Tests des Nichtkommutativen Standardmodells an einem künftigen Photon-Collider

Jürgen Reuter
— Universität Karlsruhe —
⟨reuter@particle.uni-karlsruhe.de⟩

in Zusammenarbeit mit: Thorsten Ohl, Uni. Würzburg

DPG-Tagung Mainz, 2004

1 Nichtkommutatives SM 1

◦ Motivation ◦ Grundlagen nichtkommutativer Theorien ◦ NC Eichtheorien ◦ Limits und Constraints

2 Paarerzeugung am Photon-Collider . 5

◦ Paarproduktion ◦ Helizitätsamplituden ◦ Winkelabhängigkeit ◦ Plots - Spektrum ◦ Plots - Spektrum II

3 Zusammenfassung 10

Kommt NICHT vor: Hopf-Algebren, einhüllende Algebren, UV/IR-Mixing etc.

Alte Idee: Teilchen im Magnetfeld Landau, (1930)

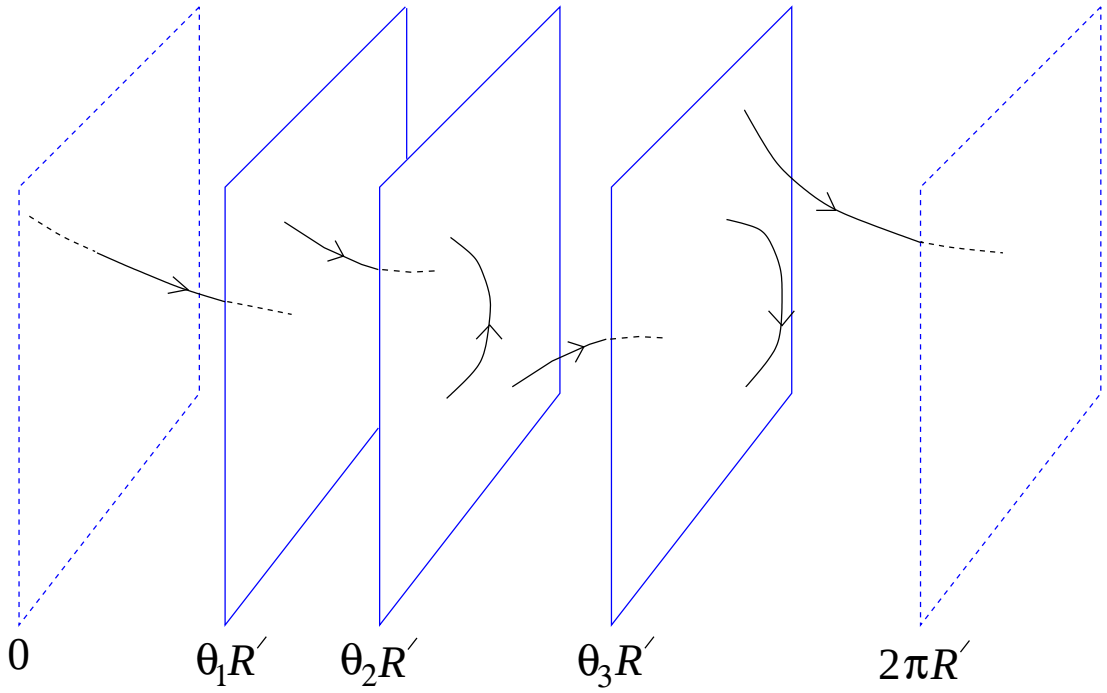
Teilchen-Koordinaten senkrecht zu $\vec{B}$ kommutieren nicht:

$$\{x_i, x_j\}_P = \frac{c}{e}\left(B^{-1}\right)_{ij}.$$

Motivation: Stringtheorie

D-Branes mit konstantem Hintergrundfeld $B_{\mu\nu}$ ...,

Connes/Douglas/Schwartz (1998), Schomerus (1999) , Seiberg/Witten, (1999)



$$[\hat{x}_\mu, \hat{x}_\nu] \xrightarrow{\alpha' \to 0} \mathrm{i}\left(B^{-1}\right)_{\mu\nu}$$

