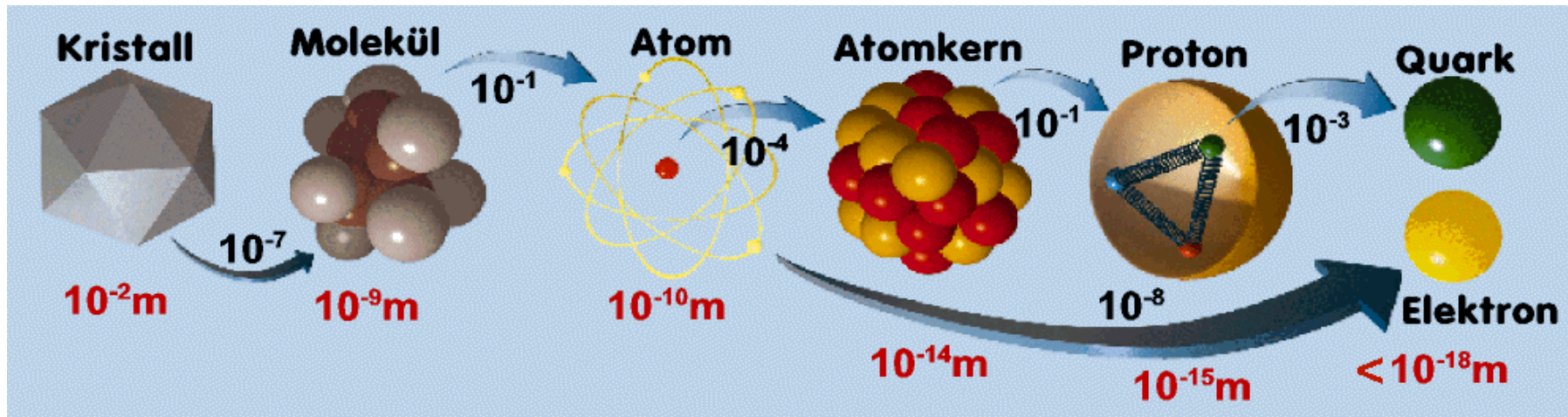


Neutrinos und andere Geisterteilchen

M. Lindner



Elementare Bausteine der Materie



Bausteine der (normalen) Materie:

- Elektron e^-
 - Up-Quark u und Down-Quark d
- Soweit bekannt punktförmig: $< 0.001\text{fm}$

Wechselwirkungen \rightarrow Kräfte, Bindungszustände

- **Elektromagnetismus** (elektrische und magnetische Felder, EM Wellen, Licht)
- **Starke Kraft** (Kernkräfte)
- **Schwache Kraft** (Radioaktivität)
- **Gravitation**

Die theoretische Geburt der Neutrinos

Das Bild vor 1930:

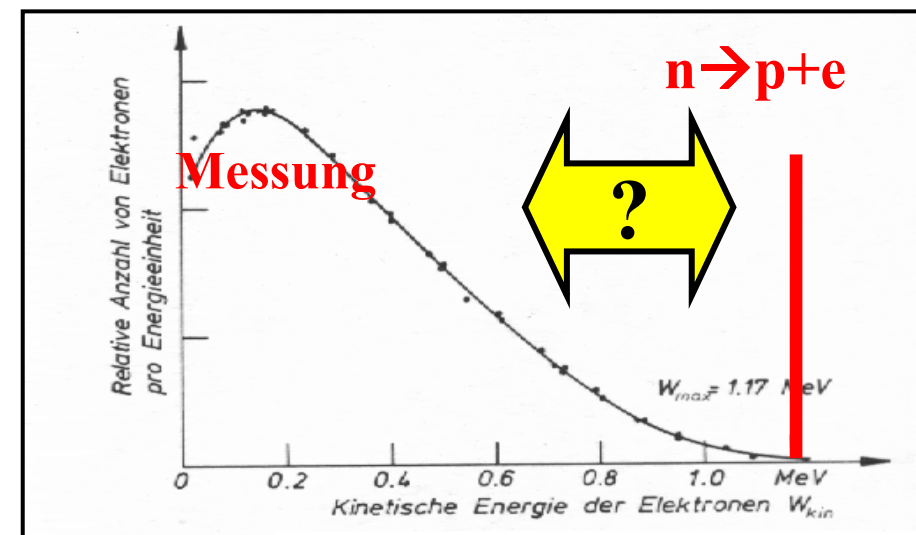
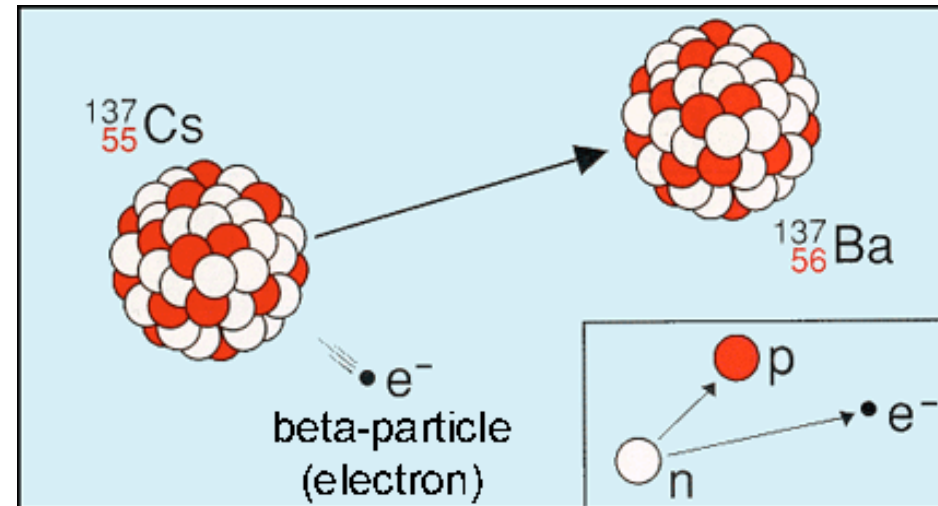
β Zerfall von Kernen
Neutron \rightarrow Proton + e^-
Ladungserhaltung

