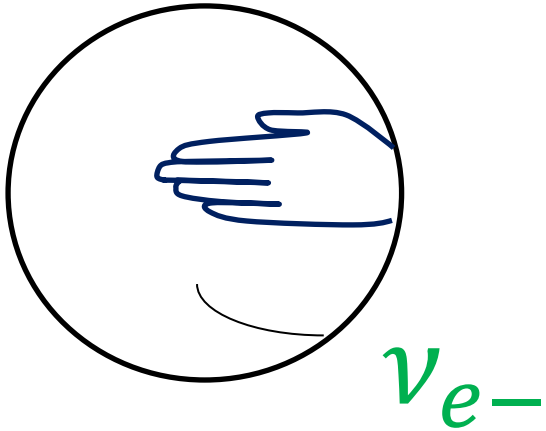
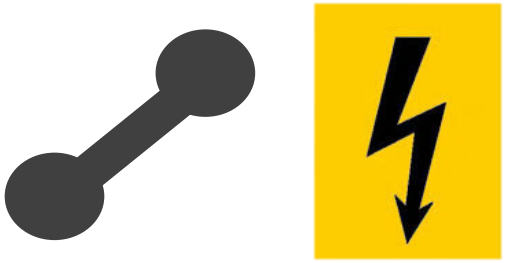




Das Goldhaber Experiment

durchgeführt von :

Maurice Goldhaber, Lee Grodzins und Andrew William Sunyar

Gliederung

- Motivation
- Physikalische Grundlagen
- Experiment
- Durchführung
- Zusammenfassung
- Quellen

Paritätsverletzung

- Bei schwacher Wechselwirkung nicht erhalten

- Parität in QM $\widehat{=}$ Rotationssymmetrie des Wellenfunktion
  P$\psi(\vec{r})$= $\pm\psi(\vec{r})$

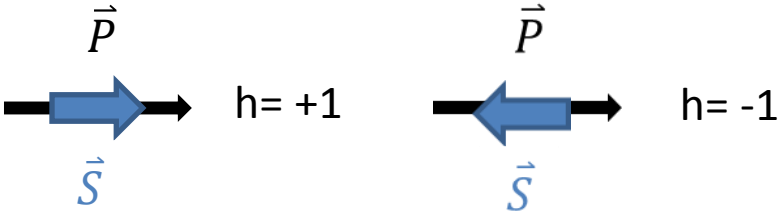
Erklärung:

- Schwache Wechselwirkung koppelt nur an linkshändige Teilchen und rechthändige Antiteilchen

→ Goldhaber Experiment

Helizität

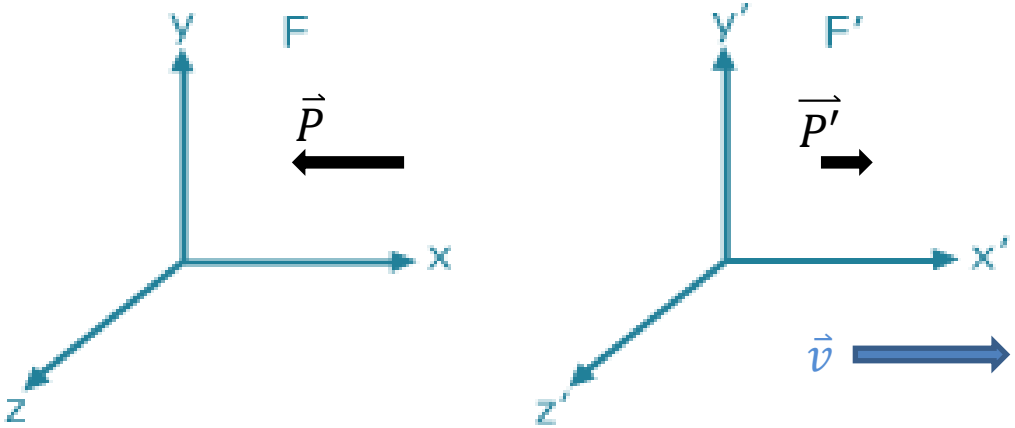
- Definition: h= $\frac{\vec{S}\cdot\vec{P}}{|\vec{S}|\cdot|\vec{P}|}$ (= ± 1)



