

HELIZITÄT DES NEUTRINOS – DAS GOLDHABER-EXPERIMENT

Yannik Stradmann

Universität Heidelberg

11. Dezember 2015

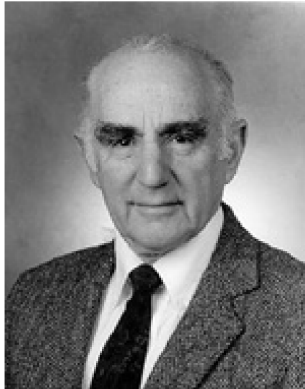
- **1930:** Postulierung des Neutrinos durch Pauli
- **1956:** Erste Beobachtung von Neutrinos (ν_e) durch Cowan und Reines (Nobelpreis 1995)
- **1956:** Wu-Experiment
- **1957:** Goldhaber-Experiment
- **1962:** Erste Erzeugung von Neutrinos (ν_μ) im Beschleuniger durch Steinberger, Schwartz und Lederman (Nobelpreis 1988)
- **2000:** Erster direkter Nachweis des ν_τ

$$\mathcal{H} = \frac{\vec{\sigma} \cdot \vec{p}}{|\vec{\sigma}| \cdot |\vec{p}|}$$

- „Linkshändig“: $\mathcal{H} < 0$
- „Rechtshändig“: $\mathcal{H} > 0$
- Nur für masselose Teilchen eindeutig definiert



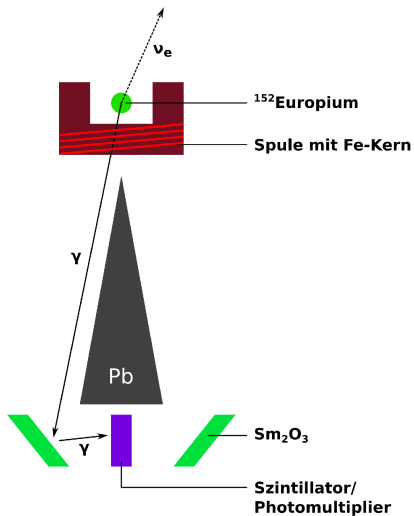
Maurice Goldhaber



Lee Grodzins



Andrew Sunyar

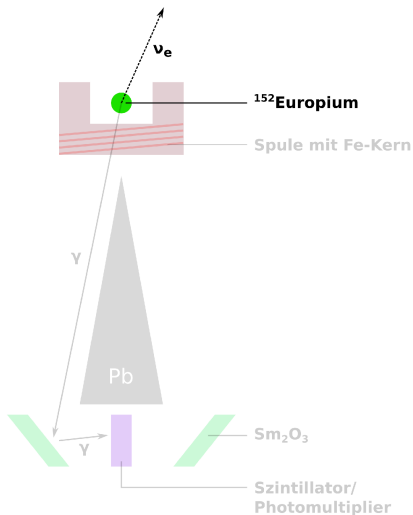


Voraussetzungen:

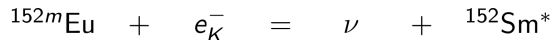
- $\mathcal{H}(\nu_e) = \mathcal{H}(\gamma)$
- Streuung von Photonen in magnetisiertem Eisen ist abhängig von deren Helizität
- Nur den Neutrinos entgegengesetzt emittierte Photonen erreichen den Detektor

Versuchsaufbau

1. Schritt: Übertrag der Neutrinohelizität auf die Helizität des Samarium



- Europium ^{152m}Eu fängt K-Elektron ein



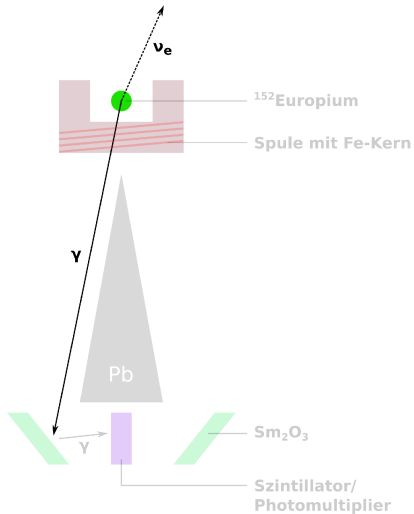
0	+	+1/2	=	-1/2	+	+1
0	+	+1/2	=	+3/2	+	-1
0	+	-1/2	=	-3/2	+	+1
0	+	-1/2	=	+1/2	+	-1