Nichtkommutative Raumzeit-Koordinaten:

$$\boxed{[\hat{x}^\mu, \hat{x}^\nu] = \mathrm{i}\theta^{\mu\nu}}$$

Nichtkommutativität: antisymmetrischer Tensor:

$$\theta^{\mu\nu} = \frac{1}{\Lambda_{NC}^2} \begin{pmatrix} 0 & -E_x & -E_y & -E_z \\ E_x & 0 & -B_z & B_y \\ E_y & B_z & 0 & -B_x \\ E_z & -B_y & B_x & 0 \end{pmatrix}$$

Felder auf nichtkommutativer Raumzeit $\Leftrightarrow$ Darstellung auf $\mathbb{R}^4$???

Moyal-Weyl-Produkt:

$$\hat{\mathbf{f}}(\hat{x}) \cdot \hat{\mathbf{g}}(\hat{x}) \to f(x) \star g(x)$$

$$:= \exp\left[\frac{\mathrm{i}}{2}\frac{\partial}{\partial x^\mu}\theta^{\mu\nu}\frac{\partial}{\partial y^\nu}\right] f(x)g(y)\Big|_{y\to x}$$

$$= f(x)\cdot g(x) + \frac{\mathrm{i}}{2}\theta^{\mu\nu}\left(\frac{\partial}{\partial x^\mu} f(x)\right)\cdot\left(\frac{\partial}{\partial x^\mu} g(x)\right) + \mathcal{O}(\theta^2)$$

- Forderung: Eichinvarianz auf *nc Räumen*
- $\Rightarrow$ nur bestimmte Eichgruppen (i.w. $U(n)$)
- **oder:** Konstruktion mit unendlich vielen Parametern
- Abb. auf endl. Zahl Freiheitsgrade komm. Theorien ?

Seiberg-Witten-Abbildung Seiberg/Witten, 1999; Wess, 2000

$$\hat{\Psi} = \Psi + \frac{1}{2}\theta^{\mu\nu} A_\nu \partial_\mu \Psi + \frac{\mathrm{i}}{8}\theta^{\mu\nu}[A_\mu, A_\nu]\Psi + \mathcal{O}(\theta^2)$$

$$\hat{\mathbf{A}}_\lambda = A_\lambda + \frac{1}{4}\theta^{\mu\nu}\{A_\nu, \partial_\mu A_\lambda\} + \frac{1}{4}\theta^{\mu\nu}\{F_{\mu\lambda}, A_\nu\} + \mathcal{O}(\theta^2)$$

Nichtkommutatives Standard-Modell (NCSM)

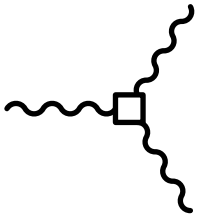
Wess *et al.*, 2001

SW-Abb. für SM-Eichgruppe $SU(3)_C \times SU(2)_L \times U(1)_Y$:

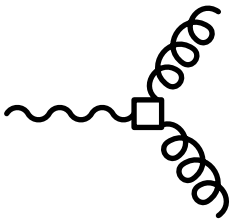
$$A_\mu = g' B_\mu Y + g \sum_{a=1}^{3} W_\mu^a T_L^a + g_s \sum_{a=1}^{8} G_\mu^a T_C^a$$

$$\mathcal{L}_{NCSM} = -\sum_i \frac{1}{2g_i^2} \mathrm{Tr}\left[\hat{\mathbf{F}}_{\mu\nu} \star \hat{\mathbf{F}}^{\mu\nu}\right] + \sum_k \overline{\hat{\Psi}}_k \star \mathrm{i}\hat{\not{D}} \star \hat{\Psi}_k + \ldots$$

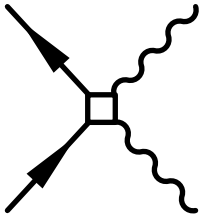
NCSM, zusätzliche Vertizes:



