IFIC : UNIVERSITAT DE VALÈNCIA/CSIC

Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Universitat de València
IFIC - INSTITUTO DE FISICA CORPUSCULAR

Efectos de la masa del quark b a la escala M_Z utilizando cálculos QCD-NLO

S. Cabrera, J. Fuster
IFIC, Universitat de València – CSIC
S. Martí i García
DELPHI – CERN

"XXVII Reunión Bienal de la Real Sociedad Española de Física"
"V Jornadas de Física de Altas Energías"
(Septiembre 20-24, 1999)

Introducción

Cálculos perturbativos de QCD a orden NLO (Next-to-Leading order) incluyendo efectos de masa han permitido efectuar tests mejorados y más precisos de QCD:

❶ El test de independencia de sabor de α_s :
⋗ QCD tal y como está formulada requiere la independencia de sabor de α_s para preservar las propiedades de invarianza gauge y renormalizabilidad.
⋗ α_s dependiente del sabor del quark es una señal experimental de momentos cromomagnéticos anómalos del quark dependientes del sabor que modificarían la tasa de emisión de gluones para diferentes sabores del quark. ☞ Nueva física.

❷ La medida de $m_b(M_Z)$ em el esquema $\overline{MS}$:

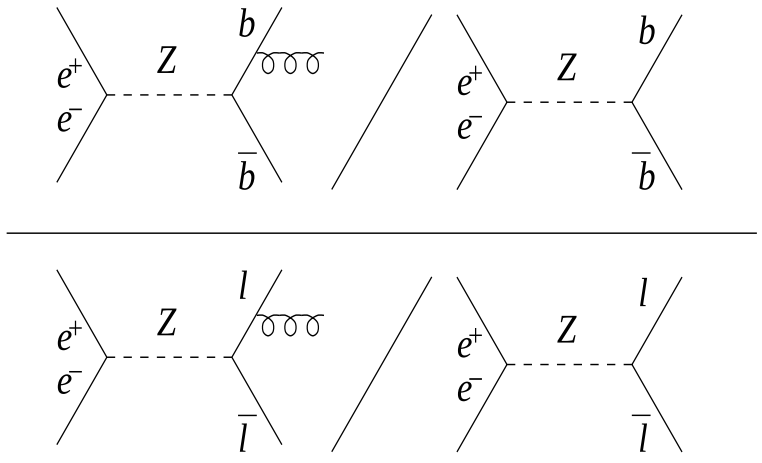
⋗ Probar el running de $m_b(\mu)$ en QCD: dos medidas independientes a escalas distantes: $\mu_1 = M_Z$ (lejos del umbral) y $\mu_2 = M_{\Upsilon/2}$.

☞ Este running tiene importantes implicaciones fenomenológicas en búsquedas de Higgs: $\overline{m}_b(M_H)$ gobierna la desintegración $\Gamma(H \to b\bar{b})$, dominante para $m_H \leq 100\, GeV$.

⋗ $mb(M_Z)$ es un parámetro de entrada básico para probar la unificación $m_b - m_\tau$ predicha por muchos modelos GUT. El running $m_b(M_Z) - m_b(M_{\Upsilon/2})$ es parte importante del running $m_b(M_{GUT} \sim 10^{16} GeV) - m_b(M_{\Upsilon/2})$ responsable de la unificación $m_b - m_\tau$.

Estrategia experimental.

Medida de observables de tres jets con amplias muestras de desintegraciones hadrónicas del Z.



- ☞ ALEPH $\rightarrow R_3^{b\ell}$ (Durham), primer y segundo momento de las variables *event shape*: T, parámetro C, B_T y B_W.
- ☞ DELPHI $\rightarrow R_3^{b\ell}$ (Durham y Cambridge)
- ☞ OPAL $\rightarrow$ Distribuciones globales *event shape*: y_3, $1-T$, M_H, B_W y C.
- ☞ SLD $\rightarrow R_3^{b\ell}$ (E,E0,P,P0, Durham y Geneva)

a comparar con las predicciones QCD-NLO que incluyen efectos de masa:

NLO-1$\Rightarrow$ DELPHI,ALEPH
G.Rodrigo, M.Bilenky, A.Santamaría, Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 193. (En términos de M_b y $m_b(M_Z)$)

NLO-2$\Rightarrow$ OPAL,ALEPH
P.Nason,C.Oleari, Phys. Lett. B407 (1997) 57.(M_b)

NLO-3$\Rightarrow$ SLD
W.Bernreuther, A. Brandenburg, P.Uwer, Phys. Rev. Lett. 79 (1997) 189. ($m_b(M_Z)$)

Dos posibles caminos para comparar los datos con las predicciones NLO:

☞ Probar la independencia de sabor de α_s:

⩾ Los datos de LEP/SLC

⩾ Input teórico: Cálculos NLO-QCD con efectos de masa conteniendo un conocimiento preciso de la masa del quark b obtenido a partir de medidas independientes a la escala del umbral de producción $b\bar{b}$ utilizando:

❶ Cálculos de Lattice QCD.

❷ Reglas de suma de QCD aplicadas al espectro de estados hadrónicos ligados del sistema Υ.

☞ Asumir la independencia de sabor de α_s. Cortar la serie perturbativa a orden $O(\alpha_s^2)$ y mirar que predicción describe mejor los datos:

❶ en términos de la masa polo $M_b \sim 4.6\ GeV/c^2$. (NLO-1 y NLO-2)

❶ en términos de la masa running $m_b(M_Z) \sim 2.8 GeV/c^2$. (NLO-1 y NLO-3)

⩾ Extraer el valor de la masa running $m_b(M_Z)$ definida en el esquema de renormalización $\overline{MS}$.

⩾ Testear la propiedad del running de la masa del quark b utilizando dos medidas independientes a diferentes escalas: $M_{\Upsilon/2}$ (Lattice y reglas de suma de QCD) y M_Z (ALEPH,DELPHI y SLD).

DELPHI, NLO-1

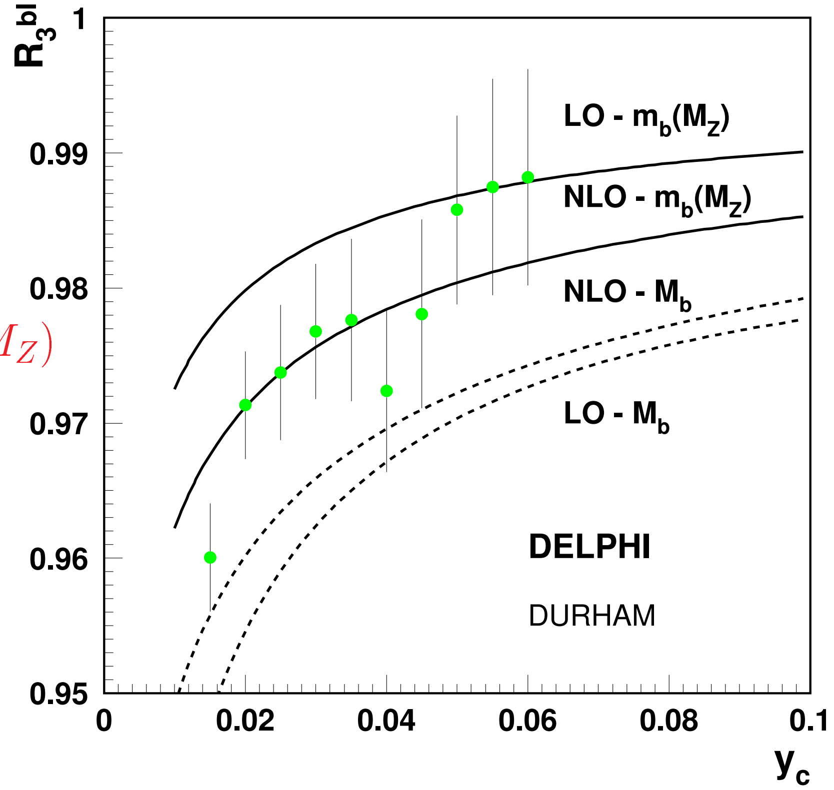
Observable:

$$R_3^{b\ell}(y_c) = \frac{\Gamma_{3j}^{Z^0\to b\bar{b}g}(y_c)/\Gamma_{tot}^{Z^0\to b\bar{b}}}{\Gamma_{3j}^{Z^0\to \ell\bar{\ell}g}(y_c)/\Gamma_{tot}^{Z^0\to \ell\bar{\ell}}}$$

$R_3^{b\ell}$-DURHAM

LO-$m_b(M_Z)$ y LO-M_b
$\Rightarrow$ mala descripción de los datos.