Das Problem:

$n \rightarrow p + e^-$ ist ein 2 Körperzerfall
 \rightarrow Monoenergetische Linie
Konflikt mit dem Experiment \rightarrow

Mögliche Lösungen:

- Verletzung der Energie Impuls Erhaltung???
-



Der Vater der Neutrinos



Energie-Impuls-Erhaltung!

- postulierte ein neues Teilchen, sehr leicht, Spin $\frac{1}{2}$, ...
- elektrisch neutral !

Brief nach Tübingen im Dezember 1930:

Verzweiflungstat: Neutrino-postulat...

- unsichtbare Geisterteilchen
- ... wird man nie nachweisen können

W. Pauli

Cowen & Reines: 1954-56 Projekt "Poltergeist"

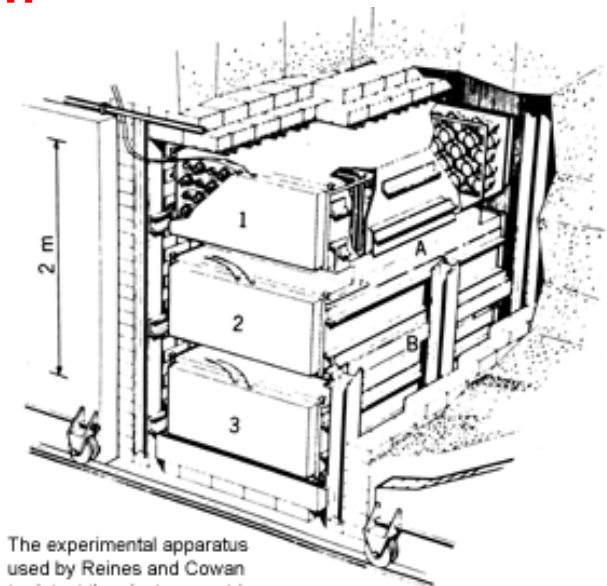
Nachweis von Reaktor-Antineutrinos

Fluss: 10^{12} Neutrinos/Sekunde/mm²

→ 3 Reaktionen /h/10m³ Wasser

→ Nobel Preis für Physik für F. Reines 1995

Heute: Große Experimente mit hoher Statistik

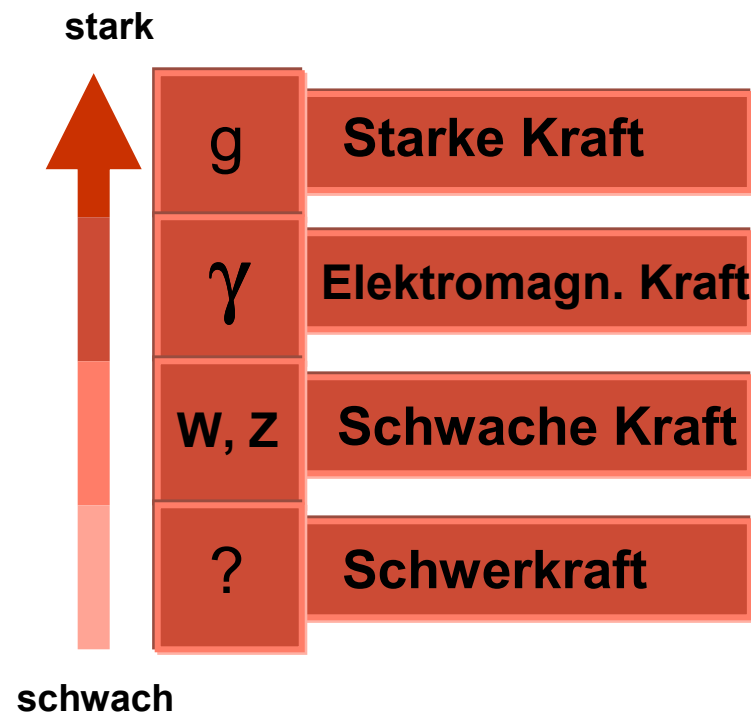
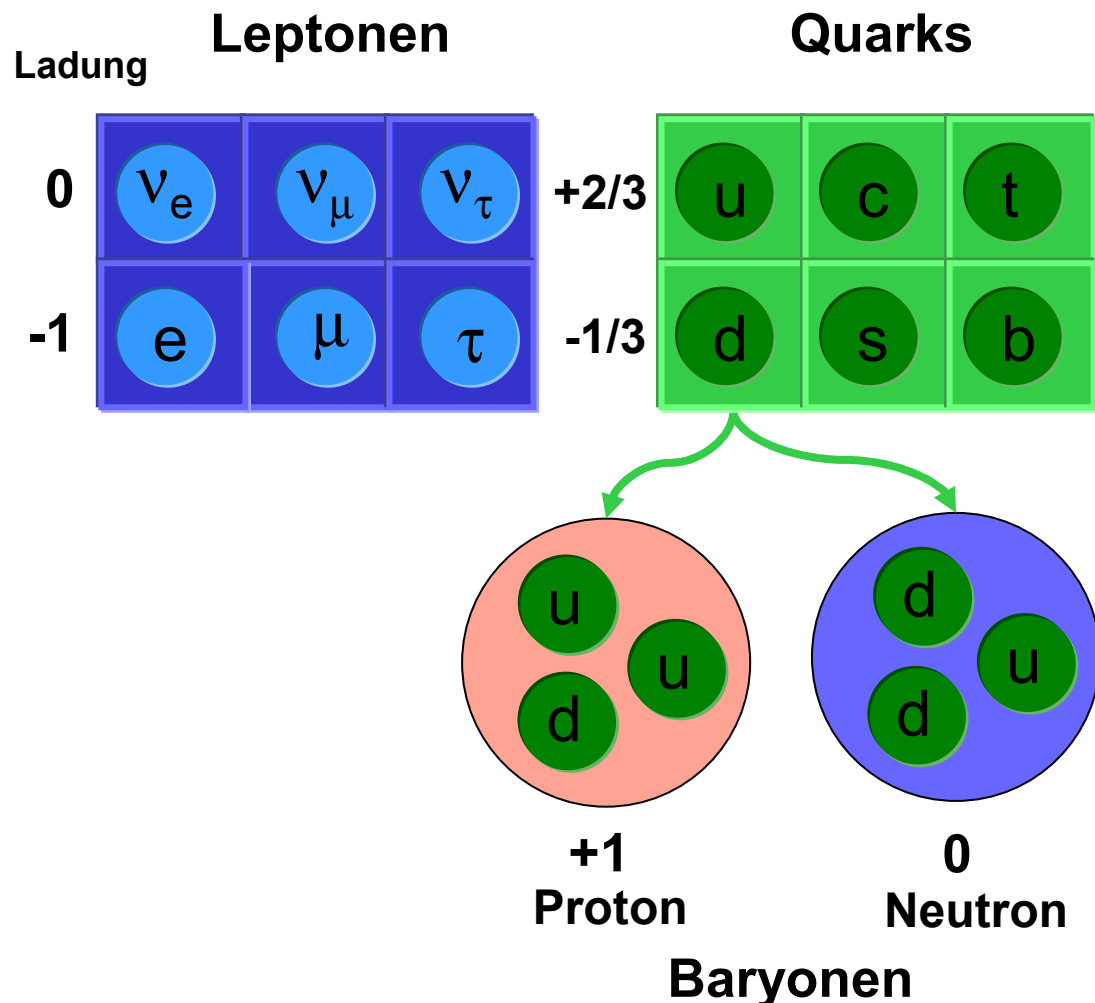


The experimental apparatus used by Reines and Cowan to detect the electron neutrino.

