Summary

Exact predictions are possible in QCD due to the existence of symmetries. An important symmetry is the heavy-quark symmetry. If the quark is sufficiently heavy, its spin and mass (flavour) become irrelevant in the dynamics of the heavy meson containing it. The fact that the spin becomes irrelevant results in degenerate pairs of states that are characterised by the angular momentum of the light degrees of freedom, $j_\mathrm{q} = L \pm \frac{1}{2}$, and each state of a degenerate pair is indicated by the total spin of the meson, $\vec{J} = \vec{j}_\mathrm{q} + \vec{s}_\mathrm{Q}$. In the case of orbitally excited (L=1) heavy mesons, those states are $j_\mathrm{q} = \frac{1}{2}$, with total spin J=0:B_0, 1:B_1^*, and $j_\mathrm{q} = \frac{3}{2}$, with total spin J=1:B_1, 2:B_2^*. The fact that the mass does not matter is used to make predictions for excited B mesons. Results from the charm and even strange excited systems are used and extrapolated to the beauty system. This results in mass predictions of 5.767 GeV and 5.755 GeV for the $j_\mathrm{q} = 3/2$, J_+ and J_- states, respectively. It is not yet possible with this method to predict the mass of the $j_\mathrm{q} = 1/2$ states. As the widths the theory predicts 11 MeV for the decay of B_2^* to $\mathrm{B}^*\pi$, 11 MeV for the decay of B_2^* to $\mathrm{B}\pi$ and 17 MeV for the decay of B_1 to $\mathrm{B}^*\pi$. In case the four momenta of the light degrees of freedom are small compared to the heavy-quark mass, it is convenient to adopt an effective theory where the quark mass approaches infinity and the velocity of the quark is fixed. This is the so called Heavy-Quark Effective Theory (HQET).

The analysis described in this thesis 'hunts' for the orbitally excited heavy-quark meson states. Both decay channels $\mathrm{B}_{\mathrm{u,d}}^{**} \to \mathrm{B}^{(*)}\pi^\pm$ and $\mathrm{B}_{\mathrm{u,d}}^{**} \to \mathrm{B}^{(*)}\pi^0$ are measured. The L3 detector at the electron-positron collider LEP, Geneva, Switzerland, is used. The most important tool for this kind of analysis is good b-tagging. It requires good knowledge of charged particle tracks and their vertices (primary and secondary). The tracking is done in the Time Expansion wire Chamber (TEC) and the Silicon Micro-vertex Detector (SMD), where the SMD provides 4 space points close to the interaction point. The SMD has a point resolution of 10 μm in $r\phi$, $21\mu\mathrm{m} \bigoplus 15\mu\mathrm{m}/\tan\theta$ and $21\mu\mathrm{m} \bigoplus 26\mu\mathrm{m}/\tan\theta$ in rz for the normal and large readout pitch region, respectively. The Distance of Closest Approach (DCA) resolution is 66 μm in hadronic events.

Data taken in 1994 and 1995 are used. The 3D b-tag algorithm of the San Diego group is applied with a cut which gives a b-purity of 82.1 % and an efficiency of 63.8 %. The primary- and secondary-vertex reconstruction takes place in 3D. A cut on the decay-length significance increases the b-purity to 85.5 %.

An estimate of the B-meson direction of flight is obtained by the line connecting the primary vertex to the secondary vertex. With this method, a good resolution is obtained in the $r\phi$ plane, but the sz resolution is rather poor, due to bad tracking performance in that direction. Another estimate for the direction is obtained by a rapidity algorithm, where all particles with a rapidity higher than 1.5 are assumed to be B-decay particles. This algorithm gives also an

estimate of the B-meson energy. For the B-meson direction the weighted average is taken of the SV-PV and rapidity method. The angular resolution is fitted with a double Gaussian. The width of the first Gaussian of the θ distribution is 21.4 mrad and that of the ϕ distribution is 16.7 mrad, with around 50 % of the events in the first Gaussian. According to MC studies, about the same numbers are obtained for the signal-to-noise ratio and signal resolution when only the rapidity algorithm is used. The results obtained in this way are used to determine the contribution to the systematic error due to the choice of the reconstruction algorithm. To obtain the B energy the rapidity method is used together with a centre-of-mass constraint. An energy resolution of 2-4 GeV is obtained.

