

Seminarvortrag
Schlüsselexperimente der Teilchenphysik

Das Goldhaber-Experiment

04.05.2007 Sarah Heim

Das Goldhaber Experiment



Durchgeführt:

- **1957**
- **von M. Goldhaber, L. Grodzins und A.W. Sunyar**

Mit dem Ziel:

Bestimmung der Helizität von Neutrinos

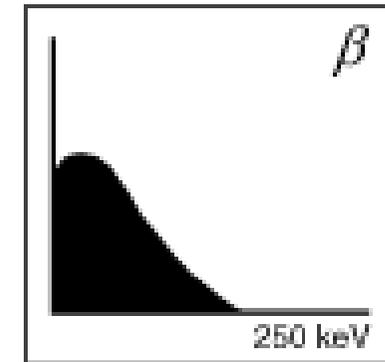
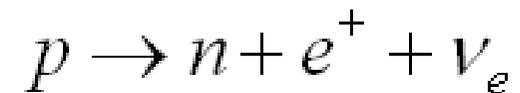
Gliederung des Vortrages

- 1. Stand der Forschung 1957**
- 2. Idee (schematisch)**
- 3. Aufbau**
- 4. Durchführung**
- 5. Auswertung**
- 6. Ergebnis**
- 7. heutige Sicht**

1.1 Das Neutrino

Eigenschaften:

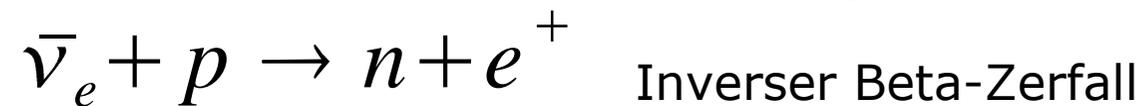
- sehr leicht bis masselos
- neutral
- nur schwach wechselwirkend
- sehr kleiner WQ



Entdeckung:

1930 von Pauli postuliert

1956 von Reines und Cowan nachgewiesen



1.2 Helizität

- **Quantenzahl**
- **Beziehung Spin-Impuls eines Teilchens**

$$H \equiv \frac{\vec{s} \cdot \vec{p}}{|\vec{s}| \cdot |\vec{p}|}$$

- **für masselose Teilchen eindeutig definiert**
- **$H < 0$ linkshändig**
- **$H > 0$ rechtshändig**
- **maximale Händigkeit: $H = 1$ bzw. $H = -1$**

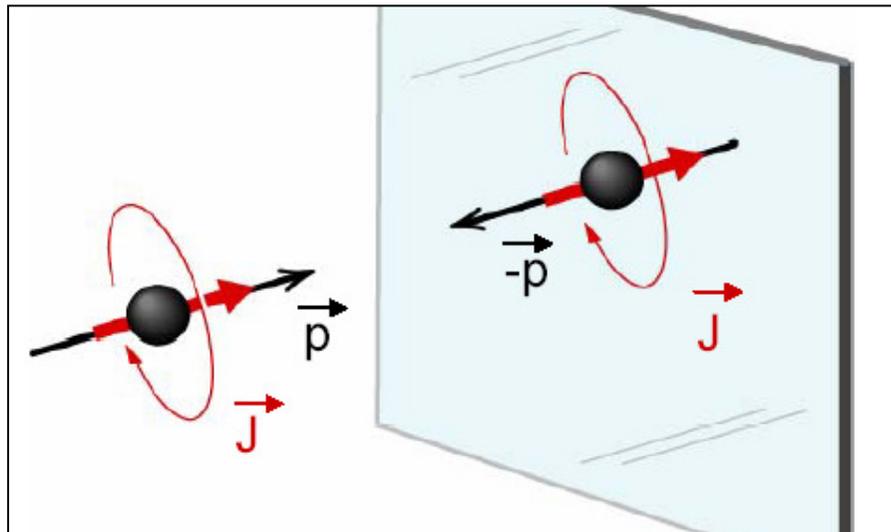


1.3 Parität

Paritätsoperation: räumliche Spiegelung

⇒ **polare Vektoren:** $\pi \langle x \rangle = - \langle x \rangle$
 $\pi \langle p \rangle = - \langle p \rangle$

⇒ **axiale Vektoren:** $\pi \langle L \rangle = \langle L \rangle$



1.4 Paritätserhaltung

Theorie um 1950: Parität in allen WW erhalten

1956: Lee und Yang

- keine Evidenz für Paritätserhaltung in schwacher WW
- Idee für Nachweis der Paritätsverletzung