- Impulserhaltung: Kern und Neutrino fliegen in **entgegengesetzte** Richtung

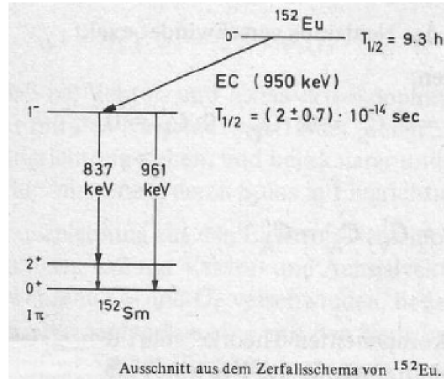
⇒ Helizität des Neutrinos überträgt sich auf Samarium

Versuchsaufbau

2. Schritt: Übertrag der Samariumhelizität auf die Helizität des Photons

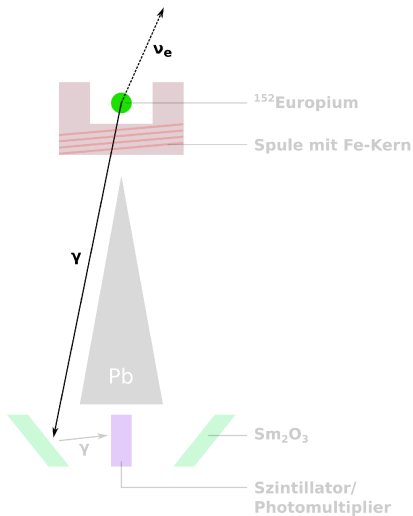


- angeregtes Samarium $^{152}\text{Sm}^*$ emittiert 963keV-Photon



Versuchsaufbau

2. Schritt: Übertrag der Samariumhelizität auf die Helizität des Photons



- angeregtes Samarium $^{152}\text{Sm}^*$ emittiert 963keV-Photon

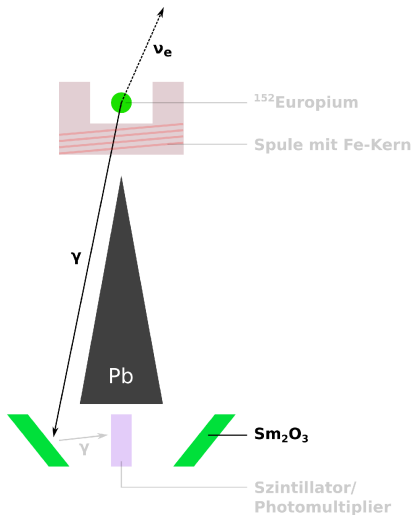
$$\begin{array}{rcccc} ^{152}\text{Sm}^* & = & ^{152}\text{Sm} & + & \gamma \\ \hline +1 & = & 0 & + & +1 \\ -1 & = & 0 & + & -1 \end{array}$$

- Spin des Samarium überträgt sich auf γ
- ⇒ Emission des γ in Bewegungsrichtung des Samarium ⇒ Übertragung der Helizität!

$$\boxed{\mathcal{H}(\nu_e) = \mathcal{H}(\gamma)}$$

Versuchsaufbau

3. Schritt: Selektion der Photonen



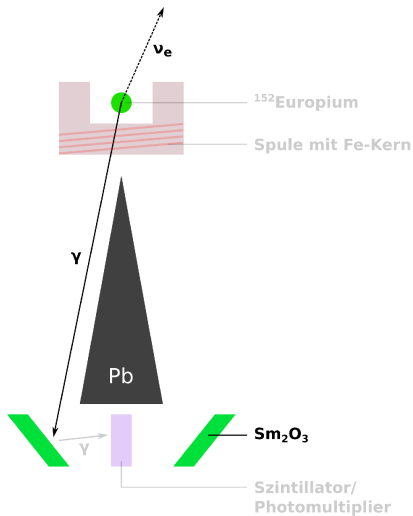
- Wollen selektieren: Photonen, die antiparallel zu Neutrinos emittiert wurden
- Nur die „richtigen“ Photonen bringen das Sm_2O_3 zum fluoreszieren!
- Grund: Energieverlust der γ an Rückstoß des Kerns

$$v(^{152}\text{Sm}) = \frac{p(\gamma)}{m_{152}} = \frac{E(\gamma)}{c \cdot m_{152}}$$

$$E(^{152}\text{Sm}) = \frac{1}{2} \left[\frac{E(\gamma)^2}{m_{152} \cdot c^2} \right] \cong 3 \text{ eV}$$

