Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Anja Beck

Technische Universität Dortmund

1. August 2017

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

> Ania Beck 1. August 2017

Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Dunkle Materie

Einführung

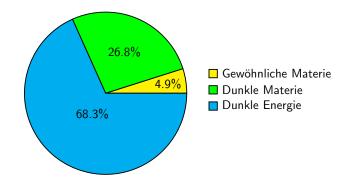


Abbildung: Energieverteilung im Universum (ESA, Planck Teleskop 2013)

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark

Matter

Einführung

Dunkle Materie



avour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Direct Detection

Einführung

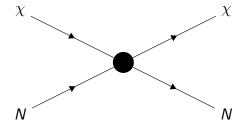


Abbildung: Streuung eines DM-Teilchens am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark

Matter

Einführung

Direct Detection



Einführung

Inhalt

Einführung

Flavour-Mischung

Verwendeter Formalismus

Neue Wechselwirkung

Ergebnisse

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark 2017-07-31 Matter -Einführung └─Inhalt

Inhalt Einführung Flavour-Mischung Verwendeter Formalismu Neue Wechselwirkung Ergebnisse

Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Ursprung der Flavour-Mischung

Die Massen-Eigenzustände sind nicht gleich den Flavour-Eigenzuständen.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark

Matter

Flavour-Mischung

Ursprung der Flavour-Mischung

Ursprung der Flavour-Mischung
Die Massen-Eigenzustände sind nicht gleich den
Flavour-Eigenzuständen.

Anja Beck Technische Universität Dortmund

Neue Wechselwirkung

-07-31

Ursprung der Flavour-Mischung

Die Massen-Eigenzustände sind nicht gleich den Flavour-Eigenzuständen.

$$\mathcal{L}^{(\text{mass})} = -\frac{v}{\sqrt{2}} \left[\bar{E}_L \lambda^e E_R + \bar{D}_L \lambda^d D_R + \bar{U}_L \lambda^u U_R + \text{h.c.} \right]$$

Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter Flavour-Mischung

-Ursprung der Flavour-Mischung

Jrsprung der Flavour-Mischung $\mathcal{L}^{(mass)} = -\frac{v}{R} \left[\tilde{E}_L \lambda^a E_R + \tilde{D}_L \lambda^d D_R + \tilde{U}_L \lambda^a U_R + h.c. \right]$

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Neue Wechselwirkung

Die Massen-Eigenzustände sind nicht gleich den Flavour-Eigenzuständen.

$$\mathcal{L}^{(\mathsf{mass})} = -rac{v}{\sqrt{2}} \left[ar{\mathcal{E}}_L \lambda^e \mathcal{E}_R + ar{\mathcal{D}}_L \lambda^d \mathcal{D}_R + ar{\mathcal{U}}_L \lambda^u \mathcal{U}_R + \mathsf{h.c.}
ight]$$

Massenterme werden durch unitäre Rotation der Teilchen-Multipletts diagonalisiert:

$$E_L o S_e E_L \qquad E_R o R_e E_R$$
 $ar{E}_L \lambda^e E_R o ar{E}_L S_e^\dagger \lambda^e R_e E_R$

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -07-31 Matter Flavour-Mischung

Ursprung der Flavour-Mischung

Jrsprung der Flavour-Mischung $\mathcal{L}^{(exact)} = -\frac{v}{\frac{N}{N}} \left[\tilde{E}_L \lambda^a E_R + \tilde{D}_L \lambda^d D_R + \tilde{U}_L \lambda^a U_R + h.c. \right]$ Massenterme werden durch unitäre Rotation der

 $\tilde{E}_L \lambda^e E_R \rightarrow \tilde{E}_L S_e^{\dagger} \lambda^e R_e E_R$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

Ursprung der Flavour-Mischung

Die Massen-Eigenzustände sind nicht gleich den Flavour-Eigenzuständen.

$$\mathcal{L}^{(\text{mass})} = -\frac{v}{\sqrt{2}} \left[\bar{E}_L \lambda^e E_R + \bar{D}_L \lambda^d D_R + \bar{U}_L \lambda^u U_R + \text{h.c.} \right]$$