Correcciones NLO-$m_b(M_Z)$ mayores que NLO-M_b
$\Rightarrow$ Sin embargo, datos bien descritos por NLO-$m_b(M_Z)$.

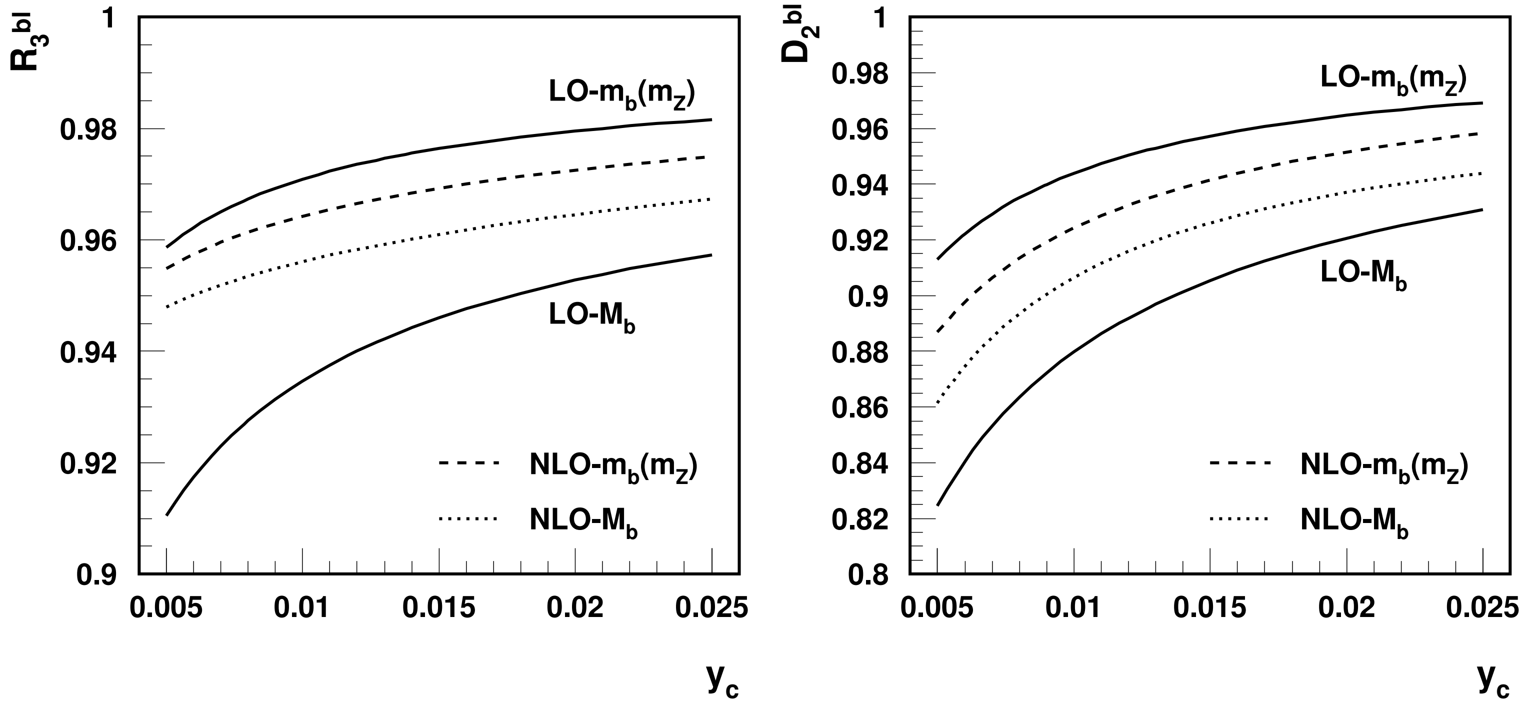


El efecto de la masa del b se cuantificó en: Phys. Lett. B418 (1998) 430

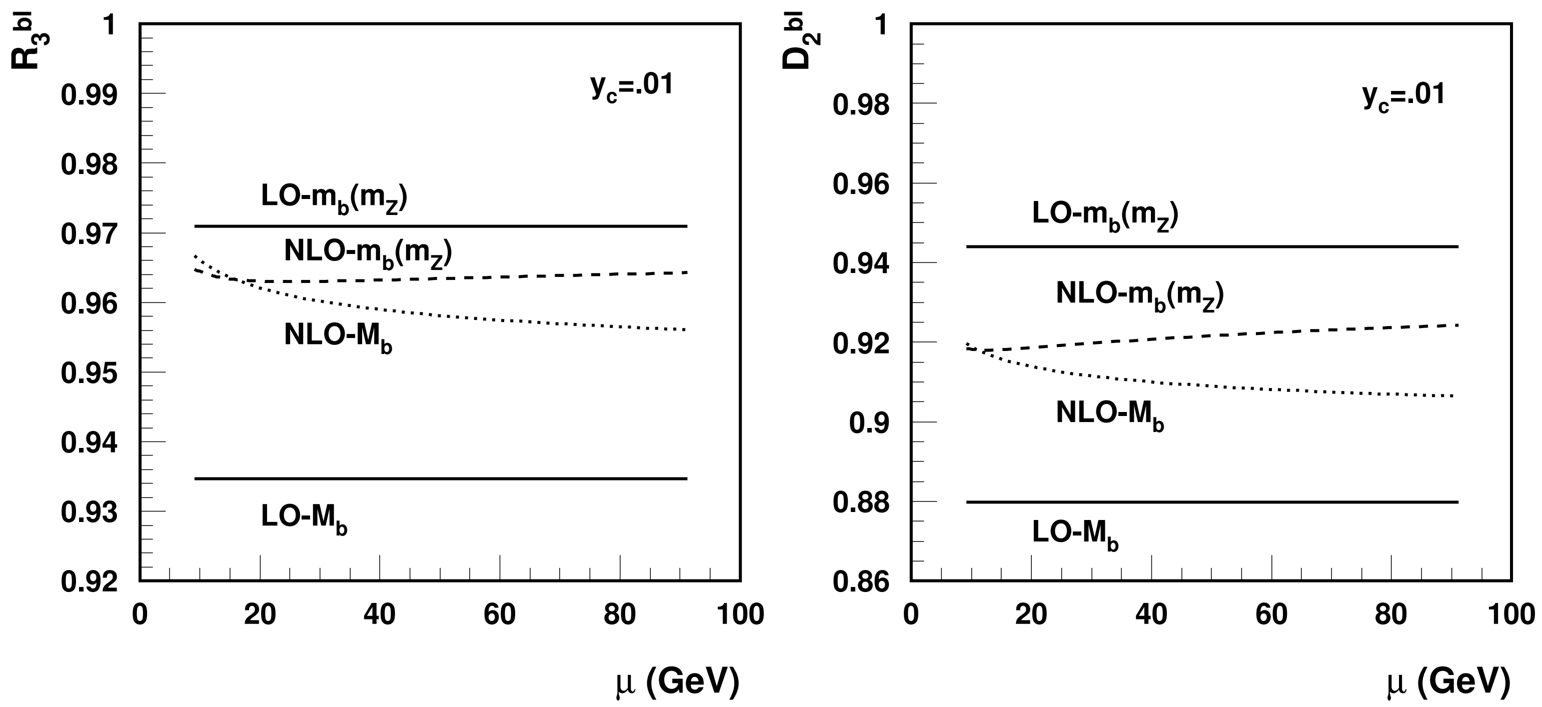
- $R_3^{b\ell}(y_c = 0.02) = 0.971 \pm 0.008$
- $R_3^{b\ell}(y_c = 0.02, LO, M_b = 4.6) =\sim 0.954$
- $R_3^{b\ell}(y_c = 0.02, exp) - R_3^{b\ell}(y_c = 0.02, LO, M_b = 4.6) \sim 2,3\sigma$
- $m_b(M_Z) = 2.67 \pm 0.50 \ \ (\mathrm{stat.} + \mathrm{syst.})\ \mathrm{GeV}$
- $m_b(m_\Upsilon/2) - m_b(M_Z) = 1.49 \pm 0.52 \ \ \mathrm{GeV}$

