

Direkte und indirekte Suche nach Dunkler Materie

*Astroteilchenphysik in Deutschland -
Status und Perspektiven
Karlsruhe, 30. Sept/1. Okt. 2014*

Thomas Schwetz-Mangold



Stockholms
universitet



Oskar Klein
centre

Woraus besteht die Dunkle Materie?

Λ CDM Fit an CMB + BAO

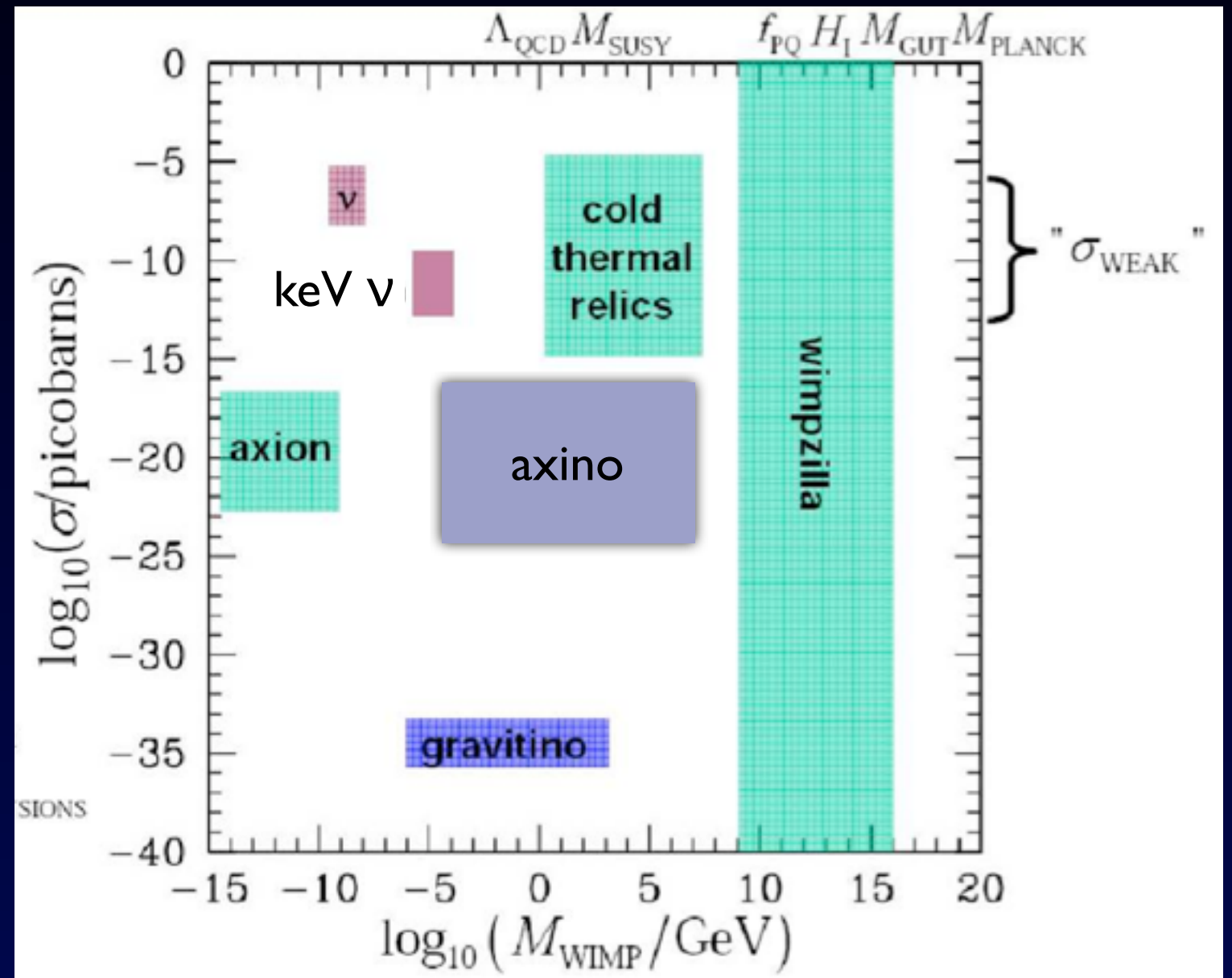
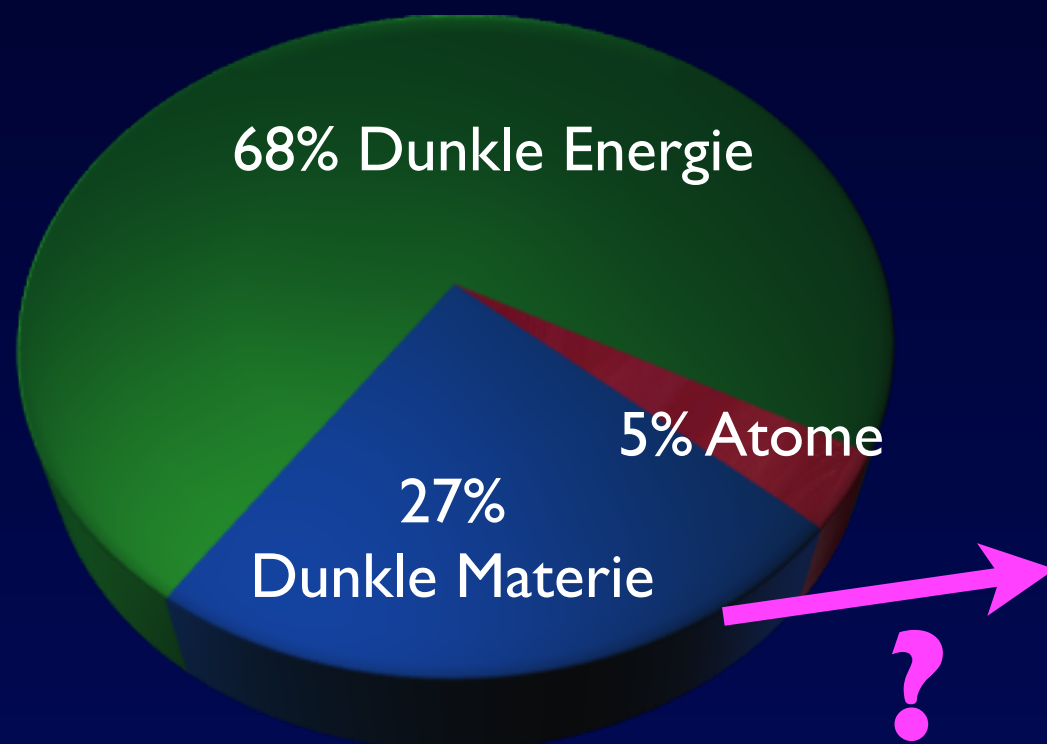
Planck, $l303.5076$

$$\Omega_b h^2 = 0.02214 \pm 0.00024$$

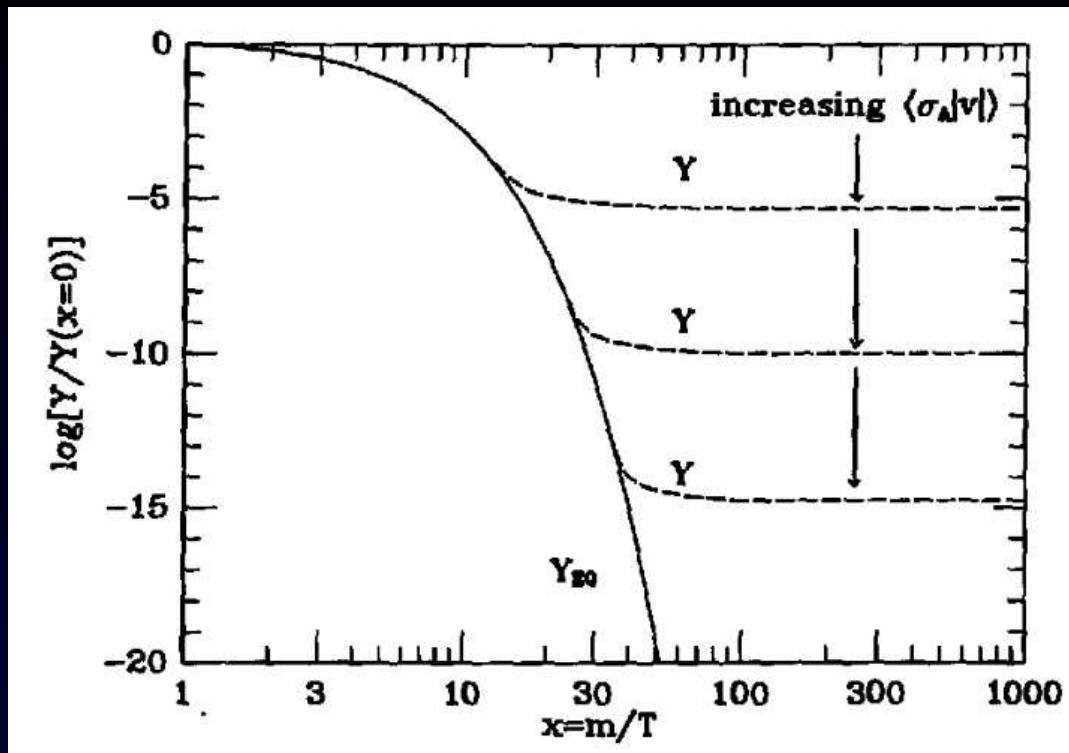
$$\Omega_c h^2 = 0.1187 \pm 0.0017$$

$$\Omega_\Lambda = 0.692 \pm 0.010$$

$$h = 0.6780 \pm 0.0077$$



Dunkle Materie an der TeV-Skala



$$\Omega_{\text{DM}} \approx \frac{2 \times 10^{-37} \text{cm}^2}{\langle \sigma_{\text{annih}} v \rangle} \approx 0.23$$

Lee, Weinberg, 1977

Bernstein, Brown, Feinberg, 1985

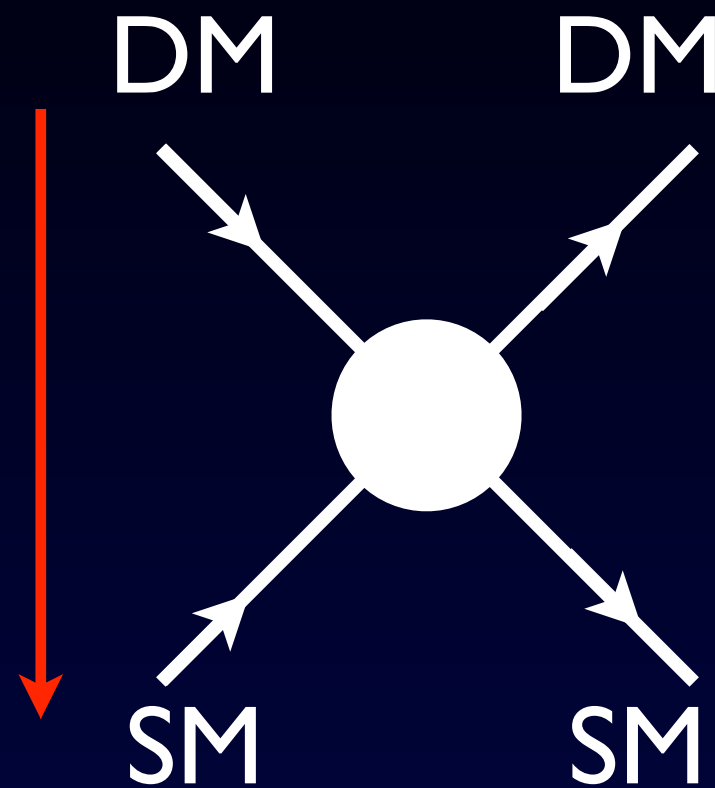
Scherrer, Turner, 1986

“typischer” Annihilationswirkungsquerschnitt:

$$\langle \sigma_{\text{annih}} v \rangle \sim \frac{g^4}{2\pi m^2} \simeq 6 \times 10^{-37} \text{cm}^2 \left(\frac{g}{0.1} \right)^4 \left(\frac{m}{100 \text{ GeV}} \right)^{-2}$$

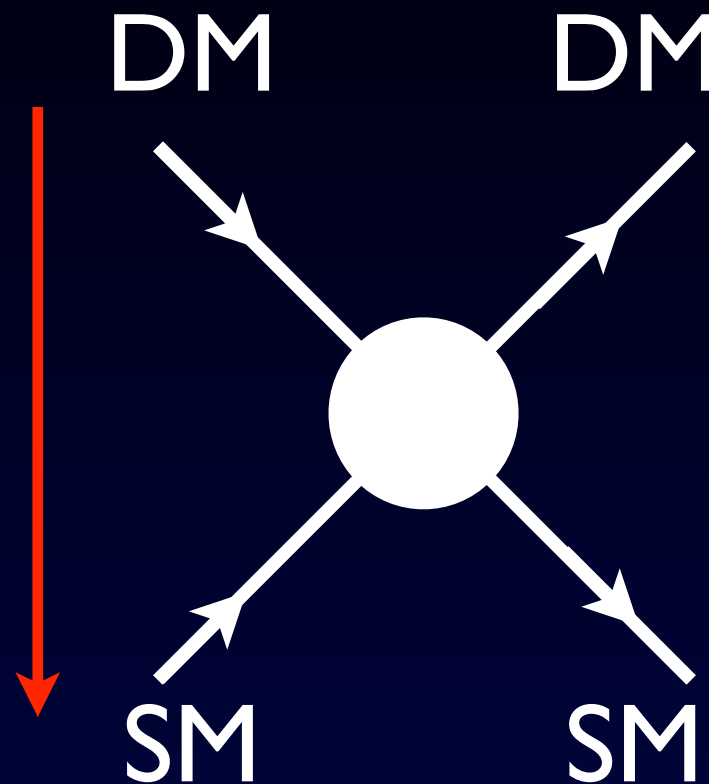
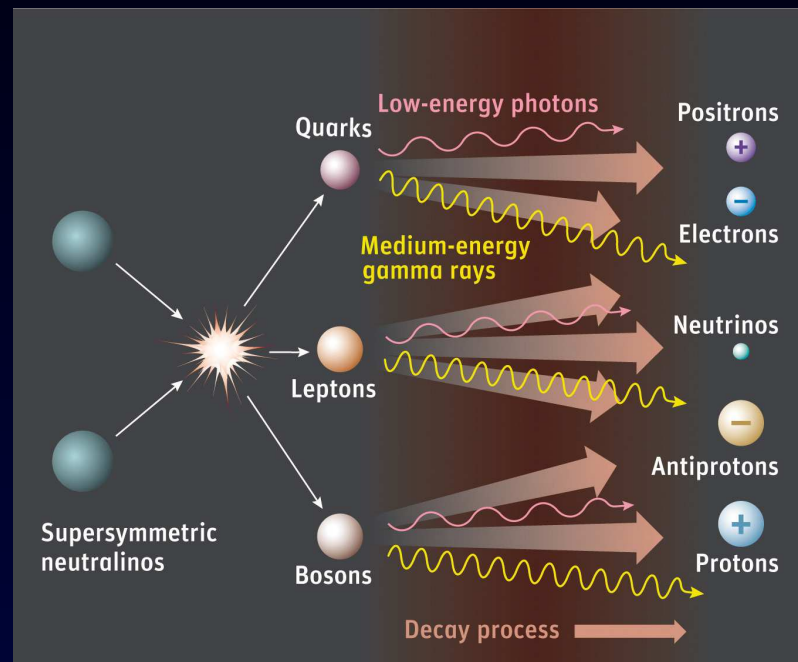
- “Weakly Interacting Massive Particle” (WIMP)
- Zusammenhang mit neuer Physik and TeV-Skala?