Versuchsaufbau

3. Schritt: Selektion der Photonen



- Zu kompensierender Energieverlust:

$$E_{\text{recoil}} = 2 \cdot 3 \text{ eV} = \mathbf{6 \text{ eV}}$$

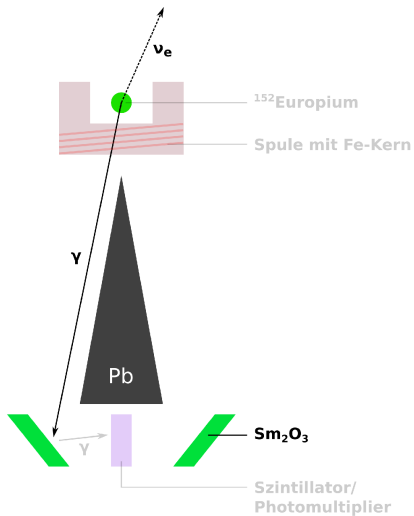
- **Natürliche Linienbreite?**

$$\Gamma = \frac{\hbar}{2\tau} \cong \frac{4 \cdot 10^{-15} \text{ eVs}}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-14} \text{ s}} = \mathbf{0.1 \text{ eV}}$$

⇒ nicht relevant

Versuchsaufbau

3. Schritt: Selektion der Photonen



- Zu kompensierender Energieverlust:

$$E_{\text{recoil}} = 2 \cdot 3 \text{ eV} = \mathbf{6 \text{ eV}}$$

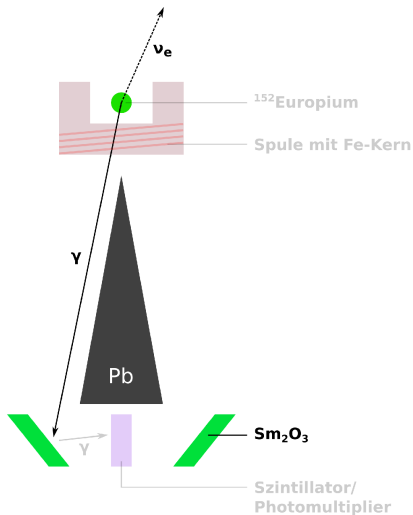
- **thermische Doppleraufweitung der Linien?**

$$k_B T = \frac{m_{152} v^2}{2}$$

$$\Delta E_\gamma = E_\gamma^0 \frac{v}{c} = E_\gamma^0 \sqrt{\frac{2k_B T}{m_{152} c^2}}$$
$$\cong \mathbf{0.5 \text{ eV}} \quad (T=300 \text{ K})$$

Versuchsaufbau

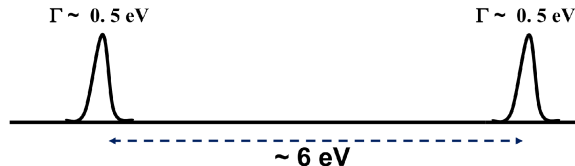
3. Schritt: Selektion der Photonen



- Zu kompensierender Energieverlust:

$$E_{\text{recoil}} = 2 \cdot 3 \text{ eV} = \mathbf{6 \text{ eV}}$$

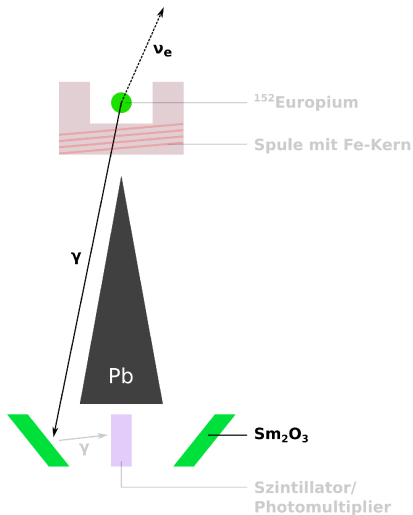
- **thermische Doppleraufweitung der Linien?**



