

HERA-B-Experiment

Beteiligte Institute: NIKHEF Amsterdam, Univ. Texas Austin, Univ. Barcelona, IHEP Beijing, Tsinghua Univ. Beijing, Humboldt Univ. Berlin, Univ. und INFN Bologna, Univ. Cincinnati, LIP and Univ. Coimbra, Niels Bohr Inst. Copenhagen, Wayne State Univ. Detroit, Univ. Dortmund, JINR Dubna, DESY Hamburg, MPI Kernphys. und Univ. Heidelberg, Univ. of Houston, INR Kiev, LIP und Univ. Lissabon, Jozef Stefan Inst. und Univ. Ljubljana, UC Los Angeles, Univ. Mannheim, ITEP Moscow, MPI Phys. München, Univ. Oslo, Univ. Rostock, Univ. Siegen, Univ. Utrecht, DESY Zeuthen, Univ. Zürich.

Sprecher: M. Medinnis, DESY

Die von der HERA-B-Kollaboration durchgeführten Untersuchungen zur Produktion schwerer Quarks, welche in Kollisionen von Protonen mit Atomkernen erzeugt wurden, werden zum Abschluss gebracht. Diese Studien beinhalten die Messung des Produktionswirkungsquerschnittes von Mesonen, die aus einem schweren Quark mit der Flavour-Quantenzahl Beauty, Charm oder Strangeness sowie einem Antiquark bestehen, wobei das Antiquark leicht oder schwer sein kann.

Das HERA-B-Spektrometer bietet mit seiner großen Akzeptanz, dem hochauflösenden Vertexdetektor sowie der vorzüglichen Teilchenidentifizierung sehr gute Voraussetzungen für die Rekonstruktion komplexer Vielteilchen-Endzustände. Darüber hinaus erlaubt der hochselektive Trigger die Auswahl von Ereignissen mit zwei Leptonen, die z. B. dem Zerfall eines J/ψ -Mesons entstammen können, aus einem milliardenfach größeren Untergrund aus normalen Proton-Kern-Wechselwirkungen. Targetdrähte aus unterschiedlichen Materialien wie Kohlenstoff, Titan und Wolfram ermöglichen es, die Teilchenproduktion in Abhängigkeit von der Massezahl A des Targetkerns zu bestimmen.

Im Berichtsjahr hat sich die Kollaboration im wesentlichen auf den Abschluss der Analysen der Produktion von Mesonen mit Strange- und Charm-

quarks sowie der Produktion des Λ^0 -Baryons konzentriert. Diese Untersuchungen basieren auf zwei großen Datensätzen, die während der letzten Datenahmeperiode 2002/03 aufgezeichnet wurden. Für die Auswertung stehen ein Datensatz mit 150 Millionen Ereignissen, die mit dem Zwei-Lepton-Trigger ausgewählt wurden sowie ein Datensatz mit 200 Millionen Ereignissen, die mit einem einfachen *Minimum Bias* Trigger registriert wurden, zur Verfügung.

Abhängigkeit der J/ψ -Produktion von der Kernladungszahl

Die Untersuchung der Abhängigkeit der Produktion von J/ψ -Mesonen von der Kernmassenzahl A liefert wichtige Information für Schwerionen-Experimente bei großen Schwerpunktsenergien. Das Hauptziel dieser Experimente besteht in der Erzeugung und dem Verständnis des sogenannten Quark-Gluon-Plasmas. Ein Reihe von charakteristischen Merkmalen wurden für ein solches Quark-Gluon-Plasma vorgeschlagen und untersucht, unter anderem eine anomale Unterdrückung der J/ψ -Produktion. Da das J/ψ eine große Masse hat, kann es nur in sehr harten Stößen von Quarks oder Gluonen in der Anfangsphase einer Kollision von

