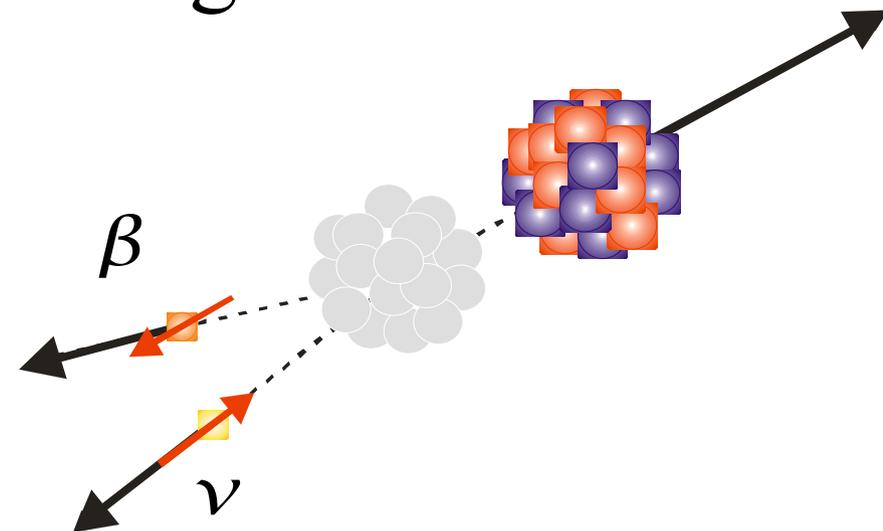


Bahnverfolgungssimulationen mit Rückstoßionen für das WITCH- Experiment

Resultate und ein kurzer Überblick

Peter Friedag, Marcus Beck, Jonas Mader, Christian Weinheimer
Westfälische Wilhelms-Universität Münster
15.10.2008

- Motivation
- Das WITCH-Experiment
- SimWITCH
- Beta-Untergrund
- Extraktionseffizienz der Penningfalle
- Zusammenfassung





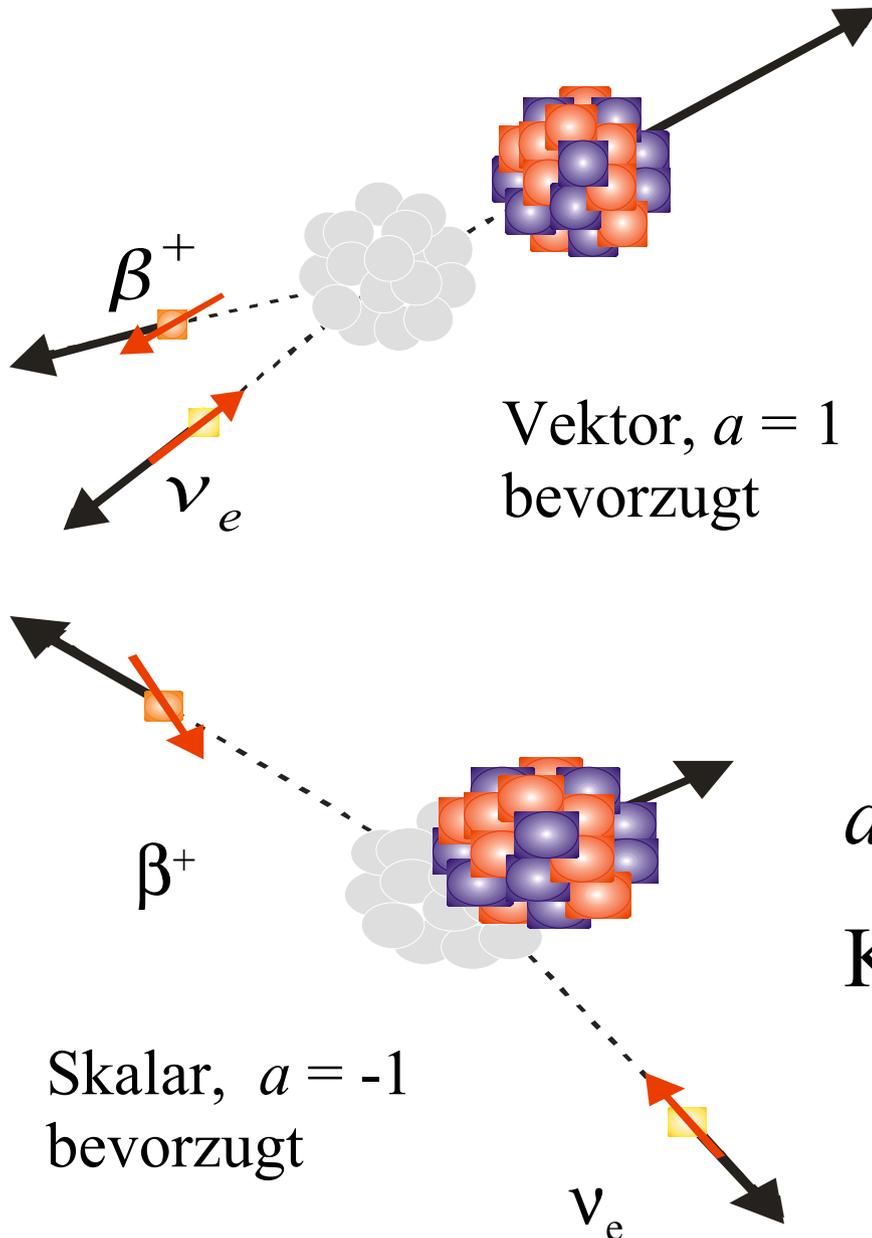
- Hamiltondichte:

$$H_{\beta} \propto \sum_i (\psi_p^+ \psi_n) (\psi_{\beta}^+ O_i (C_i + C_i^{\dagger}) \gamma_5) \psi_{\nu})$$

- Übergangswahrscheinlichkeit:

Beta-Neutrino-
Winkelkorrelation

$$W \propto \left\{ 1 + a \frac{\vec{p}_e \cdot \vec{p}_{\nu}}{E_e \cdot E_{\nu}} \right\}$$



$$a_F \approx \boxed{1} \frac{|C_S|^2 + |C_S'|^2}{2 \cdot |C_V|^2}$$

Standard-
Modell

$$a_{GT} \approx -\frac{1}{3} \left[\boxed{1} \frac{|C_T|^2 + |C_T'|^2}{2 \cdot |C_A|^2} \right]$$

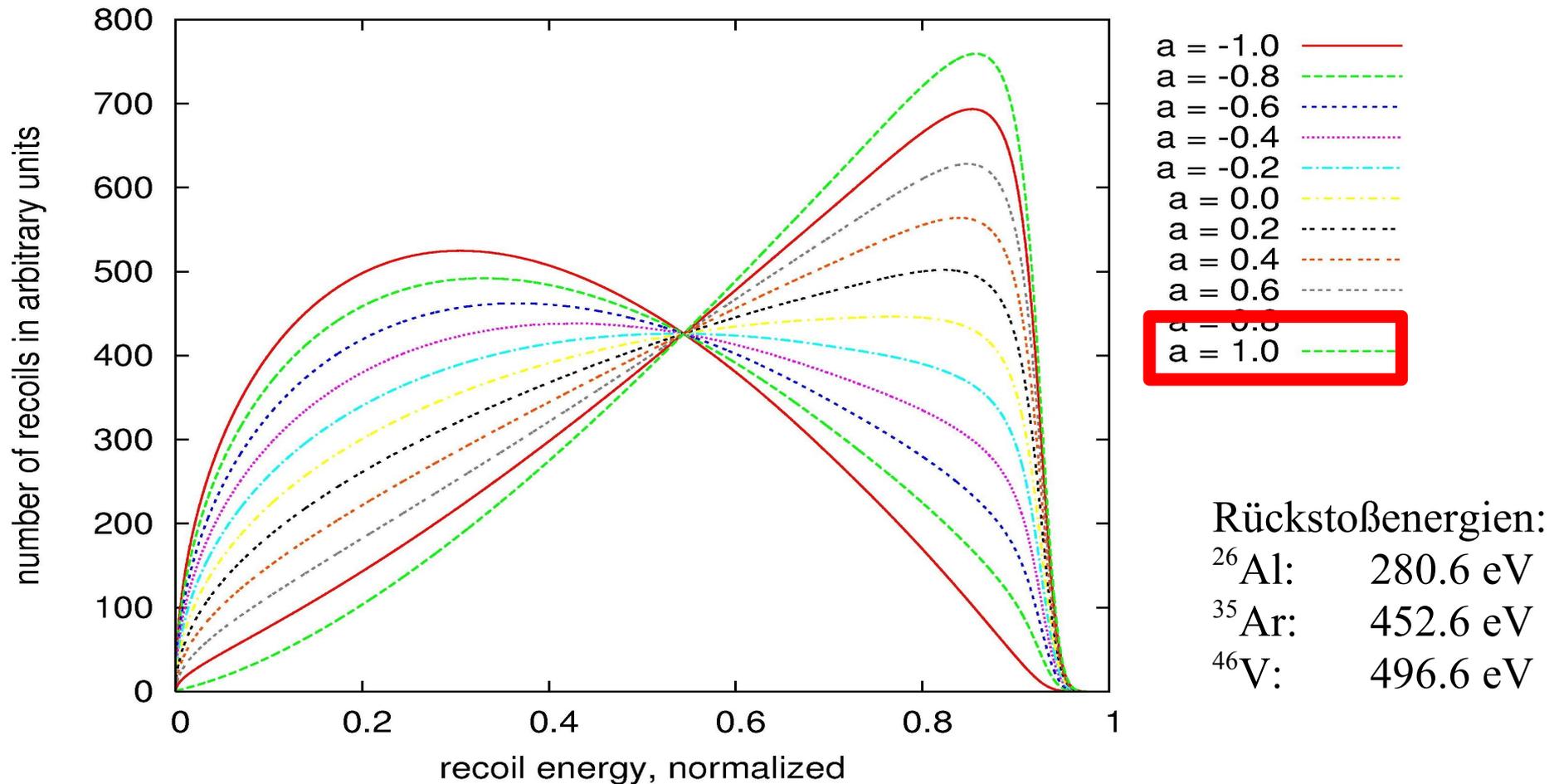
a hängt nur von den
Kopplungskonstante

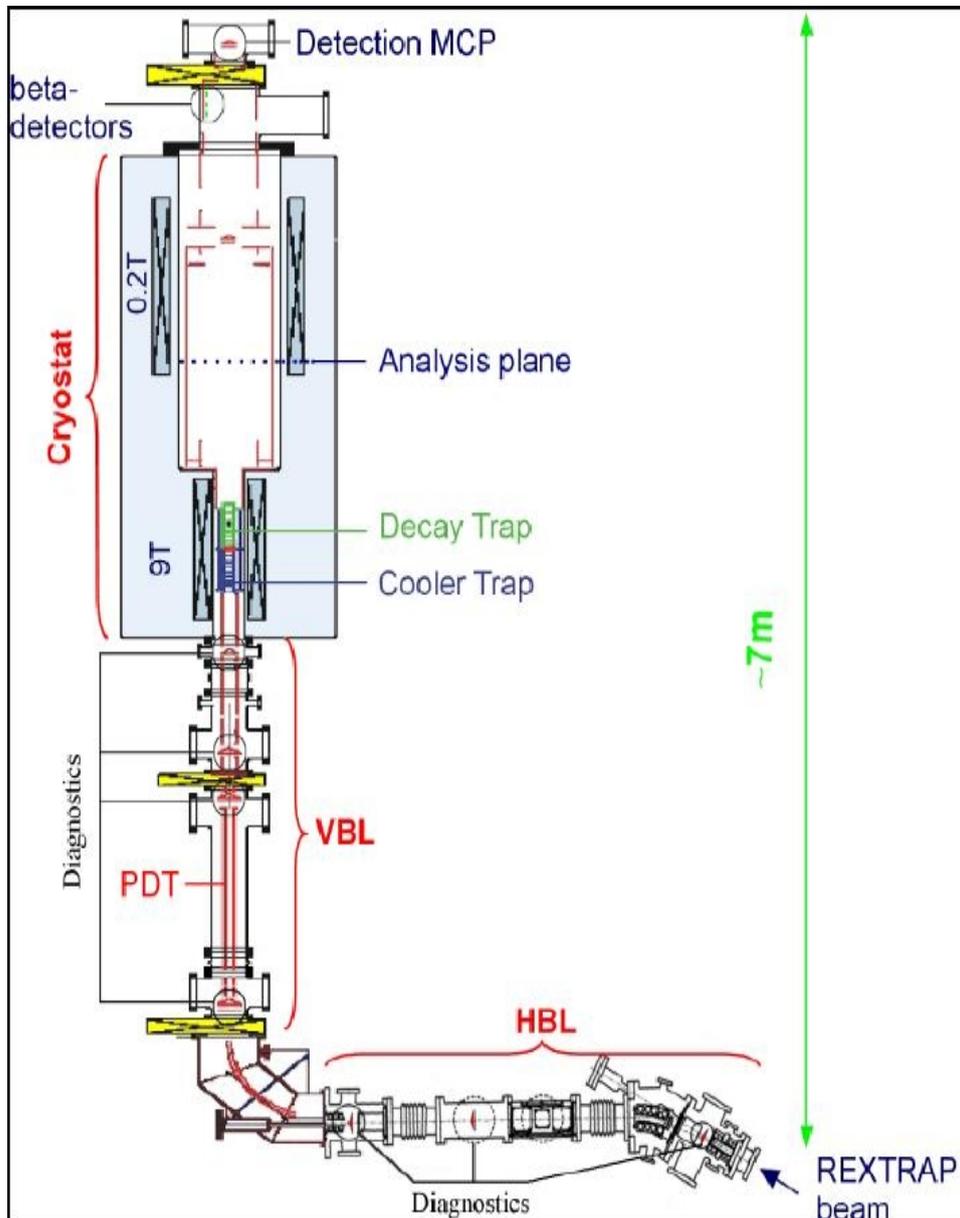
$C_i, C_i', i \in [V, A, S, T]$ ab



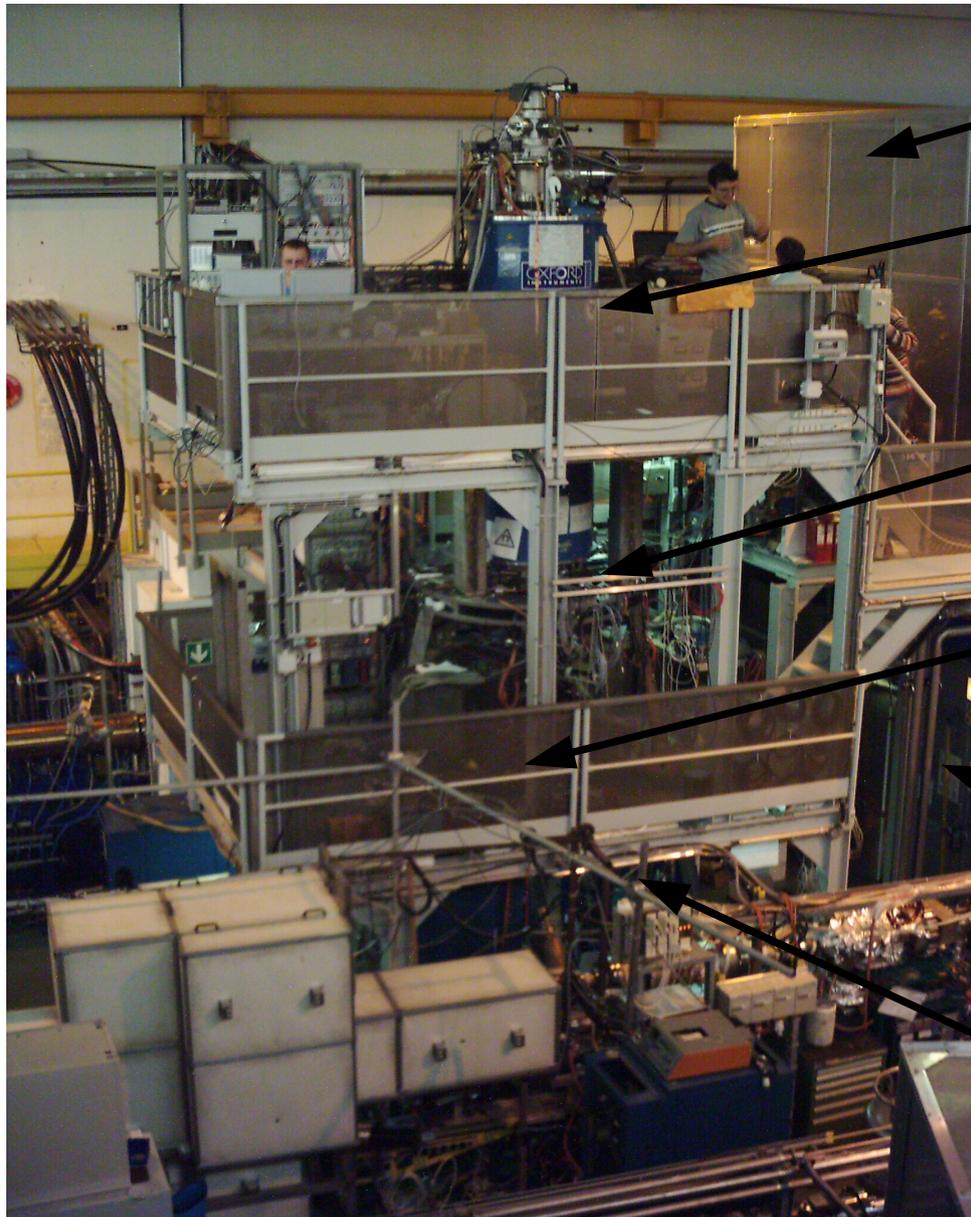
Das Rückstoßspektrum für ^{26}Al , Standard-Modell $a = 1 \pm 0.1$