⇒ verbleiben: ca. **5.5 eV**

Versuchsaufbau

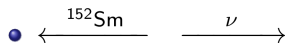
3. Schritt: Selektion der Photonen



- Zu kompensierender Energieverlust:

$$E_{\text{recoil}} - \Delta E_{\text{thermisch}} \cong 5.5 \text{ eV}$$

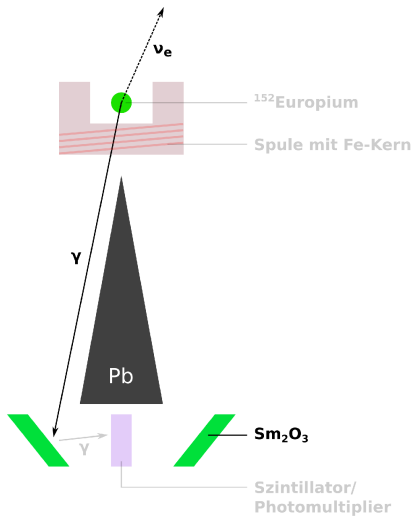
- Das Samarium bewegt sich bei der γ -Emission aufgrund des Neutrinorückstoßes!



⇒ Sm bewegt sich im „richtigen“ Fall während der γ -Emission in die Emissionsrichtung!

Versuchsaufbau

3. Schritt: Selektion der Photonen



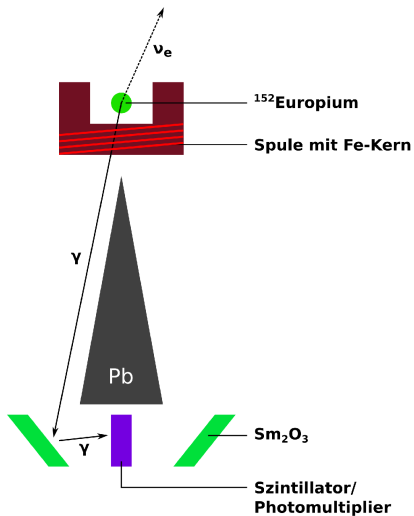
Dopplershift durch bewegtes Samarium:

$$p(^{152}\text{Sm}) = p(\nu) = \frac{E(\nu)}{c}$$

$$\frac{v(^{152}\text{Sm})}{c} = \frac{E(\nu)}{m_{152}c^2}$$

$$\Delta E_{\text{Doppler}} = \frac{E(\gamma)E(\nu)}{m_{152}c^2} = \pm 5.7 \text{ eV}$$

⇒ Nur „richtige“ Photonen haben genug Energie um das Sm_2O_3 zum Fluoreszieren zu bringen!

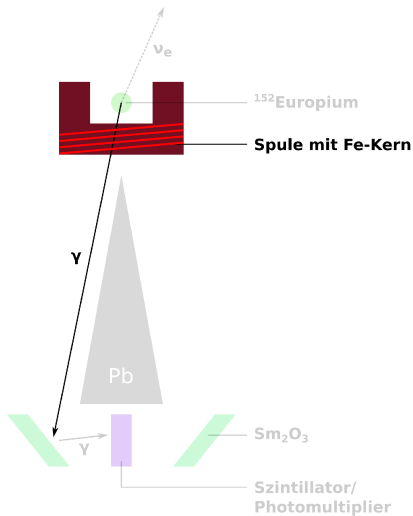


Voraussetzungen:

- $\mathcal{H}(\nu_e) = \mathcal{H}(\gamma)$ ✓
- Streuung von Photonen in magnetisiertem Eisen ist abhängig von deren Helizität
- Nur den Neutrinos entgegengesetzt emittierte Photonen erreichen den Detektor ✓