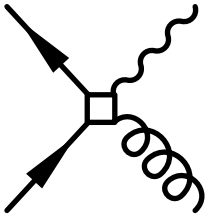
$\gamma\gamma\gamma,\ Z\gamma\gamma,$
$ZZ\gamma,\ ZZZ$

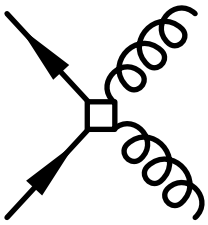


$Zgg,\ \gamma gg$



$f\bar{f}\gamma\gamma, f\bar{f}\gamma Z$
$f\bar{f}ZZ, f\bar{f}WW$





SUCHEN und LIMITS:

- **"Plasmon-Zerfall":** $\gamma_{\text{Pl.}} \to \bar{\nu}_R \nu_L$; Energieverlust in Sternhaufen $\Rightarrow$ $\boxed{\Lambda_{NC} \gtrsim 80\ \text{GeV}}$ Raffelt *et al.*, 2001

Yang–Landau–Theorem Landau, 1948; Yang, 1950
Lorentz-Inv., Bose-Symm. $\Rightarrow$ Spin 1-Teilchen $\not\to \gamma\gamma\ \ (gg)$

- **Seltene Z-Zerfälle:** Behr *et al.*, 2001

$$\Gamma_{Z\to\gamma\gamma} \propto \alpha\, M_Z^5\, K_{Z\gamma\gamma}^2 \left[\frac{7}{3}\vec{E}^2 + \vec{B}^2\right]$$

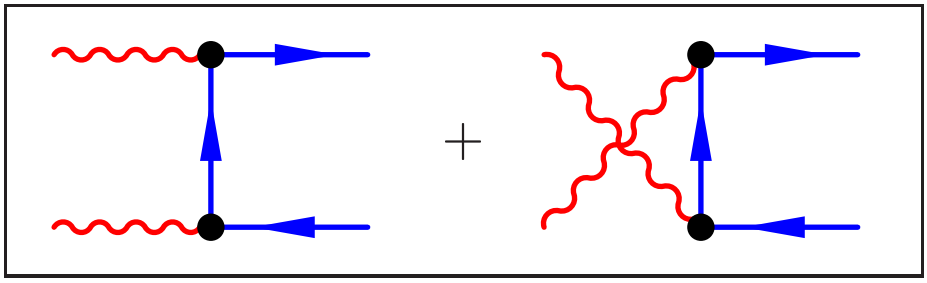
$\Rightarrow\ \text{BR}(Z \to \gamma\gamma) \approx 4\times10^{-8}\ \Rightarrow\ \boxed{\Lambda \gtrsim 100 - 200\ \text{GeV}}$

- **Hadroproduktion:**

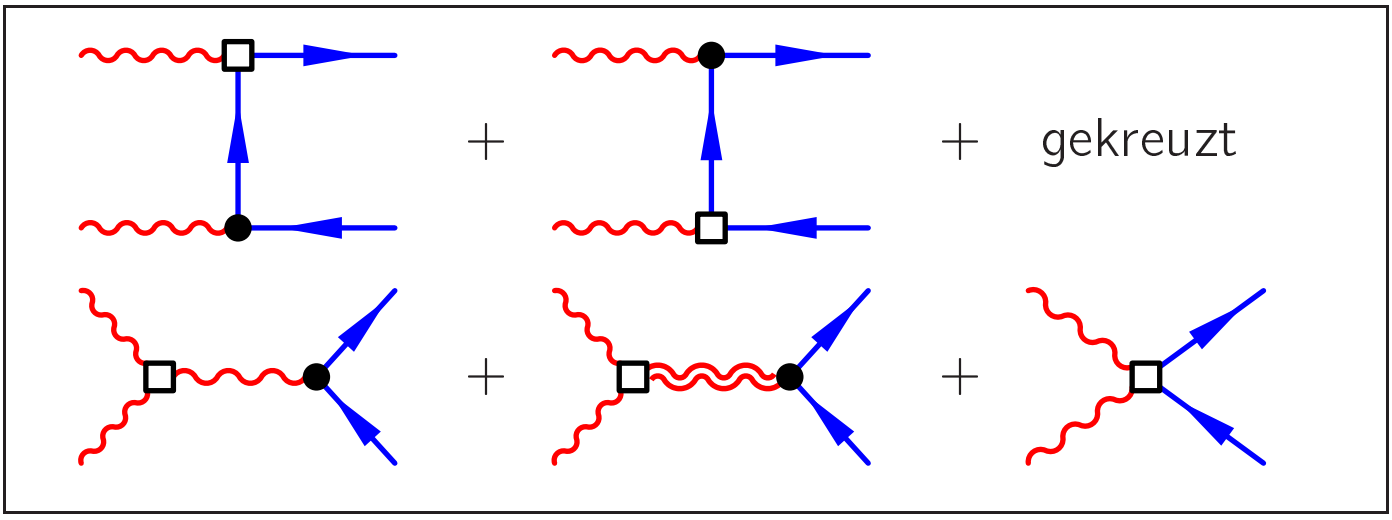
$p\bar{p} \to \gamma Z,$ $\boxed{\Lambda_{NC} \gtrsim 200\ \text{GeV}}$ $\hookrightarrow$ A. Alboteanu's Talk