→ Projektion Spin auf Impulsrichtung

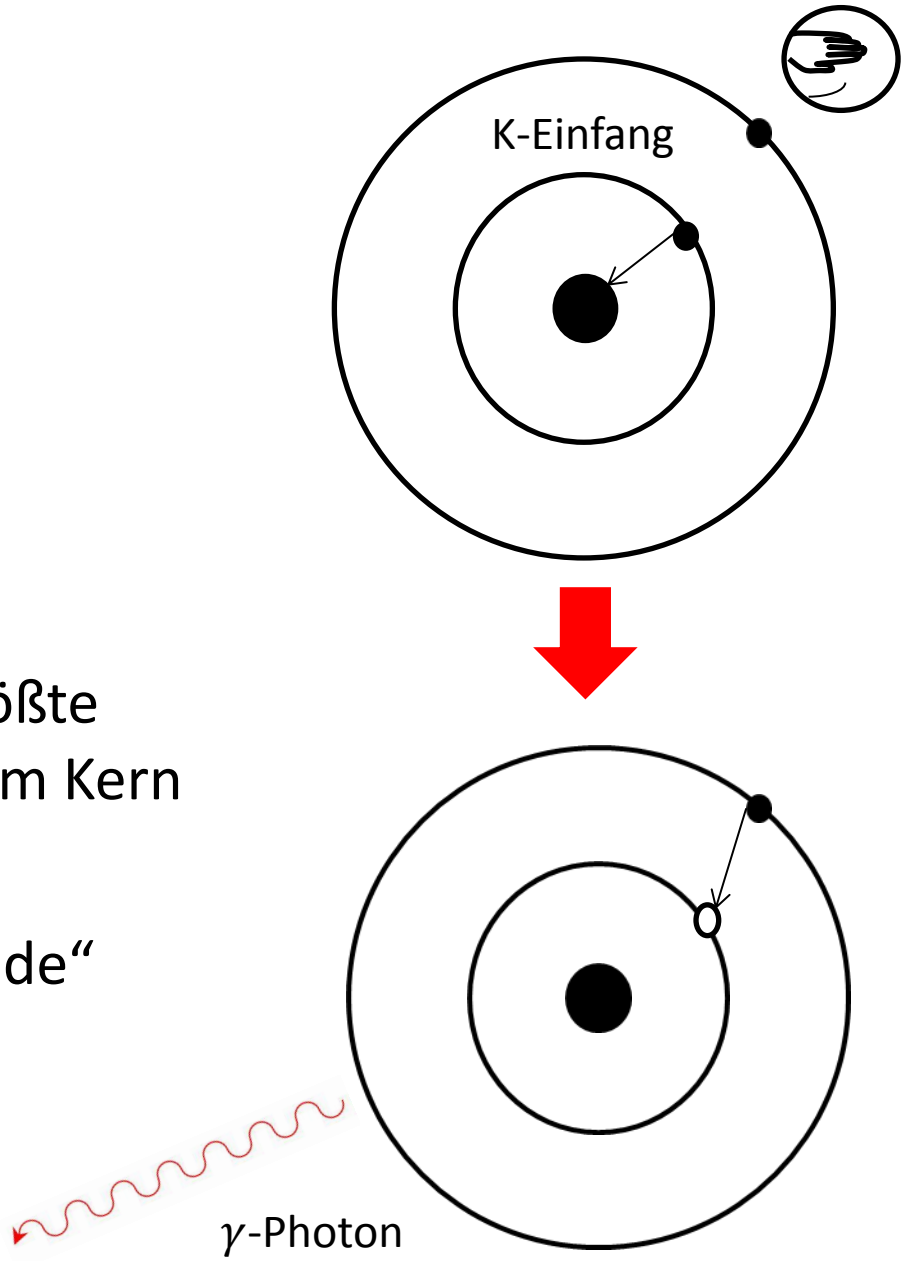
- Nur für masselose Teilchen eindeutig definiert

- Massive Teilchen: Helizität hängt von Bezugssystem ab



K-Einfang

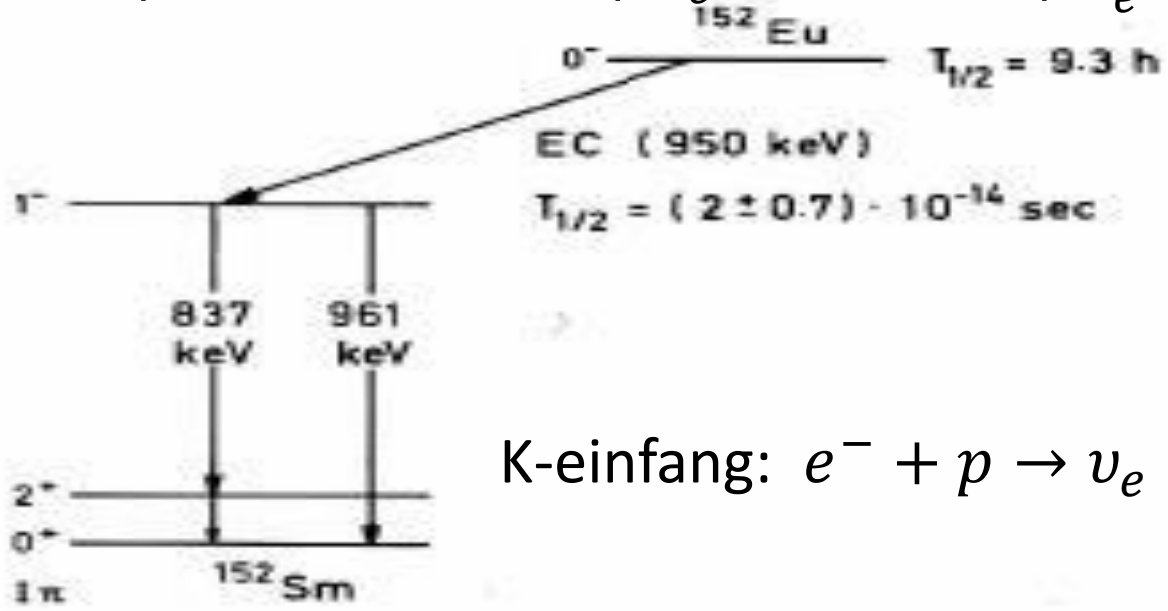
- $e^- + p \rightarrow \upsilon_e + n$
- vor allem bei schweren Kernen
- e^- zu 90% aus K-Schale, da größte Aufenthaltswahrscheinlichkeit im Kern
- $\gamma-$Strahlung durch e^-- „Kaskade“ aus höheren Energieniveaus



Idee

- Bestimmung der Neutrinohelizität aus:

$$^{152}Eu + e^- \rightarrow {}^{152*}Sm + \nu_e \rightarrow {}^{152}Sm + \nu_e + \gamma$$