Das Standardmodell der Teilchenphysik

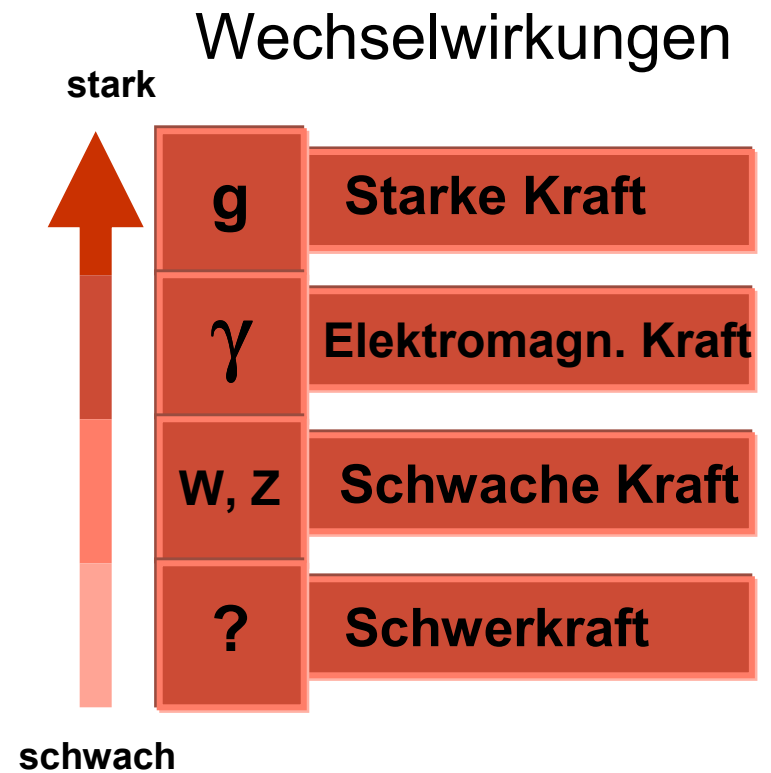
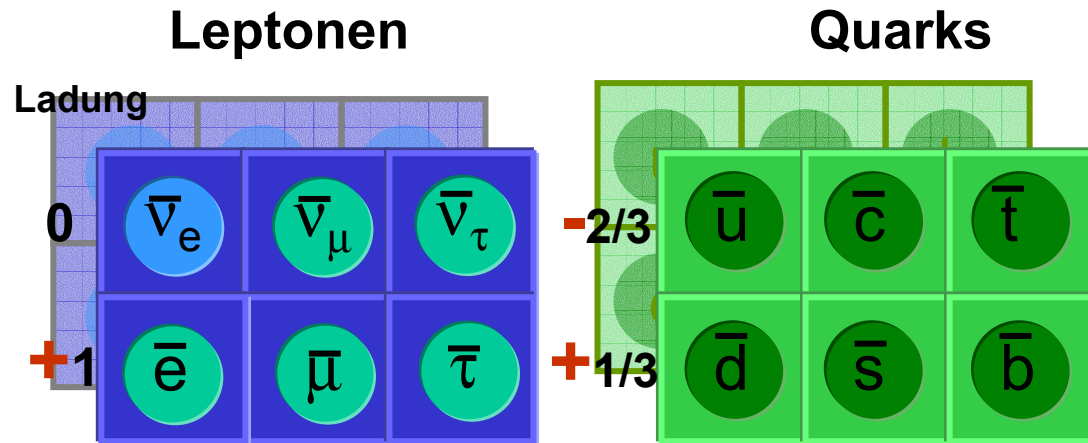
Materieteilchen =
Fermionen (Spin $\frac{1}{2}$)

Wechselwirkungen



Kraftteilchen = Bosonen
(Spin 1)