Massenterme werden durch unitäre Rotation der Teilchen-Multipletts diagonalisiert:

$$E_L \rightarrow S_e E_L$$
 $E_R \rightarrow R_e E_R$ $\bar{E}_L \lambda^e E_R \rightarrow \bar{E}_L S_e^{\dagger} \lambda^e R_e E_R$

Dadurch verändert sich der Strom.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

$$ar{U}_{L}\gamma^{\mu}D_{L}
ightarrow ar{U}_{L}\gamma^{\mu}S_{\mu}^{\dagger}S_{d}D_{L}$$

Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter Flavour-Mischung

Ursprung der Flavour-Mischung

 $\mathcal{L}^{(mass)} = -\frac{v}{\sqrt{n}} \left[\tilde{E}_L \lambda^{\alpha} E_R + \tilde{D}_L \lambda^{\alpha} D_R + \tilde{U}_L \lambda^{\alpha} U_R + h.c. \right]$ Massenterme werden durch unitäre Rotation der

Jrsprung der Flavour-Mischung

 $\tilde{E}_1 \lambda^a E_0 \rightarrow \tilde{E}_1 S^{\dagger} \lambda^a R_a E_0$

► Dadurch verändert sich der Strom

 $\theta_i \gamma^{\mu} D_i \rightarrow \theta_i \gamma^{\mu} S_a^{\dagger} S_a D_i$

Neue Wechselwirkung

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark CKM-Matrix Matter Beträge der Matrix-Elemente -Flavour-Mischung

CKM-Matrix

 $V_{CKM} = \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.004 \\ 0.220 & 0.995 & 0.041 \end{pmatrix}$

CKM-Matrix

Beträge der Matrix-Elemente:

$$V_{\mathsf{CKM}} = \begin{pmatrix} 0.974 & 0.225 & 0.004 \\ 0.220 & 0.995 & 0.041 \\ 0.008 & 0.040 & 1.009 \end{pmatrix}$$

Unchirale Operatoren:

$$R_{1,q} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{q}\gamma^{\mu}q) \qquad R_{3,q} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{q}\gamma^{\mu}\gamma_{5}q) R_{2,q} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\chi)(\bar{q}\gamma^{\mu}q) \qquad R_{4,q} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\chi)(\bar{q}\gamma^{\mu}\gamma_{5}q)$$

Chirale Operatoren:

$$Q_{1ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\tilde{\tau}^{3}\chi)(\bar{Q}_{L}^{i}\gamma^{\mu}\tau^{3}Q_{L}^{j}) \qquad Q_{5ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\tilde{\tau}^{3}\chi)(\bar{Q}_{L}^{i}\gamma^{\mu}\tau^{3}Q_{L}^{j})$$

$$Q_{2ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_{L}^{i}\gamma^{\mu}Q_{L}^{j}) \qquad Q_{6ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\chi)(\bar{Q}_{L}^{i}\gamma^{\mu}Q_{L}^{j})$$

$$Q_{3ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{U}_{R}^{i}\gamma^{\mu}U_{R}^{j}) \qquad Q_{7ij} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\chi)(\bar{U}_{R}^{i}\gamma^{\mu}U_{R}^{j})$$

$$Q_{4ii} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{D}_{R}^{i}\gamma^{\mu}D_{P}^{j}) \qquad Q_{8ii} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_{5}\chi)(\bar{D}_{R}^{i}\gamma^{\mu}D_{P}^{j})$$

Ziel: Drücke die Koeffizienten der unchiralen Operatoren in Abhängigkeit der Koeffizienten der chiralen Operatoren aus.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter -07 Verwendeter Formalismus

-Operatoren

Operatoren Unchirale Operatorer $R_{1,\alpha} = (\tilde{\gamma}\gamma_{\alpha}\gamma)(\tilde{a}\gamma^{\mu}a)$ $R_{2,\alpha} = (\tilde{\gamma}\gamma_{\alpha}\gamma)(\tilde{\sigma}\gamma^{\mu}\gamma_{5}\sigma)$ $R_{2,q} = (\tilde{\chi}\gamma_{\alpha}\gamma_5\chi)(\tilde{q}\gamma^{\mu}q)$ $R_{4,q} = (\tilde{\chi}\gamma_{\mu}\gamma_5\chi)(\tilde{q}\gamma^{\mu}\gamma_5q)$