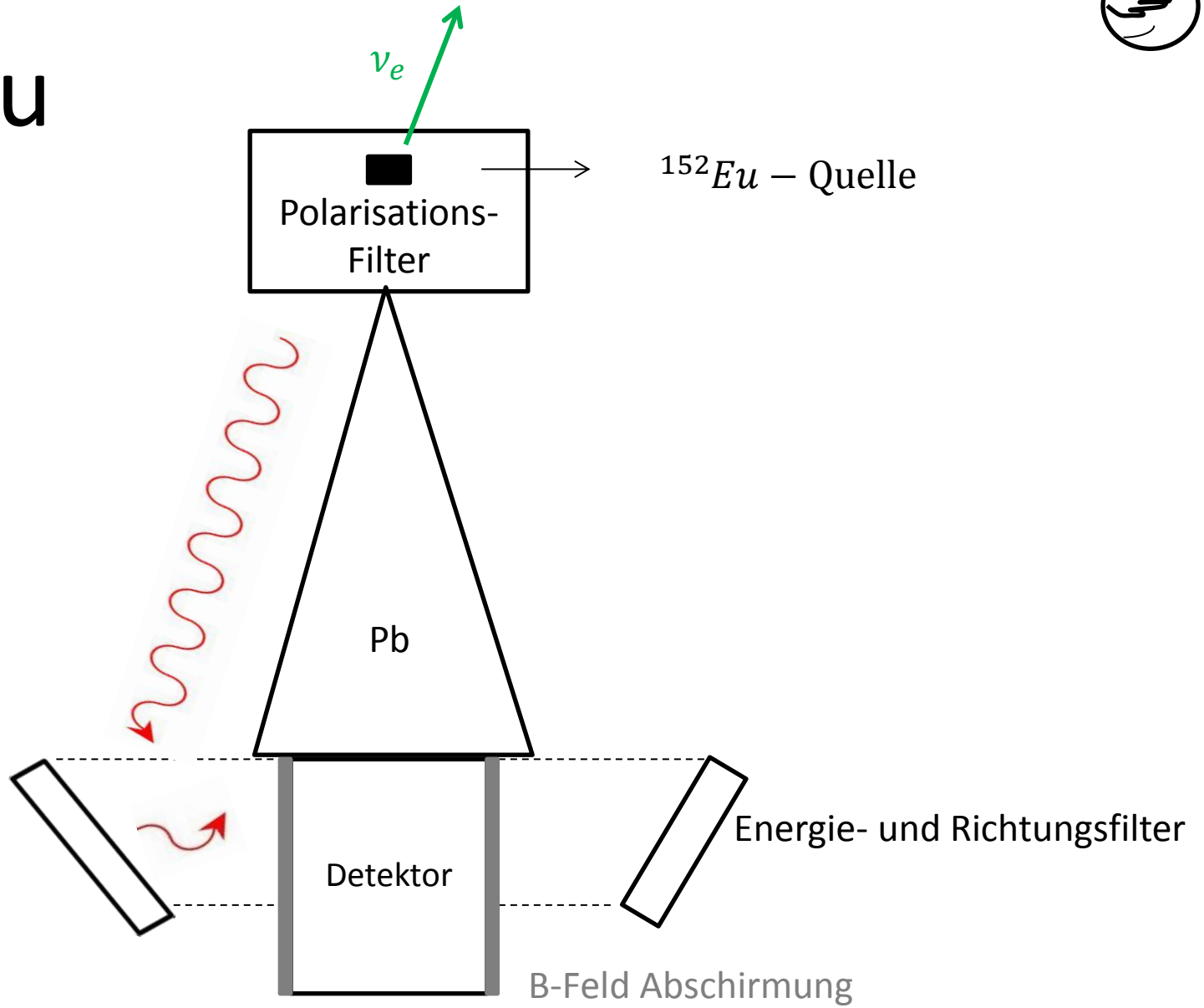


K-einfang: $e^- + p \rightarrow \upsilon_e + n$

Abb. 1, Quelle (7): Ausschnitt aus dem Zerfallsschema von ^{152}Eu

→ Spin- und Impulsbetrachtung: Messung der Helizität des Photons!

Aufbau


ν_e
Polarisations-Filter
^{152}Eu – Quelle
Pb
Detektor
Energie- und Richtungsfilter
B-Feld Abschirmung

Resonante Streuung

- Theoretisch: γ wird von Atom absorbiert und wieder spontan emittiert

  $\rightarrow$ γ-Energie entspricht Energiedifferenz

  $\rightarrow$ Resonante Streuung

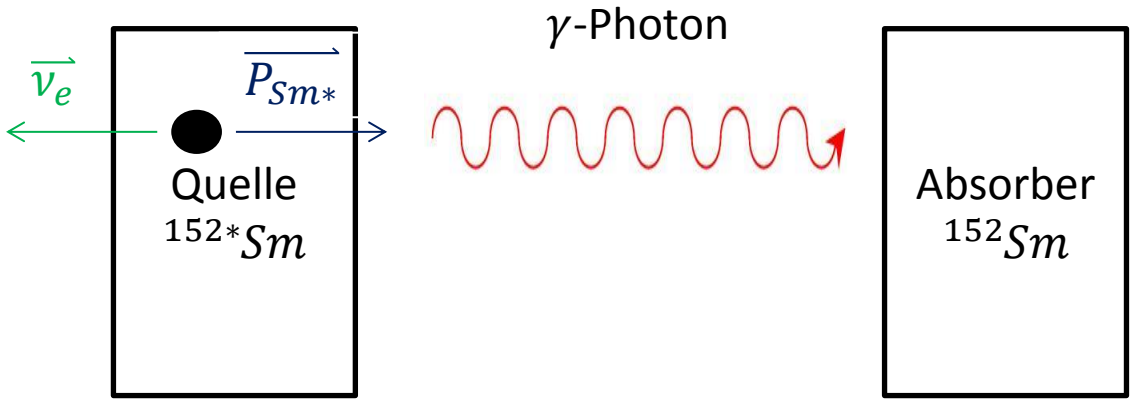
- Aber: Verletzung der Energieimpulserhaltung