NCSM-Signal: Paarproduktion am Photon-Collider

SM-Amplitude:



NC-Amplitude:



☹ Photonen polarisiert ⇒ Rechnung kompliziert

☺ Photonen polarisiert ⇒ mehr Information

Numerisch: O'Mega Ohl/JR/Schwinn, 2001-

Analytisch: Nur E_1, E_2

Analytische Rechnung mit Helizitätsamplituden

Hochenergielimes → masselose Fermionen →
Helizitätszustände van der Waerden/Weyl, 1930; Berends/Giele, 1981

Zerlegung lichtartiger Vektoren:

$$k^2 = 0 \to K_{\dot\alpha\beta} = k_{\dot\alpha} k_\beta \quad , \quad \langle kp\rangle = k^\alpha \epsilon_{\alpha\beta} p^\beta = k_1 p_2 - k_2 p_1$$

$$k_\alpha = \begin{pmatrix} (k^1 - \mathrm{i}k^2)/\sqrt{k^0 + k^3} \\ \sqrt{k^0 + k^3} \end{pmatrix}, \qquad 2(k\cdot p) = \langle kp\rangle \langle kp\rangle^*$$

Nichtkommutativität mit Helizitätsamplituden:

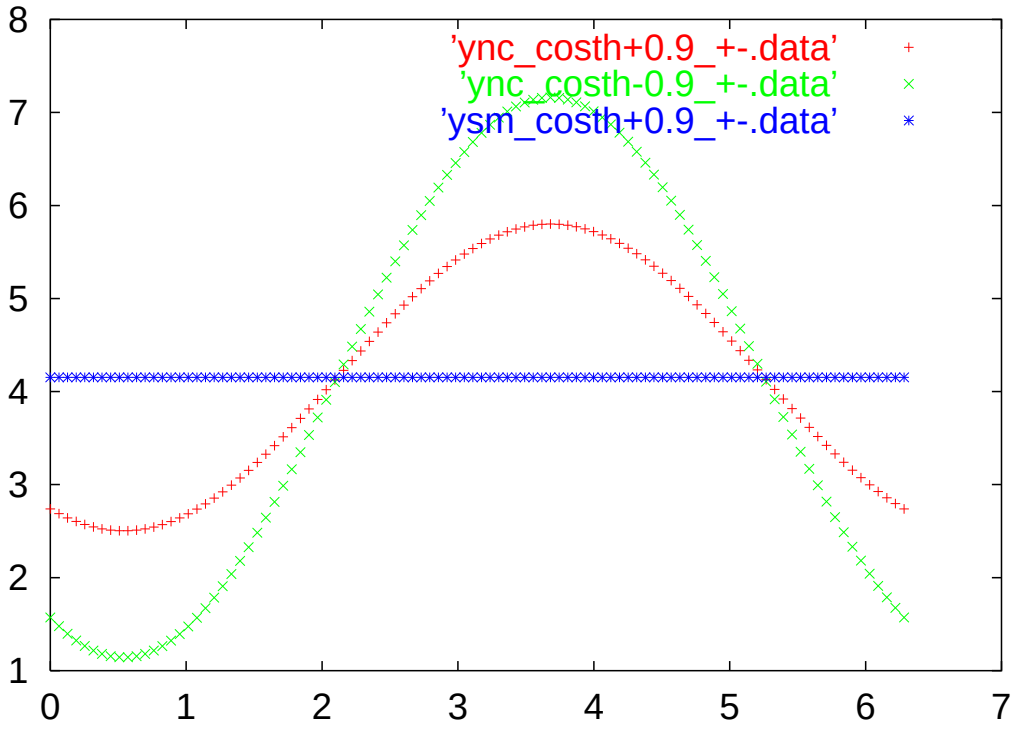
Spinordarstellung antisymmetr. Tensoren: Penrose/Rindler