El algoritmo Cambridge mejora la situación teórica

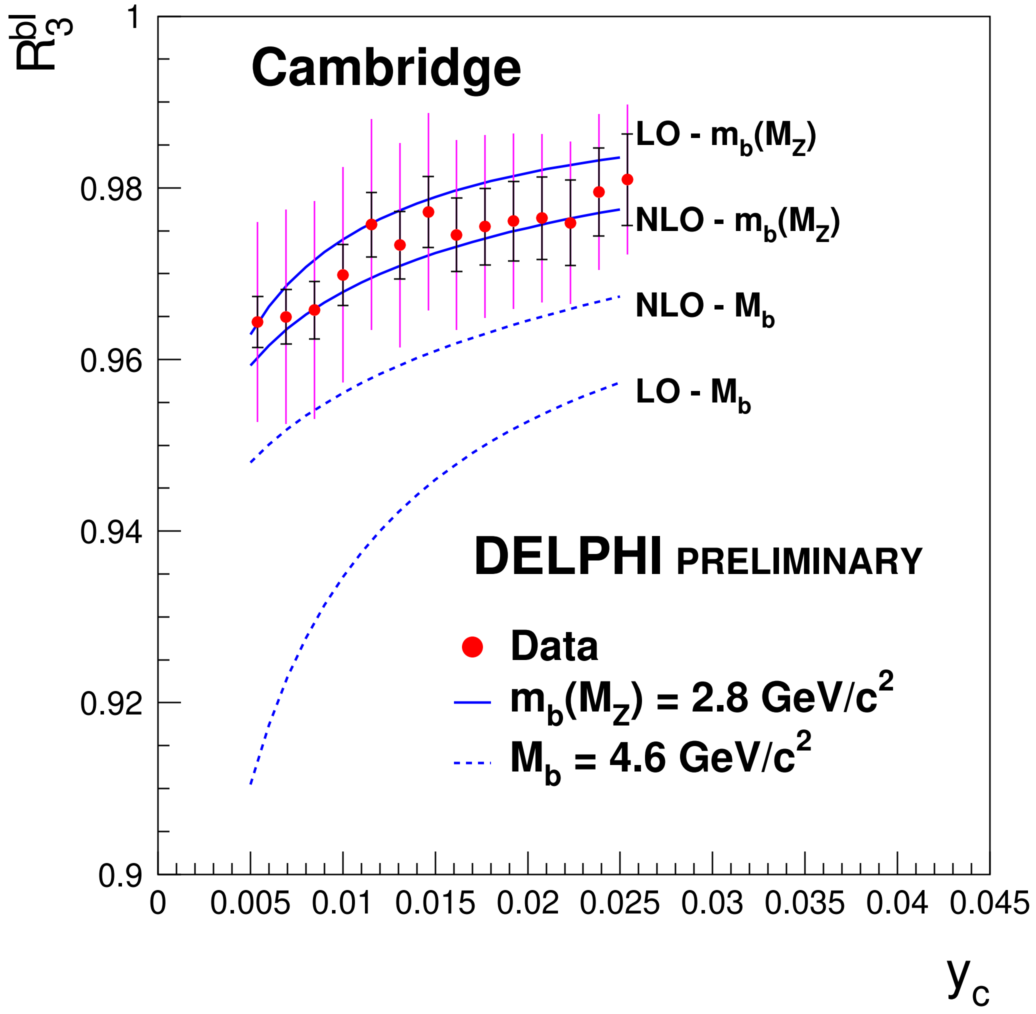
$\mu = M_Z$, Y_c variable
Correcciones NLO
menores
en términos de $m_b(M_Z)$
respecto de M_b
$M_b = 4,6$GeV$/c^2$



