Ergebnisse zur LHC-Physik

Die internationale Konferenz „Standard Model@LHC“ fand in diesem Jahr vom 9. bis 12. April an der Universität in Freiburg und gleichzeitig erstmals in Deutschland statt. Charakteristisch für diese Konferenz ist, dass sie ein sehr wichtiges Diskussions- und Austauschforum für theoretisch und experimentell arbeitende Physiker bietet. Über 100 Teilchenphysiker aus aller Welt trafen sich zum vierten Mal zu dieser jährlich stattfindenden Konferenz, um die neuesten Ergebnisse der physikalischen Messungen am Large Hadron Collider (LHC) mit besonderem Schwerpunkt auf dem Higgs-Teilchen zu diskutieren und weitere gemeinsame Schritte zu planen. Gegliedert war die Konferenz in vier Schwerpunkte: Elektroschwache Physik, Quantenchromodynamik (QCD), Physik schwerer Quarks (Bottom- und Top-Quark) und Physik des Higgs-Bosons. Mitorganisatoren im International Conference Committee waren Prof. Stefan Dittmaier und Prof. Karl Jakobs von der Universität Freiburg.

Der Austausch der neuesten Forschungsergebnisse und die daraus folgende Theorie-Experiment-Diskussion auf der Standard Model@LHC-Konferenz stellen eine wichtige Grundlage für eine effiziente und umfassende Analyse der LHC-Daten dar. So erfordert die größer werdende experimentelle Genauigkeit auch in den theoretischen Rechnungen immer höhere Präzision.

Die Experimentalphysiker präsentierten die neuesten Analysen der LHC-Experimente (ATLAS, CMS und LHCb); diese basierten teilweise schon auf dem kompletten bis Ende 2012 aufgezeichneten Datensatz. Letzteres trifft insbesondere für die präsentierten Ergebnisse zum Higgs-Boson zu.

Theoretiker klärten ihrerseits über den Stand ihrer Rechnungen auf, die mehr und mehr Korrekturen höherer Ordnung (sowohl in der QCD als auch in Elektroschwacher Physik) enthalten. Ein wichtiger Schwerpunkt der kommenden Jahre wird bei ihrer Arbeit die konsistente Implementierung von Quantenkorrekturen der QCD und der Elektroschwachen Wechselwirkung und deren Interferenz darstellen.

Die wichtigsten Ergebnisse der Konferenz:

1. Bislang zeigen alle am LHC durchgeführten Messungen eine gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen des Standardmodells. Im Bereich der Präzisionsphysik mit Elektroschwachen Eichbosonen W und Z wurde die erreichbare Genauigkeit sowohl auf theoretischer als auch auf experimenteller Seite diskutiert. Insbesondere konnte herausgearbeitet werden, welche theoretischen Fortschritte nötig sind, um eine zukünftige Hochpräzisionsmessung der W-Boson-



Masse am LHC zu ermöglichen. Auf experimenteller Seite wurden präzise Messungen von wichtigen Boson-Paarproduktionsprozessen präsentiert. Die gute Übereinstimmung mit den Vorhersagen des Standardmodells erlaubt es, wichtige Grenzen auf anomale Eichbosonkopplungen abzuleiten.

2. Im Bereich der elektroschwachen Physik haben theoretische Vorhersagen im Rahmen der Quantenchromodynamik in den letzten Jahren einen Genauigkeitsstandard erreicht, der für kommende Analysen eine Einbeziehung von Quantenkorrekturen der Elektroschwachen Wechselwirkung wünschenswert macht. Existierende Berechnungen dieser Art wurden vorgestellt, noch fehlende Berechnungen wurden identifiziert.

3. Im Bereich der Starken Wechselwirkung wurden vor allem wichtige Fragen zur Modellierung hadronischer Prozesse erörtert. Einen Schwerpunkt bildete hier die Einbeziehung von Quantenkorrekturen der QCD in Monte-Carlo-Simulationsprogramme wie Sherpa, Madgraph, Herwig, etc. und deren konsistente Kombination mit Parton-Schauer-Programmen (Pythia, Herwig, Sherpa) über die Algorithmen POWHEG und MC@NLO. Viele exemplarische Ergebnisse und deren Vergleich mit experimentellen Daten wurden eingehend diskutiert.

4. Im Bereich der Top-Quark-Physik wurden beeindruckende Messungen zu Produktionswirkungsquerschnitten, insbesondere differentiellen Wirkungsquerschnitten, präsentiert. Die Analysen am LHC bieten auch erste, schon sehr präzise Messungen der Top-Quark-Masse. Ein theoretisches Highlight in der Sitzung zur Physik des Top-Quarks war die Vorstellung des neuen Ergebnisses der vollständigen Vorhersage des Wirkungsquerschnitts zur Top-Quark-Paarproduktion auf dem Niveau der „Next-to-Next-to-Leading Order“. In Verbindung mit Korrekturen durch Resummation ist dieser Streuquerschnitt nun mit einer Genauigkeit von wenigen Prozent bekannt und liefert einen wertvollen Zugang zur Bestimmung der Top-Quark-Masse alternativ zur kinematischen Rekonstruktion. Abschie-



ßend wurde die heikle Frage der feldtheoretischen Definition der Top-Quark-Masse sowie deren konsistente Bestimmung aus dem Experiment erörtert.