^{26}Al , recoil spectra for different values of a





- ISOLDE liefert verschiedene Ionen
- Penningfallen: Kühlung und Speicherung
- MAC-E-Filter: Messung der Energie der Ionen
- MCP: Nachweis transmittierter Ionen



REX-EBIS

Detektor

Kryostat

vertikales Strahlrohr

REX-Trap

horizontales Strahlrohr

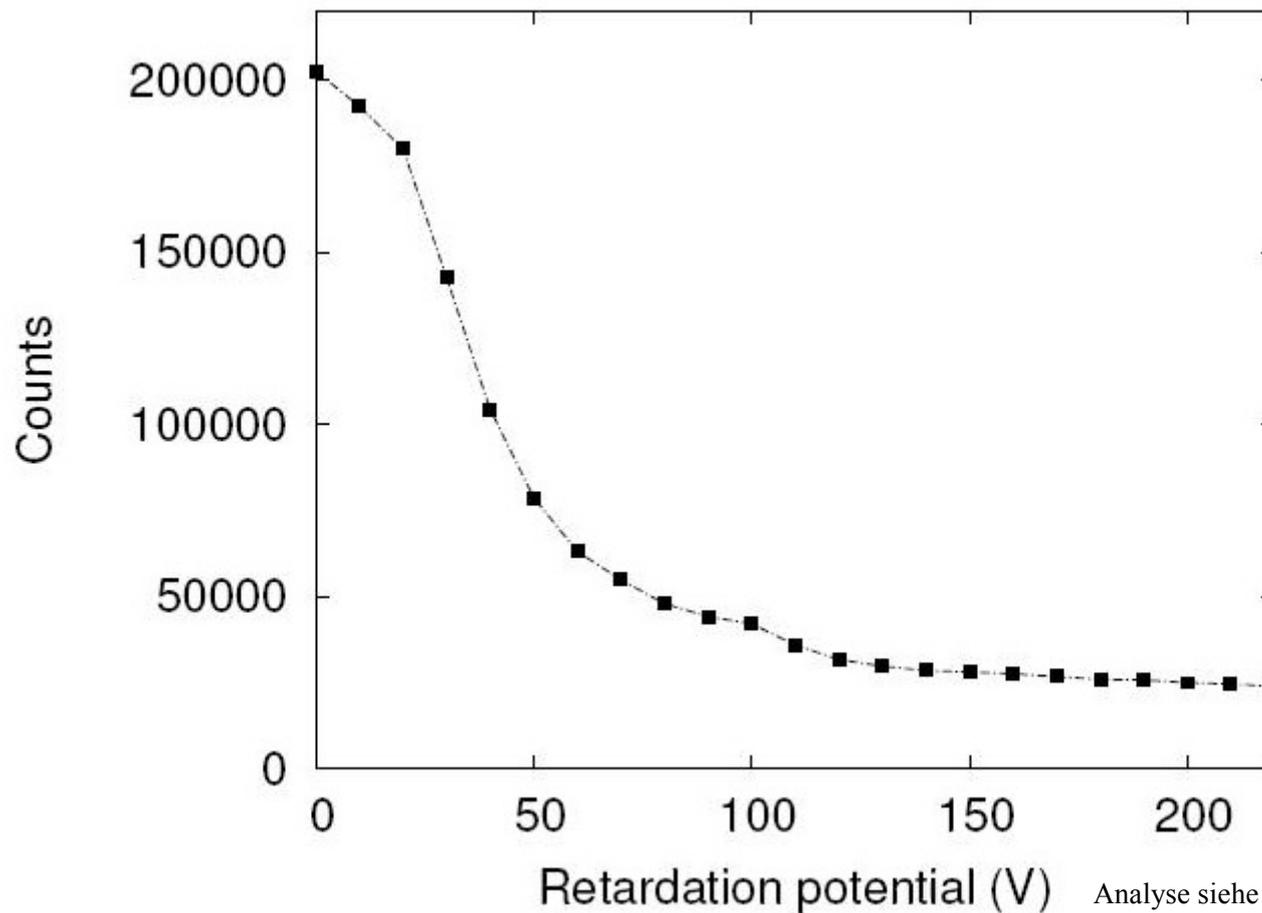


- Bahnverfolgungsroutine
- Entwickelt von F. Glück, FZ Karlsruhe
- C, Runge-Kutta-Algorithmus, Boundary-Element-Meth.
- KATRIN, aSPECT
- Angepasst für WITCH: schwere Ionen und Betas, niedrige und hohe Energien
- Monte-Carlo-Simulationen
- Hohe Geschwindigkeit, vollständige Bahninformation
- Vereinfachungen: Nur Spektrometer, Verteilung in der Falle, Zylindersymmetrie, kein Restgas etc.