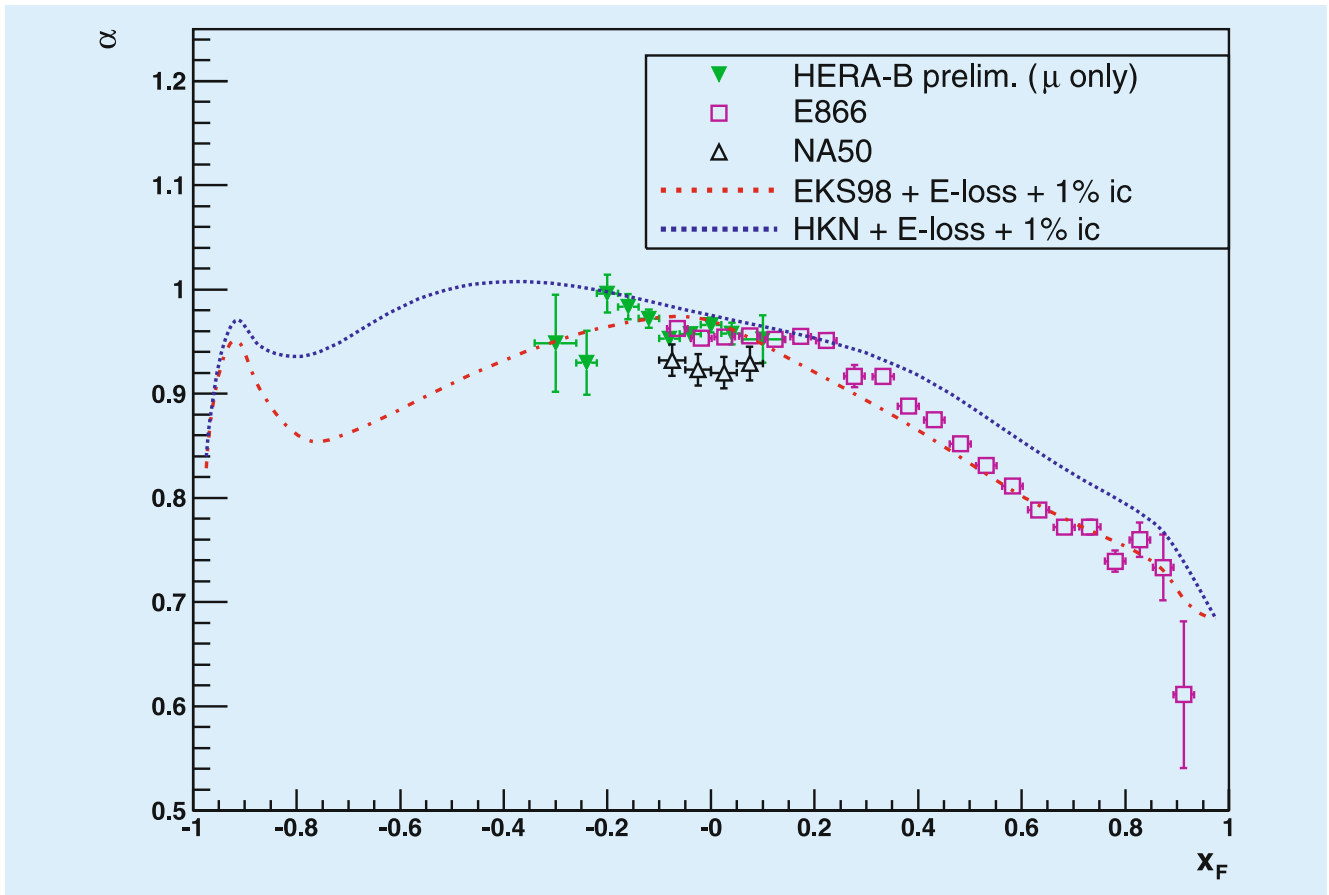


Abbildung 61: Messungen von α als Funktion von x_F von drei Experimenten: vorläufiges HERA-B-Resultat (gefülltes Dreieck) mit Muonen im Endzustand, E866 (offenes Quadrat) und NA50 (offenes Dreieck). Die beiden Kurven stellen Modellvorhersagen von R. Vogt dar.