Rechnung: Schritt 1

Einfügen der CKM-Matrix:

$$\begin{split} \bar{Q}_{L}^{i}\gamma^{\mu}Q_{L}^{j} &= \bar{U}_{L}^{i}\gamma^{\mu}U_{L}^{j} + \bar{D}_{L}^{i}\gamma^{\mu}D_{L}^{j} \\ &= \bar{U}_{L}^{i}\gamma^{\mu}U_{L}^{j} \\ &+ (V_{id}^{*}\bar{d}_{L} + V_{is}^{*}\bar{s}_{L} + V_{ib}^{*}\bar{b}_{L})\gamma^{\mu}(V_{jd}d_{L} + V_{js}s_{L} + V_{jb}b_{L}) \\ &= \bar{u}_{L}\gamma^{\mu}u_{L}\delta_{ij}\delta_{iu} + V_{id}^{*}V_{jd}\bar{d}_{L}\gamma^{\mu}d_{L} + V_{is}^{*}V_{js}\bar{s}_{L}\gamma^{\mu}s_{L} \end{split}$$

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Rechnung: Schritt 1 2017-07-31 Matter Einfügen der CKM-Matrix: $\tilde{Q}_L^i \gamma^\mu Q_L^j = \tilde{U}_L^i \gamma^\mu U_L^j + \tilde{D}_L^i \gamma^\mu D_L^j$ -Verwendeter Formalismus $+(V_{id}^*\bar{d}_L + V_{ik}^*\bar{s}_L + V_{ik}^*\bar{b}_L)\gamma^{\mu}(V_{jd}d_L + V_{jk}s_L + V_{jk}b_L)$ $= \bar{\nu}_L \gamma^{\mu} \nu_L \delta_{ij} \delta_{in} + V_{id}^* V_{jd} \bar{d}_L \gamma^{\mu} d_L + V_{ic}^* V_{jc} \bar{s}_L \gamma^{\mu} s_L$ -Rechnung: Schritt 1

Neue Wechselwirkung

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark

Matter

-Verwendeter Formalismus

Rechnung: Schritt 2

Umschreiben der chiralen Teilchen-Multipletts mit den links- und $\tilde{Q}_{i}^{i}\gamma^{\mu}Q_{i}^{j} = \frac{1}{z}(\tilde{u}\gamma^{\mu}u\delta_{ia}\delta_{ii} + V_{id}^{a}V_{id}\tilde{d}\gamma^{\mu}d + V_{ii}^{a}V_{ia}\tilde{s}\gamma^{\mu}s)$ $\frac{1}{2}(\bar{u}\gamma^{\mu}\gamma_5 u \delta_{is} \delta_{ij} + V_{id}^* V_{jd} \bar{d}\gamma^{\mu}\gamma_5 d + V_{is}^* V_{js} \bar{s}\gamma^{\mu}\gamma_5 s)$

> $Q_{2i\bar{i}} = \frac{1}{\pi} (R_{1a}\delta_{\bar{i}a}\delta_{\bar{i}\bar{i}} + V_{2a}^*V_{\bar{i}d}R_{1d} + V_{2a}^*V_{\bar{i}a}R_{1a})$ $-\frac{1}{2}(R_{3d}\delta_{id}\delta_{ij} + V_{id}^*V_{id}R_{3d} + V_{id}^*V_{jk}R_{3s})$

Rechnung: Schritt 2

Umschreiben der chiralen Teilchen-Multipletts mit den links- und rechtshändigen Projektoren:

$$\begin{split} \bar{Q}_L^i \gamma^\mu Q_L^j &= \frac{1}{2} (\bar{u} \gamma^\mu u \delta_{iu} \delta_{ij} + V_{id}^* V_{jd} \bar{d} \gamma^\mu d + V_{is}^* V_{js} \bar{s} \gamma^\mu s) \\ &- \frac{1}{2} (\bar{u} \gamma^\mu \gamma_5 u \delta_{iu} \delta_{ij} + V_{id}^* V_{jd} \bar{d} \gamma^\mu \gamma_5 d + V_{is}^* V_{js} \bar{s} \gamma^\mu \gamma_5 s) \end{split}$$