  $\rightarrow$ findet in der Natur nur selten statt (Rückstoßenergien)

Hier:

- Verletzung der Energieerhaltung wird über Dopplereffekt umgangen

$$^{152}Eu + e^- \rightarrow {}^{152*}Sm + \nu_e \rightarrow {}^{152}Sm + \nu_e + \gamma$$



- Strahlungsquelle bewegt sich auf Absorber zu

  → Rückstoßimpuls durch Neutrino führt zu Impuls in Richtung γ-Emission!

Impulsbilanz

$$^{152}Eu + e^- \rightarrow {}^{152*}Sm + \nu_e \rightarrow {}^{152}Sm + \nu_e + \gamma$$

$$\rightarrow p_{R(\upsilon)} = -p_{\nu},$$

$$E_R(\nu) = \frac{p_R^2(\nu)}{2M_R} = \frac{E_\nu^2}{2M_R c^2} = \frac{0{,}950^2}{2 \cdot 152 \cdot 938}\ \text{MeV} = 3{,}12\ \text{eV}. \qquad E_R = \frac{0{,}961^2}{2 \cdot 152 \cdot 938}\ \text{MeV} = 3{,}2\ \text{eV}.$$

→ aber: natürliche Linienbreite ist nur:

$$\Delta E_{nat} = \frac{\hbar}{\tau} = \frac{0{,}658 \cdot 10^{-15}}{3 \cdot 10^{-14}}\ \frac{\text{eV sec}}{\text{sec}} = 0{,}023\ \text{eV}.$$

$$p_R = p_{R(\nu)} - p_{R(\gamma)} = \frac{E_\nu - h\nu}{c}$$

$$E_R = \frac{(E_\nu - h\nu)^2}{2M_R \cdot c^2} = \frac{0{,}011^2}{2 \cdot 152 \cdot 938}\ \text{MeV} = 4 \cdot 10^{-4}\ \text{eV},$$