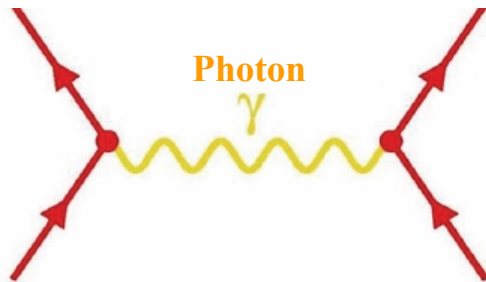
Anti-Teilchen



**Kräfteteilchen = Bosonen
(Spin 1)**

Kräfte = Wechselwirkungen

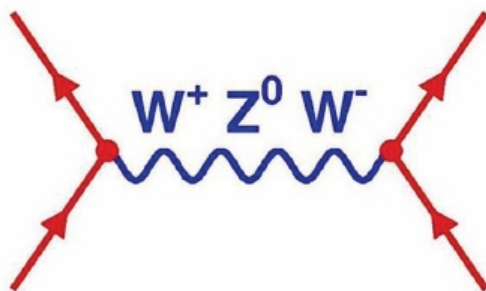
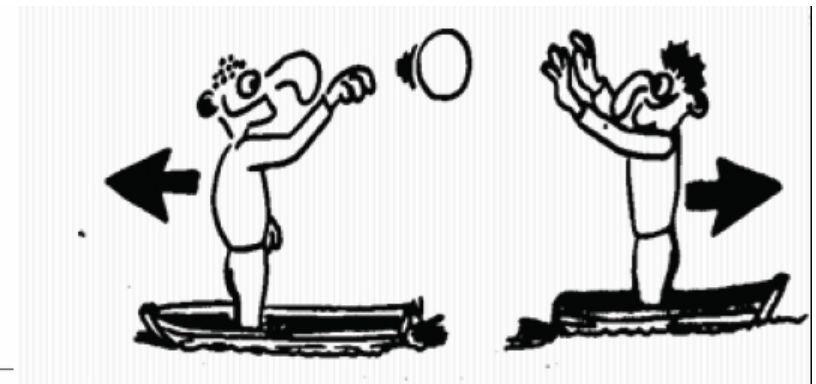
- Zu jeder Wechselwirkung gibt es einen Ladungstyp
- Nur Teilchen mit entsprechender Ladung spüren jeweilige Wechselwirkungen
- Wechselwirkung erfolgt über **Austauschteilchen**