$Y_c = 0.01$, μ variable
Estabilidad
del resultado NLO
en términos de $m_b(M_Z)$.
Hacia valores pequeños
de μ:
NLO(M_b) $\Rightarrow$ NLO($m_b(M_Z)$)



$R_3^{b\ell}$-CAMBRIDGE



⩾ A orden LO sólo la descripción en términos de $m_b(M_Z) \sim 2.8\ GeV/c^2$ es aceptable:

$R_3^{b\ell}(y_c = 0.005, exp) = 0.965 \pm 0.012(stat. + syst.)$

$R_3^{b\ell}(y_c = 0.005, LO, M_b = 4.6) \sim 0.91$

$R_3^{b\ell}(y_c = 0.005, exp) - R_3^{b\ell}(y_c = 0.005, LO, M_b = 4.6) \sim 5\sigma$

⩾ A orden NLO, buena descripción de los datos en téminos de $m_b(M_Z)$.

⩾ Mejora neta en la observación de los efectos de masa running del quark b en la producción de tres jets.

SLD, NLO-3

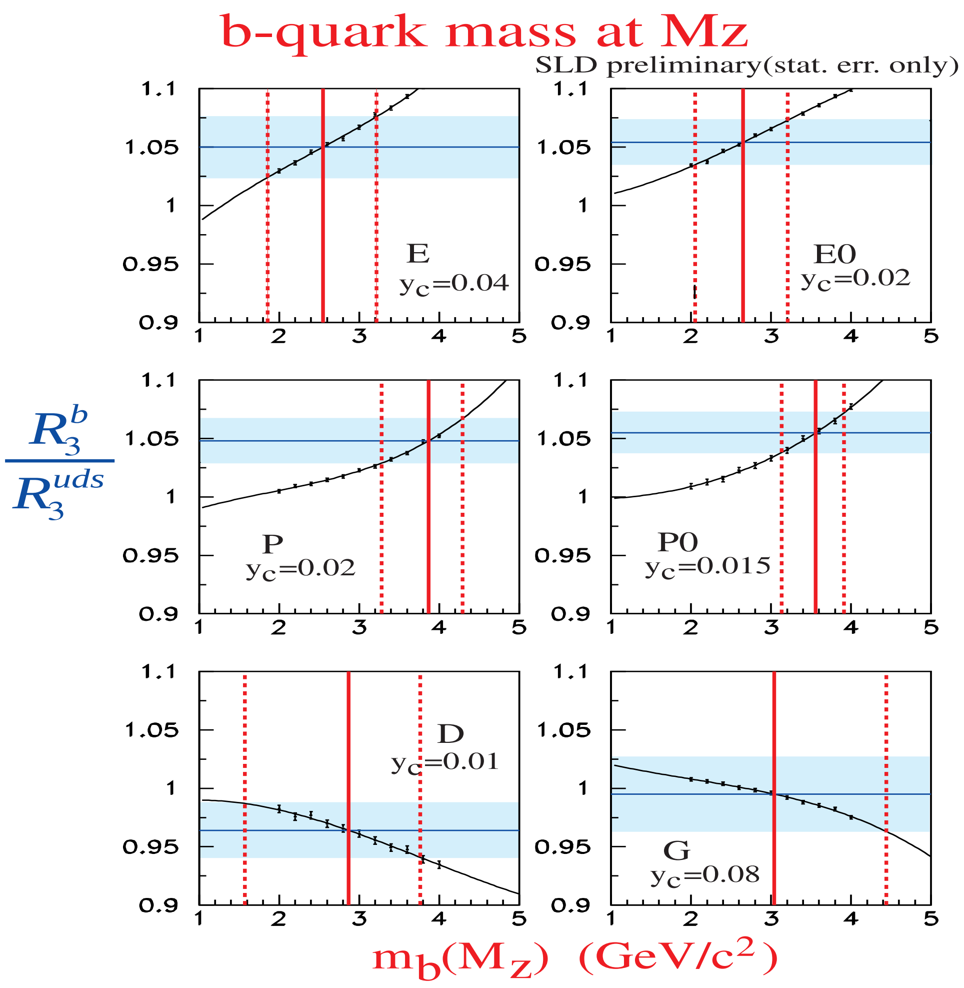
⋗ Efecto de la masa del quark b dependiente del algoritmo de jets:

☞ $R_3^{b\ell} \geq 1$ para E,E0,P y P0 ⇒ Efecto cinemático del algoritmo.