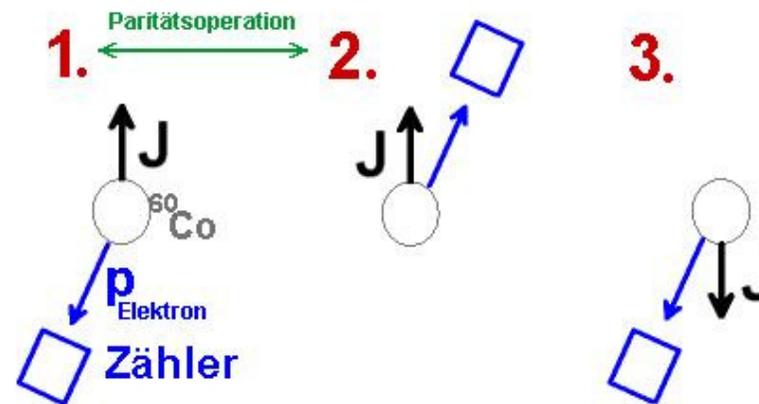


⇒ **Wu-Experiment**



1.5 Das Wu-Experiment (1)

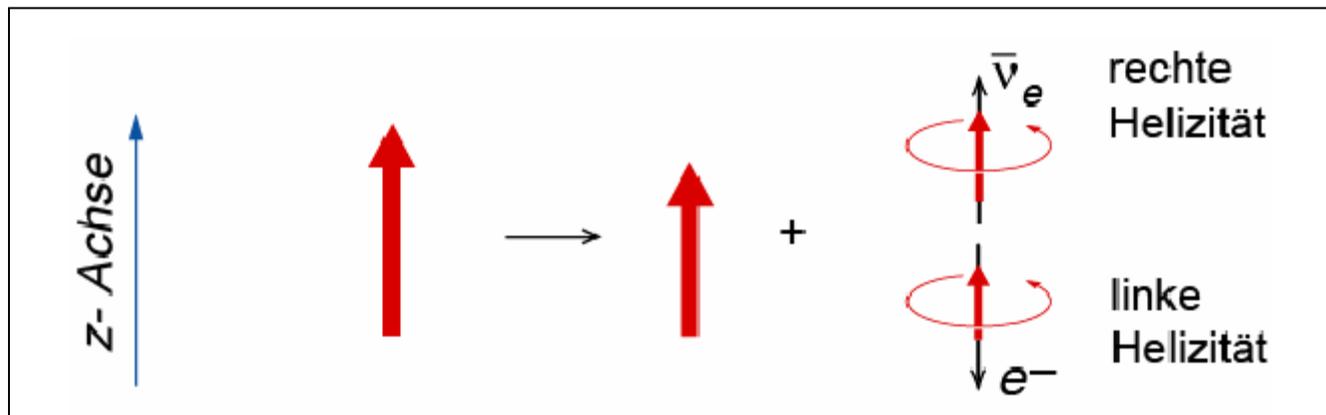
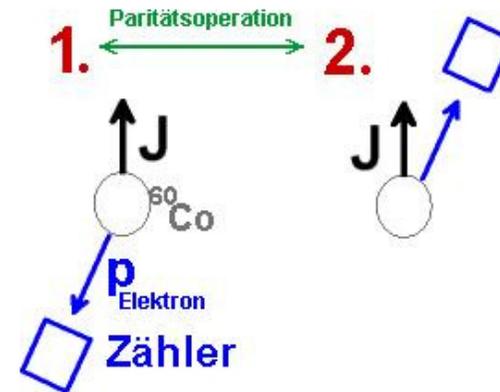
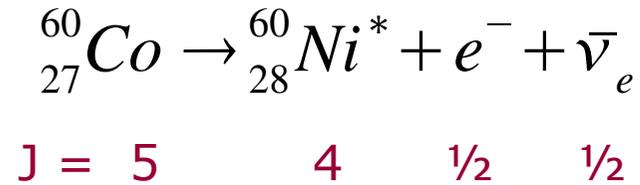
Test der Verletzung der P-Invarianz bei schwacher WW



Tatsächlich: unterschiedliche Zählraten

⇒ **keine P-Invarianz bei schwacher WW**

1.5 Das Wu-Experiment (2)



\Rightarrow Neutrinos sind linkshändig!

2.1 Wu \Rightarrow Goldhaber

Wu:

Quantitativ nicht exakt genug

Helizität der Neutrinos : $H \sim -0.7 \pm$ großer Fehler

Theorie : $H = -1$

Goldhaber:

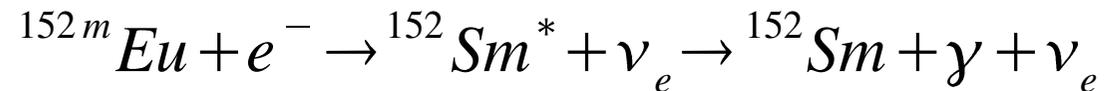
Bestimmung der Helizität der Neutrinos

2.2 Goldhaber-Experiment: Schema (1)

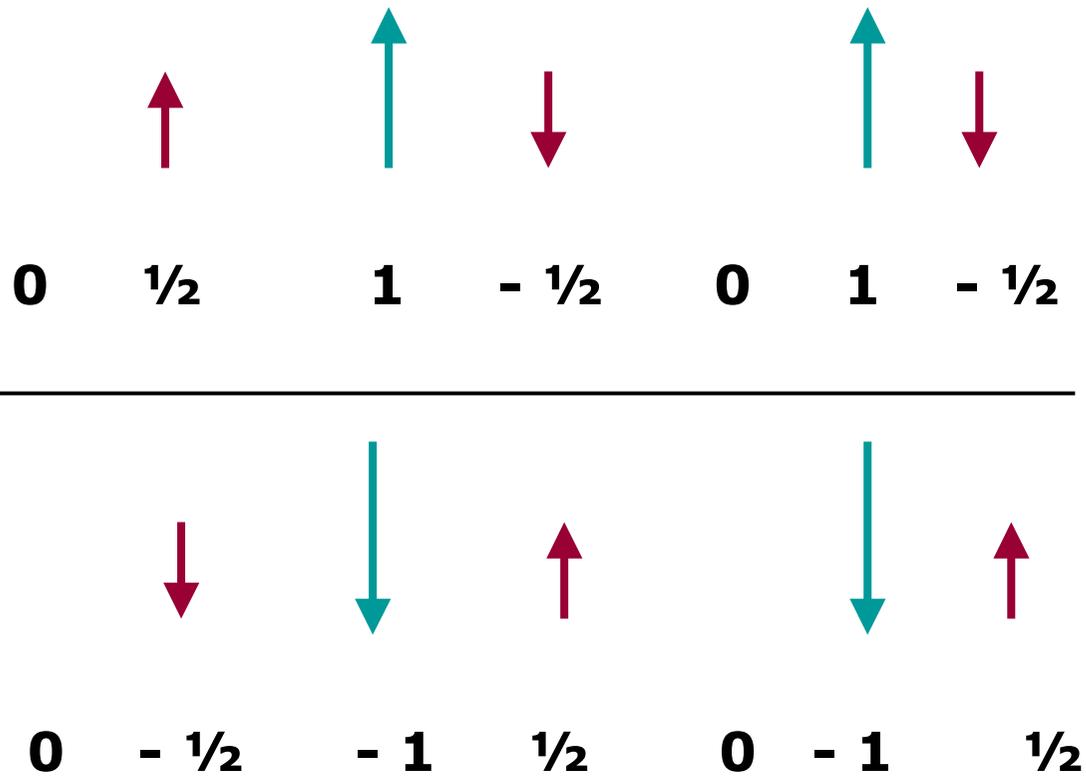
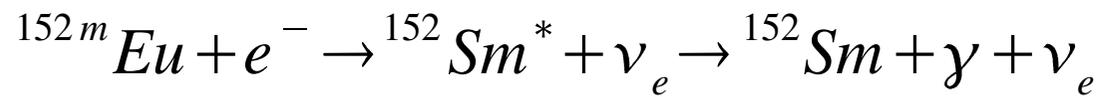
ZIEL: Bestimmung der Helizität von Neutrinos