Kernen produziert werden. Falls in der Reaktion ein Quark-Gluon-Plasma erzeugt wird, wird erwartet, dass das dadurch entstandene starke Farbfeld die Bindung zwischen dem Charm- und Anti-Charmpquark, welche das J/ψ -Meson bilden, aufbricht. Letzlich kann diese anomale Unterdrückung der J/ψ -Produktion, im Vergleich zur normalen Produktion, als Hinweis auf die Entstehung eines Quark-Gluon-Plasmas betrachtet werden. Tatsächlich wurde eine solche Unterdrückung z. B. durch das CERN-Experiment NA50 berichtet; allerdings ist die Interpretation dieser Daten noch umstritten und hängt auch davon ab, wie groß die normale Unterdrückung der J/ψ -Produktion bei Kernwechselwirkungen – jedoch ohne Ausbildung eines Plasmas –

ist. Das ideale Umfeld zur Untersuchung solcher Effekte ist die Streuung von Protonen an Targetkernen, da hier eine Ausbildung eines Plasmas unmöglich ist. Mehrere solche Messungen wurden beim CERN und bei Fermilab durchgeführt und kürzlich auch in Brookhaven. HERA-B ist in der Lage, diesem Bild wichtige Information hinzuzufügen, indem die Unterdrückung der J/ψ -Produktion in dem wichtigen kinematischen Bereich untersucht werden kann, in dem die verbleibenden J/ψ 's relativ langsam sind.

Die Abhängigkeit der Wirkungsquerschnitte von der Kernmassenzahl wird üblicherweise durch ein Potenzgesetz der Form $\sigma_{pA} = \sigma_{pN} \cdot A^\alpha$ beschrieben, wobei σ_{pN}

der Produktionsquerschnitt des betreffenden Prozesses für die Wechselwirkung eines Protons mit einem einzelnen Nukleon ist. σ_{pA} hingegen bezeichnet den Querschnitt für die Reaktion zwischen einem Proton und einem Kern mit der Kernmassenzahl A und α charakterisiert die Unterdrückung oder Erhöhung des Querschnittes. Falls α kleiner als 1 ist, wird der Wirkungsquerschnitt für schwere Atomkerne unterdrückt bzw. verstärkt, falls α größer 1 ist. In Abbildung 61 ist das vorläufige HERA-B-Ergebnis für α als Funktion von x_F (Feynman- x) dargestellt. Das endgültige Resultat wird auch die Daten mit Elektronen im Endzustand mit berücksichtigen, wodurch die Genauigkeit der Werte verbessert wird. Die Größe x_F ist proportional zum Impuls des J/ψ im Schwerpunktsystem. Ebenfalls dargestellt sind die Resultate des Fermilab Experiments E866 und des CERN Experiments NA50 zusammen mit den Vorhersagen des Modells von R. Vogt. Durch die HERA-B Messung kann der Bereich der bisherigen Messungen in den negativen x_F Bereich ausgedehnt werden. Diese zusätzliche Information ist wichtig, um die verschiedenen theoretischen Modellvorhersagen bewerten zu können.

Produktion von χ_c -Mesonen

χ_c -Mesonen sind ebenfalls ein gebundener Zustand aus einem Charm und einem Anti-Charm-Quark. Jedoch hat er eine etwas größere Masse als das J/ψ und tritt mit drei verschiedenen Drehimpuls-Quantenzahlen auf. Da die verfügbaren Modelle zur Beschreibung der Charmonium-Produktion unterschiedliche Vorhersagen bezüglich des Produktionsverhältnisses von χ_c und J/ψ machen, ist dieses Verhältnis eine wichtige Messgröße. Allerdings ist die Messung schwierig, so dass nur wenige Daten mit beschränkter Genauigkeit vorliegen. Alle Messungen untersuchen den Zerfallskanal $\chi_c \rightarrow J/\psi\gamma$ und können damit zwei der drei χ_c Zustände (mit χ_{c1} und χ_{c2} bezeichnet) nachweisen. In der Literatur wird als Messgröße der Parameter R_{χ_c} benutzt, welcher das Verhältnis der Summe der Produktionsquerschnitte von χ_{c1} und χ_{c2} – gewichtet mit dem jeweiligen $J/\psi\gamma$ Verzweigungsverhältnis – und