Charged pions with good *sz* information are used, with, furthermore, a probability to come from the primary vertex larger than 15 % and a transverse momentum with respect to the B-meson direction larger than 130 MeV. Only the most energetic pion in the jet is chosen, since most $B^{**}_{u,d}$ pions are the most energetic ones in the jet. The $B\pi$ invariant mass distribution is used to find an enhancement above the background obtained from MC. The enhancement is fitted with a single Gaussian. The $B^{**}_{u,d}$ mass obtained is ($5.712 \pm 0.010 + 0.034$ -0.023) GeV, the width ($0.079 \pm 0.006 + 0.015$ - 0.016) GeV and 2926 ± 213 $B^{**}_{u,d}$ decays are measured above the background. This results in a relative production rate $\frac{B^{**}_{u,d}}{\mathrm{bjet}}$ of ($14.8 \pm 1.2 + 3.5$ - 3.0) %. The results of the charged-pion channel compare well to the results obtained by the other LEP experiments.

After a photon selection, neutral pions are formed of pairs of photons with a reconstructed mass within 3 σ of the real π^0 mass and a probability to come from the primary vertex larger than 1 %. The reconstructed pions are required to have an energy larger than 1 GeV. The $B\pi^0$ enhancement is fitted with a single Gaussian. The $B^{**}_{u,d}$ mass obtained is (5.604 ± 0.019 + 0.041 -0.048) GeV, the width ($0.082 \pm 0.026 + 0.045$ - 0.051) GeV and 527 ± 156 $B^{**}_{u,d}$ decays are measured above the background. This results in a relative production rate $\frac{B^{**}_{u,d}}{\mathrm{bjet}}$ of ($8.9 \pm 2.5 + 5.5$ - 5.7) %.

The $B^{**}_{u,d}$-mass result obtained from the neutral-pion channel differs 2.3 standard deviations from the $B^{**}_{u,d}$ mass results obtained from the charged-pion channel. The widths of both channels are compatible. The ratio of the production rates of the neutral- and charged-pion channels of ($0.60 \pm 0.18 \pm 0.40$) is in good agreement with the isospin-symmetry expectation of 0.5. Combining the neutral and charged pion results, a total $B^{**}_{u,d}$ production rate BR($b \rightarrow B^{**}_{u,d} \rightarrow B\pi$) of ($23.7 \pm 2.8 \pm 6.5$) % is obtained. When it is taken into account that about 10 % of the b-events are baryons and about 12 % are B_s, a ratio $\frac{BR(b \rightarrow B^{**}_{u,d} \rightarrow B\pi)}{BR(b \rightarrow B_{u,d})}$ of ($29.9 \pm 3.5 \pm 8.2$) % is obtained. The result compares well with the results obtained by other experiments.

As a completion of the excited beauty meson analysis and a check of the B meson reconstruction, the B^* signal is measured. A mass splitting of (46.5 ± 0.7) MeV and a relative production rate of (72.7 ± 3.3) % is obtained. This is consistent with former results of L3 and other experiments.