☞ $R_3^{b\ell} \leq 1$ para D y G ⇒ Disminución del espacio fásico para la emisión de gluones.

⋗ Dispersión en los valores de $m_b(M_Z)$: $2.3 < m_b(M_Z) < 4.1\ GeV/c^2$:

$\Delta\ m_b(M_Z) \approx 0.5 GeV \sim \sigma(m_b(M_Z))_{DURHAM-DELPHI}$



⋗ Salvo $R_3^{b\ell}$, $T_{1,2}$, $C_{1,2}$, $(B_T)_{1,2}$ y $((B_W)_{1,2}$ presentan correcciones de hadronización elevadas $9 - 33\%$.

⋗ Desviación hacia valores elevados
$3.04 \ < \ m_b(M_Z) \ < \ 4.84\, GeV/c^2$:

$$\Downarrow$$

Dispersión en los valores de $m_b(M_Z)$ producida por sesgos no controlados con dos orígenes:

⋗ Observables con correcciones de hadronización superiores al efecto de masa a medir.

⋗ Tamaño de las correcciones NLO crítico para asegurar una predicción perturbativa fiable.

Resultados y conclusiones.

⩾ Los efectos de masa del quark b detectados claramente en los datos de LEP y SLC a la escala M_Z y cuantificados a traves de cálculos perturbativos de QCD a NLO.

⩾ A orden NLO, mejor descripción de los datos por las correcciones de masa en términos de la masa *running* respecto de la masa polo.

❶ Todos los cocientes son consistentes con la unidad: ⇒ Independencia de sabor de α_s

$$\left(\alpha_s^b/\alpha_s^{uds}\right)_{DELPHI} = 1.005\pm0.012 \text{ (stat. + frag. + theo.)}$$

Presente análisis

$$\left(\alpha_s^b/\alpha_s^{uds}\right)_{OPAL} = 0.993\pm0.008(stat.)\pm0.006(syst.)\pm0.011(theo.)$$
$$\left(\alpha_s^c/\alpha_s^{uds}\right)_{OPAL} = 0.997\pm0.038(stat.)\pm0.030(syst.)\pm0.012(theo.)$$

$CERN - EP/99 - 045$

$$\left(\alpha_s^b/\alpha_s^{uds}\right)_{SLD} = 1.004\pm0.034(exp.)\pm0.029(theo.)$$
$$\left(\alpha_s^c/\alpha_s^{uds}\right)_{SLD} = 1.036\pm0.061(exp.)\pm0.019(theo.)$$

$Phys.Rev.\mathbf{D59}12002(1999), hep - ex/9805023.$

❷ Tres determinaciones compatibles de $m_b(M_Z)$

$DELPHI$ *Presente análisis*

$$m_b(M_Z) = 2.61 \pm 0.18 \text{ (sta.)}^{+0.45}_{-0.49}\text{(frag.)} \pm 0.04\text{(tag.)} \pm 0.07 \text{ (teo.) GeV/c}^2$$