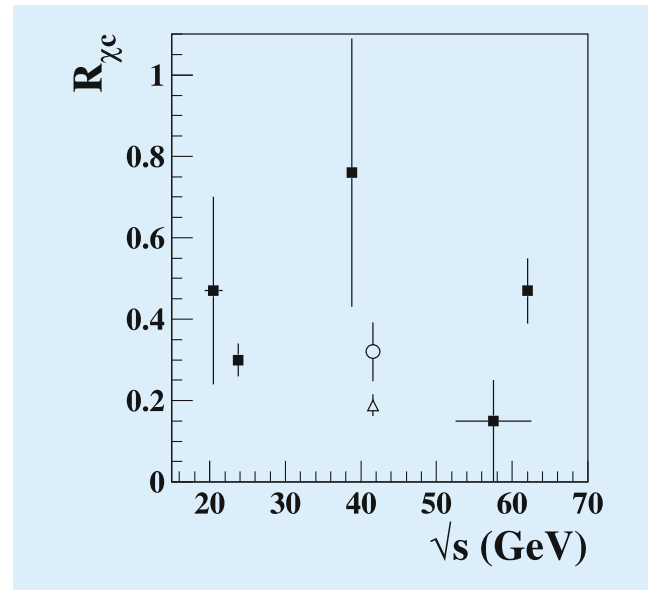


Abbildung 62: Alle verfügbaren Ergebnisse von R_{χ_c} aus Proton Reaktionen mit festem Target als Funktion der Schwerpunktsenergie. Das neueste Ergebnis von HERA-B ist als offenes Dreieck dargestellt.

dem Wirkungsquerschnitt der J/ψ -Produktion angibt. Die in Kollisionen von Protonen mit festem Target erzielten Ergebnisse für R_{χ_c} sind zusammen mit dem HERA-B-Resultat in Abbildung 62 als Funktion der Schwerpunktsenergie dargestellt. HERA-B verfügt mit 15,000 rekonstruierten χ_c -Mesonen über die größte Datenmenge und konnte trotz des erheblichen Untergrundes das genaueste Endergebnis mit dem kleinsten Fehlerbalken erzielen.

Produktion von Mesonen und Baryonen mit Strange-Quarks

Das Strange-Quark als leichtestes unter den schweren Quarks hat eine zu geringe Masse, um im Rahmen der perturbativen QCD genaue Vorhersagen des Produktionsquerschnittes machen zu können. Um so wichtiger ist es, durch Messungen das experimentelle Verständnis der Strangeness-Produktion zu verbessern. Darüber hinaus gibt es Vorhersagen, dass Teilchen mit Strangeness