Experimentelle Suche nach WIMPs



Experimentelle Suche nach WIMPs

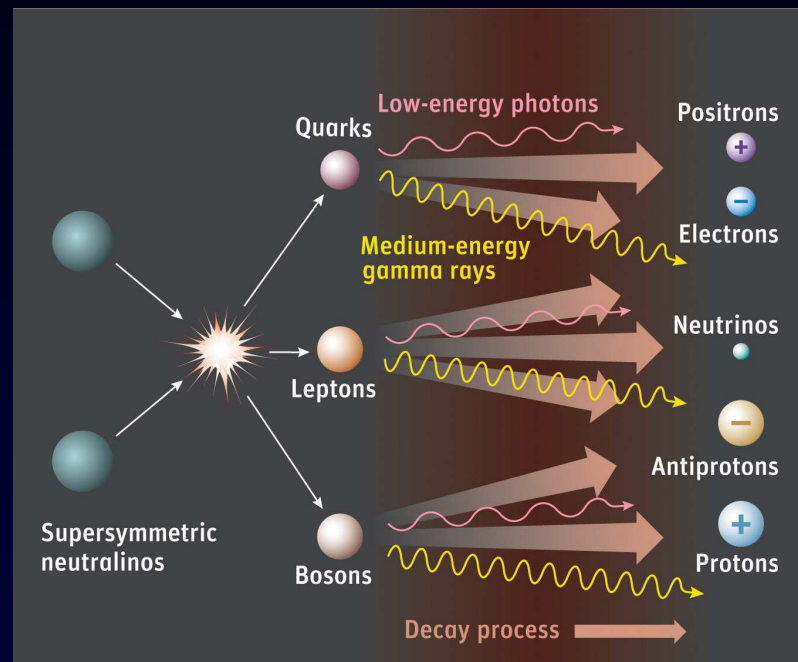
indirekte Suche



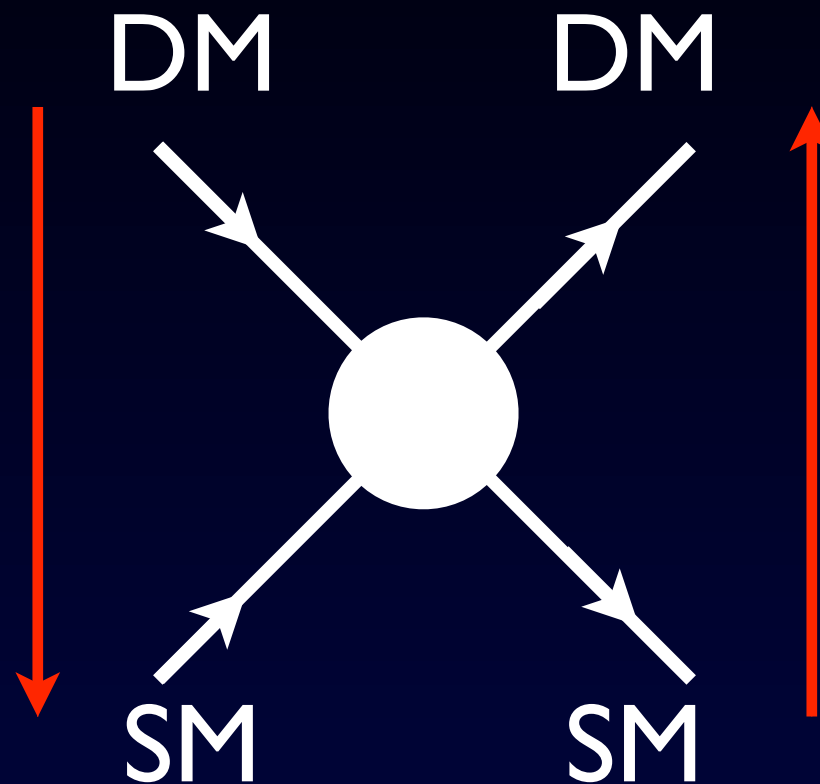
*PAMELA, FERMI, AMS-2,
HESS, IceCube*

Experimentelle Suche nach WIMPs

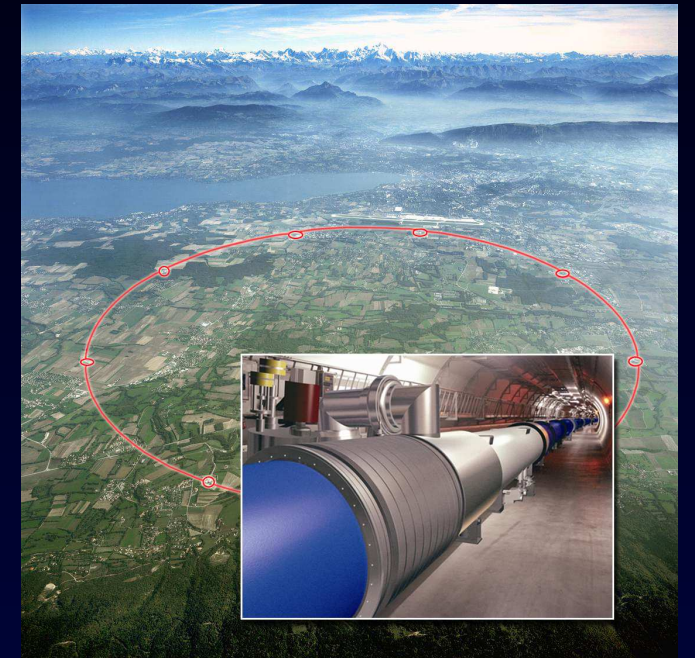
indirekte Suche



*PAMELA, FERMI, AMS-2,
HESS, IceCube*



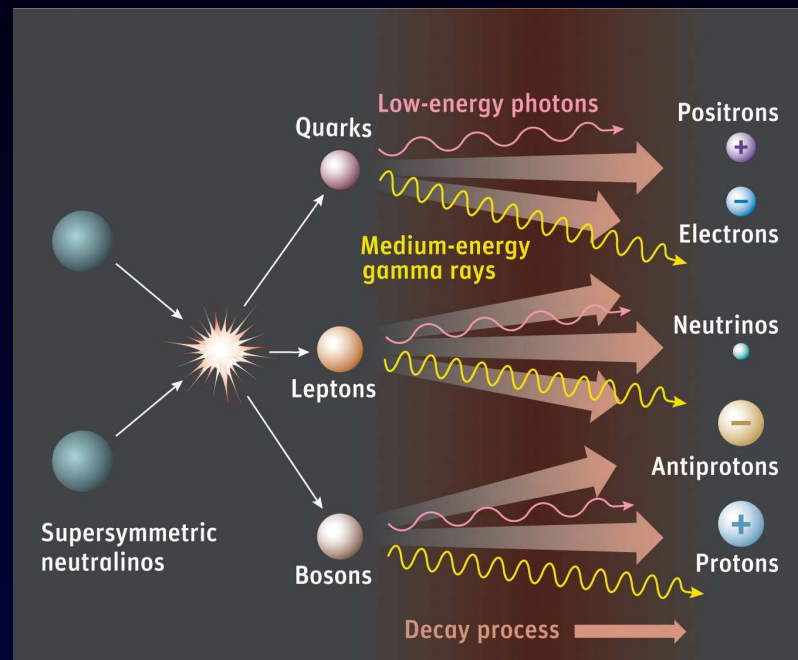
Beschleuniger



LHC

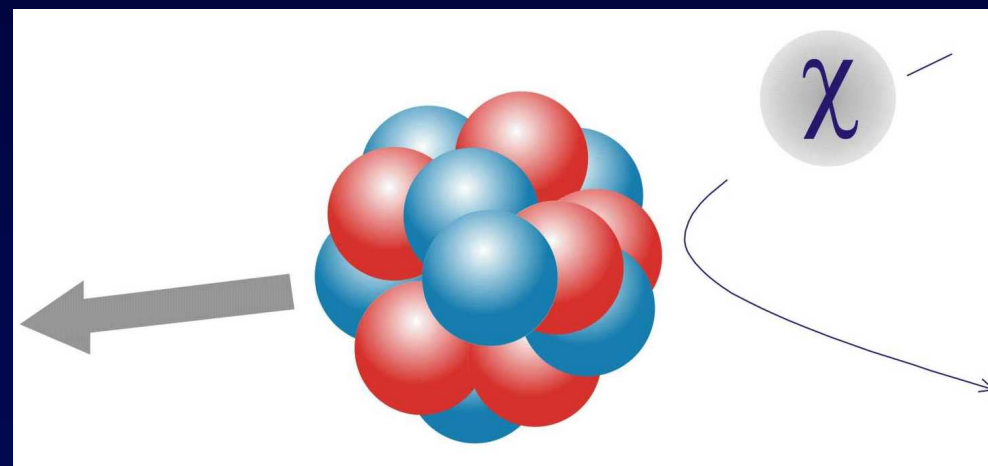
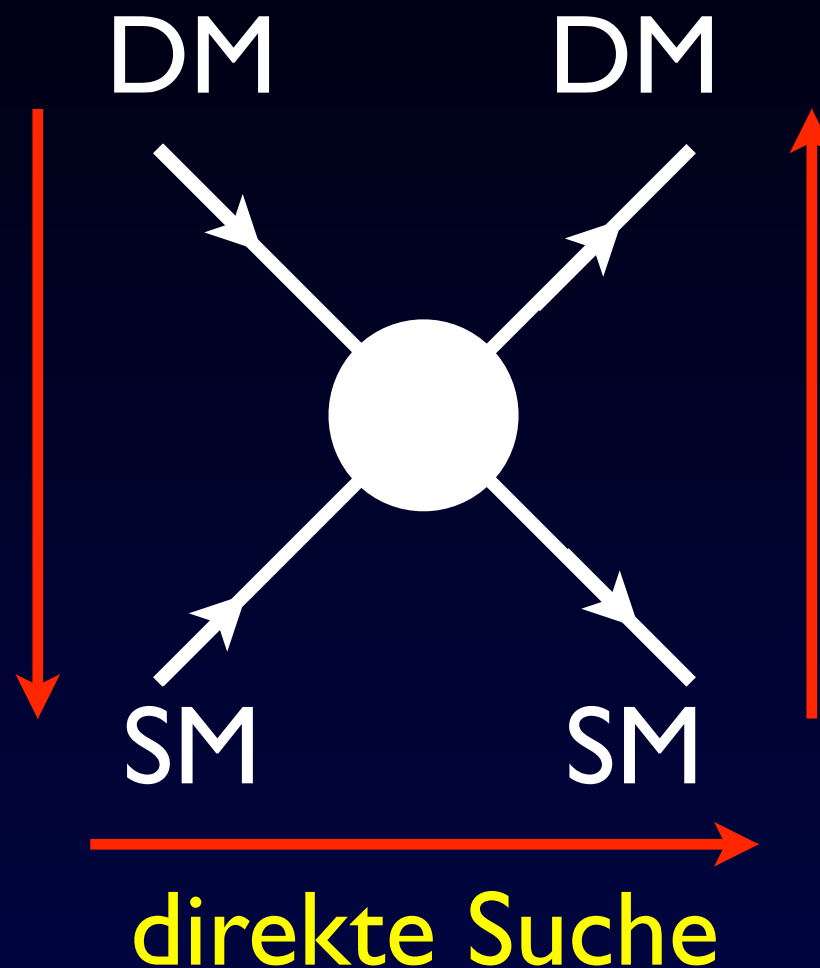
Experimentelle Suche nach WIMPs

indirekte Suche

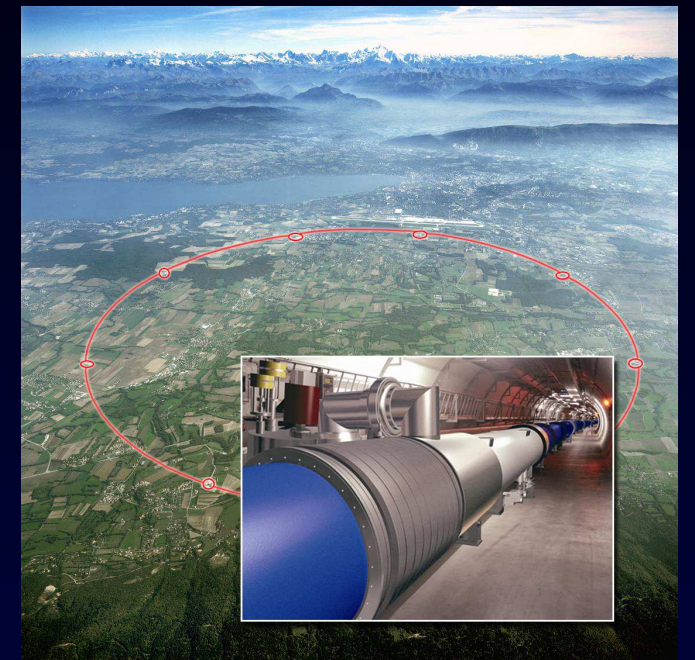


*PAMELA, FERMI, AMS-2,
HESS, IceCube*

*XENON, LUX, CDMS,
Edelweiss, DAMA, CoGeNT,
CRESST, PICASSO, COUPP,...*



Beschleuniger



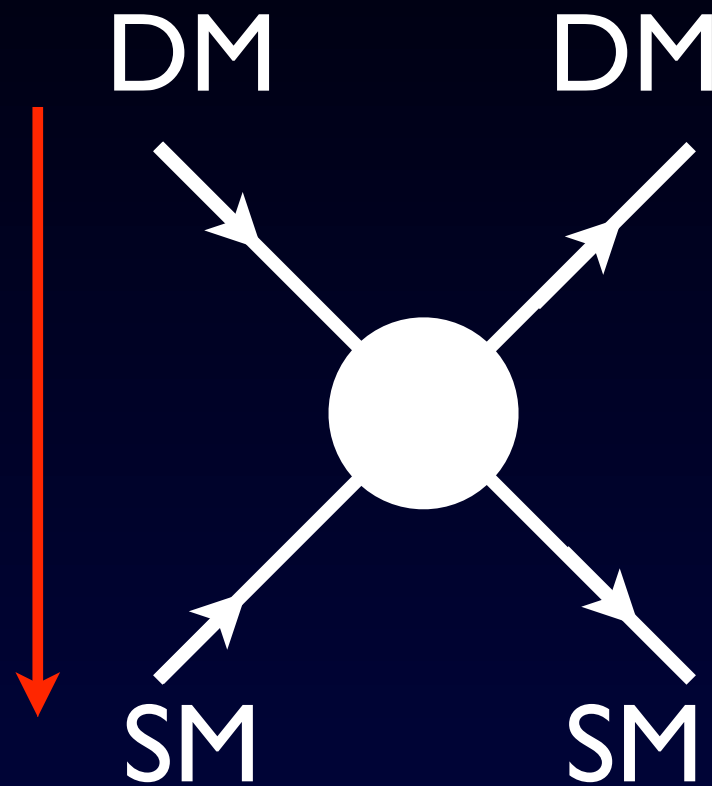
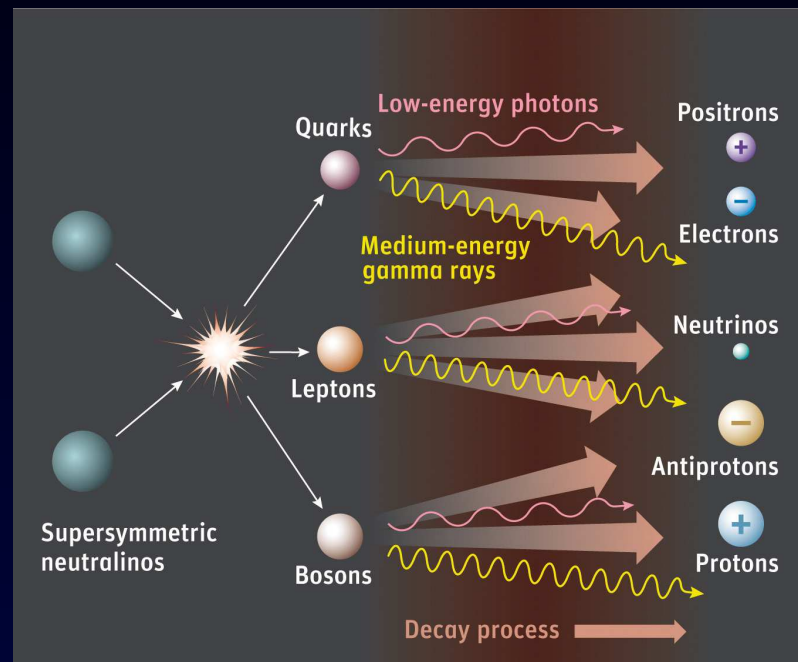
LHC

Inhalt:

subjektive Selektion an Themen!