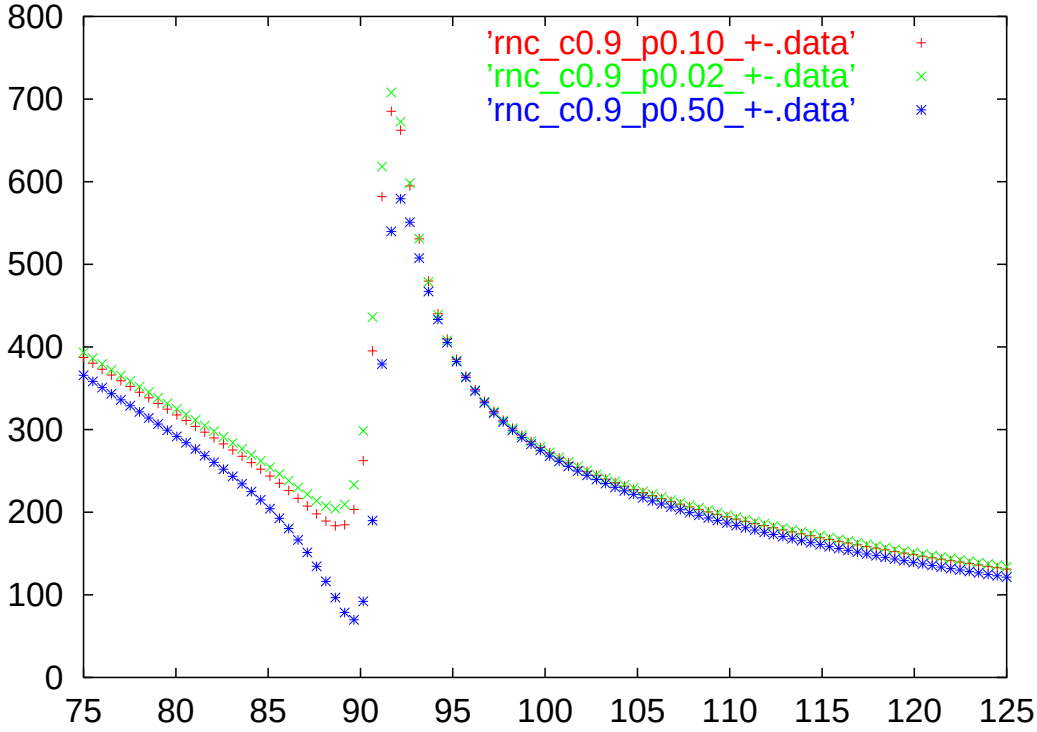
$$\boxed{\theta^{\mu\nu} \to \theta_{\dot\alpha\alpha,\dot\beta\beta} = \phi_{\alpha\beta}\, \epsilon_{\dot\alpha\dot\beta} + \epsilon_{\alpha\beta}\, \bar\phi_{\dot\alpha\dot\beta}}$$

$$\mathbf{P}_i := E_i + \mathrm{i}B_i, \qquad \phi = \begin{pmatrix} -(\mathbf{P}_x - \mathrm{i}\mathbf{P}_y) & \mathbf{P}_z \\ \mathbf{P}_z & \mathbf{P}_x + \mathrm{i}\mathbf{P}_y \end{pmatrix}$$