1. Produktion von Neutrinos

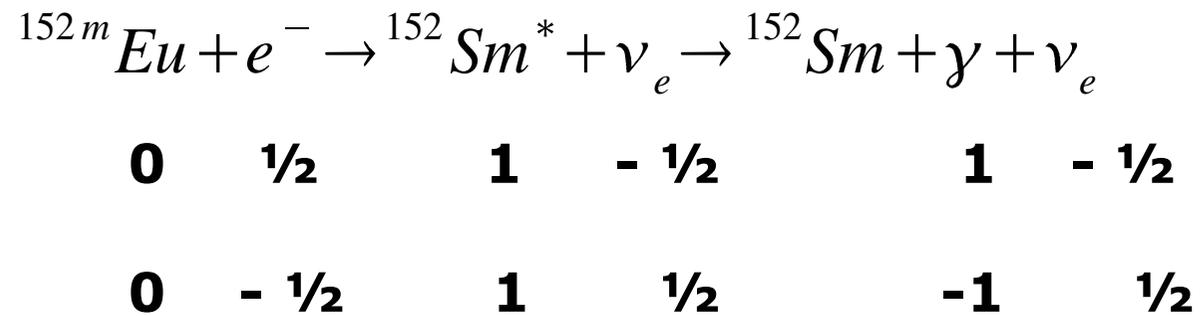
- Elektroneneinfang von ^{152m}Eu



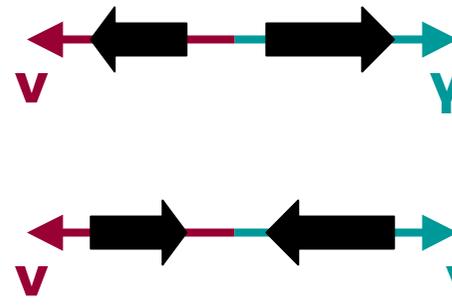
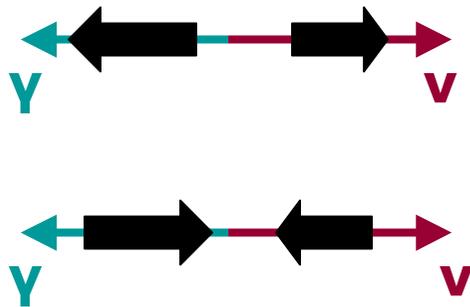
2.3 Spin-Gymnastik



2.4 Helizitäten



⇒ **γ und ν antiparallel:**



⇒ **H(γ) = H(ν) !!!**

2.5 Aufgabenstellung

für antiparallele v und γ gilt:

γ -Zirkularpolarisation = v -Helizität

- 1. diese γ herausfiltern**
- 2. Zirkularpolarisation herausfinden (= v -Helizität)**

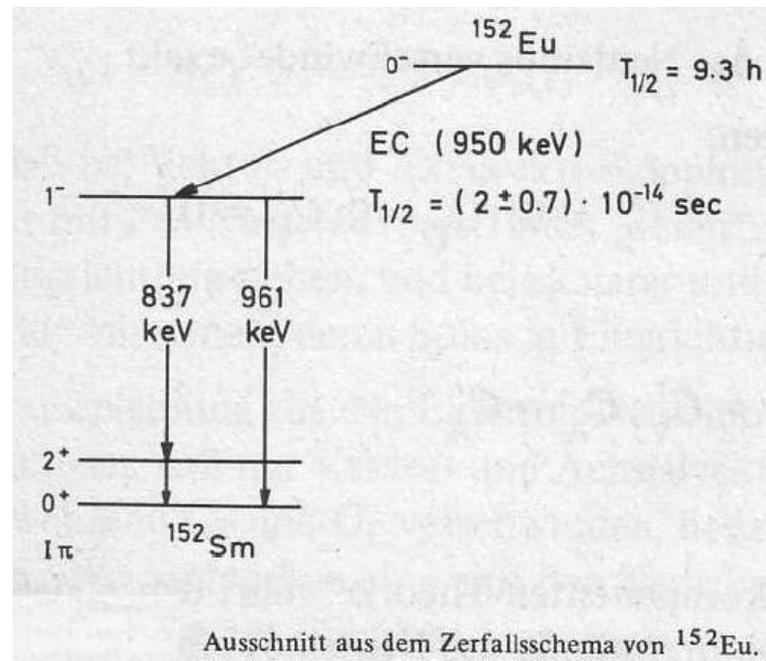
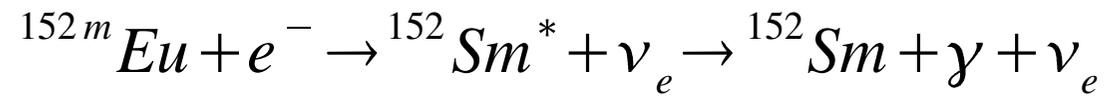
2.6 Herausfiltern

