

Inklusive Produktion von $K^{*0}(892)$ -Mesonen in hadronischen Zerfällen des Z^0

DISSERTATION
zur Erlangung des Grades eines Doktors
der Naturwissenschaften

vorgelegt von
Dipl.-Phys. José Angel Minguet Rodriguez
aus Vigo (Spanien)

eingereicht beim Fachbereich 7
der Universität-Gesamthochschule-Siegen
Siegen 1995

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	5
Tabellenverzeichnis	6
1 Einleitung	7
2 Theoretische Grundlagen	10
2.1 Das Standard-Modell	10
2.2 Die starke Wechselwirkung	14
2.3 $e^+e^- \rightarrow$ Hadronen	17
2.3.1 $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$	17
2.3.2 Perturbativer Bereich der QCD	19
Matrix-Element-Methode	19
Partonschauer	20
2.3.3 Hadronisierung	22
String-Fragmentierung	23
Cluster-Fragmentierung	27
Independent Fragmentation	30
3 Das Experiment	33
3.1 Der Speicherring LEP	33
3.2 Der ALEPH-Detektor	35
3.3 Die Zeitprojektionskammer (TPC)	37
3.3.1 Teilchenidentifizierung mit dE/dx in der TPC	39
3.4 Vertex-Detektor (VDET)	46
3.5 Die innere Spurenkammer (ITC)	47
3.6 Das elektromagnetische Kalorimeter (ECAL)	48
3.7 Das Hadron-Kalorimeter (HCAL)	49
3.8 Andere Sub-Detektoren	51
3.9 Datenerfassung	52
4 Analyse	53
4.1 Allgemeines	53
4.2 Auswahl hadronischer Ereignisse	55

4.3	Auswahl von π^\pm, K^\pm und Paar-Kandidaten	59
4.4	πK -Massenspektrum	64
4.5	Bose-Einstein Korrelationen	70
4.6	Das K^{*0} -Signal	72
4.7	Reflexionen	76
4.8	Kombinatorischer Untergrund	84
4.9	Ergebnisse der Anpassung	86
4.10	Effizienzen	92
4.11	Differentieller Wirkungsquerschnitt in x_p	94
4.12	Differentieller Wirkungsquerschnitt in p_t	97
4.13	Differentieller Wirkungsquerschnitt in ξ	97
5	Diskussion der Ergebnisse	102
5.1	Vergleich mit Vorhersagen von Modellen	102
5.2	Unterdrückung der Erzeugung von s -Quarks	108
5.3	Produktion von Vektor- und pseudoskalaren Mesonen	112
6	Zusammenfassung	115
	Danksagung	121
	Lebenslauf	121

Abbildungsverzeichnis

1.1	Multiplett der leichtesten Vektormesonen.	8
2.1	Fundamentale Vertizes der QCD	15
2.2	Schematische Darstellung von Elektron-Positron Annihilation in Hadronen.	18
2.3	Entwicklung eines Partonschauers	21
2.4	Hadronisierung im Rahmen des String-Modells.	23
2.5	Raum-Zeitstruktur der Hadronerzeugung vom String	25
2.6	Modellierung von Gluonen als Knick im Rahmen des Stringmodells	26
2.7	Hadronisierung im Rahmen des Cluster-Modells	27
2.8	Spektrum von Clustermassen im HERWIG-Modell	29
2.9	Hadronisierung im Rahmen von <i>Independent Fragmentation</i>	31
3.1	Der LEP-Ring	34
3.2	Schematischer Aufbau des ALEPH-Detektors	36
3.3	Schematische Darstellung der TPC und ihre Funktionsweise.	38
3.4	Schematischer Aufbau der TPC-Drahtebenen	40
3.5	Der mittlere Energieverlust dE/dx und Impuls für verschiedene Teilchenarten	43
3.6	Die mittlere dE/dx Trennung für verschiedene Teilchenarten	43
3.7	Landauverteilung	44
3.8	Schematischer Aufbau des VDET	46
3.9	Schematischer Aufbau der ITC	47
3.10	Schematischer Aufbau des ECAL	48
3.11	Schematischer Aufbau des ECAL.	49
3.12	Schematischer Aufbau des HCAL.	50
4.1	Hadronisches MC-Ereignis, wobei ein K^{*0} -Meson produziert worden ist.	56
4.2	Inklusive Häufigkeitsverteilung der Impulse von geladenen Teilchenspuren für Daten und MC	57
4.3	Häufigkeitsverteilungen von Schnittvariablen für Daten und rekonstruierte MC-Ereignisse.	58
4.4	Drähte gegen dE/dx -Auflösung im Vergleich Daten und MC	60
4.5	$\cos \theta^*$ -Verteilung im Vergleich zwischen Daten und Daten von MC-Ereignissen	60
4.6	Impulsverteilungen der Pion- und Kaonkandidaten im Vergleich zwischen Daten und Daten von MC-Ereignissen.	62