Versuchsaufbau

Messung der Photonenhelizität



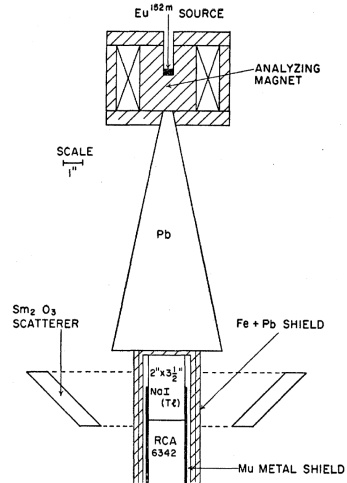
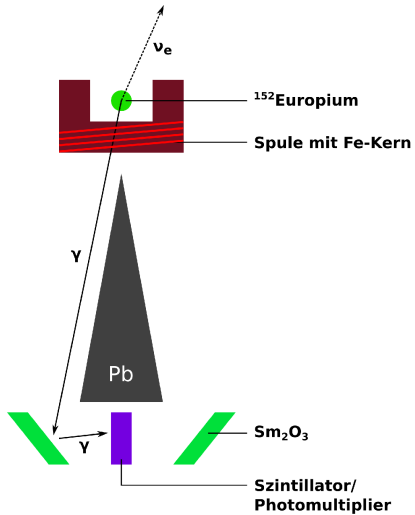
- Compton-Streuquerschnitt der γ am polarisierten Eisen stark vom Photonenspin abhängig:

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

- Gestreute Photonen haben zu wenig Energie für die Resonanzanregung des Sm_2O_3

Versuchsaufbau

Historischer Aufbau



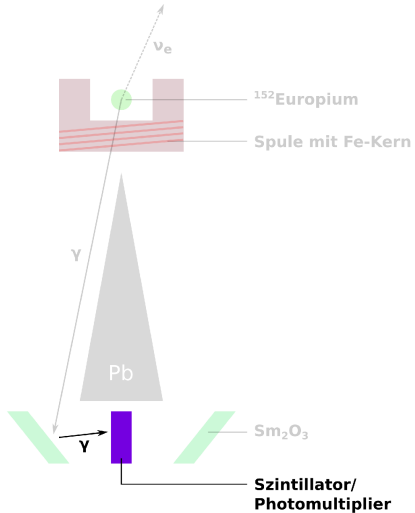
Versuchsaufbau

Historischer Aufbau



Versuchsaufbau

Historischer Aufbau – Szintillator

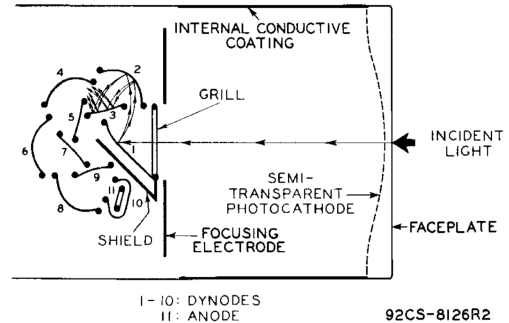
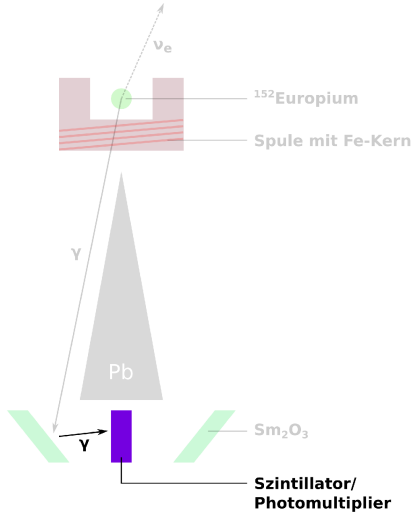


- Verwendeter Szintillator:
 NaI(Tl)



Versuchsaufbau

Historischer Aufbau – Photomultiplier



Versuchsaufbau

Historischer Aufbau – Photomultiplier

Stöbern in Kategorien

Alle Kategorien 

Finden

 Zurück zu den Suchergebnissen | Kategorie: [TV, Video & Audio](#) > [Audio- & Video-Raritäten](#) > [Elektronenröhren & Valves](#)



flagshipaudio

NOS NIB RCA 6342-A Photomultiplier Photo Camera Tube Vacuum Tube

Artikelzustand: --
"As shown"