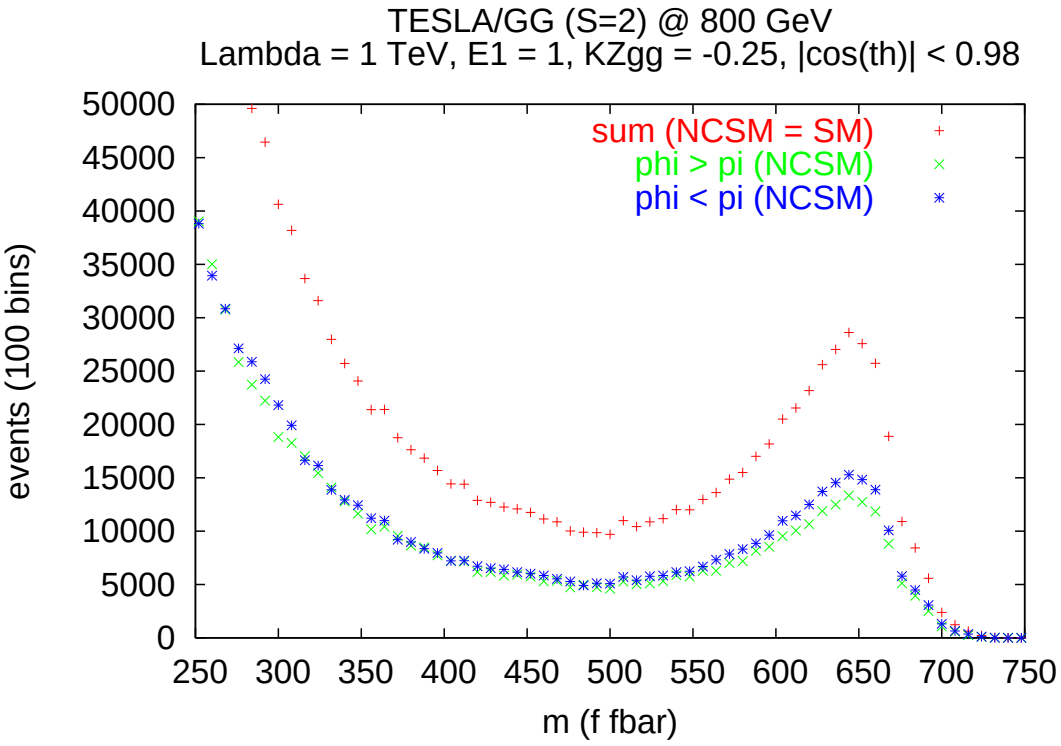
Numerische Tests: Ward-Identität, Check mit O'Mega, *Unabhängigkeit vom Eichspinor* √