Identifikation der nicht-chiralen Operatoren:

$$Q_{2ij} = \frac{1}{2} (R_{1u} \delta_{iu} \delta_{ij} + V_{id}^* V_{jd} R_{1d} + V_{is}^* V_{js} R_{1s})$$

$$- \frac{1}{2} (R_{3u} \delta_{iu} \delta_{ij} + V_{id}^* V_{jd} R_{3d} + V_{is}^* V_{js} R_{3s})$$

Neue Wechselwirkung

Aufstellen des Lagrangian:

$$\sum_{l,q} K_{l,q} R_{l,q} \stackrel{!}{=} \sum_{m,i,j} C_{mij} Q_{mij}$$

Nach dem Umsortieren der rechten Seite nach $R_{l,q}$ liefert ein Koeffizienten-Vergleich die Abhängigkeiten $K_{l,a}(C_{mii})$.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Rechnung: Schritt 3 -07-31 Matter Aufstellen des Lagrangian: Verwendeter Formalismus $\sum K_{l,q}R_{l,q}\stackrel{!}{=} \sum C_{mij}Q_{mij}$ -Rechnung: Schritt 3

Warum ist die Abhängigkeit interessant?

Neue Wechselwirkung

- ▶ Zusätzliche U(1)-Symmetrie mit Eichboson Z'
- ▶ Unter der neuen Wechselwirkung geladene Teilchen:
 - ▶ Leptonen der zweiten und dritten Generation
 - Neue Quarks
 - Dunkle Materie

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -07-31 Matter Neue Wechselwirkung -Neue Wechselwirkung

- Neue Wechselwirkung
- ➤ Zusatzliche U(1)-Symmetrie mit Eichboson Z
- Leptonen der zweiten und dritten Generation
- Dunkle Materie

Neue Wechselwirkung

- ▶ Zusätzliche U(1)-Symmetrie mit Eichboson Z'
- ▶ Unter der neuen Wechselwirkung geladene Teilchen:
 - ▶ Leptonen der zweiten und dritten Generation
 - Neue Quarks

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Dunkle Materie

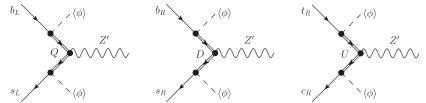


Abbildung: Wechselwirkung von SM-Quarks mit dem Eichboson Z'

Anja Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -31 Matter -07 Neue Wechselwirkung

-Neue Wechselwirkung

Neue Wechselwirkung

- ► Zusatzliche U(1)-Symmetrie mit Eichboson Z



Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark 2017-07-31 Matter Neue Wechselwirkung

-Erklärung seltener B-Zerfälle



Erklärung seltener *B*-Zerfälle

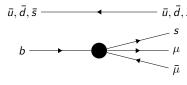
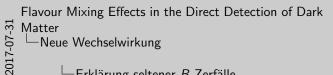
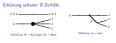


Abbildung: $B \to K \mu \bar{\mu}$ bzw. $B_s \to \Phi \mu \bar{\mu}$

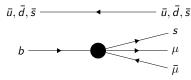
Alle anderen Parameter =0.

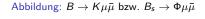




-Erklärung seltener *B*-Zerfälle

Alle anderen Parameter =0.





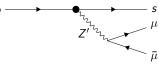
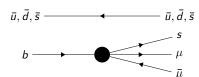


Abbildung: $b \rightarrow s \mu \bar{\mu}$

Anja Beck Technische Universität Dortmund

Erklärung seltener *B*-Zerfälle



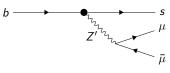


Abbildung: $b \rightarrow s \mu \bar{\mu}$ Abbildung: $B \to K \mu \bar{\mu}$ bzw. $B_s \to \Phi \mu \bar{\mu}$

Beschreibung mit Z'-Austausch:

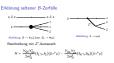
Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

$$H=rac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_Q^2}(ar{s}_L\gamma_\mu b_L)(ar{\mu}\gamma^\mu\mu)-rac{Y_{Db}Y_{Ds}^*}{2m_D^2}(ar{s}_R\gamma_\mu b_R)(ar{\mu}\gamma^\mu\mu)$$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

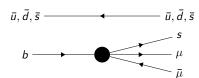
Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark 2017-07-31 Matter Neue Wechselwirkung

-Erklärung seltener B-Zerfälle



Alle anderen Parameter =0.