Samenvatting

In QCD zijn nauwkeurige voorspellingen mogelijk dankzij het bestaan van symmetrieen. Een belangrijke symmetrie is de zware-quark symmetrie. Als het quark voldoende zwaar is, zijn de spin en de massa (soort) van het quark niet meer van belang voor de dynamica van het zware meson dat dit quark bevat. Het feit dat de spin er niet meer toedoet resulteert in een gedegenereerd paar van toestanden dat gekarakteriseerd wordt door het hoek momentum van de lichte quarks, $j_\mathrm{q} = L \pm \frac{1}{2}$, en elke afzonderlijke toestand van het gedegenereerde paar kan aangeduid worden met de totale spin van die toestand, $\vec{J} = \vec{j}_\mathrm{q} + \vec{s}_\mathrm{Q}$. In het geval van baan aangeslagen (L=1) zware mesonen zijn deze toestanden, $j_\mathrm{q} = \frac{1}{2}$, met totale spin J=0:B_0, 1:B_1^*, en $j_\mathrm{q} = \frac{3}{2}$, met totale spin J=1:B_1, 2:B_2^*. Het feit dat de massa niet van belang is, wordt gebruikt om voorspellingen te doen voor aangeslagen B mesonen. Resultaten van het (aangeslagen) ‘charm’ syteem en zelfs van het (aangeslagen) ‘strange’ systeem worden geëxtrapoleerd naar het ‘beauty’ systeem. Dit resulteert in een massa voorspelling van 5.767 GeV and 5.755 GeV voor de $j_\mathrm{q} = 3/2$, J_+ en J_- toestanden, respectievelijk. Het is (nog) niet mogelijk om op deze manier de massa van de $j_\mathrm{q} = 1/2$ toestanden te voorspellen. Voor de breedte voorspelt de theorie 11 MeV voor het verval van B_2^* naar $\mathrm{B}^*\pi$, 11 MeV voor het verval van B_2^* naar $\mathrm{B}\pi$ en 17 MeV voor het verval van B_1 naar $\mathrm{B}^*\pi$. Als de momenta van de lichte quarks klein zijn vergeleken met de zware-quark massa, is het gemakkelijker om over te gaan naar een effectieve theorie waarin de quark massa naar oneindig gaat en de snelheid van het quark een vast gegeven is. Dit is dan de zogenaamde zware-quark effectieve theorie (HQET).

De analyse die in dit proefschrift wordt beschreven, ‘jaagt’ op baan aangeslagen zware-quark meson toestanden. De L3 detector, gelegen bij de electron-positron versneller LEP, Geneve, Zwitserland, wordt gebruikt om beide vervals kanalen $\mathrm{B}_{\mathrm{u,d}}^{**} \to \mathrm{B}^{(*)}\pi^\pm$ en $\mathrm{B}_{\mathrm{u,d}}^{**} \to \mathrm{B}^{(*)}\pi^0$ te meten. Het belangrijkste gereedschap voor dit soort analyses is de b-identificatie. Dit vraagt goede kennis van sporen van geladen deeltjes en hun (primaire en secundaire) vertices. De reconstructie van de sporen is gedaan met de ‘Time Expansion wire Chamber’ (TEC) en de ‘Silicon Micro-vertex Detector’ (SMD), waarbij de SMD 4 3D punten dicht bij het electron-positron interactie punt levert. De SMD heeft een punt resolutie van 10 μm in $r\phi$, $21\mu\mathrm{m} \bigoplus 15\mu\mathrm{m}/\tan\theta$ en $21\mu\mathrm{m} \bigoplus 26\mu\mathrm{m}/\tan\theta$ in rz voor de gebieden met de normale en de grote uitlees afstand, respectievelijk. De ‘Distance of Closest Approach’ (DCA) resolutie is 66 μm voor hadronische events.

Dat genomen in 1994 en 1995 is gebruikt. Het 3D b-identificatie algoritme van de San Diego groep is toegepast met een snede die een b-puurheid geeft van 82.6 % en een efficiëntie van 63.8 %. De reconstructie van de primaire en secondaire vertex vindt ook plaats in 3D. Door een snede op de vervals lengte significantie neemt de b-puurheid toe tot 85.5 %.

Een schatting van de B-meson richting wordt verkregen door een lijn die het interactie punt (PV) en het b-vervalspunt (SV) met elkaar verbindt. Op deze manier wordt er een goede resolutie verkregen in het $r\phi$ vlak, maar de sz resolutie is slecht doordat de reconstructie van sporen in die richting slecht is. Een andere schatting voor de richting wordt verkregen door het rapiditeits algoritme, waarbij wordt aangenomen dat deeltjes met een rapiditeit groter dan 1.5 b-vervals deeltjes zijn. Dit algoritme geeft ook een schatting van de B meson energie. Voor de richting van het B meson wordt het gewogen gemiddelde genomen van de SV-PV en de rapiditeits methode. De hoek resolutie wordt gefit met een dubbele Gaussische functie. De breedte van de eerste Gauss van de θ verdeling is 21.4 mrad en dat van de ϕ verdeling is 16.7 mrad, waarbij rond de 50% van de events zich in de eerste Gauss bevinden. Volgens Monte-Carlo studies levert het gebruik van alleen het rapiditeits algoritme ongeveer dezelfde waardes voor de signaal-over-ruis verhuiding en de signaal resolutie. De resultaten die op deze manier verkregen worden dienen als schatting voor de systematische fout ten gevolge van de keuze van de B-reconstructie methode. Het rapiditeits algorithme wordt samen met een massa centrum beperking gebruikt om de B energie te bepalen. Hiermee wordt een energie resolutie van 2-4 GeV verkregen.