1. Herausfiltern von γ mit $H(\gamma)=H(v)$

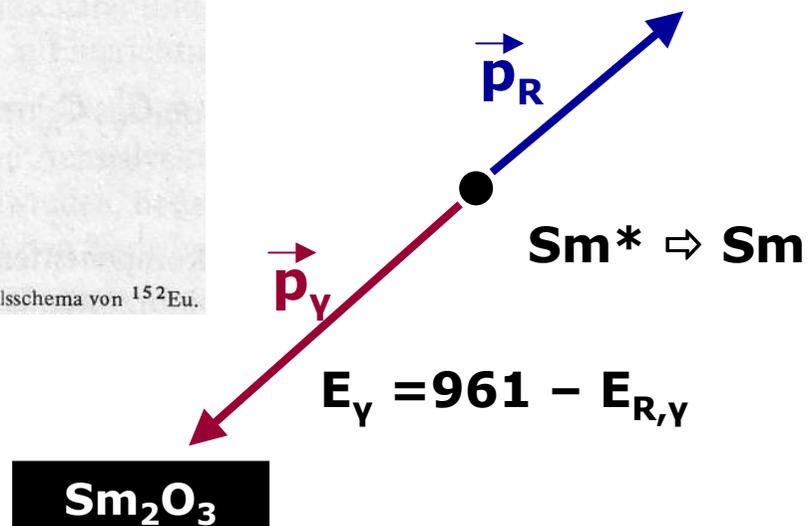
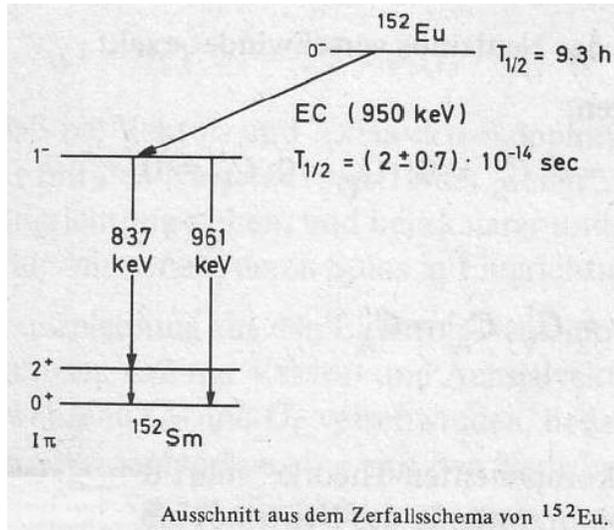
⇒ γ antiparallel zu v

⇒ **Resonanzstreuung**

2.7 Zerfallsschema ^{152}Eu



2.8. Resonanz"streuung" (1)

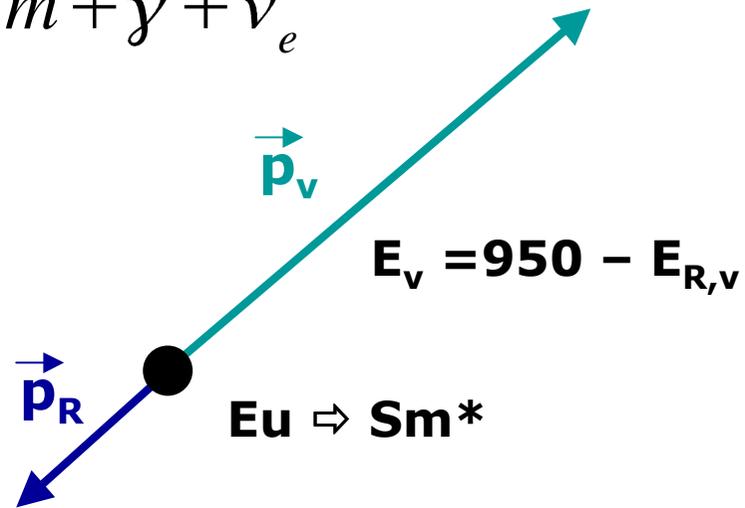
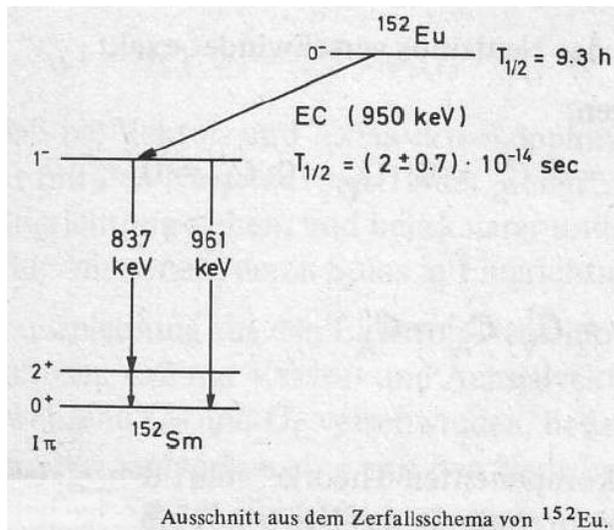
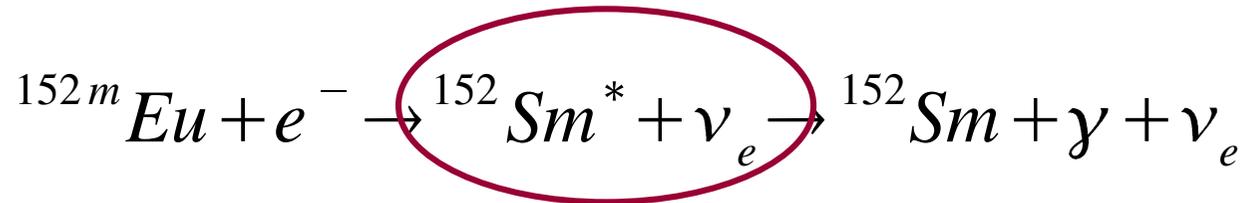