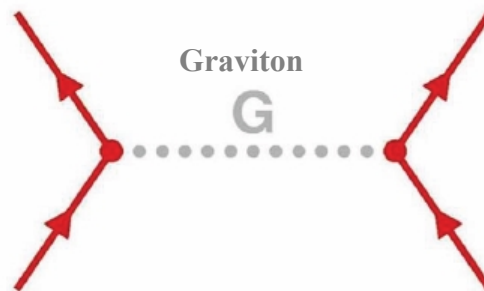
elektromagn. Kraft



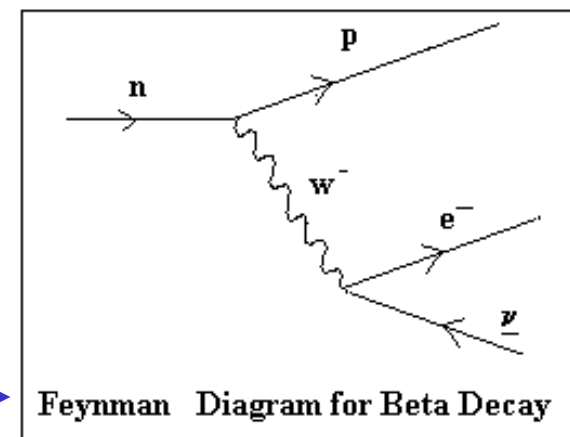
starke Kraft



schwache Kraft

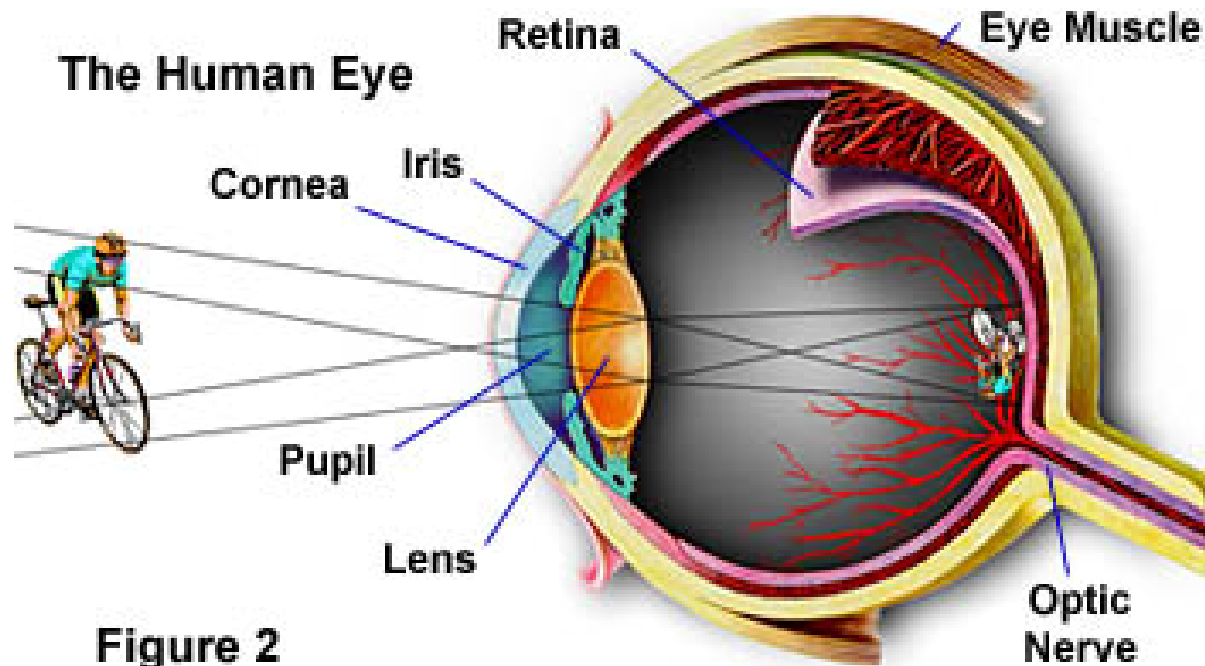


Gravitation



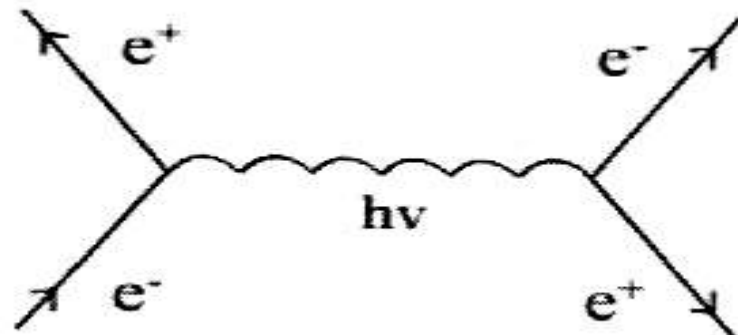