$$E_\gamma = E_{exc} + E_R(\nu) - E_R = E_{exc} + 3{,}12\ \text{eV}.$$

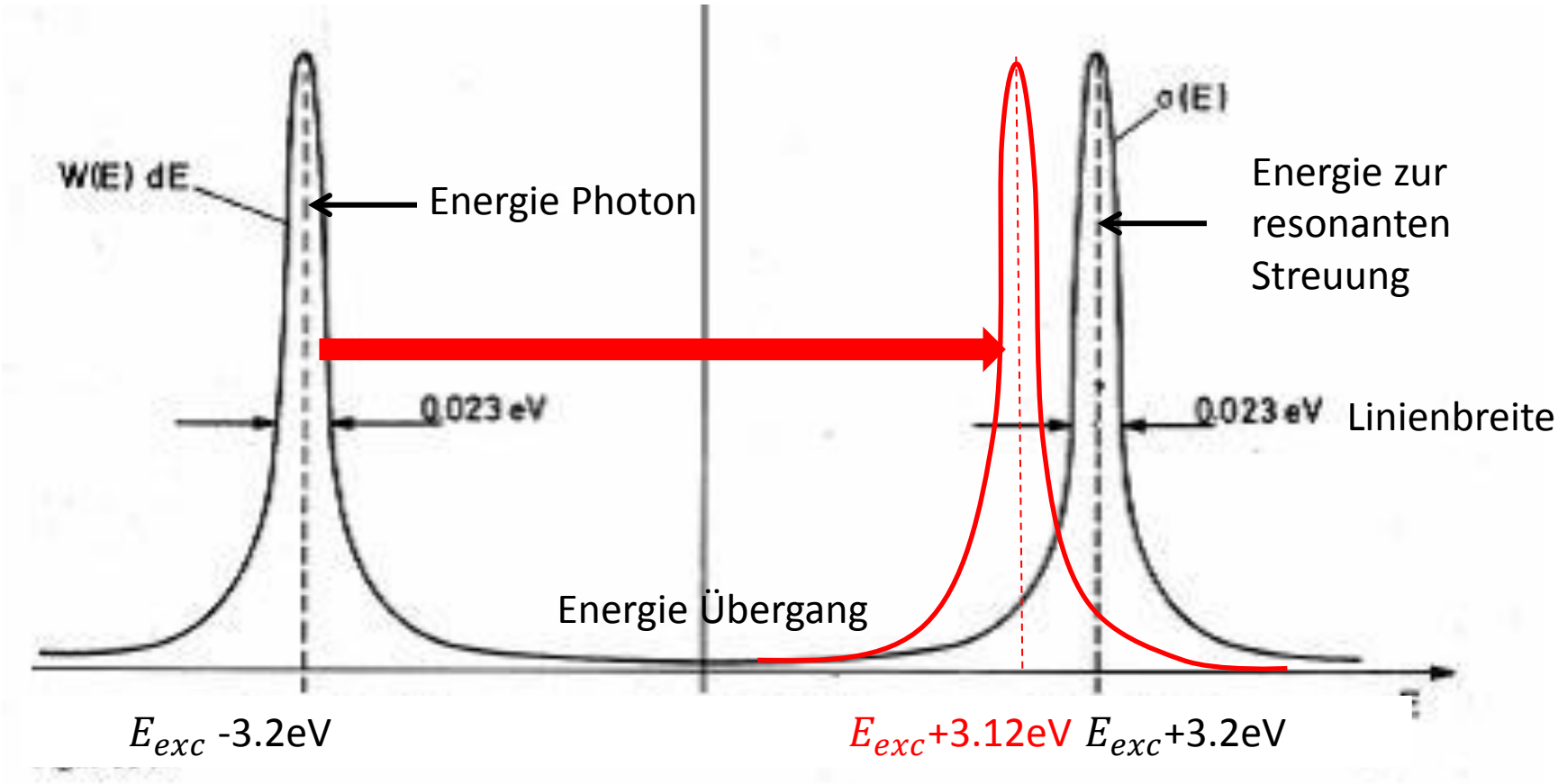


Abb. 2, Quelle (7) : Schematische Darstellung des Emissionsspektrums und der Absorptionslinie des 961keV Übergangs in ^{152}Sm

→ Resonante Streuung kann stattfinden

$$\frac{\overrightarrow{P_\nu}}{|\overrightarrow{P_\nu}|} = -\frac{\overrightarrow{P_\gamma}}{|\overrightarrow{P_\gamma}|}$$

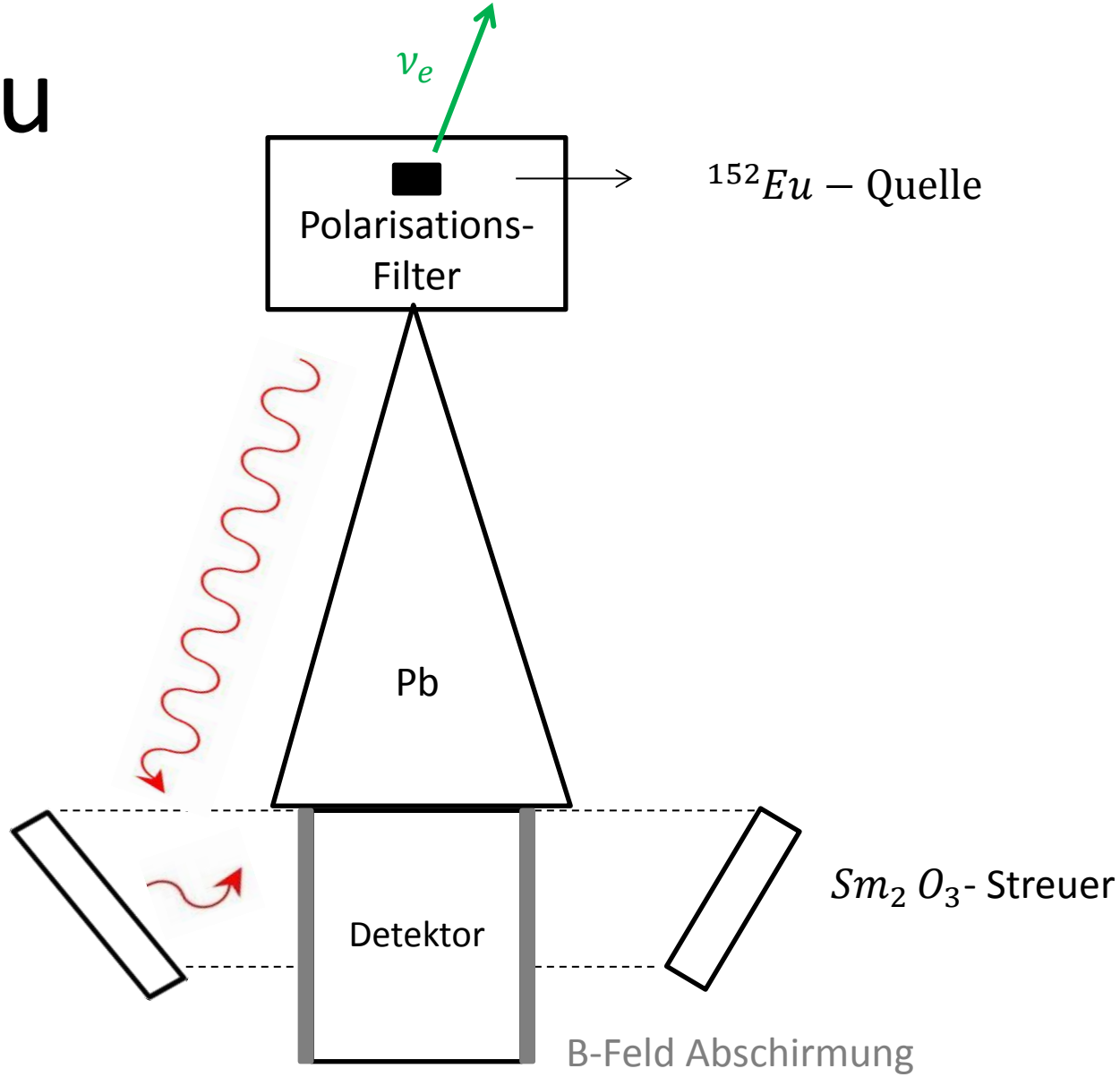
Aber:

- ν_e-Emissionsrichtung nicht genau entgegengesetzt zur γ-Emissionsrichtung

→ γ-Energie wird kleiner; weniger Überlappung

→ Resonanz-Fluoreszenz ist empfindlicher Detektor für Richtung ν_e-Emission

Aufbau


ν_e
Polarisations-Filter
^{152}Eu – Quelle
Pb
Detektor
$Sm_2\,O_3$- Streuer
B-Feld Abschirmung

Drehimpulsbilanz

Aus Drehimpulserhaltung folgt: $I_{Eu}+j_e= I_{Sm*}+j_\nu=I_{Sm}+j_\nu+j_\gamma$

$$^{152}Eu \quad + \quad e^- \quad = {}^{152*}Sm + \nu_e \quad = {}^{152}Sm + \nu_e + \gamma$$

		↑	↑	↓		↓	↑
m_z	0	+1/2	+1	-1/2	0	-1/2	+1
		↓	↓	↑		↑	↓
m_z	0	-1/2	-1	+1/2	0	+1/2	-1

$$\rightarrow \quad \frac{\overrightarrow{S_\gamma}}{|\overrightarrow{S_\gamma}|} = - \frac{\overrightarrow{S_\nu}}{|\overrightarrow{S_\nu}|}$$

Ergebnis

- $\frac{\overrightarrow{P_\nu}}{|\overrightarrow{P_\nu}|} = -\frac{\overrightarrow{P_\gamma}}{|\overrightarrow{P_\gamma}|}$ $\qquad \frac{\overrightarrow{S_\gamma}}{|\overrightarrow{S_\gamma}|} = -\frac{\overrightarrow{S_\nu}}{|\overrightarrow{S_\nu}|}$

Zwei Fälle: Neutrino Photon

1.

2.

$\Rightarrow$ $h(\nu_e) = h(\gamma)$

Rolle des B-Felds

- Fe-Magnet: Comptonstreuung der γ an ausgerichteten e_-
- Wirkungsquerschnitt ist abhängig von Polarisation

<u>Klein-Nishna-Wirkungsquerschnitt:</u>

$$\boxed{\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{e^4}{2\cdot(4\pi)^2\cdot\varepsilon_0^2 m_e^2 c^4}\cdot\left(\frac{k'}{k}\right)^2\cdot(\varphi_0 + f\cdot P_c(\gamma)\cdot\varphi_c)}$$

$$\varphi_c = -(1-\cos\theta)\cdot\{(\mathbf{k}\cos\theta + \mathbf{k}')\cdot\boldsymbol{\sigma}_e\}\cdot\frac{1}{2\pi\cdot m_e\cdot c}\cdot$$

$$\varphi_0 = 1 + \cos^2\theta + (k'-k)\cdot(1-\cos\theta)\cdot\frac{1}{2\pi\, m_e\cdot c}$$

$d\Omega$= Raumwinkelelement

$\vec{k}=\frac{1}{\hbar}\vec{p}_\gamma$ Wellenvektor γ-Strahlung vor Streuung

$\vec{k'}=\frac{1}{\hbar}\vec{p'}_\gamma$ Wellenvektor γ-Strahlung nach Streuung

$P_c(\gamma)$= γ-Polarisation

$|\vec{k}|, |\vec{k'}|$= Wellenzahlen

θ= Comptonstreuwinkel

$\vec{\sigma}$= Polarisationswinkel der e^-

f= Bruchteil der e^-, die polarisiert sind

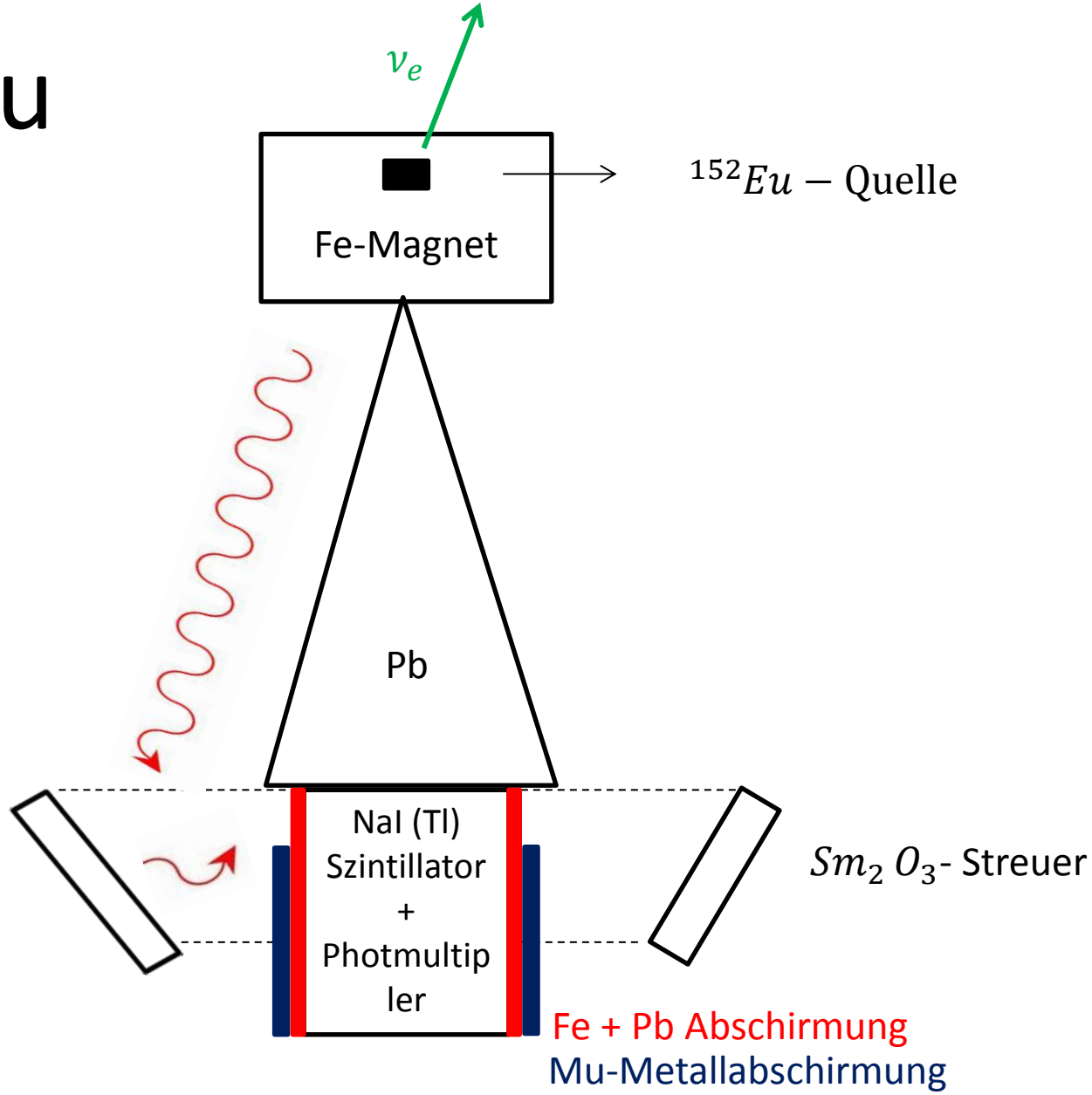
- Polarisationsmessung: B-Feld Umpolung im 3-min Rhythmus und Messung unterschiedlicher Zählraten