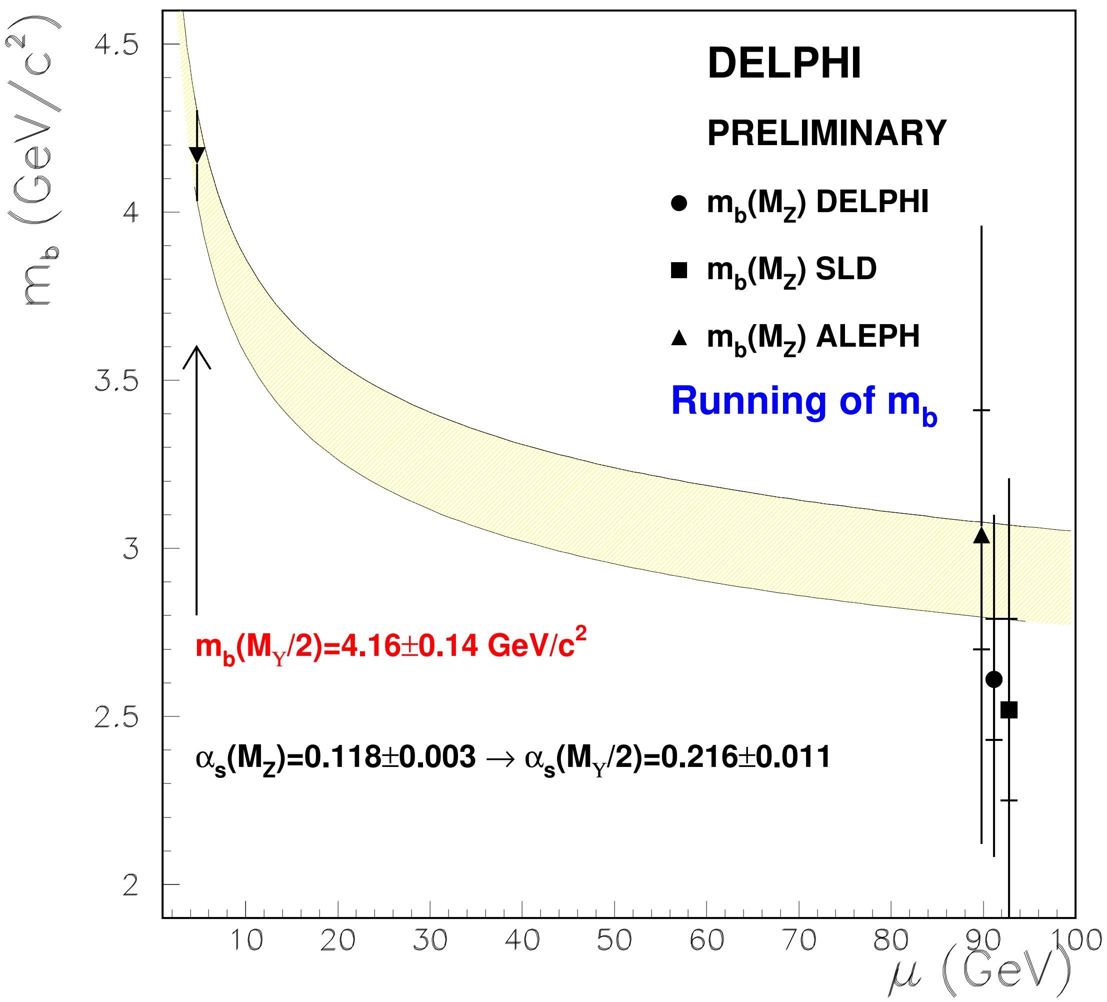
SLD $SLAC - PUB - 7915, hep - ph/9905495.$

$$m_b(M_Z) = 2.52 \pm 0.27 \text{ (sta.)}^{+0.33}_{-0.47}\text{(syst.)}^{+0.54}_{-1.46}\text{(teo.) GeV/c}^2$$

ALEPH EPS-HEP99. ALEPH 99-059, CONF 99-034.

$$m_b(M_Z) = 3.04\pm^{+0.37}_{-0.34}\text{(sta.)}^{+0.44}_{-0.39}\text{(syst.)}^{+0.72}_{-0.59}\text{(had.)}^{+0.20}_{-0.42}\text{(teo.) GeV/c}^2$$

Running de $m_b(M_Z)$



❶ Compatibilidad de los resultados de $m_b(M_Z)$ de ALEPH, DELPHI y SLD con el resultado a baja energía $m_b(M_\Upsilon/2) = 4.16 \pm 0.14\ \mathrm{GeV}/c^2$.

❷ Un cambio neto en el valor de $m_b(\mu)$ se observa con casi 3 desviaciones estándar: $m_b(M_\Upsilon/2) - m_b(M_Z) = 1.55 \pm 0.54\ \mathrm{GeV}/c^2$ DELPHI. Resultado en buen acuerdo con la evolución predicha por QCD.