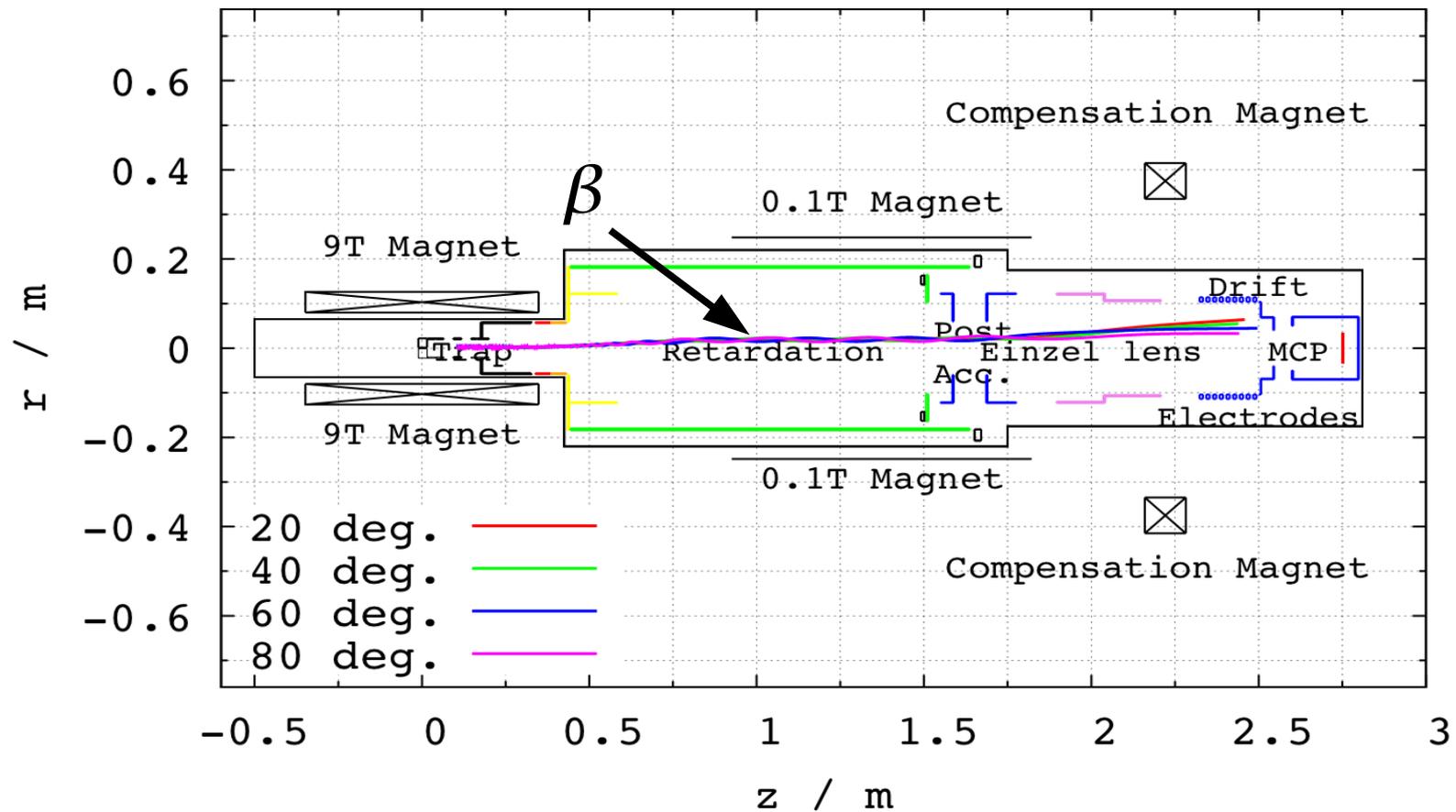
- Verständnis der Transmissionsfunktion (**Penning-Falle**, Spektrometer, Detektor)
- Auffinden systematischer Probleme, z. B. Untersuchung des **Beta-Untergrunds**
- Lösung bzw. Minimierung dieser Probleme
- Fernes Ziel: gemessenes Spektrum analysieren und verstehen

- Beispiel eines gemessenen integralen Rückstoßspektrums



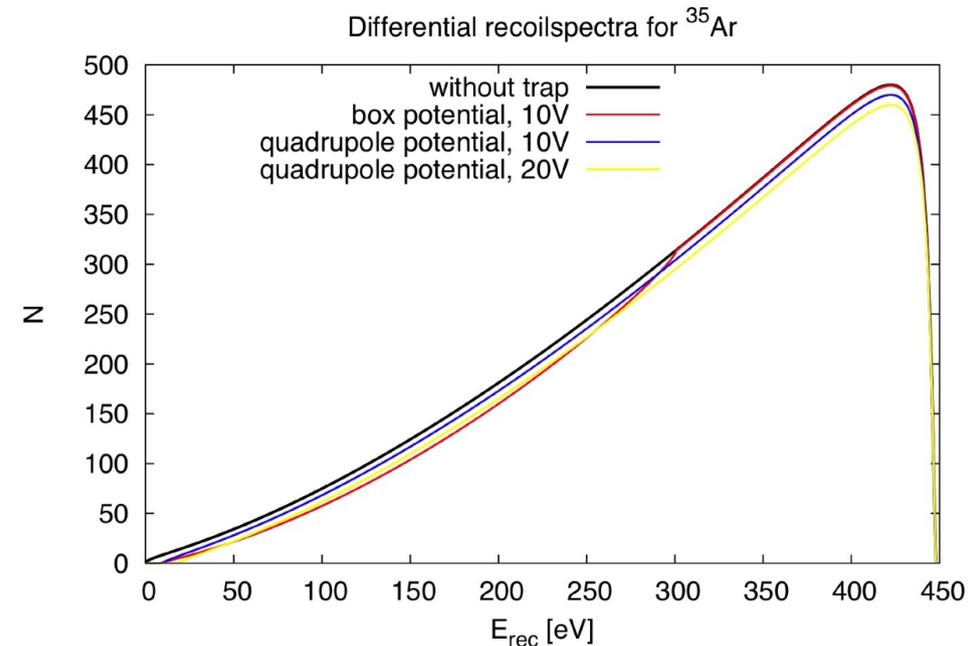
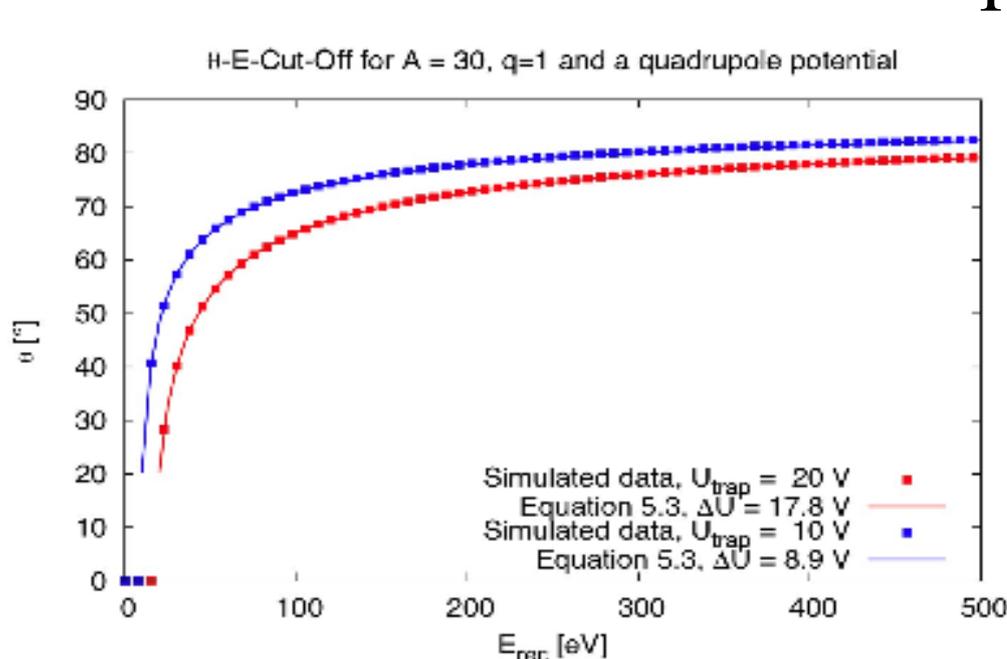
Analyse siehe S. Coeck, *Search for non Standard Model physics in nuclear beta decay with the WITCH experiment*, PhD thesis, Leuven, 2007