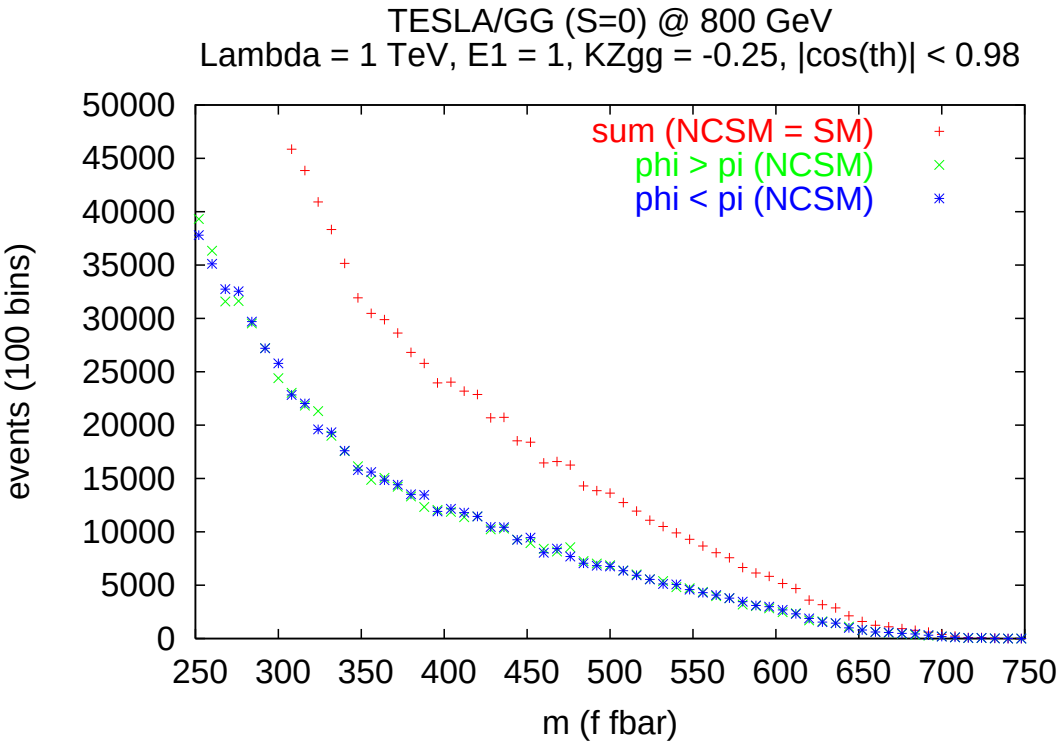
Azimuth-Abh. des WQ (in pb) bei $\sqrt{s} = 800\,\mathrm{GeV}$:

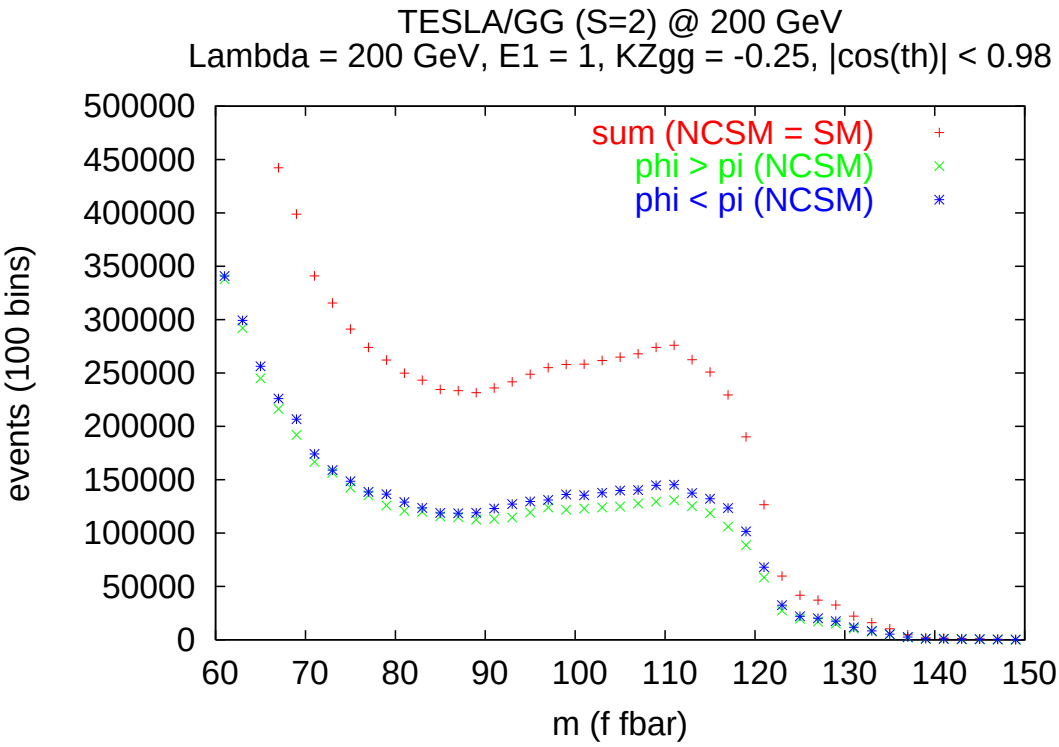


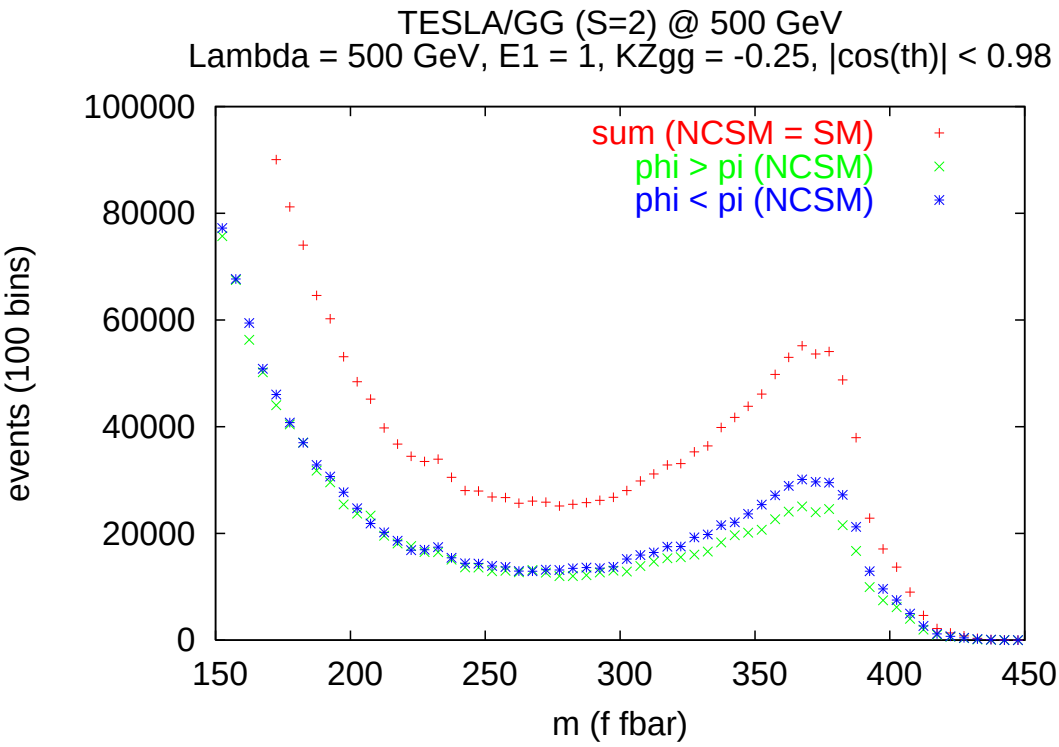


Photon-Spektrum: **Circe 2** Ohl, 2001






TESLA/GG (S=2) @ 200 GeV
Lambda = 200 GeV, E1 = 1, KZgg = -0.25, |cos(th)| < 0.98
sum (NCSM = SM)
phi > pi (NCSM)
phi < pi (NCSM)
events (100 bins)
m (f fbar)
500000
450000
400000
350000
300000
250000
200000
150000
100000
50000
0
60
70
80
90
100
110
120
130
140
150


TESLA/GG (S=2) @ 500 GeV
Lambda = 500 GeV, E1 = 1, KZgg = -0.25, |cos(th)| < 0.98
sum (NCSM = SM)
phi > pi (NCSM)
phi < pi (NCSM)
events (100 bins)
m (f fbar)
100000
80000
60000
40000
20000
0
150
200
250
300
350
400
450

Nichtkommutatives SM bietet interessante neue Phänomene

- Generisch: neue – im SM verbotene – Eichboson-Vertizes, Kontaktterme, etc.

Klare experimentelle Signaturen:
Verletzung der Drehimpulserhaltung,
Ortsabhängigkeit des Signals

Polarisation am Photon-Collider bringt *entscheidende* Information

Photon-Collider-Modus: NC vs. Higgs-Physik

Fehlt noch: Seiberg-Witten @ $\mathcal{O}(\theta^2)$

Nachweis durch Winkelabhängigkeit bis $\sim 1\,\mathrm{TeV}$