- γ, die Compton-Streuung vollführen→ Ablenkung und Energieverlust → keine resonante Streuung mehr möglich

- Zirkularpolarisation: Schwächung der Zählrate verschieden

$$\boxed{\frac{d\sigma}{d\Omega}(\uparrow\downarrow) > \frac{d\sigma}{d\Omega}(\downarrow\downarrow)}$$

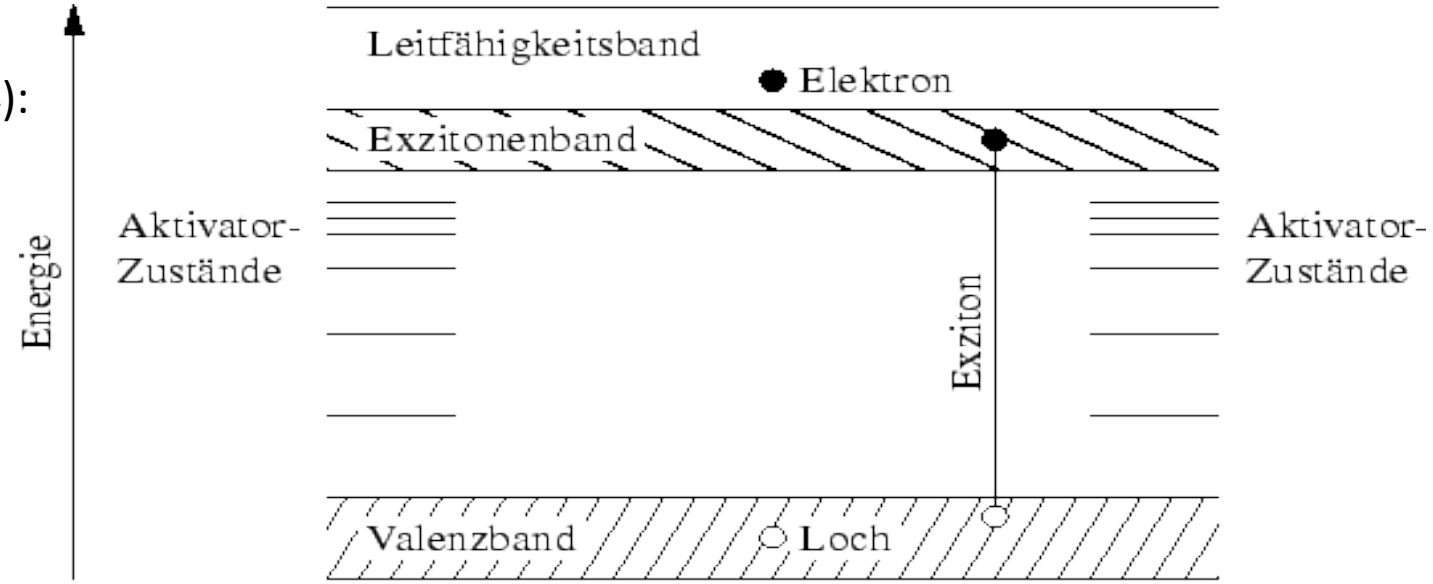
Aufbau


ν_e
^{152}Eu – Quelle
Fe-Magnet
Pb
NaI (Tl)
Szintillator
+
Photmultip
ler
$Sm_2\,O_3$- Streuer
Fe + Pb Abschirmung
Mu-Metallabschirmung

Szinillationszähler

- Hier: anorganisch (NaI mit 0,1% Thallium dotiert)
- Strahlung erzeugt: Exzitonen, Elektron-Loch-Paare
- Rekombination in Telluratomen
  →Strahlung im sichtbaren Bereich

Abb. 3, Quelle (4):



Untergrund

- Bestimmung Untergrund ohne B-Feld mit und ohne resonantem Streuer
- Sm-Streuer: deutliche Peaks bei 840keV und 960 keV