WITCH Electrode Setup $r = 0.002$ m





- Simulationen für monoenergetische punktförmige Quelle
- Quadrupolpotential: Fallenpotential
- Boxpotential: zusätzlich Magnetfeld
- Einfluss auf das Rückstoßspektrum





- Präzisionsexperiment zur Suche nach skalarer Wechselwirkung
- Bahnverfolgungen mit Betas
- Erstes Rückstoßspektrum gemessen
- Falleneffizienz: monoenergetische punktförmige Quelle, Box- und Quadrupolpotential
- Weiterführend: Berücksichtigung von Falleneffekten, Streuung an Restgas etc.



M. Beck^d, S. Coeck^a, P. Delahaye^c, P. Friedag^d, A. Herlert^c, V. V. Golovko^a, V. Yu. Kozlov^a, A. Lindroth^a, J. Mader^d, T. Phalet^a, N. Severijns^a, M. Tandecki^a, S. Van Gorp^a, F. Wauters^a, Chr. Weinheimer^d, F. Wenander^c, D. Zakoucky^b

Spokesperson: N. Severijns

^aInstituut voor Kern- en Stralingsfysica, K.U.Leuven, Celestijnenlaan 200D, B-3001 Leuven, Belgium

^bNuclear Physics Institute, Academy of Science of Czech Republic, Rez-near-Prague, Czech Republic

^cCERN, CH-1211 Genève 23, Switzerland

^dIKP, W.W.U. Münster, Wilhelm-Klemm-Str. 9, D-48149 Münster, Germany

Hamiltondichte und Kopplungskonstanten



- *Hamiltondichte:*

$$\frac{H_\beta}{G_F / \sqrt{2}} = (\psi_p^+ \psi_n) (\psi_e^+ (C_S + C_S' \gamma_5) \psi_\nu) \quad \mathbf{S}$$

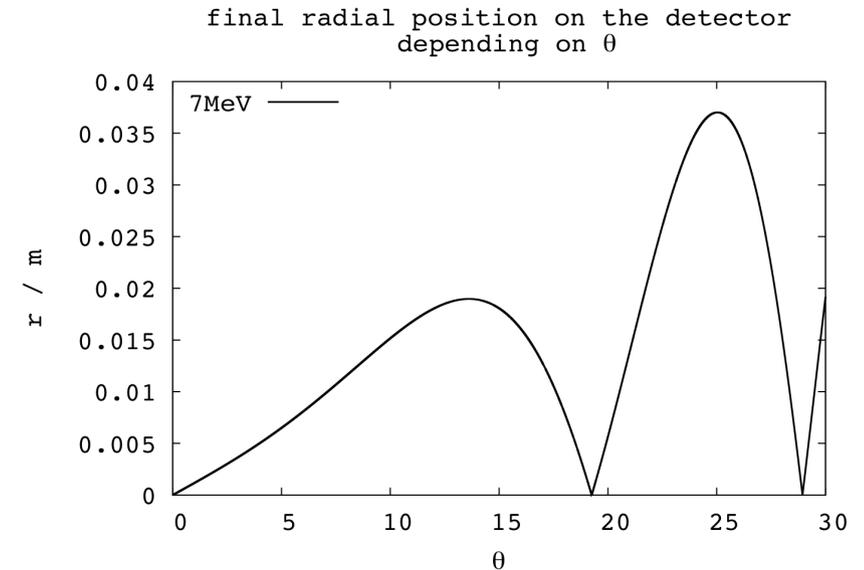
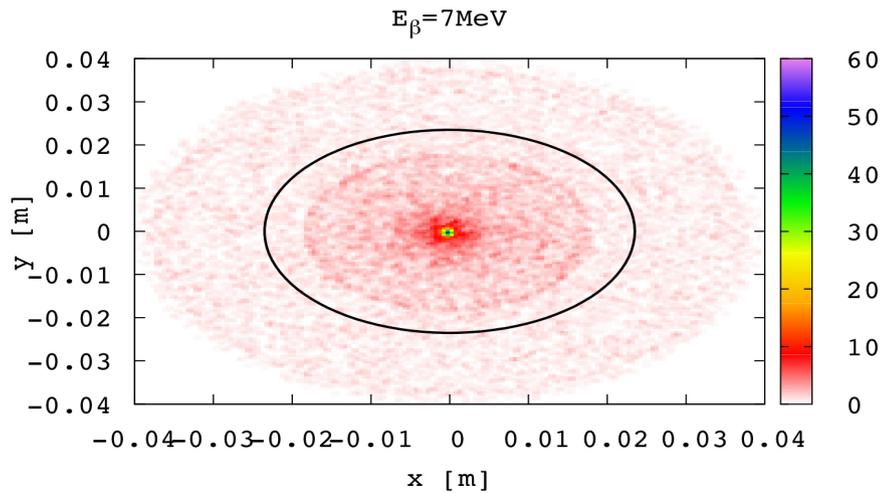
$$+ (\psi_p^+ \gamma_\mu \psi_n) (\psi_e^+ \gamma_\mu (C_V + C_V' \gamma_5) \psi_\nu) \quad \mathbf{V}$$

$$+ \frac{1}{2} (\psi_p^+ \sigma_{\mu\nu} \psi_n) (\psi_e^+ \sigma_{\mu\nu} (C_T + C_T' \gamma_5) \psi_\nu) \quad \mathbf{T}$$

$$- (\psi_p^+ \gamma_\mu \gamma_5 \psi_n) (\psi_e^+ \gamma_\mu \gamma_5 (C_A + C_A' \gamma_5) \psi_\nu) \quad \mathbf{A}$$