Erklärung seltener *B*-Zerfälle



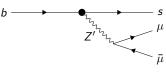


Abbildung: $B \to K \mu \bar{\mu}$ bzw. $B_s \to \Phi \mu \bar{\mu}$

Abbildung: $b \rightarrow s \mu \bar{\mu}$

Beschreibung mit Z'-Austausch:

$$H=rac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_Q^2}(ar{s}_L\gamma_\mu b_L)(ar{\mu}\gamma^\mu\mu)-rac{Y_{Db}Y_{Ds}^*}{2m_D^2}(ar{s}_R\gamma_\mu b_R)(ar{\mu}\gamma^\mu\mu)$$

Beschränkung der Masse auf:

$$m_{Q,D} pprox 25 \, {
m TeV} \sqrt{{
m Re} \left(Y_{(Q,D)b} \, Y_{(Q,D)s}
ight)}$$

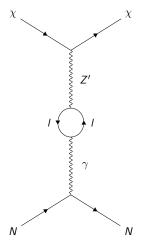
Ania Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark 2017-07-31 Matter Neue Wechselwirkung

-Erklärung seltener B-Zerfälle

Erklärung seltener B-Zerfälle $H = \frac{Y_{Qb}Y_{Qt}^*}{2^{-2}}(\tilde{s}_L\gamma_\mu b_L)(\tilde{\mu}\gamma^\mu \mu) - \frac{Y_{Db}Y_{Dt}^*}{2^{-2}}(\tilde{s}_R\gamma_\mu b_R)(\tilde{\mu}\gamma^\mu \mu)$ Beschränkung der Masse auf: $m_{Q,D} \approx 25 \text{ TeV} \sqrt{\text{Re} \left(Y_{(Q,D)g}Y_{(Q,D)g}\right)}$

Alle anderen Parameter =0.



Wirkungsquerschnitt ohne Impulsübertrag:

$$\sigma_{0,\mathsf{loop}} = \frac{\mu_{\mathsf{A}\chi}^2}{\mathsf{A}^2\pi} \left(\frac{\alpha_{\mathsf{em}} \mathsf{Z}}{3\pi} \; \frac{\mathsf{g}'^2 q_{\chi} q_{l}}{\mathsf{m}_{\mathsf{Z}'}^2} \log \left(\frac{\mathsf{m}_{\mu}^2}{\mathsf{m}_{\tau}^2} \right) \right)^{\frac{1}{2}}$$

-Loop-Diagramm zur Streuung am Atomkern

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Beschränkung der Parameter

Matter

2017-07-31

Neue Wechselwirkung

Beschränkung der Parameter

B-Zerfälle $540 \, \text{GeV} \leq \frac{m_{Z'}}{\sigma'} \lesssim 4.9 \, \text{TeV}$ Relic Density: $m_{Z'} \approx 2m_{\gamma}$ $2 \cdot 10^{-3} \le g' \le 10^{-2}$

Beschränkung der Parameter

B-Zerfälle:

$$540\,\mathrm{GeV} \lessapprox rac{m_{Z'}}{g'} \lessapprox 4.9\,\mathrm{TeV}$$

Relic Density:

$$m_{Z'} \approx 2 m_{\chi}$$

Direct Detection ($q_x = q_I = 1$):

$$10\,\mathrm{GeV} \lessapprox m_{Z'} \lessapprox 46\,\mathrm{GeV}$$

$$2 \cdot 10^{-3} \lesssim g' \lesssim 10^{-2}$$

Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Ergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

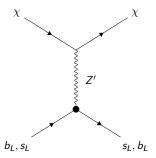


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter Lo- Lergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

Ergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

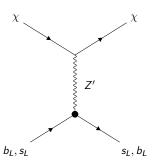


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Mögliche chirale Wechselwirkungen (Kopplungsstärke $C = q_{\chi} \frac{Y_{Qb} Y_{Qs}^*}{2m_Q^2}$):

$$Q_{2sb} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_{L}^{2}\gamma^{\mu}Q_{L}^{3})$$
$$Q_{2bs} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_{L}^{3}\gamma^{\mu}Q_{L}^{2})$$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -07-31 Matter Ergebnisse



Ergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

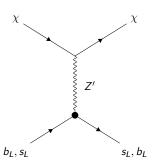


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Mögliche chirale Wechselwirkungen (Kopplungsstärke $C = q_\chi \frac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_z^2}$):

$$Q_{2sb} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_{L}^{2}\gamma^{\mu}Q_{L}^{3})$$
$$Q_{2bs} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_{I}^{3}\gamma^{\mu}Q_{L}^{2})$$

Nicht-chirale Wechselwirkungen:

$$+\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}d) \\ +\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}s) \\ -\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}\gamma_5d) \\ -\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}\gamma_5s) \\ \end{aligned}$$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -31 Matter -07 Ergebnisse



Ergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

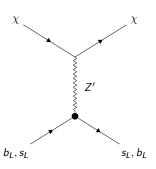


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Mögliche chirale Wechselwirkungen (Kopplungsstärke $C = q_{\chi} \frac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_{\alpha}^2}$):

$$egin{aligned} Q_{2sb} &= (ar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(ar{Q}_{L}^{2}\gamma^{\mu}Q_{L}^{3}) \ Q_{2bs} &= (ar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(ar{Q}_{L}^{3}\gamma^{\mu}Q_{L}^{2}) \end{aligned}$$

Nicht-chirale Wechselwirkungen:

$$+ \operatorname{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) \quad (\bar{\chi} \gamma_{\mu} \chi) (\bar{d} \gamma^{\mu} d)$$

$$+ \operatorname{Re}(V_{cs}^* V_{ts} C) \quad (\bar{\chi} \gamma_{\mu} \chi) (\bar{s} \gamma^{\mu} s)$$

$$- \operatorname{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) \quad (\bar{\chi} \gamma_{\mu} \chi) (\bar{d} \gamma^{\mu} \gamma_5 d)$$

$$- \operatorname{Re}(V_{cs}^* V_{ts} C) \quad (\bar{\chi} \gamma_{\mu} \chi) (\bar{s} \gamma^{\mu} \gamma_5 s)$$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -31 Matter -07 Ergebnisse



Ergebnisse

Direct Detection mit Flavour-Mischung

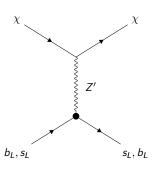


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Mögliche chirale Wechselwirkungen (Kopplungsstärke $C = q_\chi \frac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_o^2}$):

$$egin{aligned} Q_{2sb} &= (ar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(ar{Q}_{L}^{2}\gamma^{\mu}Q_{L}^{3}) \ Q_{2bs} &= (ar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(ar{Q}_{L}^{3}\gamma^{\mu}Q_{L}^{2}) \end{aligned}$$

Nicht-chirale Wechselwirkungen:

$$+\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}d)$$

$$+\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}s)$$

$$-\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}\gamma_5d)$$

$$-\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}\gamma_5s)$$

Ania Beck Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark -31 Matter -07 Ergebnisse



-Direct Detection mit Flavour-Mischung

 $\sigma_{0,\text{tree}} = \frac{\mu_{A_V}^2}{\kappa^2} \left[Z \cdot \text{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) + (A - Z) \cdot 2 \cdot \text{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) \right]^2$

Direct Detection mit Flavour-Mischung

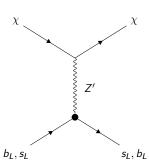


Abbildung: Tree-Wechselwirkung zur Streuung DM am Atomkern.