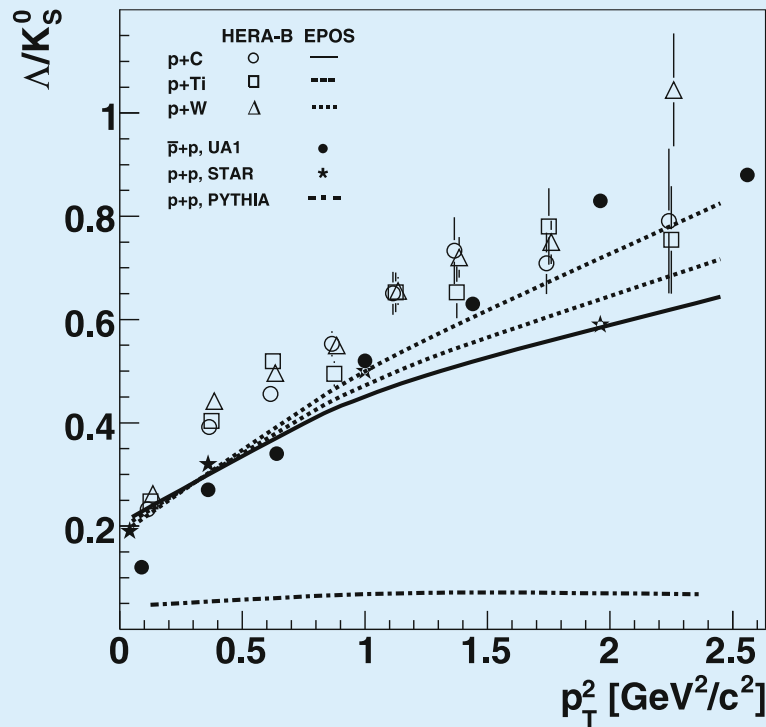


Abbildung 63: HERA-B-Messung des Verhältnisses der Produktionsquerschnitte von Λ und K_s^0 für Kohlenstoff-, Titan- und Wolfram-Targetdrähte bei einer Schwerpunktsenergie von 42 GeV als Funktion des Transversalimpulses im Quadrat. Zum Vergleich sind Ergebnisse der STAR-Kollaboration bei 200 GeV und UA1 bei 630 GeV Proton-Proton-Stößen mit aufgetragen. Die Vorhersagen der Programme Pythia und EPOS sind als Linien dargestellt.

als Indikator für die Bildung des Quark-Gluon-Plasmas in Schwerionen-Experimenten bei hohen Energien dienen können. Dies macht allerdings ein Verständnis von Proton-Kern-Reaktionen, bei denen sich wegen der geringeren Energiedichte kein Plasma ausbilden kann, als Vergleichsreaktion wichtig.

Als Beispiel sei hier das Verhältnis der Produktionsrate von Baryonen und Mesonen mit Strangeness erwähnt, welches von den einschlägigen Simulationsprogrammen falsch wiedergegeben wird. Die HERA-B-Messung des Produktionsverhältnisses von Λ^0 -Baryonen zu K_s^0 -Mesonen ist in Abbildung 63 als Funktion des Transversalimpulses (p_T) für drei ver-

schiedene Targets aufgetragen. Resultate aus Proton-Proton-Kollisionen bei deutlich höherer Energie wurden ebenfalls in die Abbildung mit aufgenommen. Trotz des großen Unterschiedes in der Reaktionsenergie zeigt das Verhältnis die gleiche Abhängigkeit vom Transversalimpuls, während die Vorhersagen des PYTHIA Programms die Messdaten nicht beschreiben können. Im Vergleich dazu passt das neuentwickelte Simulationsprogramm EPOS deutlich besser zu den Daten. Dieses Programm wird zurzeit mit Blick auf zwei verschiedene Anwendungen entwickelt: Die Untersuchung von Schwerionen-Kollisionen und die verbesserte Modellierung von Proton-Kern-Reaktionen in kosmischen Schauern.

Schlussbemerkung

Im Laufe des Jahres 2000 wurde klar, dass HERA-B auf dem geplanten Forschungsgebiet, dem Nachweis der CP-Verletzung im B-System, zu den beiden an e^+e^- Speicherringen durchgeführten Experimenten Belle und Barbar nicht mehr konkurrenzfähig war. Daher wurde eine Neuorientierung des Physikprogrammes beschlossen, welches die einzigartigen Eigenschaften des HERA-B-Detektors benutzen sollte, um vieldiskutierte Fragestellungen im Bereich der Physik schwerer Quarks zu untersuchen. Die Auswertung der Daten, welche im Rahmen dieses Programmes in der Messperiode 2002/2003 registriert wurden, ist nahezu abgeschlossen. Mehrere Analysen wurden bereits veröffentlicht und die letzten Manuskripte werden zur Publikation vorbereitet. Wenn auch die Kollaboration

das ursprüngliche, sehr ehrgeizige Ziel nicht erreichen konnte, so wurden doch wertvolle Beiträge zum Verständnis der Produktion schwerer Quarks in hochenergetischen Reaktionen von Protonen mit Kernen geleistet.

Darüber hinaus hat HERA-B wertvolle Beiträge zur Weiterentwicklung der Technologien im Bereich des Detektorbaus, der Ereignis Selektion und der Datennahme geleistet. Die Anforderungen im Bereich des Detektorbaus waren insbesondere durch die sehr hohen Teilchenflüsse und die damit verbundenen Strahlenschäden geprägt. Diese Erkenntnisse und die beim Betrieb eines Detektors unter diesen extremen Bedingungen gesammelten Erfahrungen haben die Entwicklung der bevorstehenden LHC-Experimente nachhaltig beeinflusst.