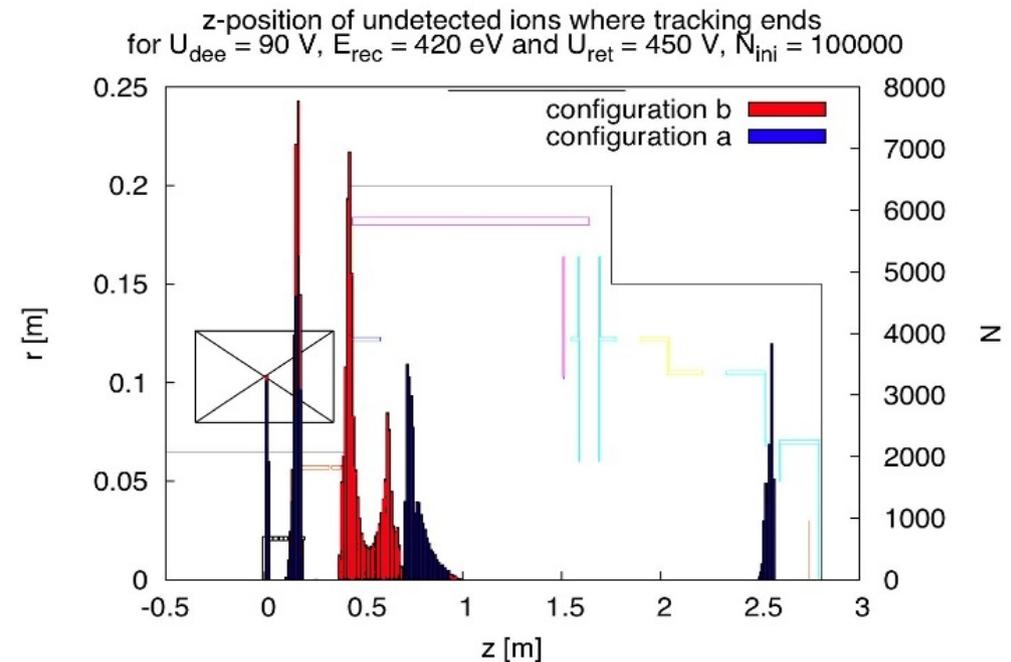
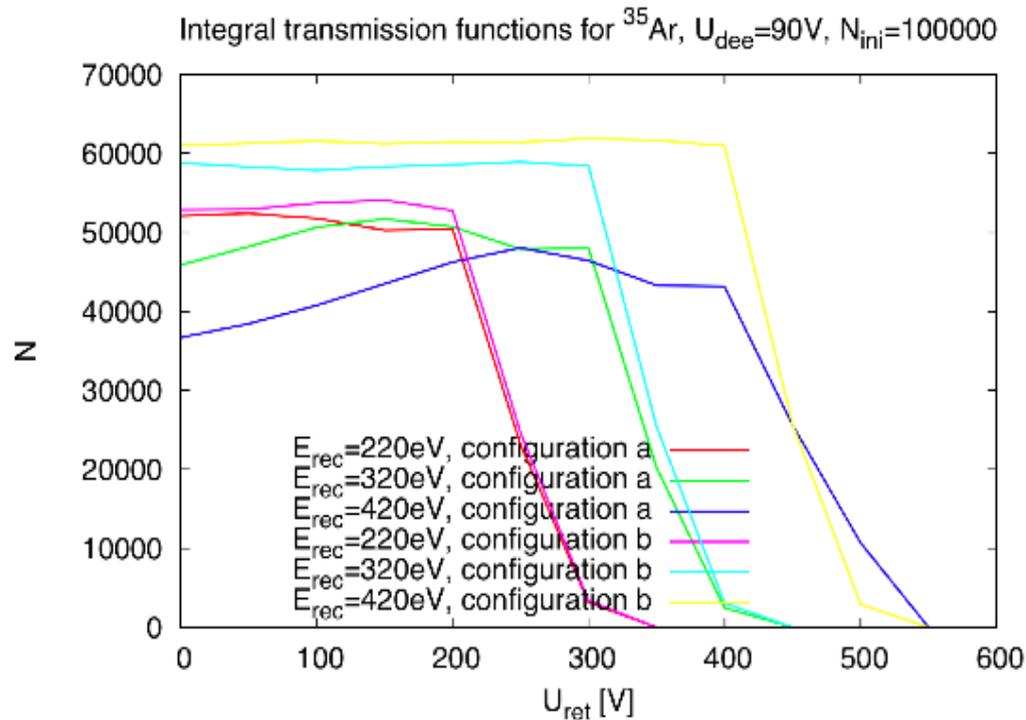
$$+ (\psi_p^+ \gamma_5 \psi_n) (\psi_e^+ \gamma_5 (C_P + C_P' \gamma_5) \psi_\nu) \quad \mathbf{P}$$

mit $\sigma_{\mu\nu} = -\frac{i}{2} (\gamma_\mu \gamma_\nu - \gamma_\nu \gamma_\mu)$ und $g_i = \frac{G_F}{\sqrt{2}} \cdot (C_i + C_i' \gamma_5)$