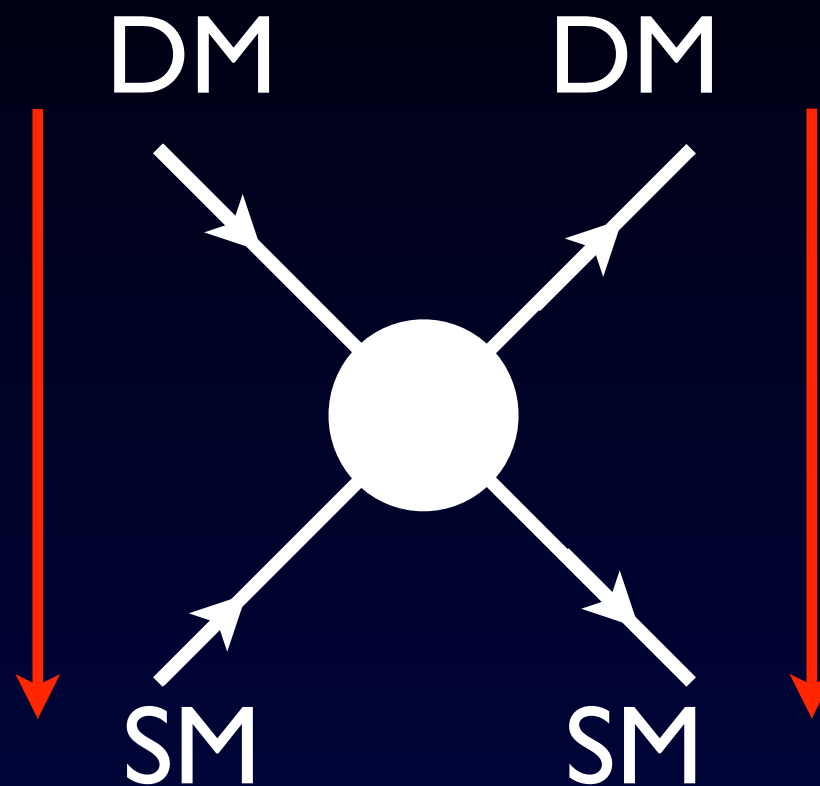
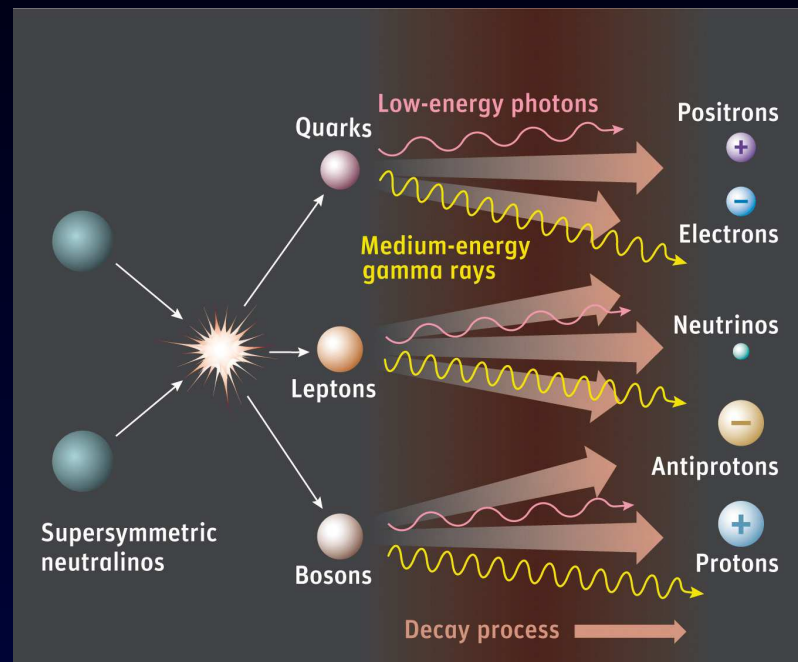
- indirekte Suche nach DM
kurze Kommentare zu
 - 10 GeV Gamma Excess vom gal. Zentrum
 - 130 GeV FERMI Gamma-Line
 - Positronanteil in kosmischer Strahlung
- direkte Suche nach DM
 - Überblick über derzeitige Situation
 - Status der DM Interpretation von DAMA und CDMS-Si
 - DM-Halo unabhängige Methoden
- beschränke mich auf WIMPs
 - z.B.: keine Zeit für 3.5 keV X-ray Linie
(warme DM, z.B. steriles Neutrino)

Indirekte Suche nach WIMPs

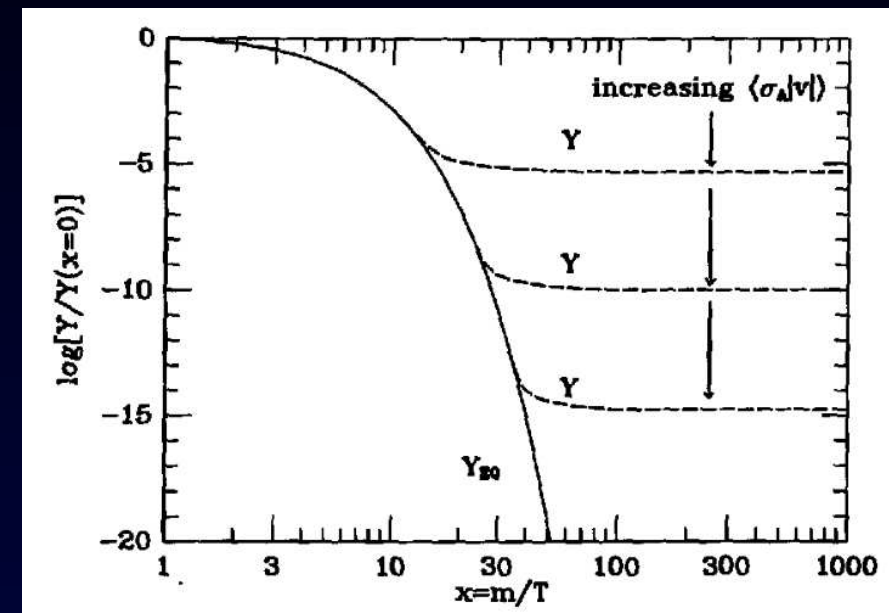


Indirekte Suche nach WIMPs

today

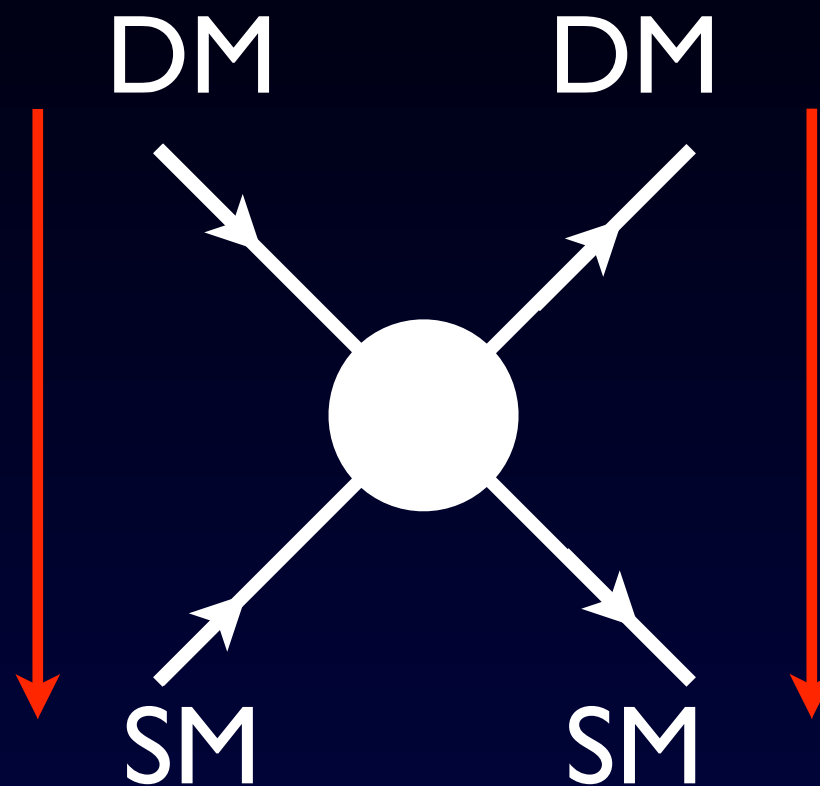
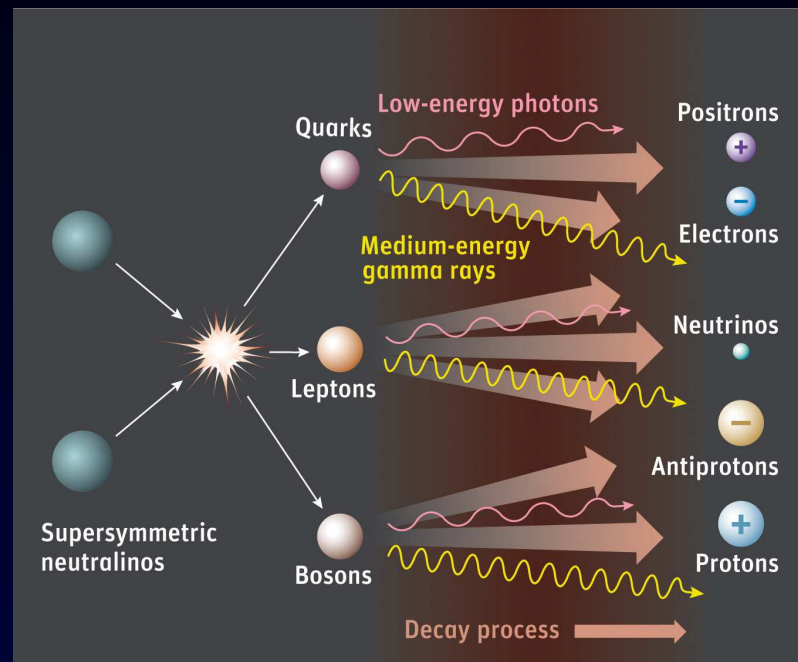


@ freeze-out

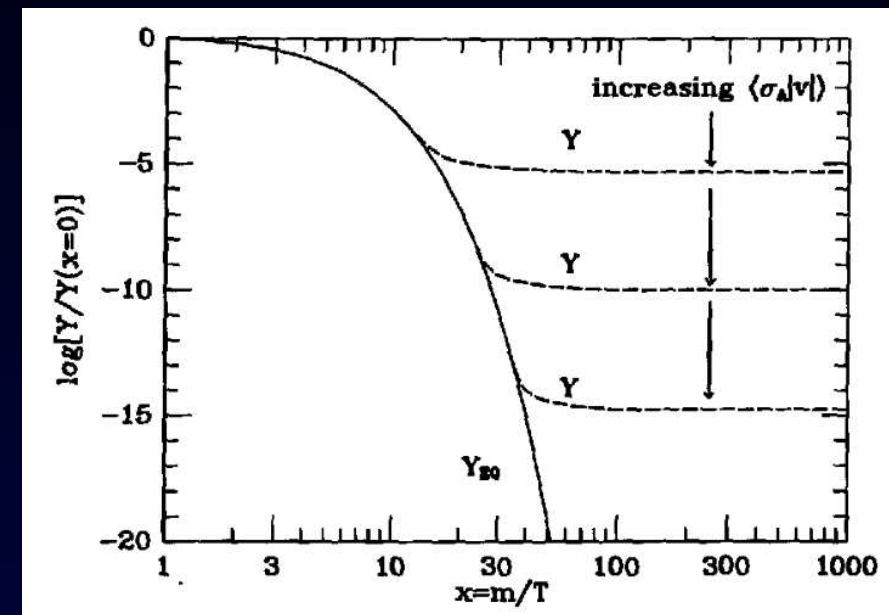


Indirekte Suche nach WIMPs

today

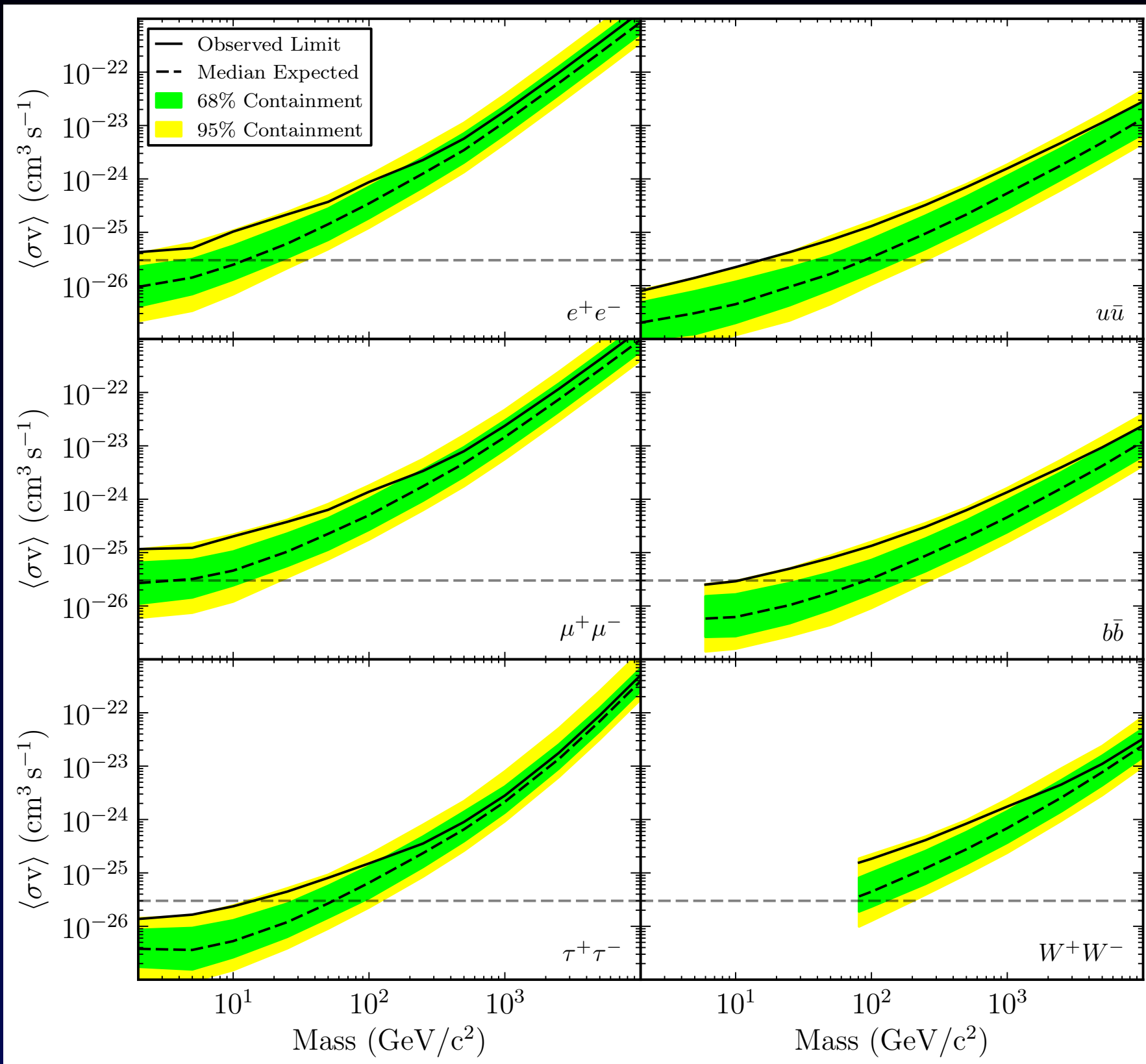


@ freeze-out



- Wirkungsquerschnitt heute entspricht dem “thermalen” nur für s-Wellen Prozesse (v -unabhängig)
- p-Wellen-Annihilation: $\sigma v \sim v^2 \Rightarrow$
 @ freeze-out: $v^2 \sim T/m \sim 0.05 c^2$
 heute: $v \sim 10^{-3} c$

FERMI dwarf spheroidals



Limit an den DM
Annihilationsquerschn.
von γ -Strahlung von
der kombinierten
Analyse von 15 dwarf
spheroidal Galaxien

“thermale Xsec” für
DM masse $\sim 10 \text{ GeV}$

Ackermann, 1310.0828

FERMI γ Excess vom galaktischem Zentrum

Hooper, Goodenough, 2009, 2010; many more

e.g.: Daylan et al., 1402.6703:

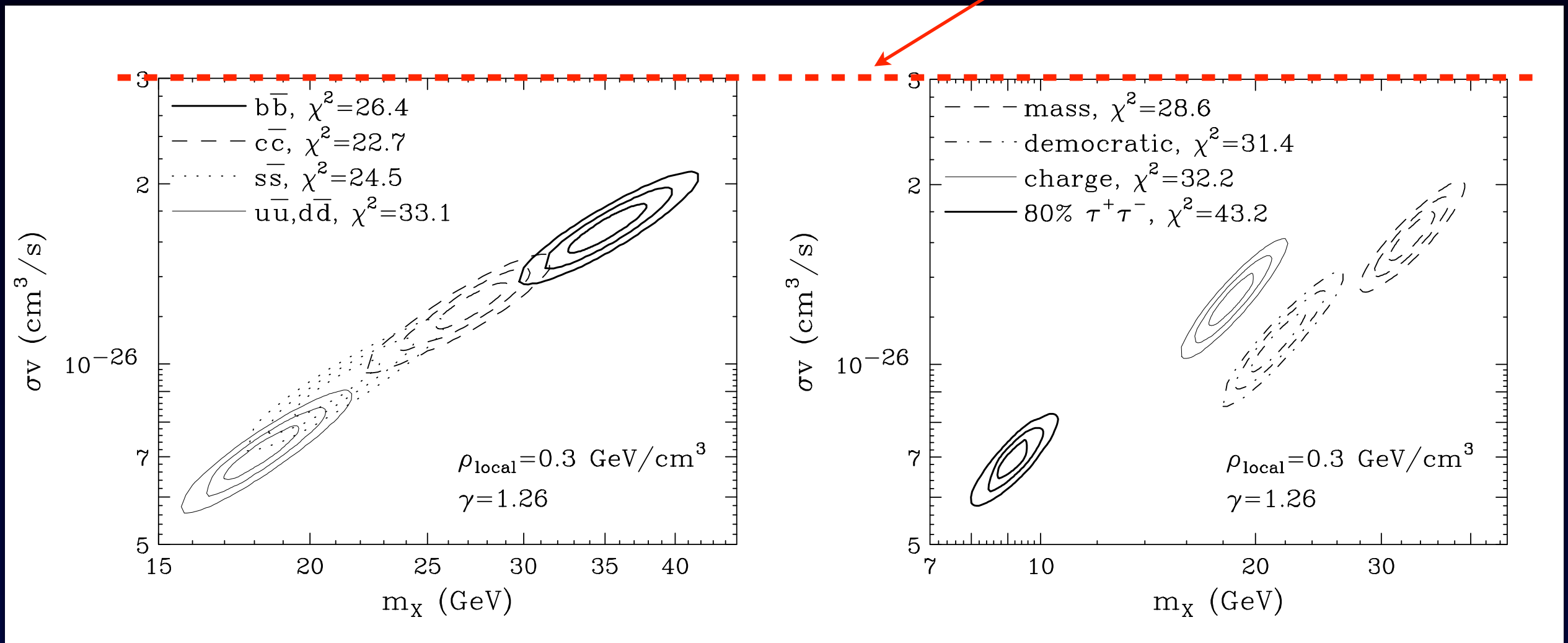
- GeV excess robust and highly statistically significant
- with a spectrum, angular distribution, and overall normalization that is in good agreement with that predicted by simple annihilating dark matter models.
- the signal is very well fit by a 31-40 GeV dark matter particle annihilating to $b\bar{b}$ with an annihilation cross section of $\sigma v = (1.4 - 2.0) \times 10^{-26} \text{ cm}^3/\text{s}$
- angular distribution of the excess is approximately spherically symmetric and centered around the dynamical center of the Milky Way