Mögliche chirale Wechselwirkungen (Kopplungsstärke $C = q_{\chi} \frac{Y_{Qb}Y_{Qs}^*}{2m_{s}^2}$):

$$Q_{2sb} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_L^2\gamma^{\mu}Q_L^3)$$

 $Q_{2bs} = (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{Q}_I^3\gamma^{\mu}Q_L^2)$

Nicht-chirale Wechselwirkungen:

$$+\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}d)$$

$$+\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}s)$$

$$-\text{Re}(V_{cd}^*V_{td}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{d}\gamma^{\mu}\gamma_5d)$$

$$-\text{Re}(V_{cs}^*V_{ts}C) \quad (\bar{\chi}\gamma_{\mu}\chi)(\bar{s}\gamma^{\mu}\gamma_5s)$$

$$\sigma_{0, \mathsf{tree}} = rac{\mu_{A\chi}^2}{A^2\pi} \Big| Z \cdot \mathsf{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) + (A - Z) \cdot 2 \cdot \mathsf{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) \Big|^2$$

Anja Beck

Technische Universität Dortmund

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Vergleich

Tree-Wechselwirkung:

$$\sigma_{0, ext{tree}} \propto \left| ext{Re}(V_{cd}^* V_{td} C)
ight|^2$$

Loop-Wechselwirkung:

$$\sigma_{0, ext{loop}} \propto \left(rac{g'^2 q_\chi q_I}{m_{Z'}^2}
ight)^2$$

- ▶ B-Zerfälle: Einschränkung von $m_{Z'}/g'$
- ▶ Relic Density: $m_{Z'} \approx 2m_{Y}$
- ▶ Direct Detection: Einschränkung von $m_{Z'}, g'$

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter -Ergebnisse └─Vergleich

Vergleich Tree-Wechselwirkung $\sigma_{0,\text{tree}} \propto \left| \text{Re}(V_{cd}^* V_{td} C) \right|^2$ ► Re $\left(\frac{C}{4c}\right)$ = Re $\left(\frac{Y_{Qa}Y_{Qb}^{*}}{2\alpha c_{c}^{*}}\right)$ ≈ 8 · 10⁻¹⁰ GeV Loop-Wechselwirkung:

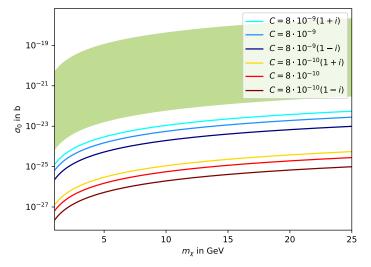
► B-Zerfalle: Einschränkung von =:/ Relic Density: m₂ ≈ 2m.

Technische Universität Dortmund

Einführung Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Einschränkung aus den B-Zerfällen 1

540 GeV $\lesssim m_{Z'}/g' \lesssim 4.9$ TeV, Real- und Imaginärteil von C variabel

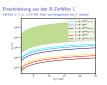


Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark $\begin{tabular}{l} \begin{tabular}{l} \begin{tabula$

Ergebnisse

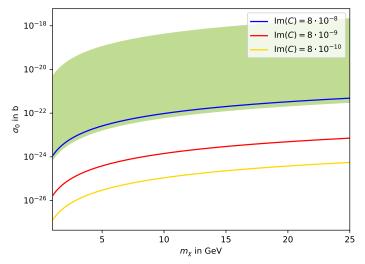




Einführung Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung

Einschränkung aus den B-Zerfällen 2

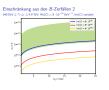
540 GeV
$$\lesssim m_{Z'}/g' \lesssim 4.9$$
 TeV, Re(C) = $8 \cdot 10^{-10}$ GeV⁻², Im(C) variabel



Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter Lergebnisse

Ergebnisse

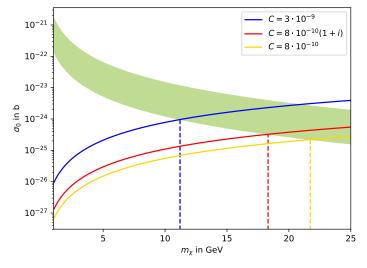


-Einschränkung aus den *B*-Zerfällen 2

inführung Flavour-Mischung Verwendeter Formalismus Neue Wechselwirkung Ergebnisse Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark

Einschränkung aus der Relic Density und Direct Detection

$$m_{Z'} \approx 2 m_{\chi}, g' = 2 \cdot 10^{-3}$$



Anja Beck Technische Universität Dortmund Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark Matter

Flavour Mixing Effects in the Direct Detection of Dark
Matter
Ergebnisse
Finschränkung aus der Belig Density und Direct

-Einschränkung aus der Relic Density und Direct