$$\vec{p}_Y = -\vec{p}_R$$

$$p = E_Y / c$$

$$E_{R,Y} = p^2 / (2m) = 3.12 \text{ eV}$$

2.8. Resonanz"streuung" (2)

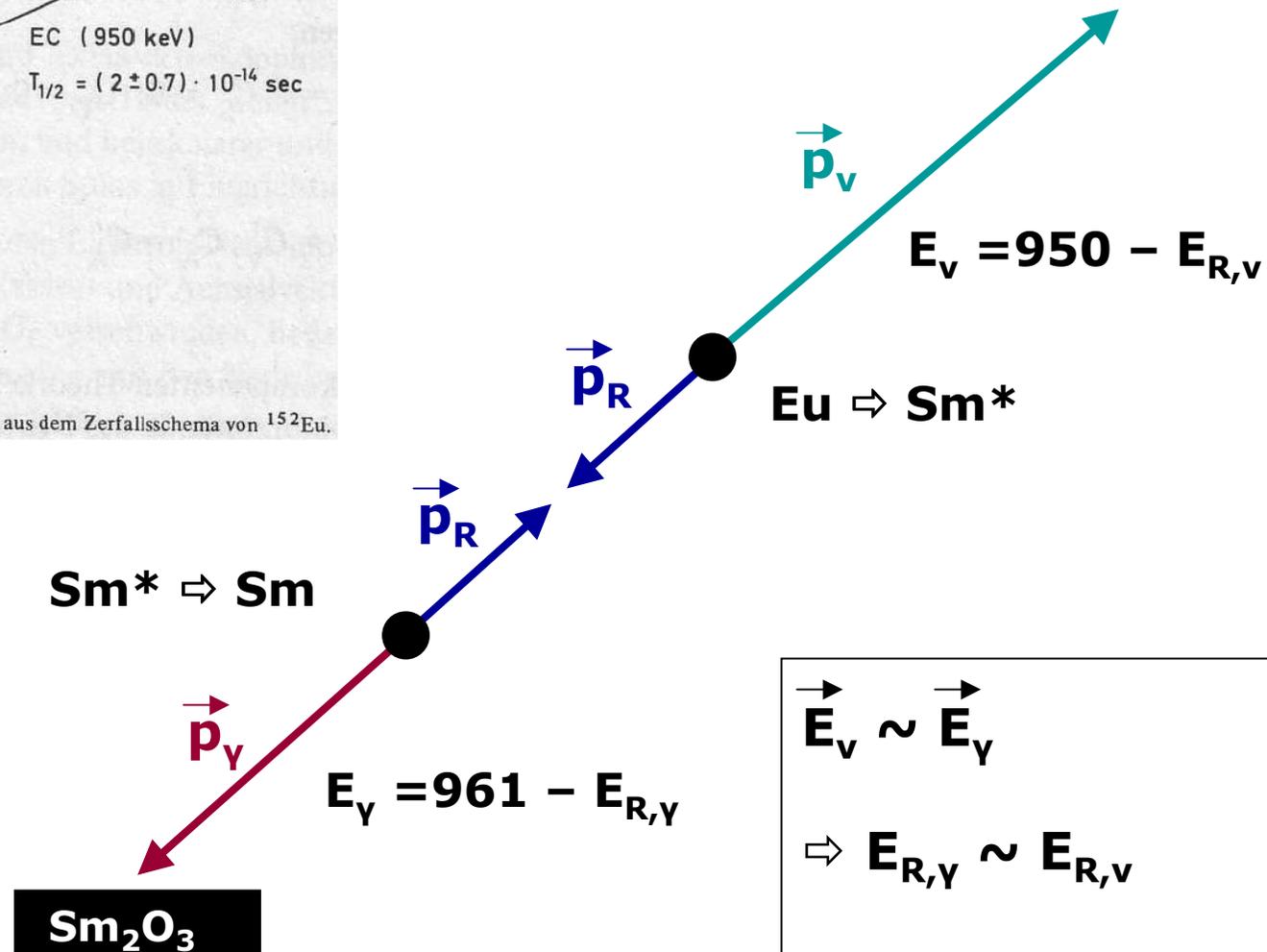
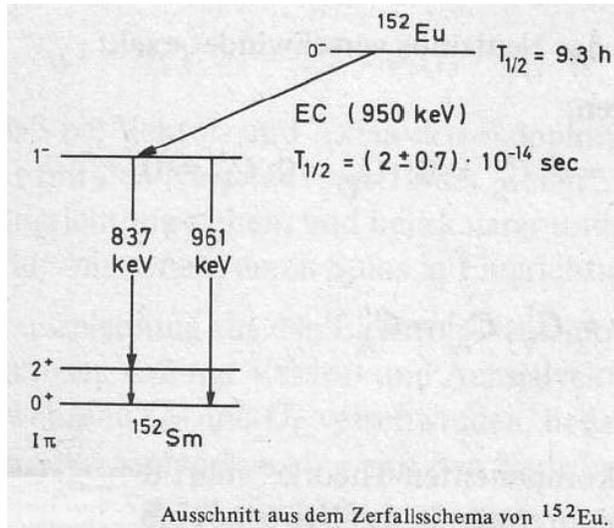