FERMI γ Excess vom galaktischem Zentrum

Hooper, Goodenough, 2009, 2010; many more

e.g.: Daylan et al., 1402.6703:

thermal Xsec

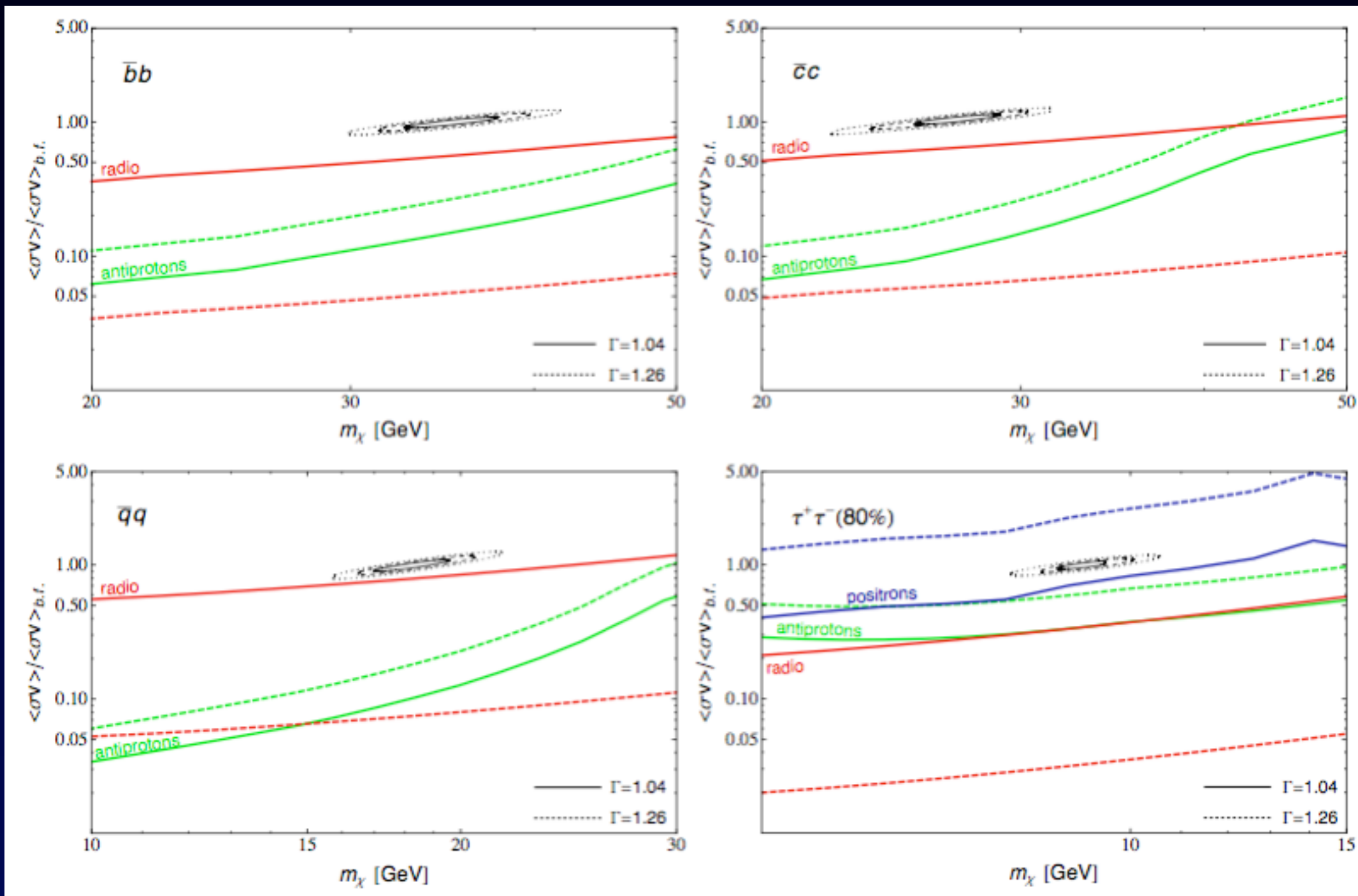


FERMI γ Excess vom galaktischem Zentrum

- Galaktisches Zentrum ist eine komplizierte Region (Astrophysik)
- “Excess” abhängig vom Untergrundmodell (kosmische Strahlung im gal. Zentr.)
- keine charakteristische spektrale Signatur

FERMI γ Excess vom galaktischem Zentrum

- Limits an DM Interpretation von anderen Kanälen (Antiprotonen, Radiowellen, Positronen)



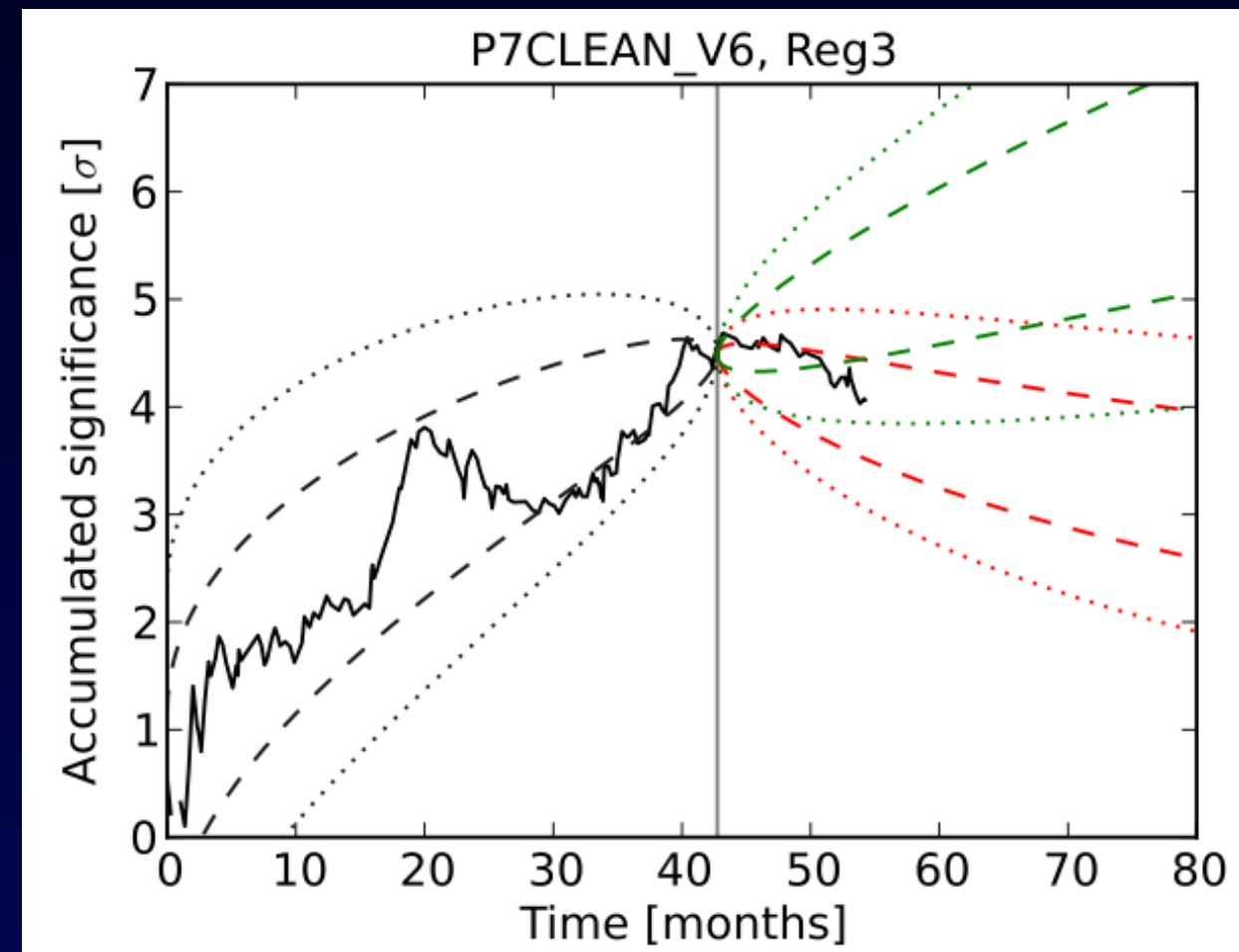
Bringmann,
Vollmann,
Weniger,
1406.6027

Andere “DM-Signale”

- FERMI γ -Linie vom galaktischen Zentrum bei ~ 130 GeV *Bringmann et al., 2012; Weniger, 2012*

- zu stark im Vergleich zu typischem Loop-Annihilationsquerschn.
- Signifikanz sinkt

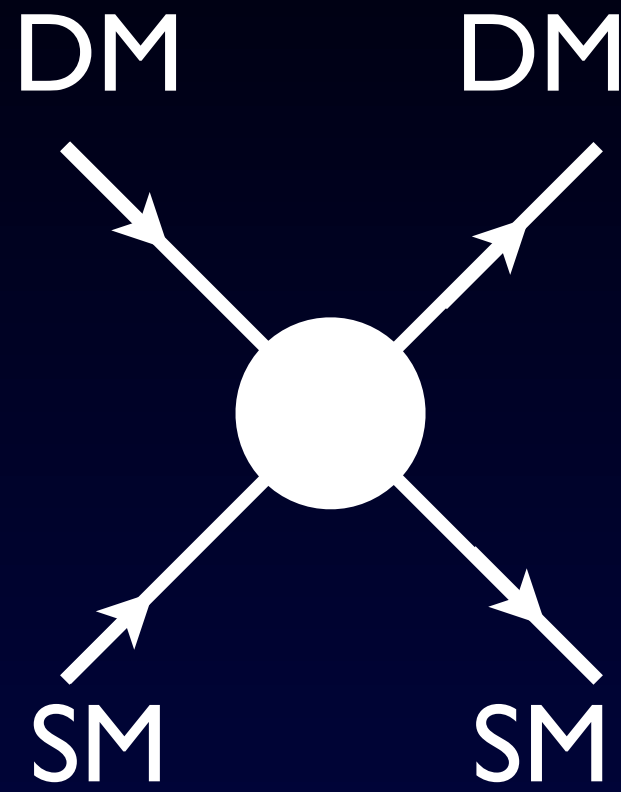
Weniger, 1303.1798



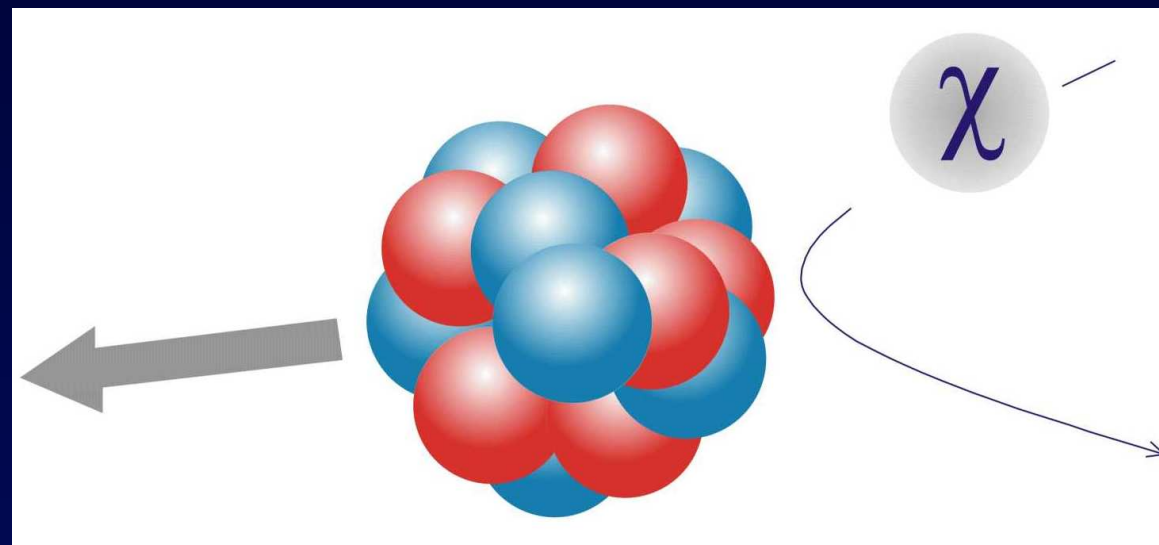
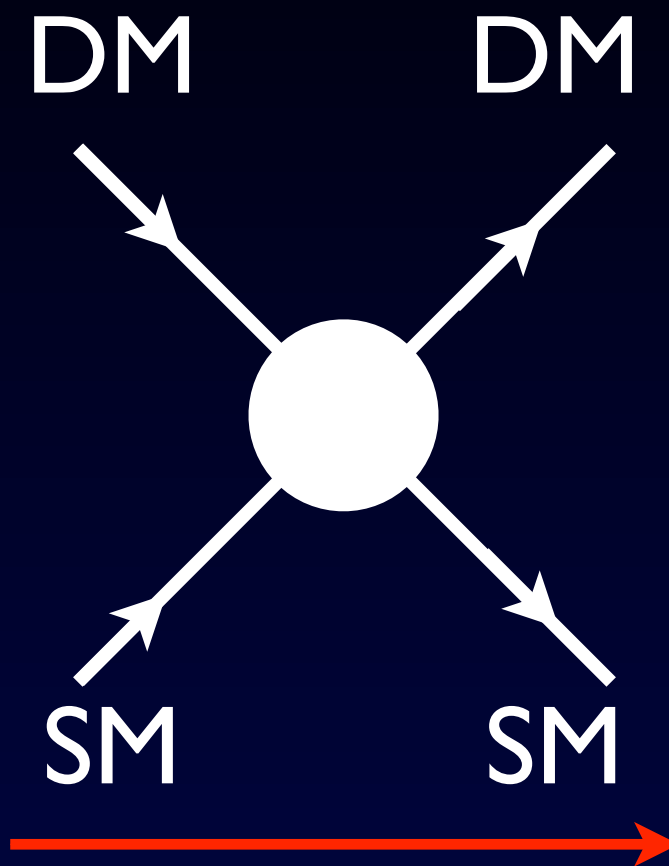
Andere “DM-Signale”

- Positronanteil in der kosm. Strahlung
PAMELA, AMS-II (Vortrag v. Andreas Obermeier)
- DM-Interpretation benötigt sehr großen
Annihilationsquerschnitt
 (“Boostfaktor” 100~1000)
- In Widerspruch zu Limits in anderen
Kanälen (Antiproton, γ -Strahlung,...)
- Astrophysikalische Erklärungen (Pulsare)

Direkte Suche nach Dunkler Materie



Direkte Suche nach Dunkler Materie



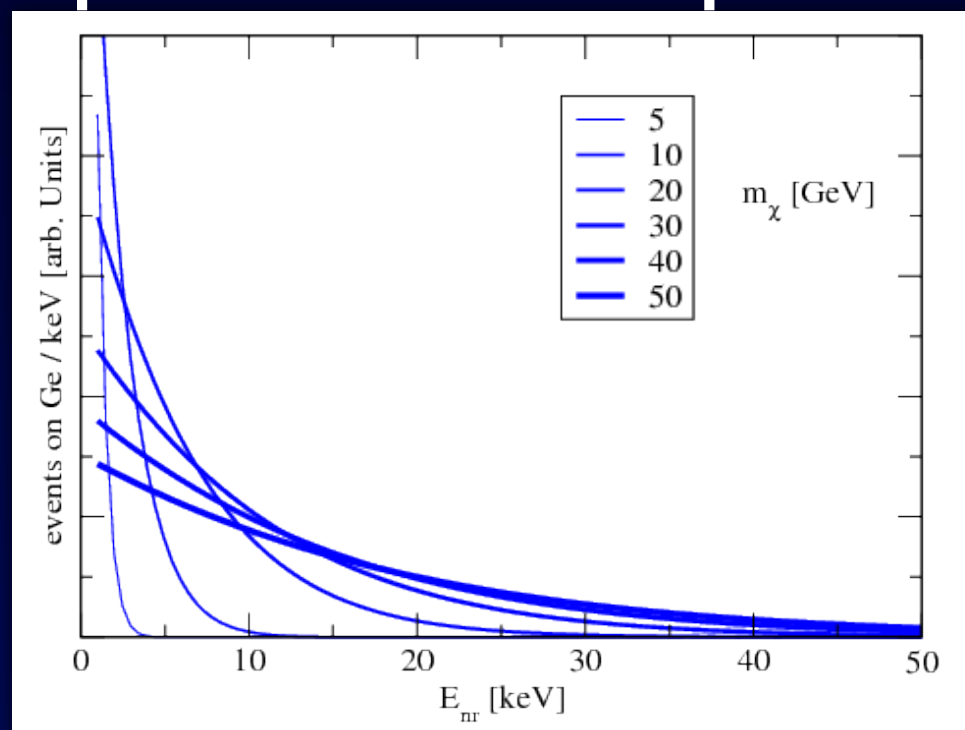
Direkte Suche - Signatur

Ereignisse / keV :