Feynman Diagram for Beta Decay

Wie man Neutrinos sieht



Abbild im Gehirn
↔ Realität

Figure 2

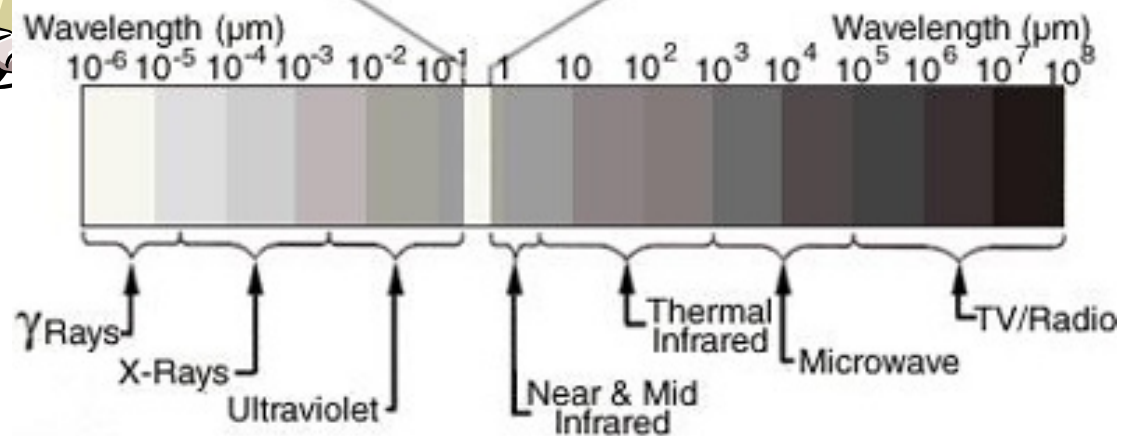
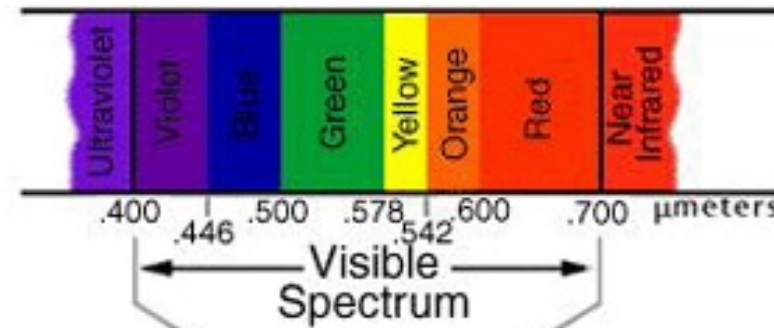
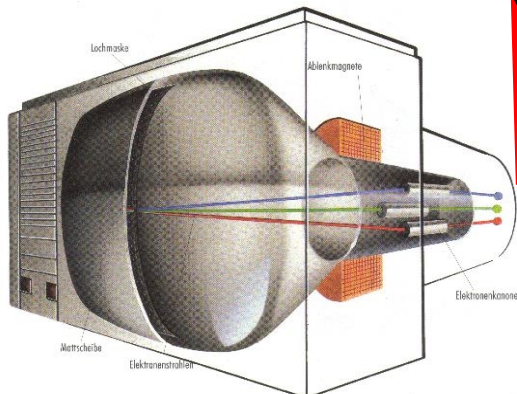
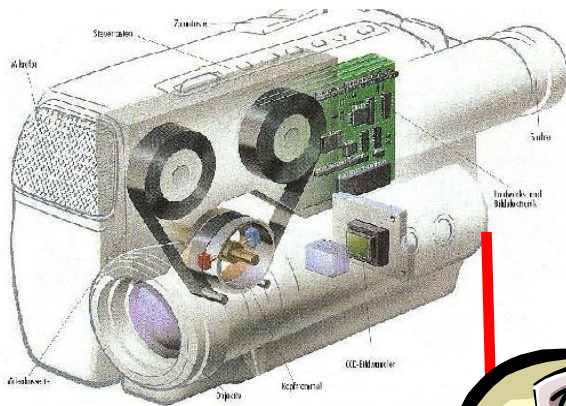