4.7	Kaonkandidaten für MC-Ereignisse und ALEPH-Daten im Impulsbereich $0.025 > x_p(\text{Paar}) \geq 0.05$	63
4.8	Ungleich- und gleich geladenes πK -Massenspektrum für den Impulsbereich $0.005 < x_p(\text{Paar}) \leq 0.025$	65
4.9	πK -Massenspektren für MC und ALEPH-Daten.	66
4.10	πK -Massenspektrum mit Signal- und Untergrund- aufaddierten Beiträgen.	68
4.11	Massenauflösung des Detektor für das K^{*0} -Meson	73
4.12	Fragmentierungsfunktion in JETSET	75
4.13	Massenverteilung für generierte K^{*0} -Mesonen	75
4.14	K^{*0} -Signal mit Zeitkohärenz-Parameter $\lambda = 0.02\text{GeV}/c^2$	77
4.15	Masse des ρ^0 -Mesons im πK -Massenspektrum gegen $\cos \theta^*$	79
4.16	ρ^0 -Reflexion im πK -Massenspektrum vor und nach dem Schnitt auf $\cos \theta^*$	79
4.17	Raten und Effizienzen der Reflexionen.	80
4.18	Parametrisierung der Reflexionen mit phänomenologische Funktionen	83
4.19	ρ^0 -Reflexion im πK -Massenspektrum	83
4.20	ρ^0 -Reflexion im πK -Massenspektrum mit und ohne Korrektur auf Bose-Einstein	84
4.21	Anpassung des kombinatorischen Untergrundes	85
4.22	Invariante Masse von πK -Kandidaten gegen $\cos \theta^*$	86
4.23	Angepaßtes πK -Massenspektrum an Daten, mit K^{*0} -Signal und Beiträgen des kombinatorischen Untergrundes und Reflexionen	87
4.24	Anpassung der πK -Massenspektren in Intervallen des skalierten Impulses $x_p \leq 0.15$	88
4.25	Anpassungsergebnisse der πK -Massenspektren, in Intervallen des skalierten Impulses $x_p > 0.15$	89
4.26	Anpassungsergebnisse der πK -Massenspektren in Intervallen des transversalen Impulses $p_t \leq 1.5\text{ GeV}/c$	90
4.27	Anpassungsergebnisse der πK -Massenspektren in Intervallen des transversalen Impulses $p_t > 1.5\text{ GeV}/c$	91
4.28	K^{*0} -Effizienzen in den einzelnen Impulsintervallen	93
4.29	Differentielle Wirkungsquerschnittes in x_p mit statistischen Fehlern	98
4.30	Differentiellen Wirkungsquerschnittes in p_t	98
4.31	ξ -Verteilung mit einer angepaßten Gaußfunktion	99
5.1	Vergleich der gemessenen differentiellen Wirkungsquerschnitte in x_p mit Modellvorhersagen	104
5.2	Vergleich der differentiellen Wirkungsquerschnitte in p_t mit Modellvorhersagen	105
5.3	Vergleich der gemessenen differentiellen Wirkungsquerschnitte mit Messungen anderer Kollaborationen.	106
5.4	Gemessene Multiplizitäten für K^{*0} -Mesonen bei verschiedenen Schwerpunktsenergien und Vergleich mit Modellen	107

5.5	Produktionsverhältnisse von Vektormesonen in den einzelnen Impulsbereichen	109
5.6	Produktionsraten von pseudoskalare Mesonen und Vektormesonen für ALEPH-Daten gewichtet mit dem Faktor $(2I_m + 1)/(2J + 1)$ als funktion der Masse zum Quadrat.	114