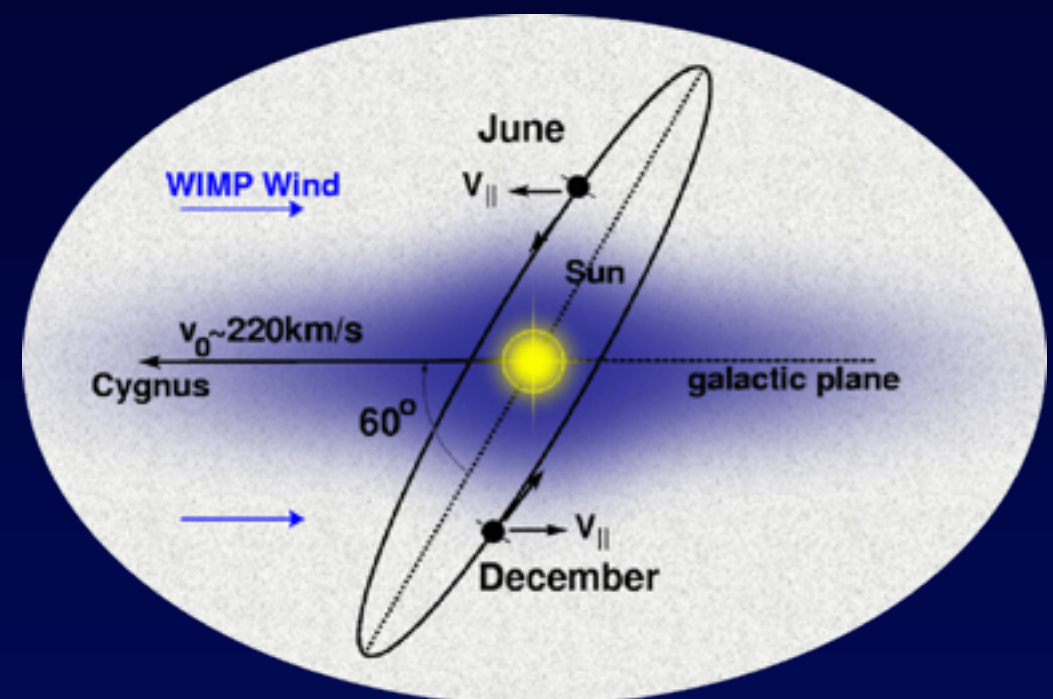
$$\frac{dN}{dE_R} \propto \frac{\rho_{\text{DM}}}{m_{\text{DM}}} \int_{v > v_{\min}} d^3v \frac{d\sigma}{dE_R} v f_{\oplus}(\vec{v}, t)$$

$$f_{\oplus}(\vec{v}, t) = f(\vec{v} + \vec{v}_{\odot} + \vec{v}_{\oplus}(t))$$

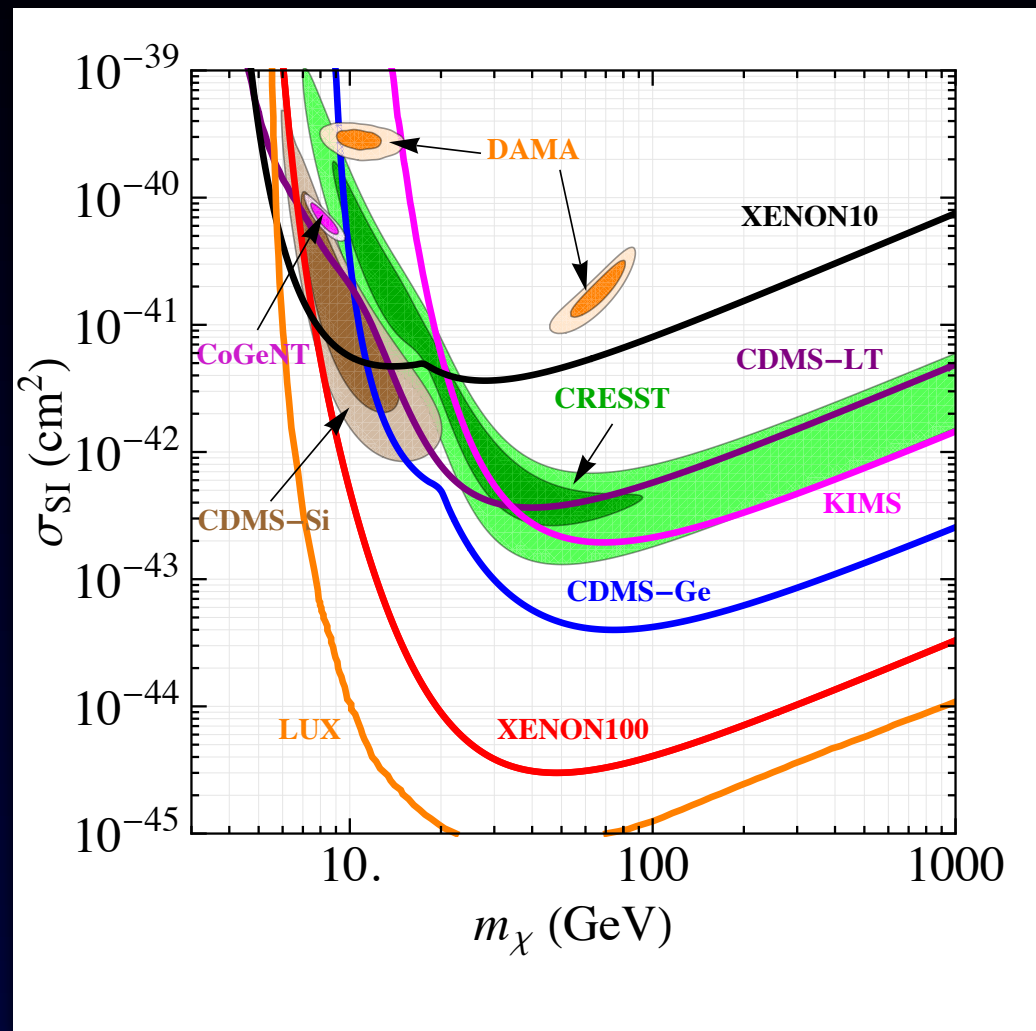
exponentielles Spektrum



jährliche Modulation



Direkte Suche - Status



Bozorgnia, Catena, Schwetz, 2013
Vortrag von Teresa Marrodan

- testen Wirkungsquerschn. $\sim 10^{-45} \text{ cm}^2$
- Parameterraum motiviert durch WIMP-Argument (thermal freeze-out)
modellabhängig!

$$\sigma_{\text{Streuung}} < 10^{-45} \text{ cm}^2 \quad \overset{?}{\longleftrightarrow} \quad \sigma_{\text{Annih.}} \sim 10^{-36} \text{ cm}^2$$

WIMP-Argument vs direkte Suche

Beispiel: Higgsportal mit fermionischer DM χ

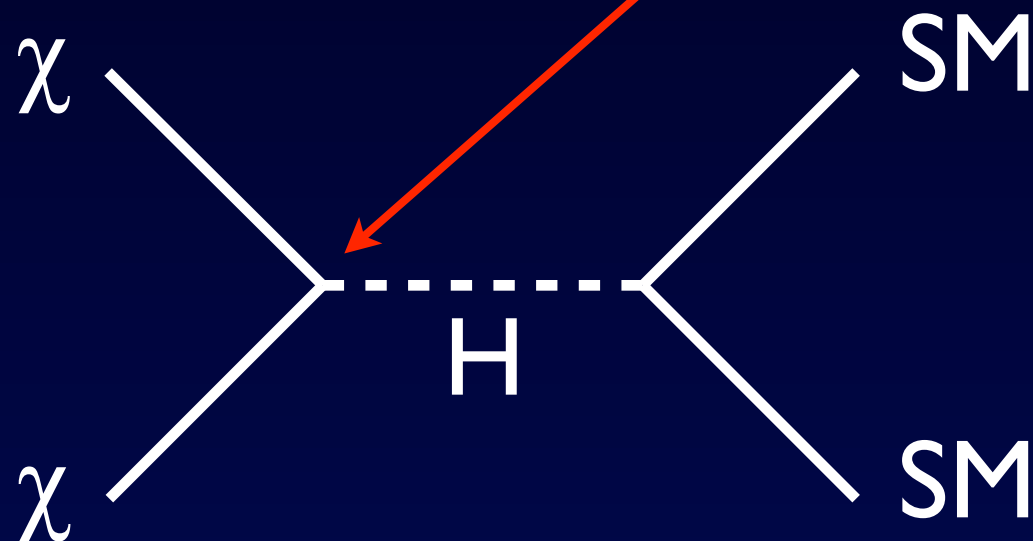
$$\frac{1}{\Lambda_1} (\bar{\chi} \chi) (H^\dagger H)$$

WIMP-Argument vs direkte Suche

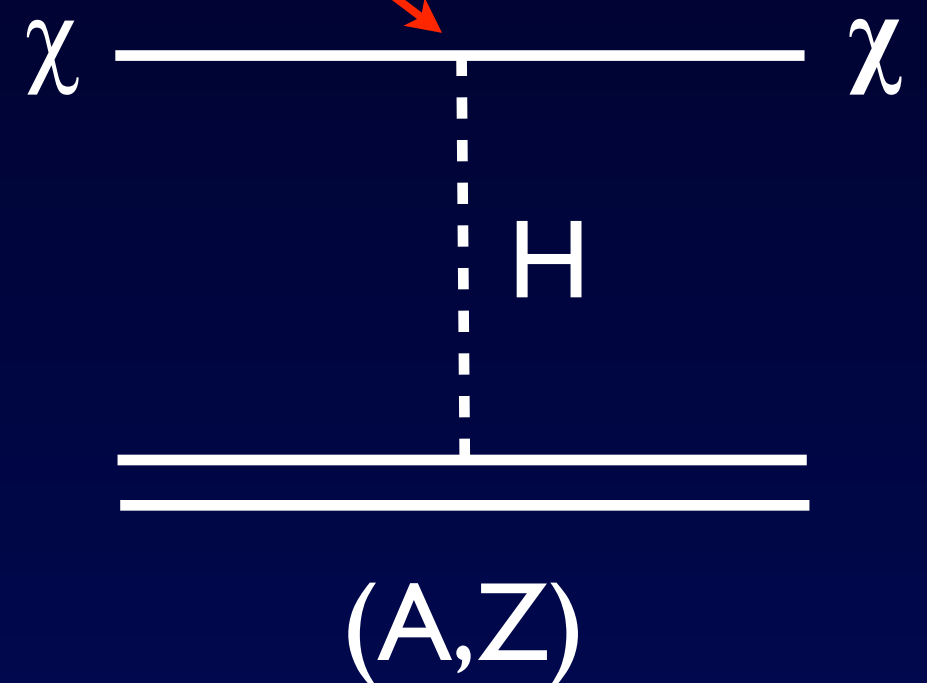
Beispiel: Higgsportal mit fermionischer DM χ

$$\frac{1}{\Lambda_1} (\bar{\chi}\chi) (H^\dagger H)$$

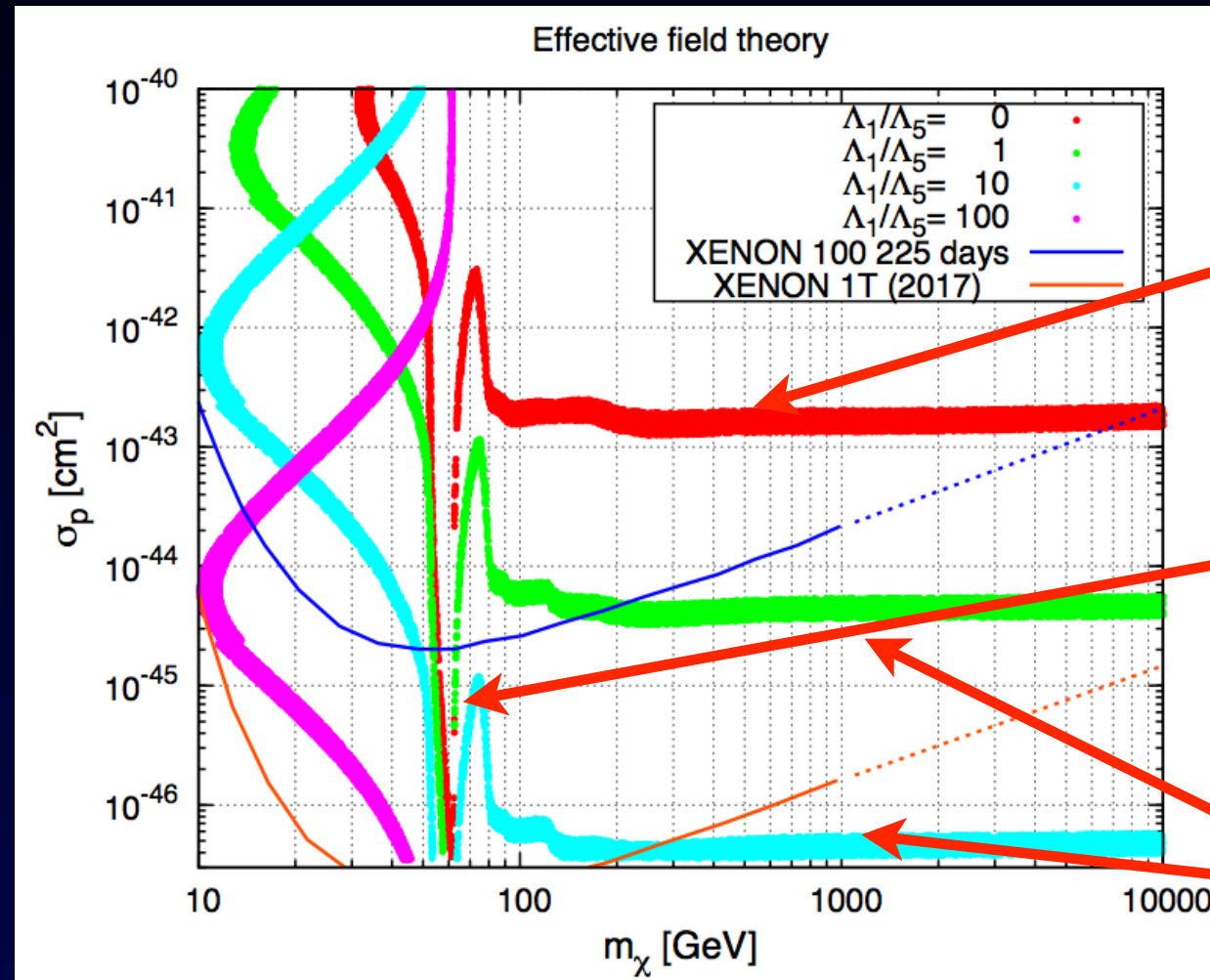
Annihilation:



Streuung:



WIMP-Argument vs direkte Suche



Lopez-Honorez, TSM, Zupan, 12

- Ausgeschlossen durch XENON, LUX

$$\frac{1}{\Lambda_1} (\bar{\chi} \chi) (H^\dagger H)$$

- s-Kanal Resonanz bei $m_\chi \approx m_H/2$

- pseudo-skalares Higgs-Portal

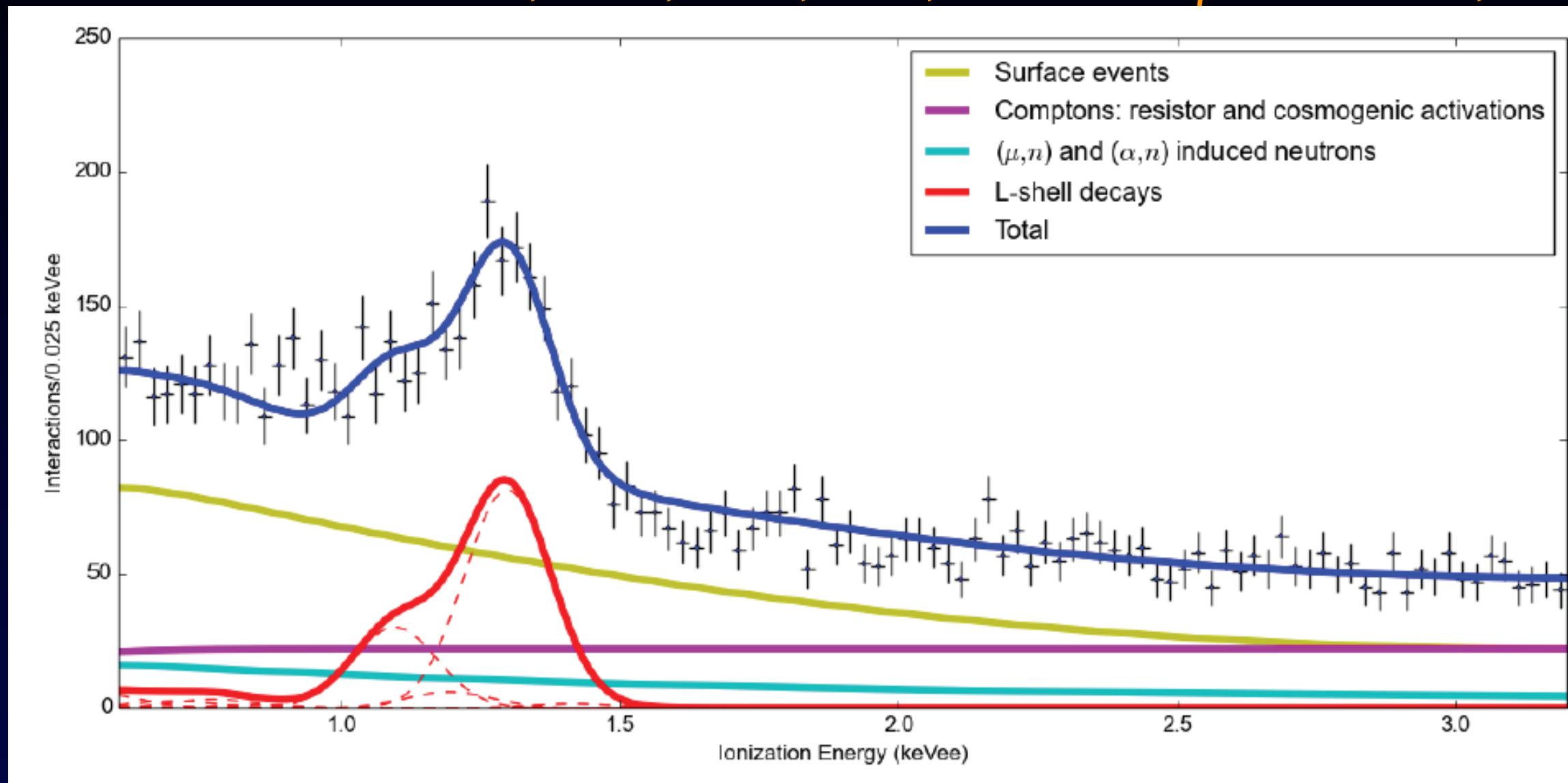
$$\frac{1}{\Lambda_5} (\bar{\chi} \gamma_5 \chi) (H^\dagger H)$$

Hinweise für ein ~ 10 GeV WIMP?

- **DAMA**: hoch-signifikantes Signal für jährliche Modulation
- **CDMS-Si**: 3 Ereignisse, $P=0.19\%$ LH-test
- **CoGeNT**: Ereignis-Überschuss bei niedrigen Energien
- **CRESST-II**: mehr Ereignisse als nach Untergrundmodell erwartet ($\sim 4\sigma$)

CoGeNT

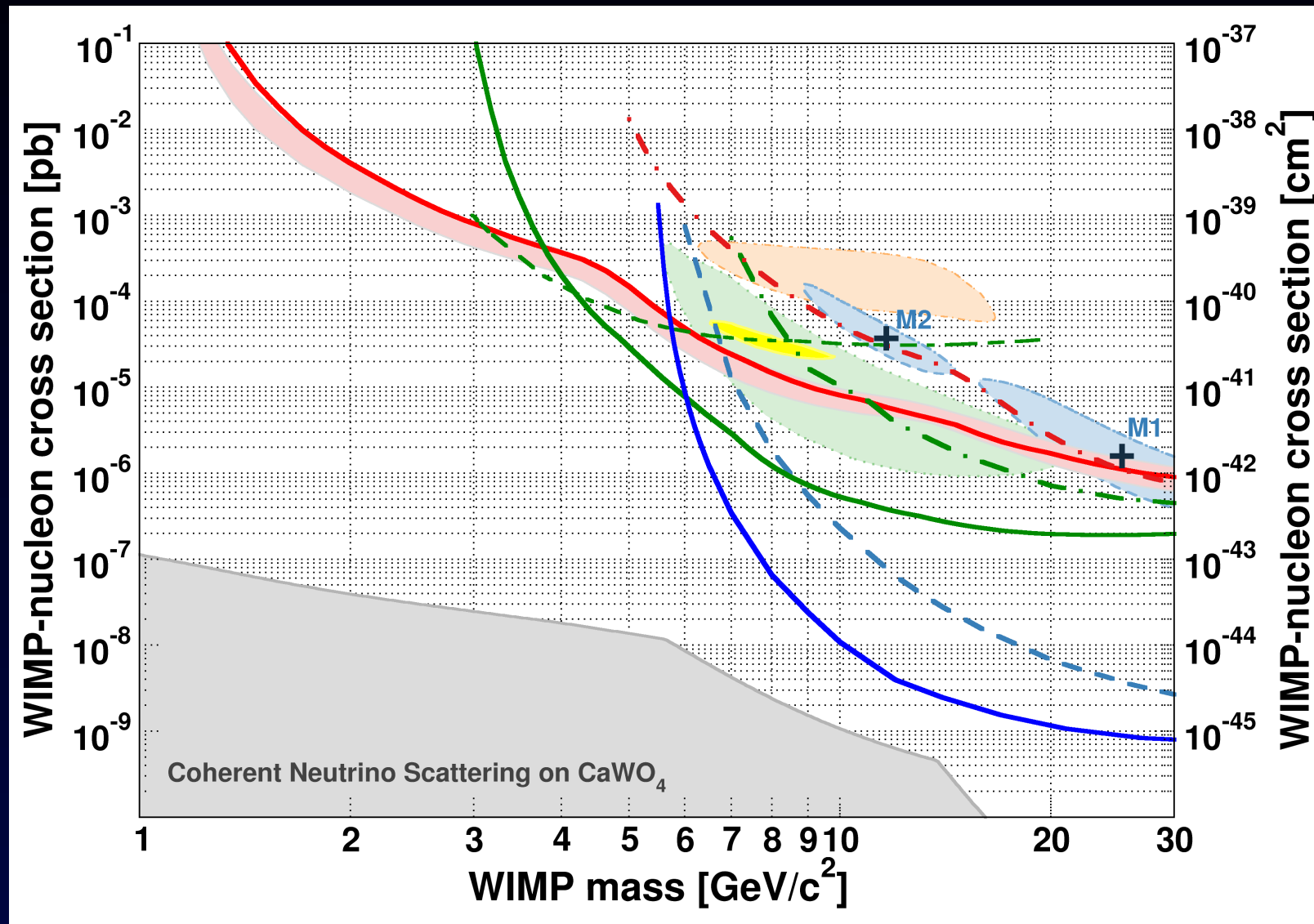
Bellis, Collar, Fields, Kelso, talk at Astroparticle 2014, Amsterdam



Background model is good fit to the data

see also, Aalseth et al., 1401.6234; Davis, McCabe, Boehm, 1405.0495

CRESST

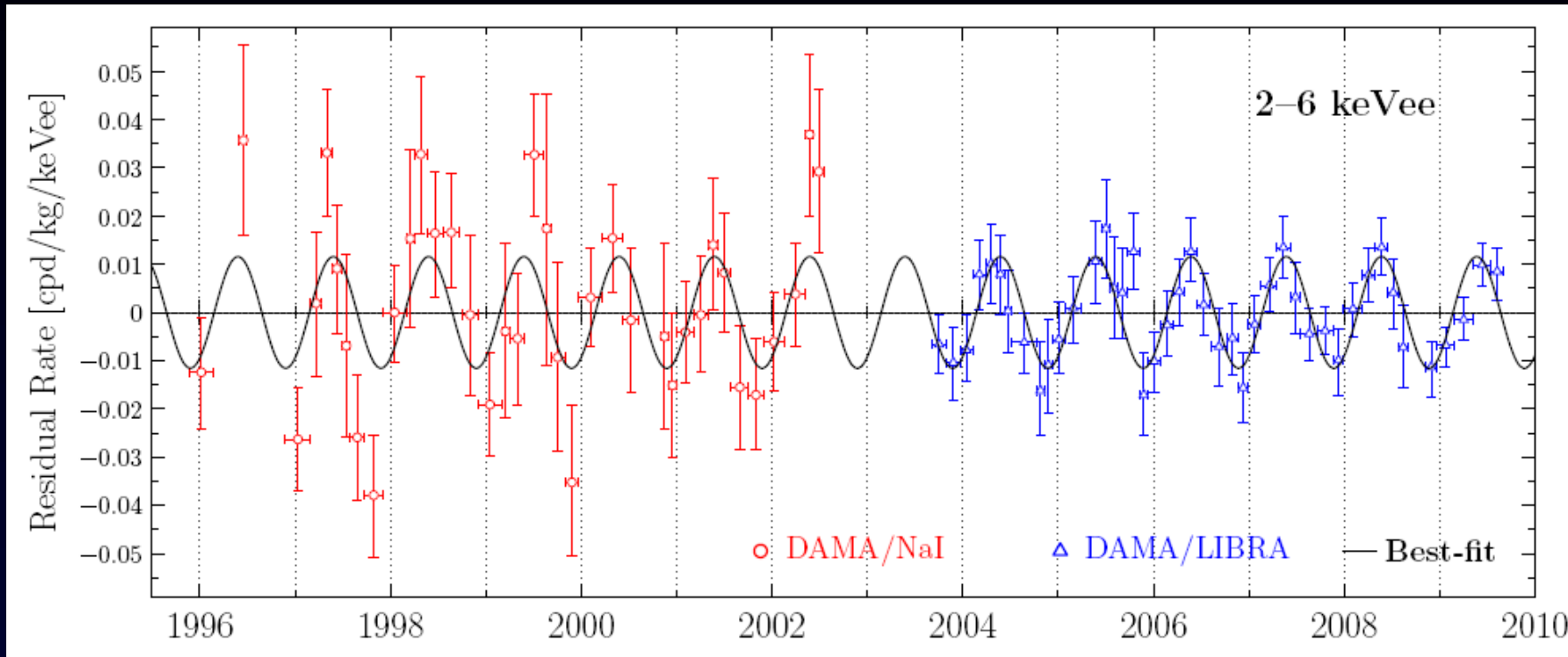


Angloher et al.,
1407.3146

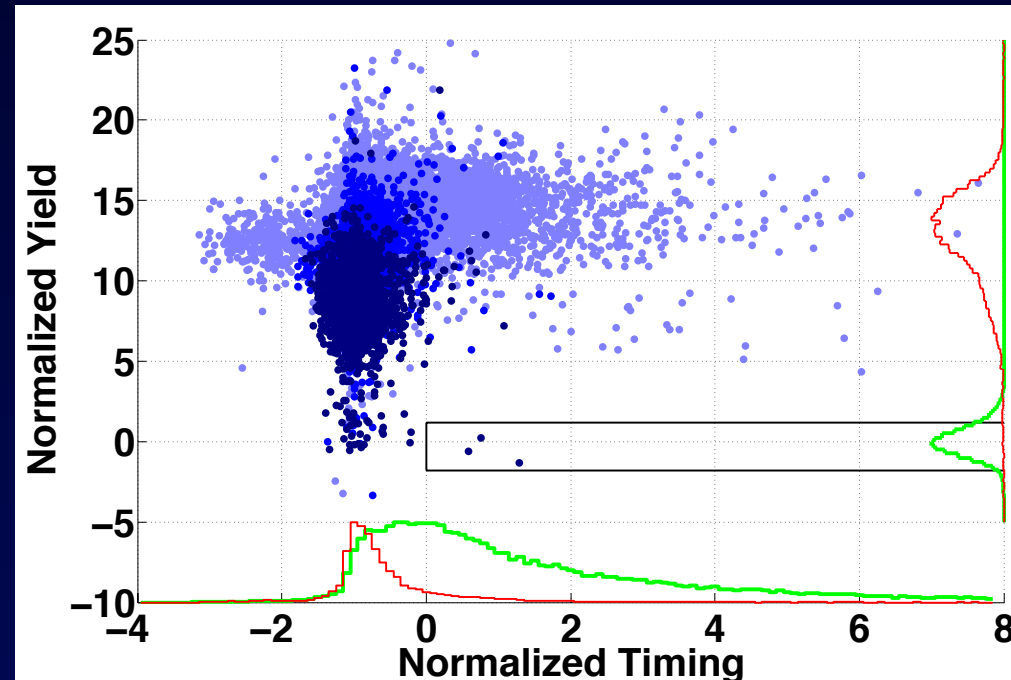
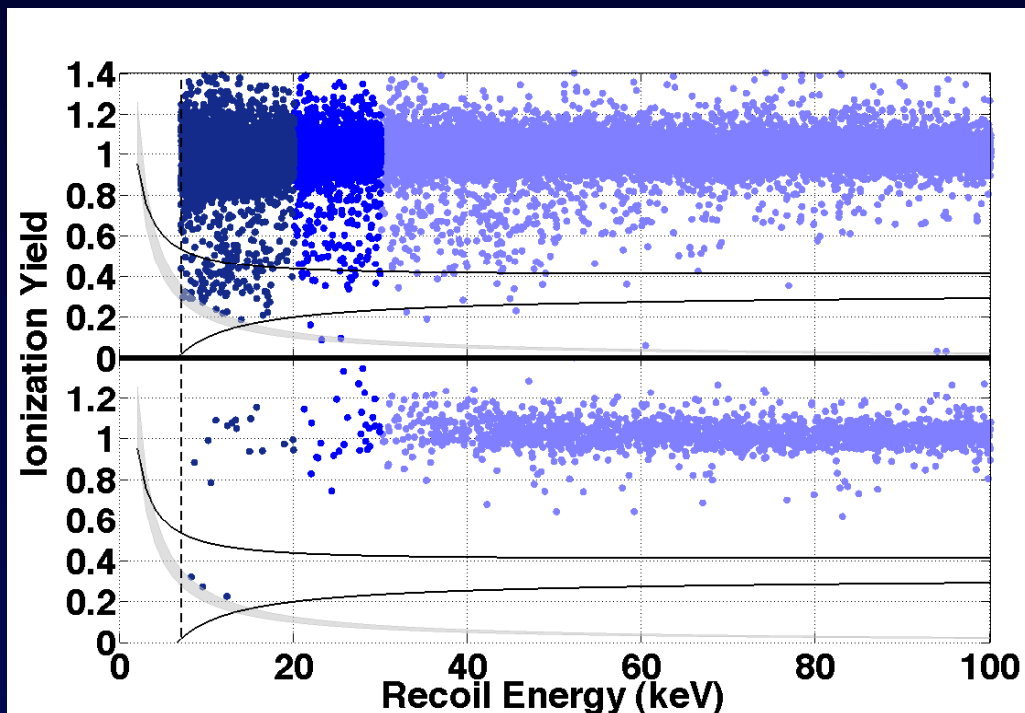
Vortrag von
Raimund Strauss

- “possible excess over background discussed for the previous run (from 2009 to 2011) is not confirmed”
- Interessantes Limit für kleine DM Masse