Geladen pionen met goede sz informatie worden gebruikt, die verder een waarschijnlijkheid hebben die groter is dan 15% om van de PV te komen en een momentum component loodrecht op de B-meson richting groter dan 130 MeV. Alleen het meest energetisch pion in de jet wordt gekozen, omdat de meeste $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$ pionen de meest energetische pionen zijn in de jet. De $\mathrm{B}\pi$ invariante massa verdeling wordt gebruikt om een overschot van events boven de MC achtergrond te vinden. Dit overschot wordt gefit met een enkele Gauss. De verkregen $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$ massa is (5.712 $\pm$ 0.010 + 0.034 -0.023) GeV, de breedte (0.079 $\pm$ 0.006 + 0.015 - 0.016) GeV en 2926 $\pm$ 213 $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$ vervallen worden gemeten boven de achtergrond. Dit resulteert in een relatieve productie verhouding $\frac{\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}}{\mathrm{bjet}}$ van (14.8 $\pm$ 1.2 + 3.5 - 3.0) %. De resultaten van het geladen pion kanaal komen goed overeen met de resultaten die door de andere LEP experimenten behaald zijn.

Na een foton selectie, worden neutrale pionen gevormd van paren fotonen die een gereconstrueerde massa opleveren die binnen 3 σ gelijk is aan de π^0 massa en die een waarschijnlijkheid hebben groter da 1% om van de PV af te komen. De gereconstrueerde pionen moeten een energie groter dan 1 GeV bezitten. De verkregen $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$ massa is (5.604 $\pm$ 0.019 + 0.041 -0.048) GeV, de breedte (0.082 $\pm$ 0.026 + 0.045 - 0.051) GeV en 527 $\pm$ 156 $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$ vervallen worden gemeten boven de achtergrond. Dit resulteert in een relatieve productie verhouding $\frac{\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}}{\mathrm{bjet}}$ van (8.9 $\pm$ 2.5 + 5.5 - 5.7) %.

Het $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$-massa resultaat dat is verkregen in het neutrale-pion kanaal verschilt 2.3 standaard afwijkingen van de $\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}$-mass resultaat dat is verkregen in het geladen-pion kanaal. De breedtes van beide kanalen komen goed overeen. De verhouding van de productie verhoudingen van het neutrale- en geladen kanaal van (0.60 $\pm$ 0.18 $\pm$ 0.40) komt goed overeen met de isospin symmetrie verwachting van 0.5. Wanneer de geladen en neutrale pion resultaten gecombineerd worden, wordt een totale productie verhouding BR($\mathrm{b} \rightarrow \mathrm{B}\pi$) van (23.7 $\pm$ 2.8 $\pm$ 6.5) % verkregen. Als wordt aangenomen dat ongeveer 10% van de b-events baryons zijn en 12% $\mathrm{B_s}$ dan wordt een verhouding $\frac{\mathrm{BR}(\mathrm{b}\rightarrow\mathrm{B}^{**}_{\mathrm{u,d}}\rightarrow\mathrm{B}\pi)}{\mathrm{BR}(\mathrm{b}\rightarrow\mathrm{B}_{\mathrm{u,d}})}$ van (29.9 $\pm$ 3.5 $\pm$ 8.2) % verkregen. Dit resultaat komt goed overeen met de resultaten die door andere experimenten behaald zijn.

Als voltooing van de aangeslagen 'beauty' meson analyse en controle van de B-meson reconstructie, wordt het B^* signaal gemeten. Een massa verschil van (46.5 $\pm$ 0.7) MeV en een relatieve productie verhouding van (72.2 $\pm$ 3.3) % wordt verkregen. Dit komt overeen met eerdere resultaten van L3 en andere experimenten.