Tabellenverzeichnis

2.1	Fundamentale Bausteine der Materie.	11
2.2	Eichbosonen der starken, elektromagnetischen und schwachen Wechselwirkung.	11
2.3	Flavour und Quantenzahlen der Fermionen.	12
2.4	Parameter in Jetset 7.3 und 7.4 mit deren interne Bezeichnung.	25
2.5	Parameter in HERWIG 5.6 mit deren interne Bezeichnung.	28
4.1	Verzweigungsverhältnisse des K^{*0} -Mesons	54
4.2	Selektionskriterien für Kaonkandidaten.	61
4.3	Parameter in JETSET, die den BE-Effekt beschreiben.	71
4.4	Differentielle Wirkungsquerschnitte in x_p und Multiplizität des K^{*0} -Mesons.	100
4.5	Systematischer und statistischer Fehler für $(1/\sigma_{tot})(d\sigma/dx_p)$. Alle Werte sind in Prozent.	100
4.6	p_t -Bereiche, Güte der Anpassung, die mittlere Multiplizität und differentieller Wirkungsquerschnitt in der Variablen p_t	101
4.7	Systematische und statistische Fehler des differentiellen Wirkungsquerschnittes $(1/\sigma_{tot})(d\sigma/p_t)$. Alle Werte sind in Prozent.	101
5.1	ALEPH-Teilchenmultiplizitäten	108
5.2	Produktionsverhältnisse von Vektormesonen.	110
5.3	Vektormesonen und die Herkunft ihrer Konstituenten ermittelt mit JETSET 7.3.	111
5.4	Die Unterdrückung des s -Quarks im Rahmen einer modellabhängigen Messung.	112

Kapitel 1

Einleitung

In e^+e^- -Annihilationen, in denen ein Z^0 produziert wird, das dann hadronisch zerfällt, d.h. in Quarks, werden viele Teilchen (Hadronen) produziert. Im Mittel sind es etwa 21 geladene und etwa halb so viele neutrale Hadronen. Der Mechanismus, nach dem diese Teilchen produziert werden, ist bis heute nicht genau verstanden worden. Um den Übergang von Quarks in Hadronen zu beschreiben, werden phänomenologische Modelle benutzt. Die Beschreibung des Überganges kann je nach Modell recht unterschiedlich sein. Die Gültigkeit der Vorhersagen kann nur dadurch verifiziert werden, indem man z.B. die differentiellen Wirkungsquerschnitte der bei diesem Prozeß entstehenden Hadronen mit den Meßdaten vergleicht. Die inklusive Messung eines der vielen Teilchen, die in solchen Reaktionen entstehen, wie hier des K^{*0} -Mesons, soll daher helfen, eine bessere Einsicht in diesen komplizierten Prozeß zu bekommen.

Die Idee, daß Hadronen sich aus Quarks zusammensetzen, geht bis auf die 60er Jahre zurück. Mit der technologischen Entwicklung von Teilchenbeschleunigern wurde eine ganze Reihe von sehr kurzlebigen Hadronen oder *Resonanzen* entdeckt. Um in diesen „Teilchenzoo“ eine gewisse Ordnung zu bringen, entwickelten Gell-Mann und Zweig 1964 ein gruppentheoretisches Modell [1], in dem die beobachteten Hadronen als zusammengesetzte Zustände von elementaren Fermionen, Quarks genannt (u , d , s), interpretiert wurden. Als Beispiel kann das K^{*0} genommen werden, das aus den Quarks $\bar{s}d$ zusammengesetzt ist (siehe dazu das K^{*0} im Multiplett der leichten Vektormesonen Abb. 1.1). Das geladene K^* wurde am Bevatron 1960 in der Reaktion $K^-p \rightarrow \bar{K}^0\pi^-p$ [2] entdeckt. Es hat keinen Bahndrehimpuls ($L = 0$), und die Spins der beiden Quarks stehen parallel zueinander, d.h. der Gesamtspin ist $J = 1$. Wenig später konnte in tiefinelastischen Streuungen beobachtet werden, daß das Proton eine innere Struktur besaß, die auf die Existenz von Quarks deutete [3].

Ein Problem mit dem so erfolgreichen Quarkmodell war, daß man keine asymmetrische Wellenfunktion für bestimmte Baryonsorten bilden konnten, z.B. das Δ^{++} Baryon ($\uparrow u\uparrow u\uparrow u$) konnte nicht erklärt werden, ohne mit der Fermistatistik im Widerspruch zu stehen. Daher wurde eine weitere Quantenzahl eingeführt, die als Farbe bezeichnet wurde. Farbe sollte die Dynamik der starken Wechselwirkung durch die Theorie der Quanten-