$$\vec{p}_\nu = -\vec{p}_R$$

$$p = E_\nu / c$$

$$E_{R,\nu} = p^2 / (2m) = 3 \text{ eV}$$

2.8. Resonanz"streuung" (3)



2.9. Compton Streuung (1)

1. Resonanzstreuung filtert γ mit
 $H(\nu)$ =Zirkularpolarisation (γ)
2. Zirkularpolarisation(γ)?

$d\sigma/d\Omega$ für Comptonstreuung an magnetisiertem Fe
abhängig von Polarisation:

$$d\sigma/d\Omega (\uparrow\downarrow) > d\sigma/d\Omega (\uparrow\uparrow)$$

2.10. Compton Streuung (2)

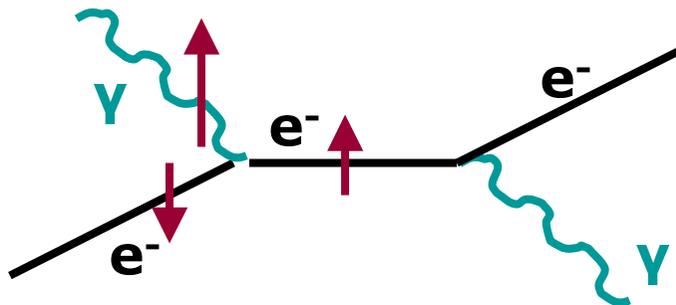
$$d\sigma/d\Omega (\uparrow\downarrow) > d\sigma/d\Omega (\uparrow\uparrow)$$

Compton-WQ

$$d\sigma/d\Omega = A + B$$

A: Polarisations-unabhängig

B: Polarisations-abhängig



**Feynmandiagramm
Comptonstreuung**

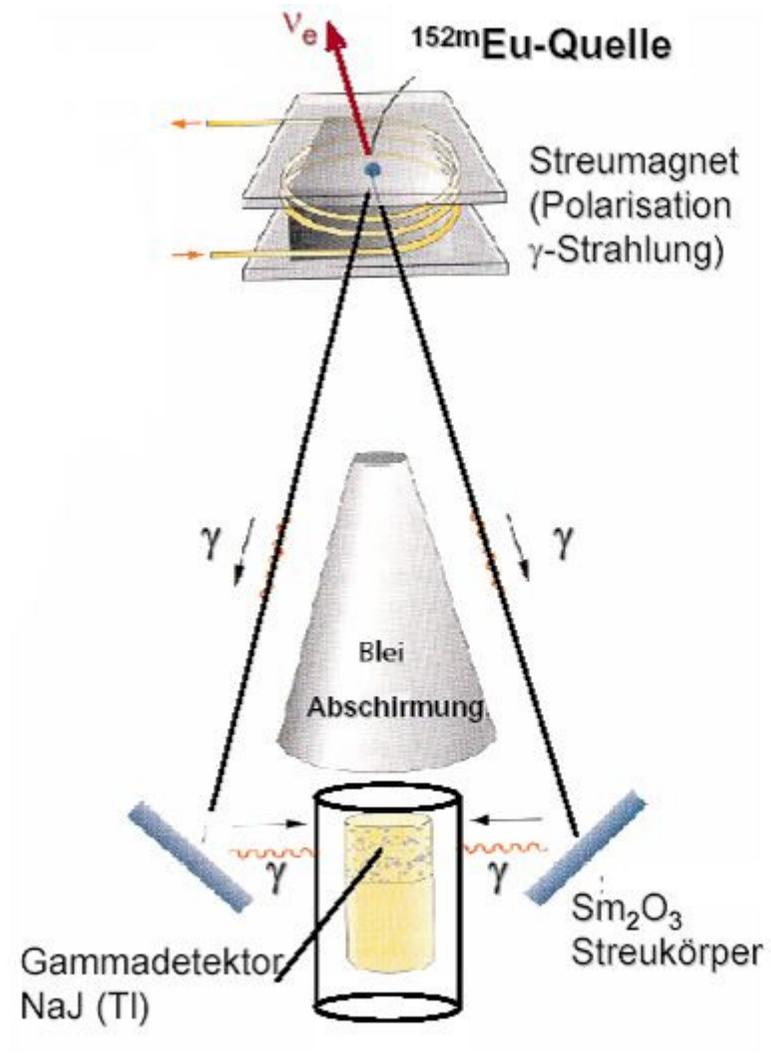
2.11. Comptonstreuung (3)