US \$599,95
Ca. EUR 566,28

Sofort-Kaufen

In den Warenkorb

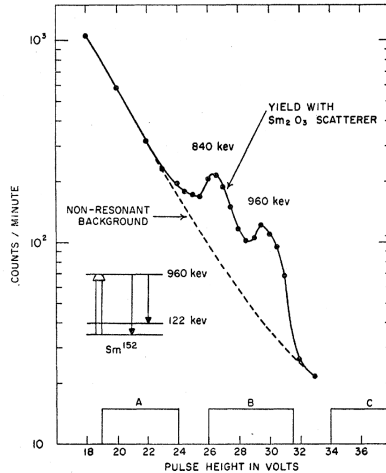
Preisvorschlag senden

[Auf die Beobachtungsliste](#)
[Zur Kollektion hinzufügen](#)
2 Beobachter

Erfahrener Verkäufer	Kostenloser Inlandsversand	Verkäufer akzeptiert Preisvorschlag
----------------------	----------------------------	-------------------------------------

Versuchsaufbau

Proof of Concept



- 9 Durchläufe
- je zwischen zwei und neun Stunden
- Magnetfeldumpolung alle 3 Minuten
- **Messung:** Zählrate abhängig von Magnetfeldrichtung
- Verifikation durch verschiedene Magnetfeldlängen, Quellen mit bekannter Helizität, gelöstem und festem Europium

- Betrachte:

$$\delta = \frac{N_- - N_+}{1/2 (N_- + N_+)}$$

N_+ : Zählrate mit $B\uparrow$, N_- : Zählrate mit $B\downarrow$

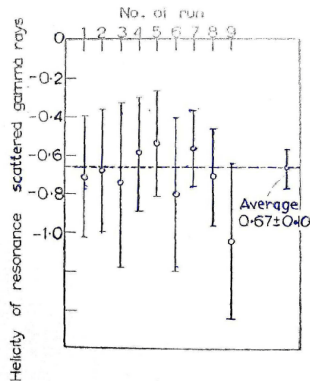
⇒ Ergebnis des Versuchs:

$$\delta = 0.017 \pm 0.003$$

- theoretische Erwartung für 100% zirkularpolarisierte Photonen: $\delta = \pm(0.025 \pm 0.003)$

Messergebnisse & Auswertung

Messwerte



Die gemessene Helizität der Photonen beträgt

$$\mathcal{H}(\gamma) = -0.67 \pm 0.10$$

Was haben wir erwartet?

- $\mathcal{H}(\gamma) = \mathcal{H}(\nu) = \pm 1$? – **Nein!**
- Energie des emittierten Neutrinos ist unscharf
- Emissionslinien sind unscharf
- Winkel zwischen γ und ν ist unscharf

⇒ Für $\mathcal{H}(\gamma) = \mathcal{H}(\nu) = -1$ erwartet man in der Messung $\mathcal{H}(\gamma) = \mathcal{H}(\nu) \cong -\mathbf{0.75}$

⇒ Deckt sich mit experimentellem Ergebnis $\mathcal{H}(\gamma) = \mathbf{0.67 \pm 0.1!}$

$$\mathcal{H}(\nu_e) = -1$$

Literatur- und Bildquellen

- *Helicity of Neutrinos*. Goldhaber, Grodzins, Sunyar. Phys. Rev. 109, 1015. (1957)
- *Lifetime of a 1^- Level in Sm^{152}* . Grodzins. Phys. Rev. 109, 1015. (1957)
- *The Tabletop Measurement of the Helicity of the Neutrino*. Grodzins. (2012)
- *Measuring the Helicity of the Neutrino*. Grodzins. Talk. (2010)
- *The Neutrino: An Introduction*. Winslow. Talk. (2012)
- *Introduction to High Energy Physics*. Perkins. Addison-Wesley Publishing Company, Inc. (1972)
- *Maurice Goldhaber – Biographical Memoirs*. Crease, Goldhaber. National Academy of Sciences. (2012)
- [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Goldhaber_Experiment_\(de\).svg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b3/Goldhaber_Experiment_(de).svg), abgerufen: 26.11.2015.
- http://i.ebayimg.com/t/RADIATION-DETECTOR-Scintillator-Na-J-TI-USSR-NEW-20-X-45-mm-/00/s/NzQxWDkzOA==/z/FYkAAOSwmUdUU-JJ/_57.JPG, abgerufen: 01.12.2015.
- http://scientists.culturesite.org/_jpg/Maurice_Goldhaber_407.jpg, abgerufen: 28.11.2015.
- http://www.physics.purdue.edu/images/alumni/hondegree/grodzins_thumb.jpg, abgerufen: 28.11.2015.
- <http://frank.pocnet.net/sheets/079/6/6342A.pdf>, abgerufen: 29.11.2015.