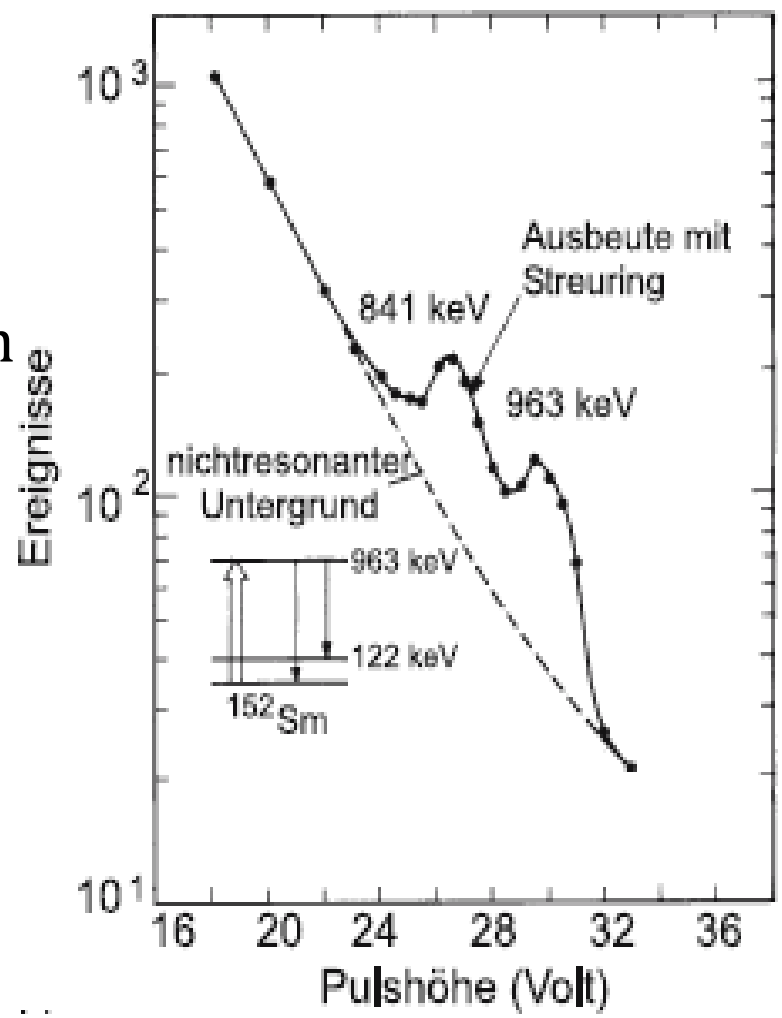


Abb. 4, Quelle (8)

Ergebnis

- gemessen: $\boxed{\delta = \frac{N_- - N_+}{0.5 \times (N_- + N_+)} = +0.017 \pm 0.003}$

N_- = Zählrate B-Feld nach unten; N_+ = Zählrate B-Feld nach oben

- effektive Weglänge Photonen im Magneten $\sim(3 \pm 0.3)\ \lambda$

→theoretischer Wert: $\boxed{\delta = \pm\ 0.025 \pm 0.0025\ (100\%\ \text{pol.}\ \gamma)}$
→nur (68±14)% Polarisation; negative Helizität

- 3 Druchgänge mit dünnerem Magneten
→ (66±15)% Polarisation; negative Helizität

Zusammenfassung

Korrekturen:

- Neutrino Energie; natürliche Linienbreite; Unsicherheit im Winkel zwischen ν_e und γ

Wu: exp. Bestätigung: Paritätsverletzung schwacher WW

Goldhaber: negative Helizität Neutrino über Photonen:

$$H(\gamma) = H(\nu_e) \text{ bestätigt}$$

Deutung:

- Symmetriebruch; schwache WW koppelt nur an linkshändige Neutrinos bzw. rechtshändige Antineutrinos

Quellen:

1. http://de.wikipedia.org/wiki/Goldhaber-Experiment (03.12.2014)

2. http://de.wikipedia.org/wiki/Parit%C3%A4tsverletzung (03.12.2014)

3. http://de.wikipedia.org/wiki/Helizit%C3%A4t (03.12.2014)

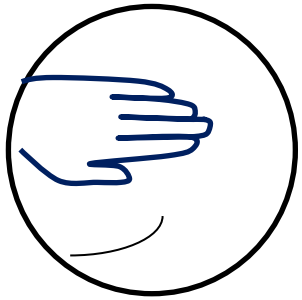
4. https://www.mppmu.mpg.de/~rwagner/skript/Szintillation.html (03.12.2014)

5. http://www.google.de/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=3&ved=0CC0QFjAC&url=http%3A%2F%2Fwww.physi.uni-heidelberg.de%2F~fschney%2FSeminar.SS09%2FGoldhaber.pdf&ei=UnS5VOCRFcmuPJCwgbAG&usg=AFQjCNHcgciQxS7huJs5ZXWonOUL6EfH6g (03.12.2014)

Quellen:

6. B. Povh, K. Rith, C. Scholz, F. Zetsche, W. Rodejohann: *Teilchen und Kerne.* Springer-Verlag Berlin, 2014 (27.11.2014)

7. E. Bodenstedt: *Experimente der Kernphysik und ihre Deutung Teil 2.* Wissenschaftsverlag Mannheim, 1979 (27.11.2014)

8. M. Goldhaber, L. Grodzins, A.W. Sunyar*: Helicity of Neutrino*. Physical Review 109 (1958) 1015 (24.11.2014)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!