$$d\sigma/d\Omega (\uparrow\downarrow) > d\sigma/d\Omega (\uparrow\uparrow)$$

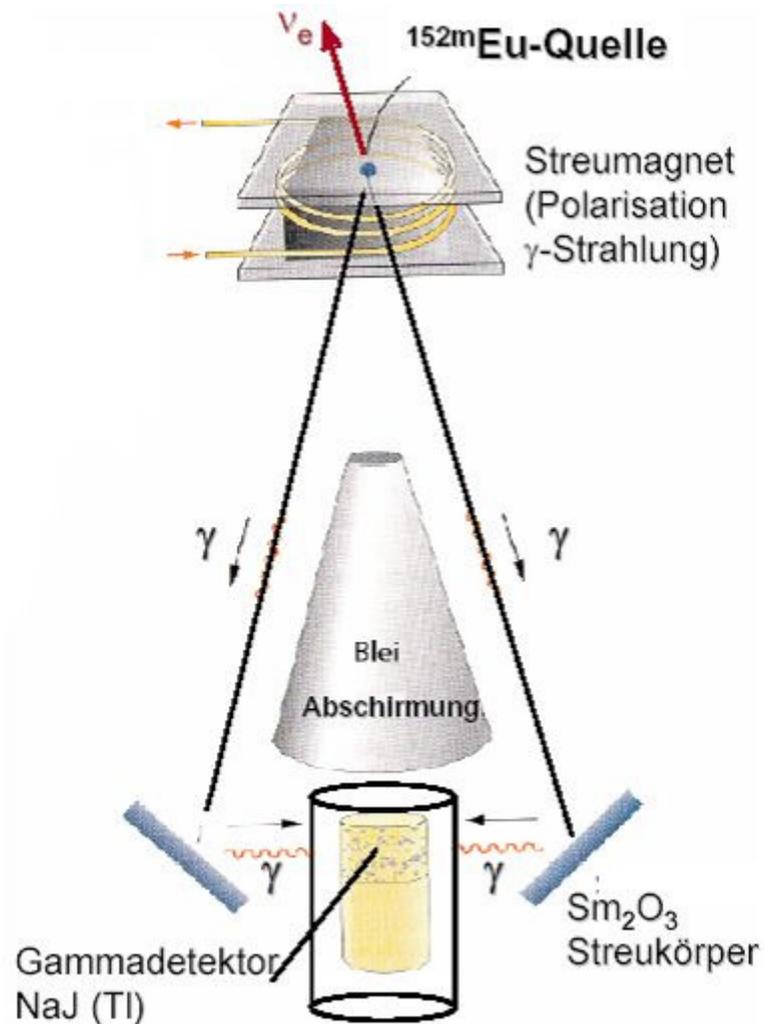
⇒ **Bestimmung Polarisation der γ**

⇒ **$H(\gamma) = H(\nu)$**

3. Aufbau



4. Durchführung (1)

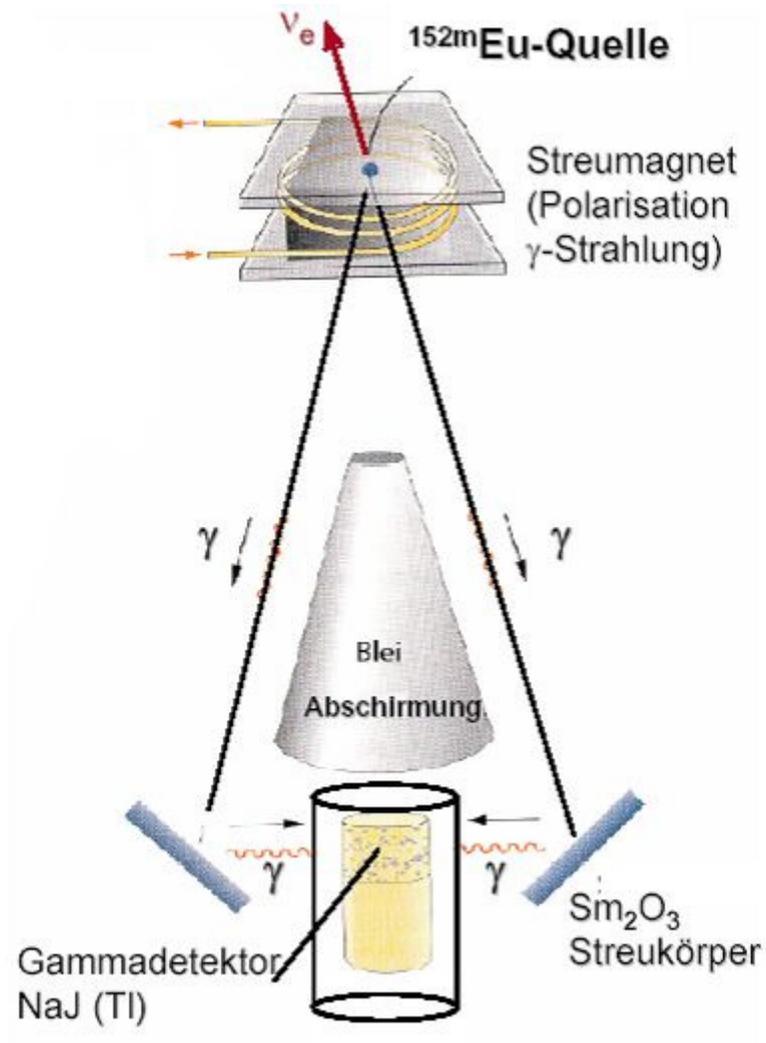


^{152}mEu muss ständig erzeugt werden

Bestimmung von Untergrund mit anderem Streukörper

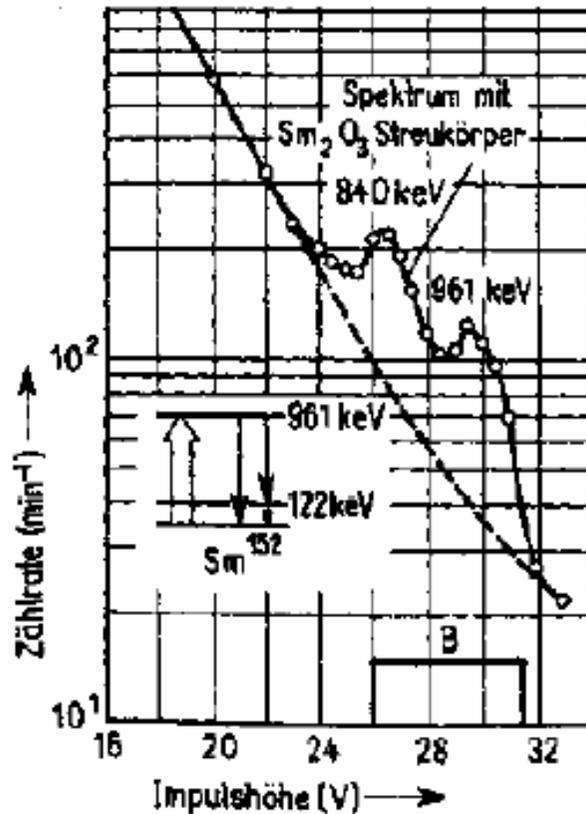
Test Magnetschild mit ^{207}Bi

4. Durchführung (2)



- **Umpolung Magnetfeld alle 3 min**
- **Messung der Zählrate als Funktion der Polarisationsrichtung**