5. Im Bereich der b-Quark-Physik hat das LHCb-Experiment Sensitivität für wichtige „seltene Prozesse“ erreicht. Das bedeutendste Beispiel hierfür stellt die vor kurzem publizierte Messung des Verzweigungsverhältnisses $B_s^0 \rightarrow \mu^+ \mu^-$ dar. Diese Messung ist in sehr guter Übereinstimmung mit dem im Standardmodell vorhergesagten Wert und schränkt Beiträge „Neuer Physik“ stark ein.

6. Großen Raum nahm schließlich die Diskussion der neuesten Ergebnisse zum Higgs-Boson ein. Die Signifikanz in den wichtigen bosonischen Zerfällen, $H \rightarrow \gamma\gamma$, $H \rightarrow ZZ^*$ und $H \rightarrow WW^*$ hat sich gegenüber den im letzten Jahr präsentierten Ergebnissen stark erhöht, und die Entdeckung des neuen Teilchens aus dem letzten Jahr wurde eindrucksvoll bestätigt. Wichtige neue Ergebnisse wurden auch zu fermionischen Zerfällen präsentiert. Die CMS-Kollaboration sieht erste Anzeichen - auf dem Niveau von 3σ - für den Zerfall $H \rightarrow \tau\tau$. Die ATLAS-Kollaboration hat ihre Ergebnisse für diesen Zerfallskanal, basierend auf dem gesamten Datensatz, noch nicht veröffentlicht. Ergebnisse werden für Juli 2013 (Präsentation auf den Sommerkonferenzen) erwartet. Ein weiteres wichtiges Resultat auf experimenteller Seite stellte die Evidenz für die Produktion des neuen Teilchens über den Prozess der Fusion von Vektorbosonen dar.

Auf theoretischer Seite haben die Vorhersagen zur Produktion von Higgs-Bosonen in den letzten Jahren einen enorm hohen Standard erreicht. Auf der Konferenz wurden neue, spezialisierte Ergebnisse zu Quantenkorrekturen der Starken Wechselwirkung vorgestellt, die bestehende Berechnungen weiter stabilisieren, wie z.B. Resummationsergebnisse zum Einfluss von Jet-Vetos und ein erstes komplettes Ergebnis für Higgs+Jet-Produktion in "Next-to-Next-to-Leading Order".

Die Kollaborationen ATLAS und CMS haben ihre Messungen zur Higgs-Boson-Produktion benutzt, um die Konsistenz mit den im Standardmodell vorhergesagten Kopplungsverhältnissen zu überprüfen. Alle

Messungen stimmen im Rahmen ihrer Unsicherheiten mit den Erwartungen für ein Standardmodell-Higgs-Boson überein. Umgekehrt stellt dies keinen Beweis dafür dar, dass das entdeckte Teilchen das Higgs-Boson des Standardmodells ist. Die Präzision ist noch nicht hoch genug, um auf Abweichungen auf dem Niveau von einigen Prozent, wie sie teilweise in exotischen Higgs-Modellen vorhergesagt werden, sensitiv zu sein.

Die experimentelle Erstellung des Profils des neu entdeckten Teilchens erfordert saubere theoretische Strategien, die der zunehmenden experimentellen Genauigkeit Rechnung tragen. Das geplante stufenartige Vorgehen von einfachen Reskalierungen von Vorhersagen des Standardmodells bis zu Analysen in Effektiven Feldtheorien wurde dargelegt und kritisch diskutiert. Dabei wurde auch der Frage nachgegangen, inwieweit derartige Analysen Hinweise auf Strukturen jenseits des Standardmodells geben können.

Ein Highlight der Sitzung zur Physik des Higgs-Bosons stellte die Präsentation von Ergebnissen zur Bestimmung des Spins des neuen Teilchens dar. Der Nachweis von Spin-0 ist extrem wichtig, um das neue Teilchen als Higgs-Boson zu identifizieren. Die Daten beider Kollaborationen favorisieren sehr stark die Standardmodell-Hypothese von Spin-Parität $J^P = 0^+$ gegenüber 0^- , 1^- , 1^+ und 2^+ . Die Kombination der Ergebnisse beider Experimente bzw. verschiedener Zerfallskanäle innerhalb eines Experiments lässt erwarten, dass die anderen betrachteten Spin-Paritätskonfigurationen mit mehr als 3σ ($> 99,7\%$) ausgeschlossen werden können.

Aus den Präsentationen der Theoretiker und Experimentalphysiker ergaben sich fruchtbare Diskussionen zur LHC-Physik. Es wurden wichtige Gebiete weiterer, auch gemeinsamer Arbeiten identifiziert. Den Höhepunkt der Ergebnisse stellten erwartungsgemäß diejenigen zum Higgs-Teilchen dar. Aufgrund der sich erhaltenden Evidenz für fermionische Zerfälle und der Kompatibilität mit einem Spin-0-Teilchen, spricht die Physikergemeinschaft mittlerweile von einem Higgs-Boson anstatt von einem Higgs-ähnlichen Teilchen. Ob es sich um das Higgs-Boson des Standardmodells handelt, bleibt eine spannende, weiterhin offene Frage.

Marianne Schröder