DAMA modulation & CDMS-Si



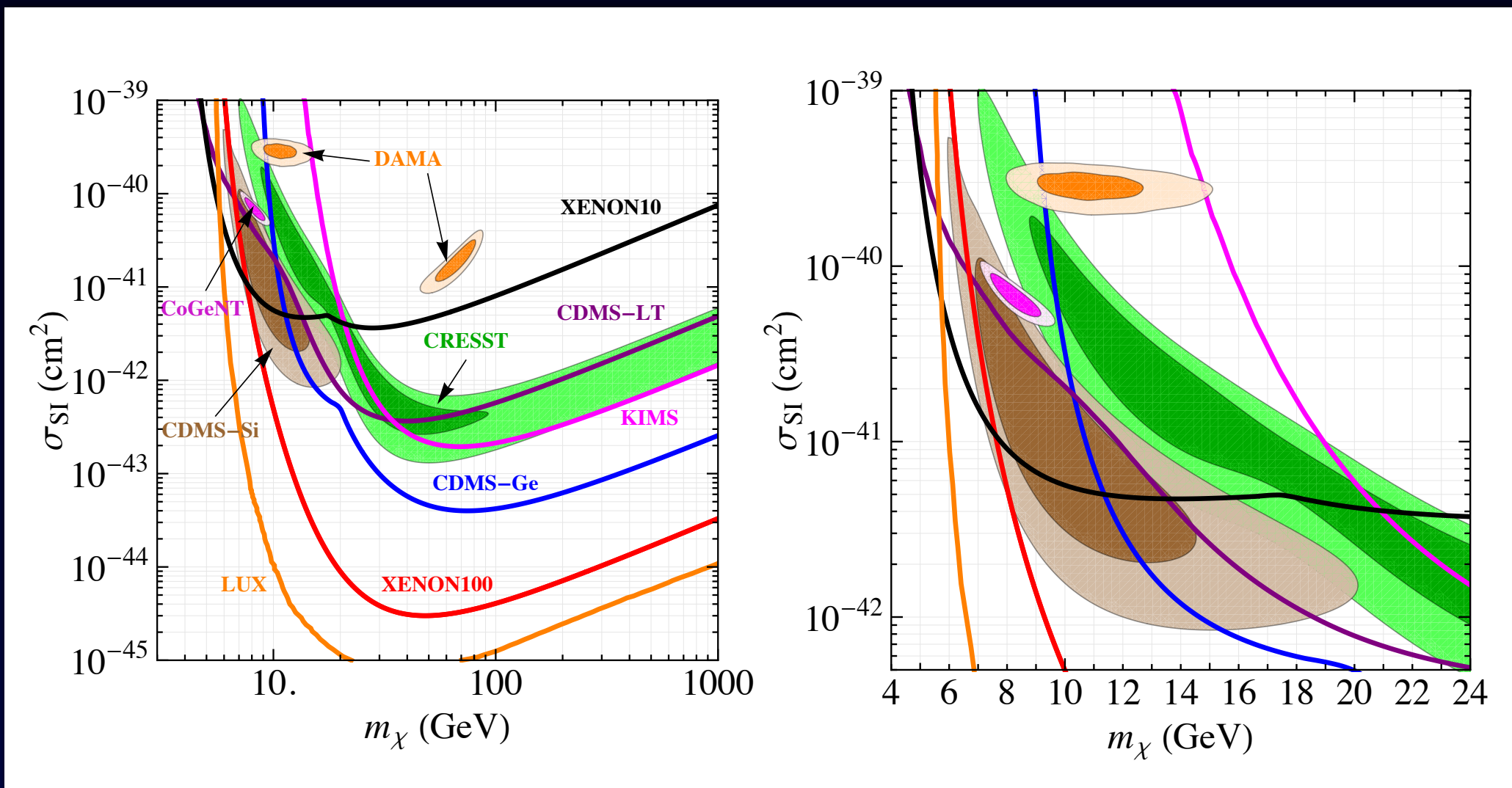
DAMA/LIBRA



CDMS
1304.4279

...in Widerspruch zu Limits von CDMS / XENON / LUX

Spin-unabhängige WW

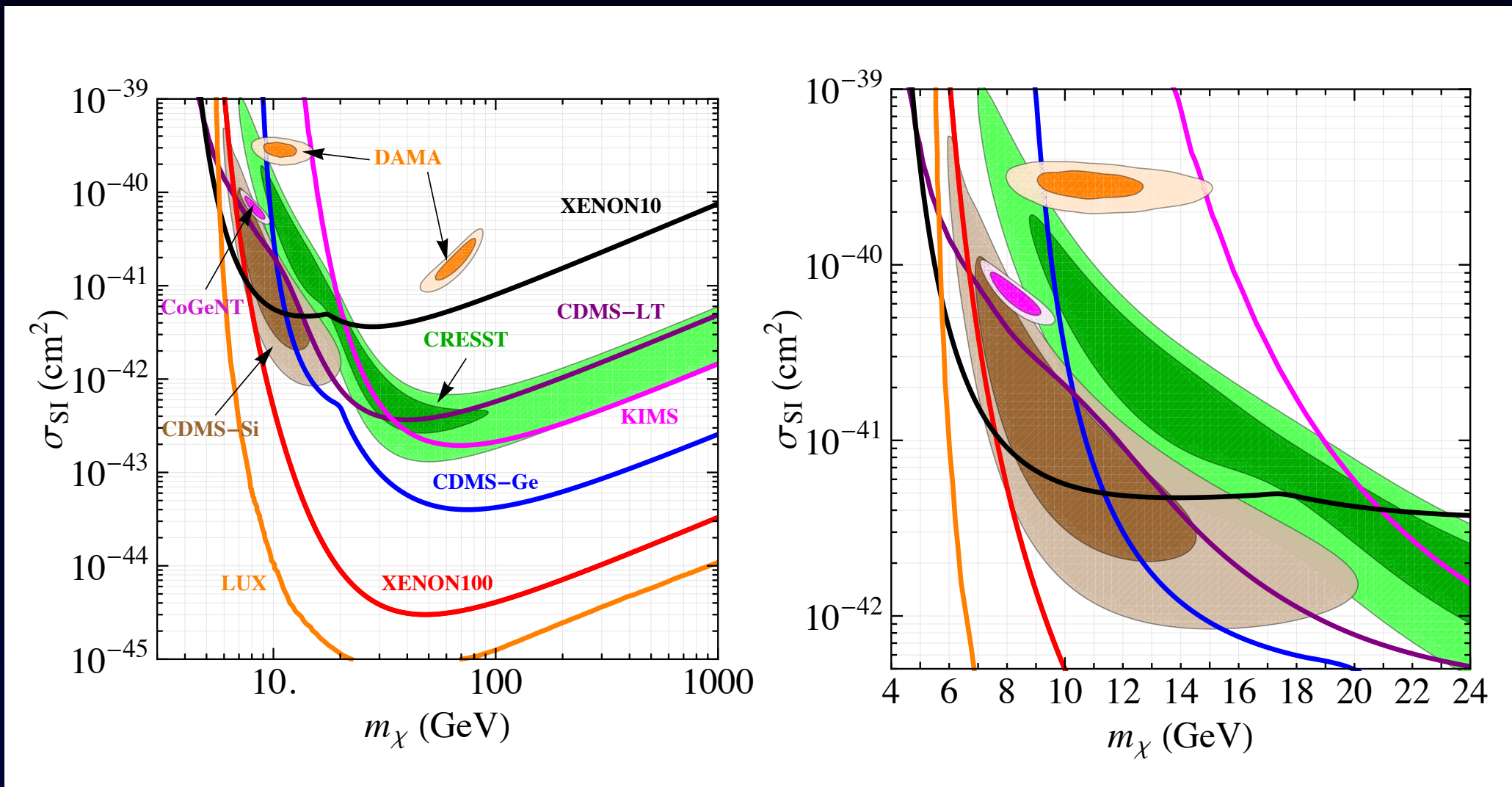


Bozorgnia, Catena, Schwetz, 2013

...in Widerspruch zu Limits von CDMS / XENON / LUX

abh. von
- Teilchenphysik
- Astrophysik

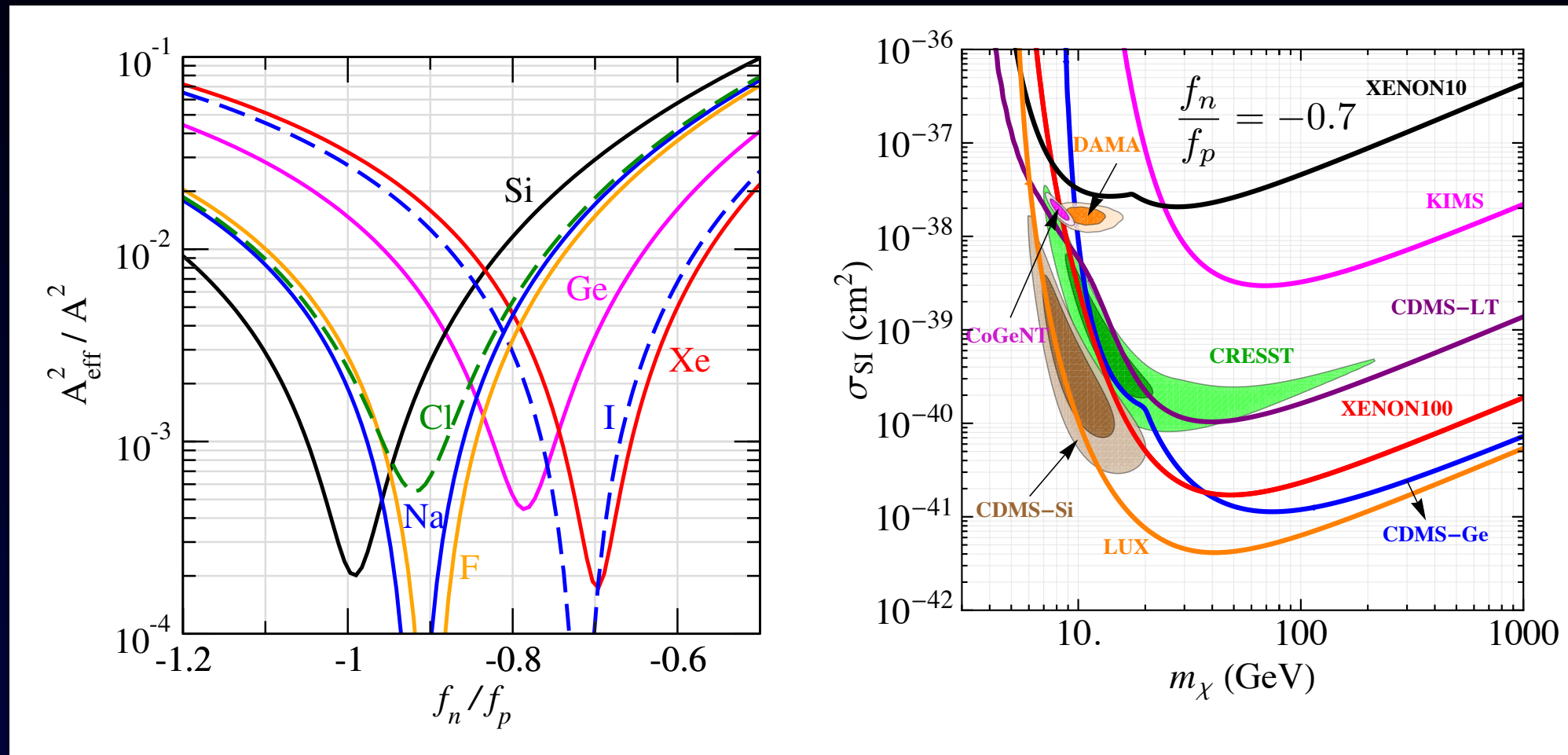
Spin-unabhängige WW



Bozorgnia, Catena, Schwetz, 2013

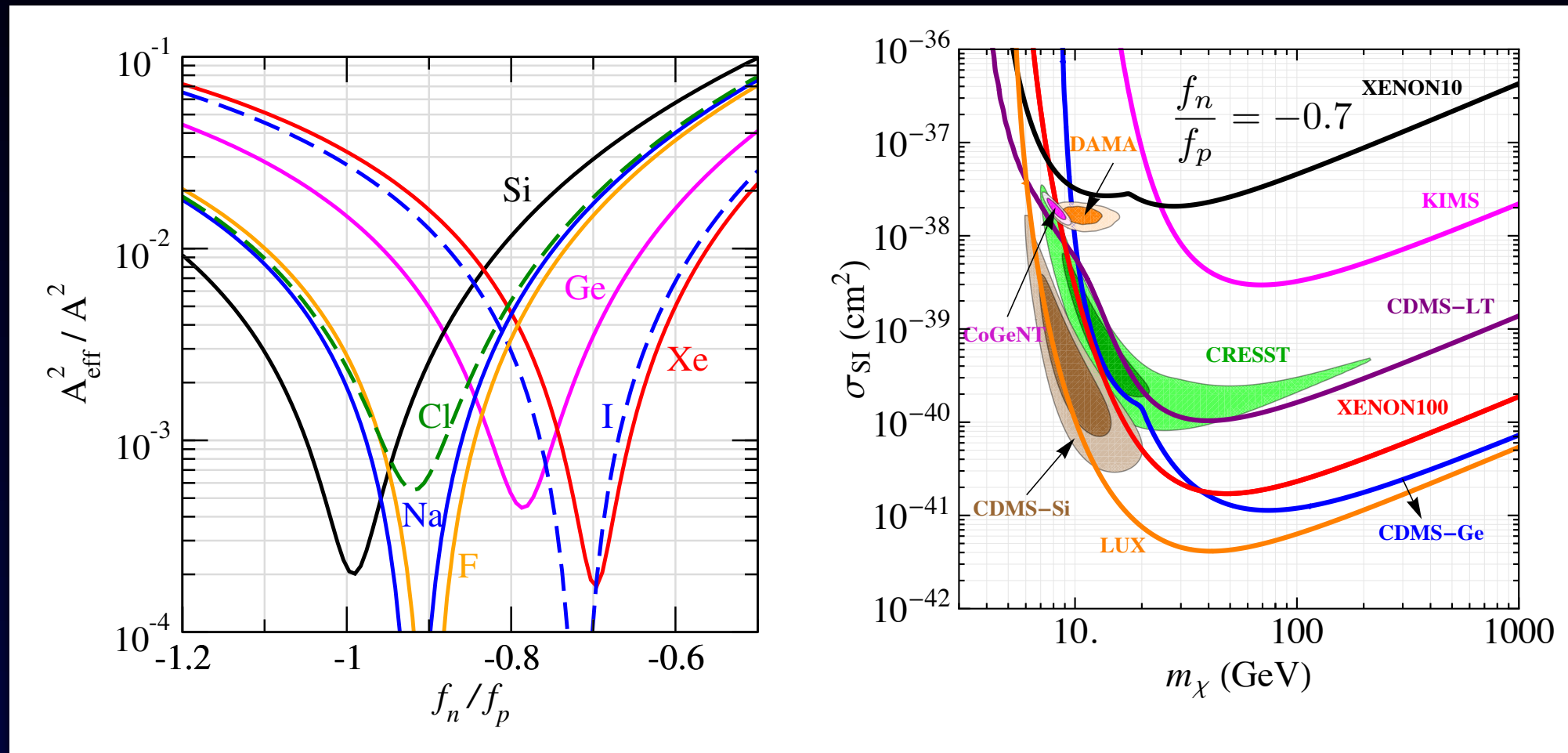
Modifizierte DM-Kern Wechselwirkung?

Bsp: negative Interferenz von WW an Neutron und Proton:



Modifizierte DM-Kern Wechselwirkung?

Bsp: negative Interferenz von WW an Neutron und Proton:



Weitere Beispiele
für exotische
Wechselwirkungen:

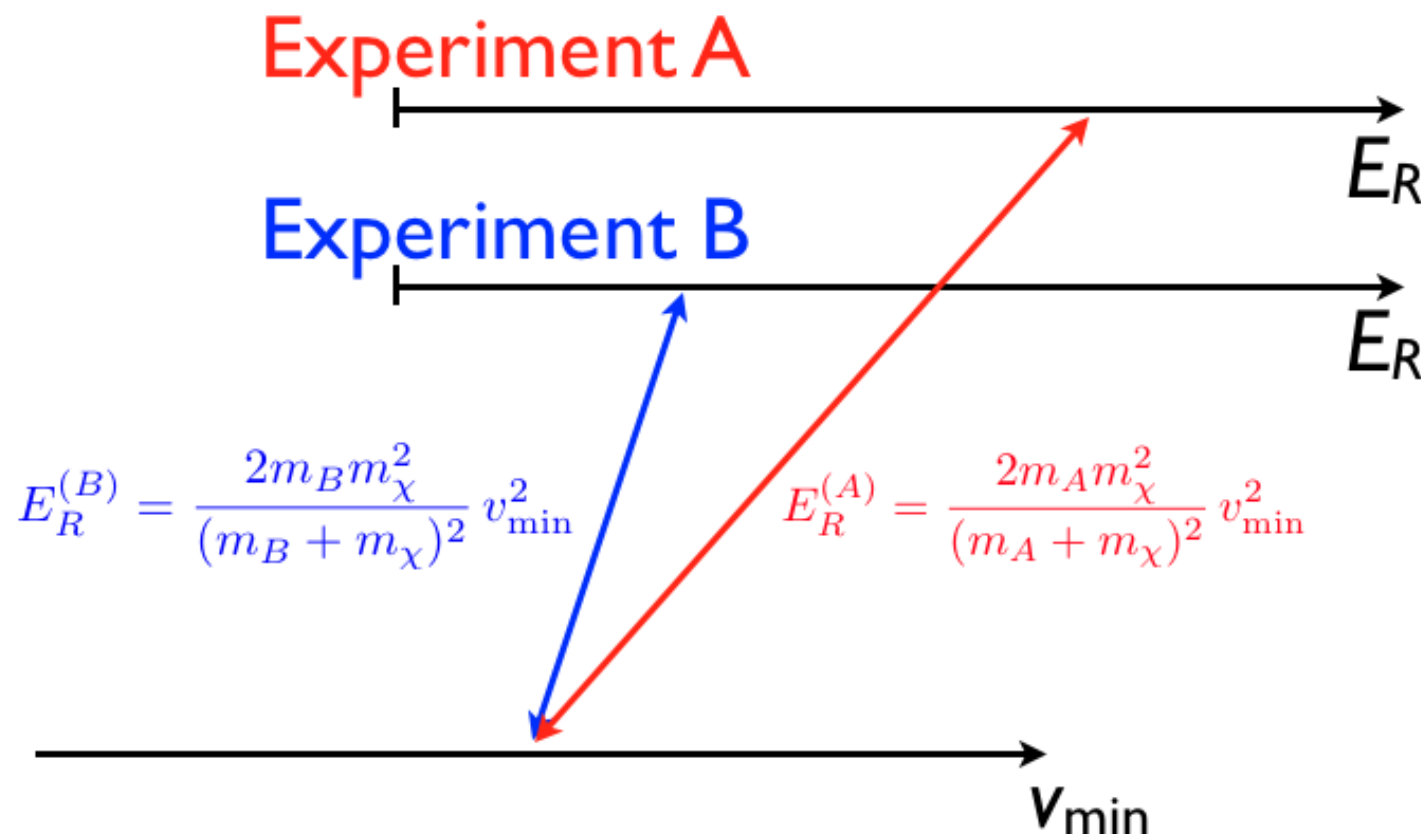
- Inelastische Streuung
- leichte Austauschteilchen
- elektromagnetische WW