5. Auswertung



Vorläufiges Ergebnis:

$$\delta = \frac{N_- - N_+}{(1/2) \cdot (N_- + N_+)} = 0,017 \pm 0,003$$

N_+ = Counting rate with magnetic field up

N_- = Counting rate with magnetic field down

5. Interpretation

1. Vorläufiges Ergebnis:

$$\delta = 0.017 \pm 0.003$$

2. Theoretische Erwartung (100% Polarisation):

$$\delta = \pm 0.025 (\pm 0.003)$$

$$H > 0 : \text{„-“}$$

$$H < 0 : \text{„+“}$$

⇒ γ -Strahlung zu $(68 \pm 14)\%$ polarisiert,

$$H < 0$$

5. Korrektur

Unsicherheiten:

- **Breite der γ -Linie**
 - **Exakte Richtung der γ -Strahlung**
 - **Thermische Bewegung (Eu, Sm_2O_3)**
- ⇒ **Polarisation im Idealfall 75% statt 100%**
- ⇒ **Neutrino-Helizität $H=-1$ stimmt mit den Messwerten überein**

6. Ergebnis

"Thus our result seems compatible with spin 0⁻ for Eu^{152m} and 100 % negative helicity of the neutrinos emitted in orbital electron capture"

(M. Goldhaber)

7. Heutige Sicht

Neutrinos oszillieren

⇒ **Sie haben eine endliche Masse**

⇒ **Es müsste rechts- und linkshändige Neutrinos geben**

Aber:

Man fand bisher nur linkshändige Neutrinos

Mögliche Erklärung:

W-Bosonen koppeln nur an linkshändige Neutrinos

& Schwache WW als einziger Neutrionachweis

Zusammenfassung

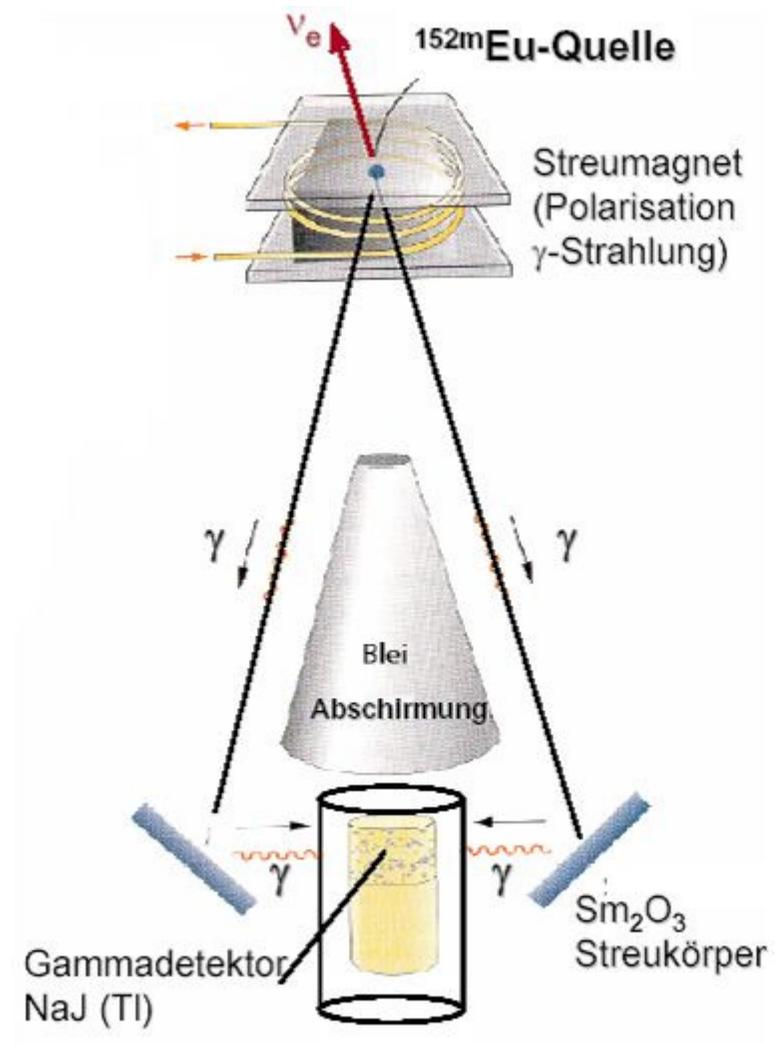
Goldhaber-Experiment

Ziel:

Helizität Neutrinos

Ergebnis:

$H(\nu) = -1$



Vielen Dank!

Quellenverzeichnis (21.04.07) :

<http://www-ik.fzk.de/~drexlin/Vorlesung2.pdf>

www.physik.rwth-aachen.de/~stahl/Seminar/Kaufmann.ppt

„Helicity of Neutrinos“, Goldhaber, Grodzins, Sunyar -
Phys.Rev. 1957