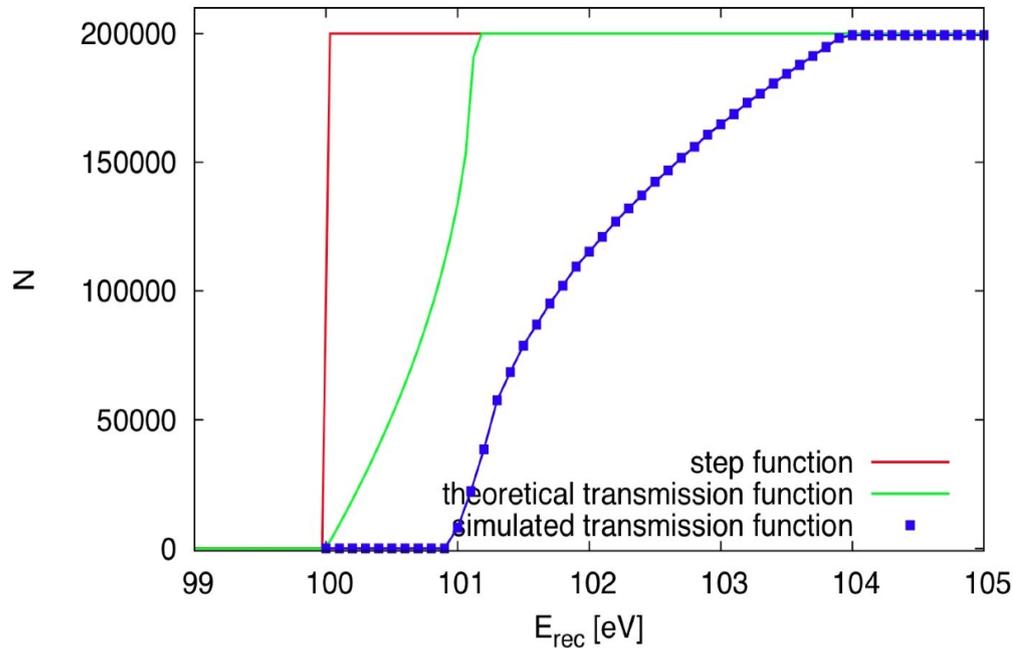
- *Punktförmige mono-energetische Quelle*
- *Kreis- und Ring-Strukturen*
- *Zyklotron-Bewegung der Betas*
- *Radiale Position abhängig von θ*

- *Simulation der Messung mit ^{35}Ar*
- *Hochaufgelöste Transmissionsfunktion*
- *Detektorverteilung*

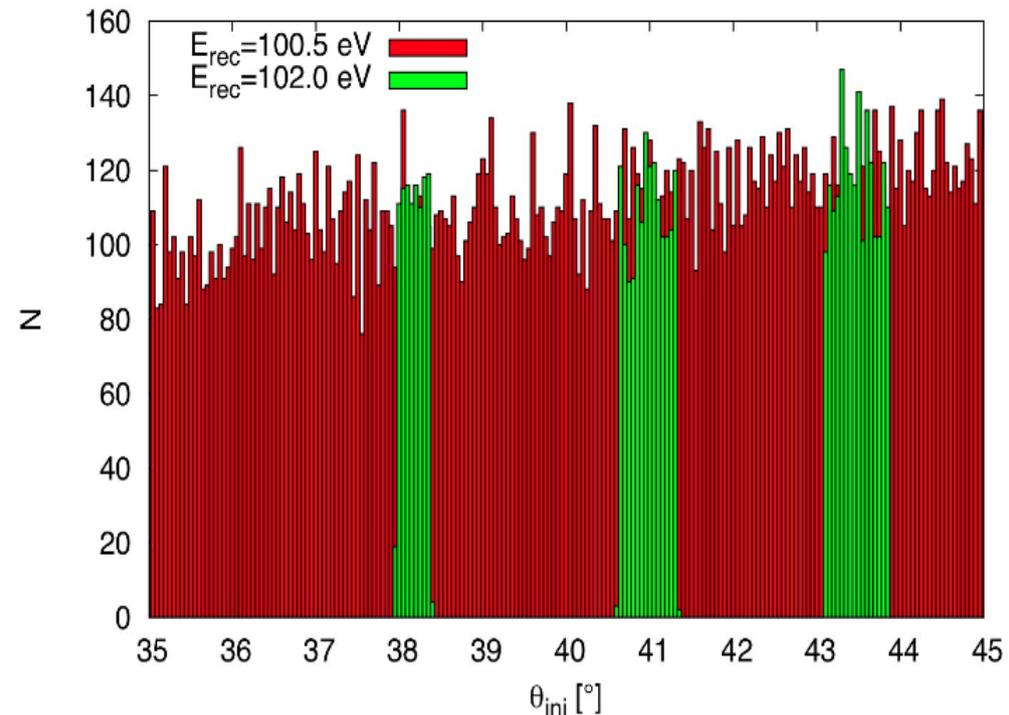


- *Simulation der Messungen mit ^{124}In*
- *Hochaufgelöste Transmissionsfunktion*
- *Detektorverteilungen*

Integral transmission functions for $A=124$, $q=2$ and $U_{\text{eff}}=50.46\text{ V}$
for piont-like monoenergetic sources



θ_{ini} -angles that get reflected in the analysis plane





- Zusammenhang zwischen Matrixelement und

$$\langle H_i | H | H_j \rangle = \sum_i g_i^2 M_i^2,$$

mit $M_i = \frac{1}{g_i} \int H_i dV$

$$W = \frac{2\pi}{\hbar} \cdot M_\beta^2 \cdot \rho$$

- Fermis Goldene Regel:

Beta-Neutrino-
Winkelkorrelation

Fierz-Interferenz-
Term

- Übergangswahrscheinlichkeit:

$$W \propto F(\pm Z, E_e) p_e E_e (E_0 - E_e)^2 \cdot \left\{ 1 + a \frac{\vec{p}_e \cdot \vec{p}_\nu}{E_e \cdot E_\nu} + b \frac{m_e}{E_e} \right\}$$



- *Die Hamiltondichte:*

$$H_{\beta} \propto \sum_i (\psi_p^+ \psi_n) (\psi_e^+ O_i (C_i + C_i' \gamma_5) \psi_v)$$

- *Vier 4er-Spinoren, Lorentz- und Rotationsinvarianz*
- *5 Übergänge: skalar, vektor, axialvektor, tensor, pseudoskalar*
- *Niedrige Energien: kein pseudoskalarer Übergang*
- *Standardmodell: Nur Vektor- und Axialvektor-Übergänge,*