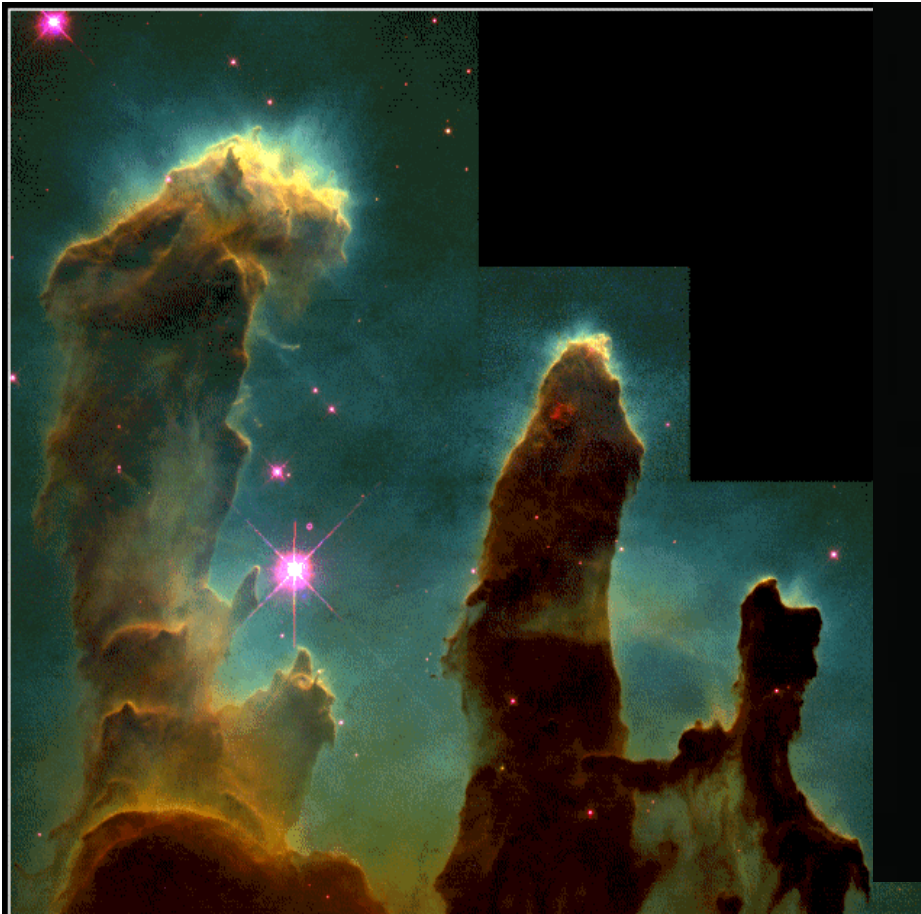
Austausch von Lichtteilchen
(Photonen) ↔
elektrisch geladene Teilchen

Sehhilfen

Optische Instrumente: Brillen, Teleskope, ...