DM-Halo unabhängiger Vergleich von Experimenten

$$\frac{dN}{dE_R} = \frac{\rho_\chi \sigma_0 |F(E_R)|^2}{2m_\chi \mu^2} \eta(v_{\min}) \quad \text{with} \quad \eta(v_{\min}) \equiv \int_{v > v_{\min}} d^3v \frac{f_\oplus(\vec{v})}{v}$$

consider now

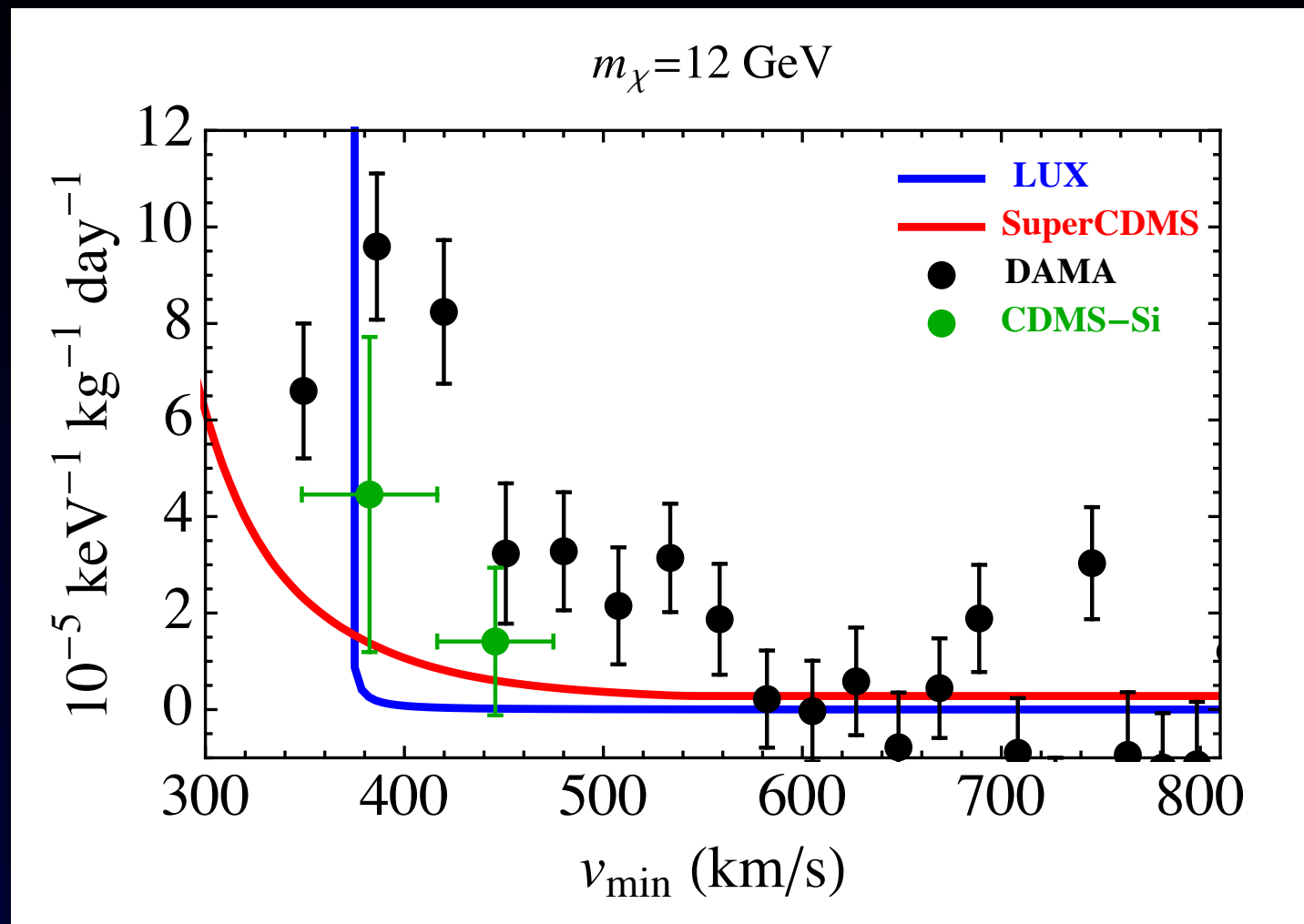
$$\frac{2m_\chi \mu^2}{\sigma_0 |F(E_R)|^2} \frac{dN}{dE_R} = \rho_\chi \eta(v_{\min})$$



$$v_{\min} = \sqrt{\frac{E_R m_A}{2\mu^2}}$$

Fox, Kribs, Tait, 2010
Fox, Liu, Weiner, 2010

DM-Halo unabhängiger Vergleich von Experimenten

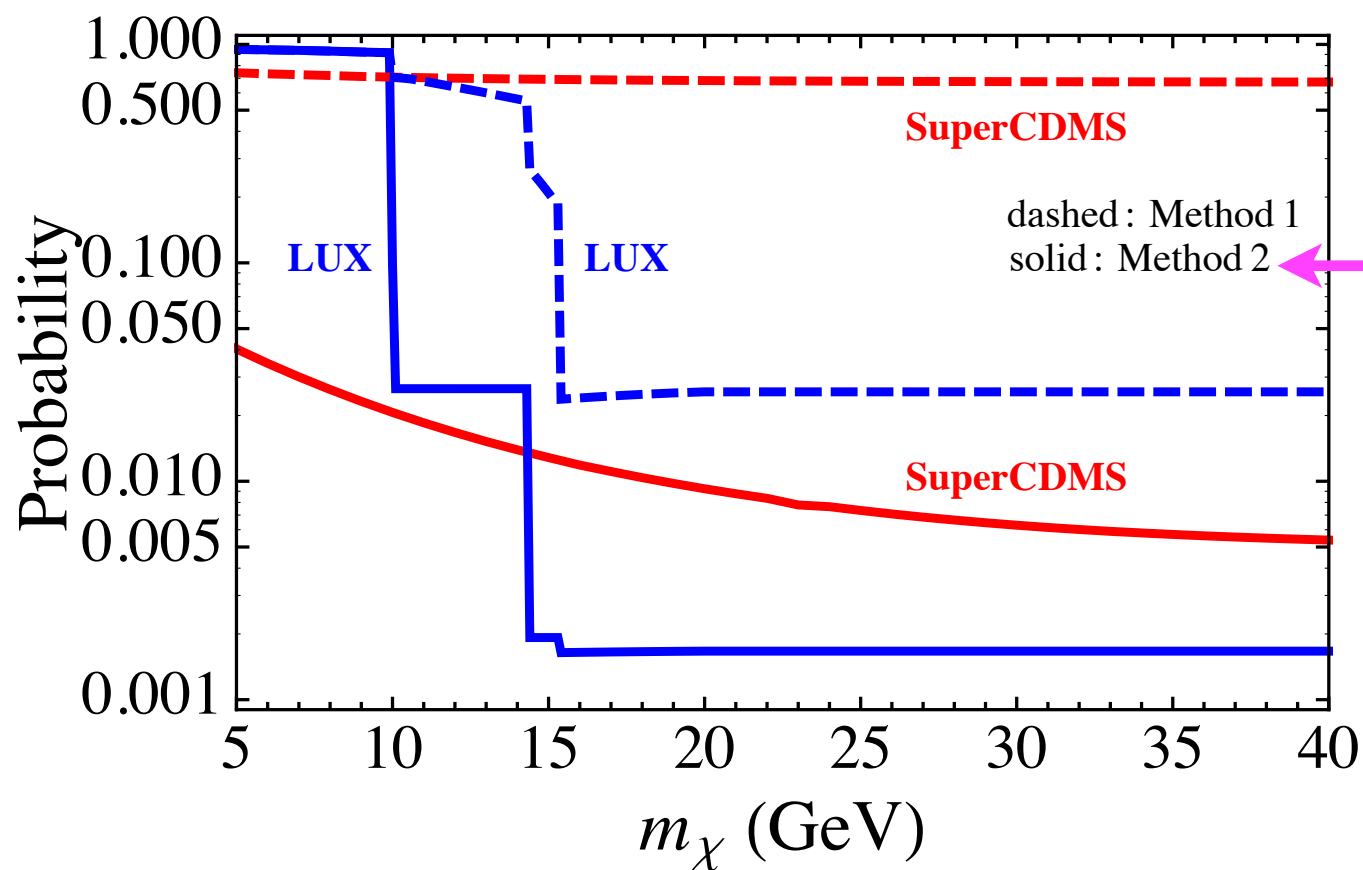


Bozorgnia, Schwetz, in prep.

s. auch Gelmini, Gondolo, Kahlhöfer, McCabe,...

DM-Halo unabhängiger Vergleich - CDMS-Si versus LUX / SuperCDMS

gemeinsame Wahrscheinlichkeit für 3 Ereignisse in
CDMS-Si und die LUX / SuperCDMS Ergebnisse



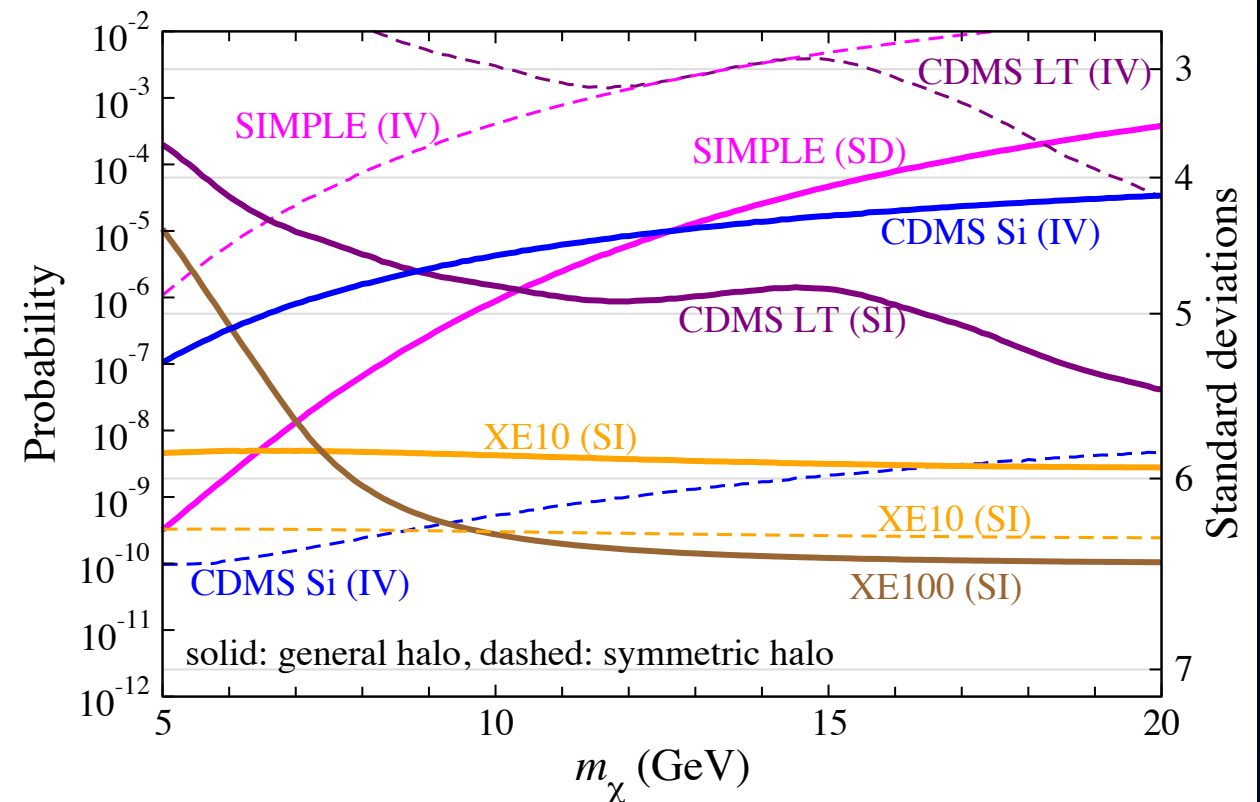
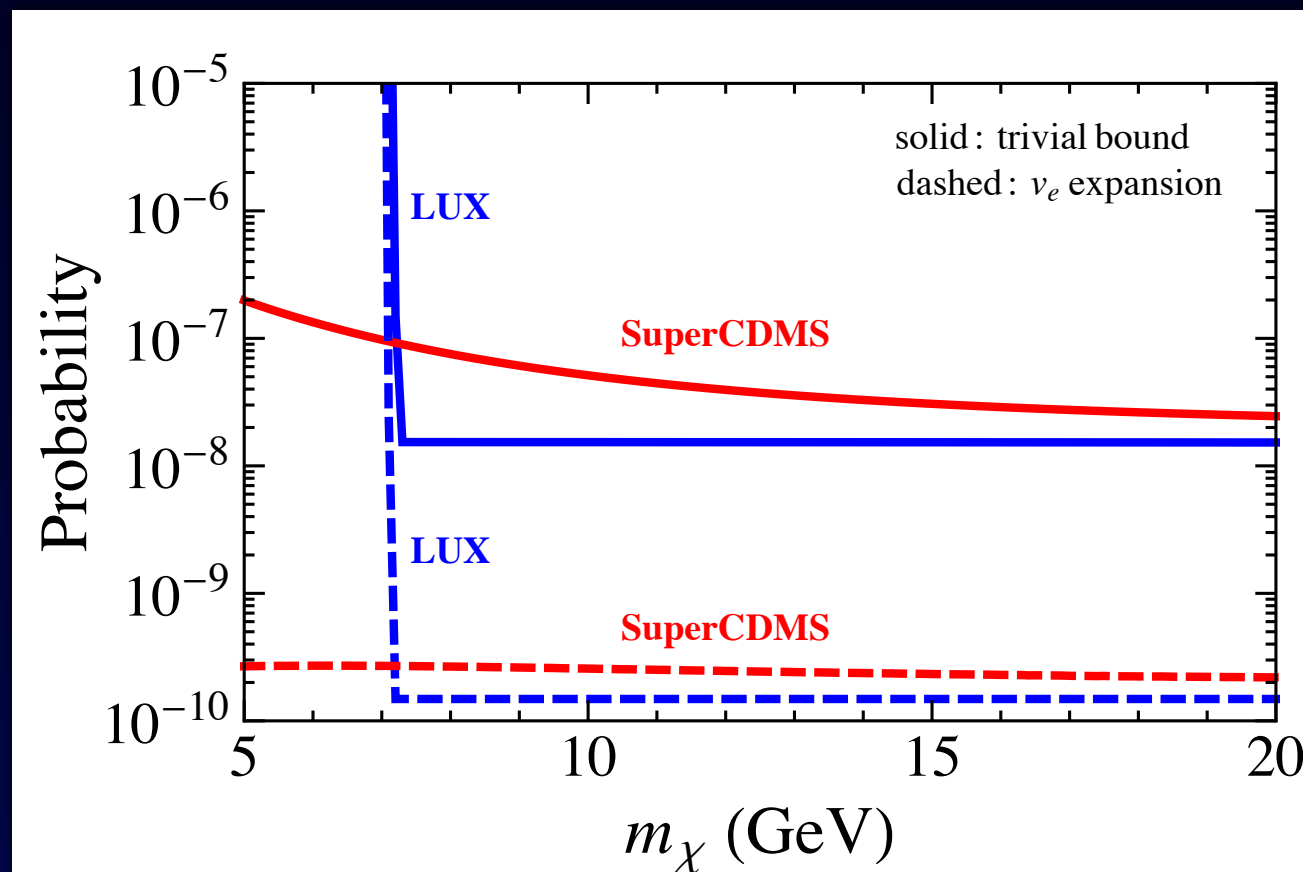
berücksichtigt
Energie-Information der
3 Si-Ereignisse

*Bozorgnia, Schwetz,
in prep.*

DM-Halo unabhängiger Vergleich - DAMA versus LUX / SuperCDMS / ...

gemeinsame Wahrscheinlichkeit für Modulationsampl. in DAMA (3. Bin) und die LUX / SuperCDMS Ergebnisse

Entwicklung d. Modulation in ν_e



Bozorgnia, Schwetz, in prep.

Herrero-Garcia, Schwetz, Zupan, 2012

Zusammenfassung

- **WIMP-Hypothese** wird von allen Seiten getestet (direkte / indirekte Suchen + LHC)
- mögliche DM Signale, **indirekt**:
 - 10 GeV Excess vom galaktischen Zentrum
 - (130 GeV Linie, Positronanteil)
- mögliche DM Signale, **direkt**:
 - DAMA, CDMS-Si (in starkem Widerspruch zu Limits von LUX, XENON, CDMS, ...)
- Die kommenden Jahre werden spannend!