Elektronische Geräte:





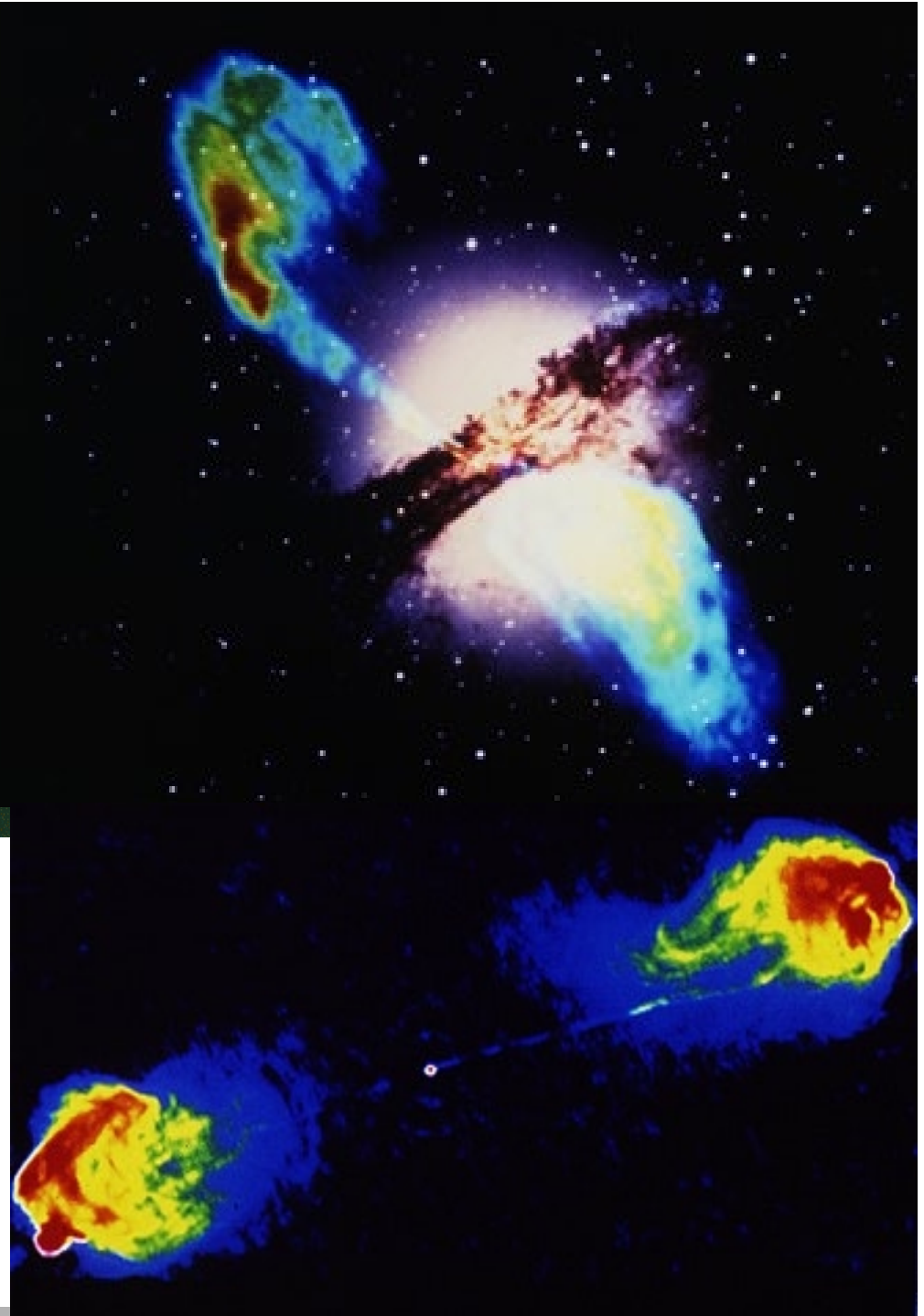
Computer-aufbereitete Bilder:

Verstärkung, Frequenzänderung

→ Austausch von Photonen

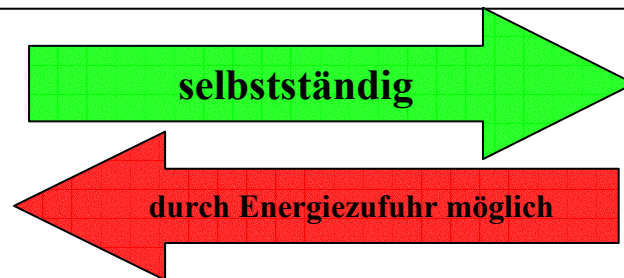
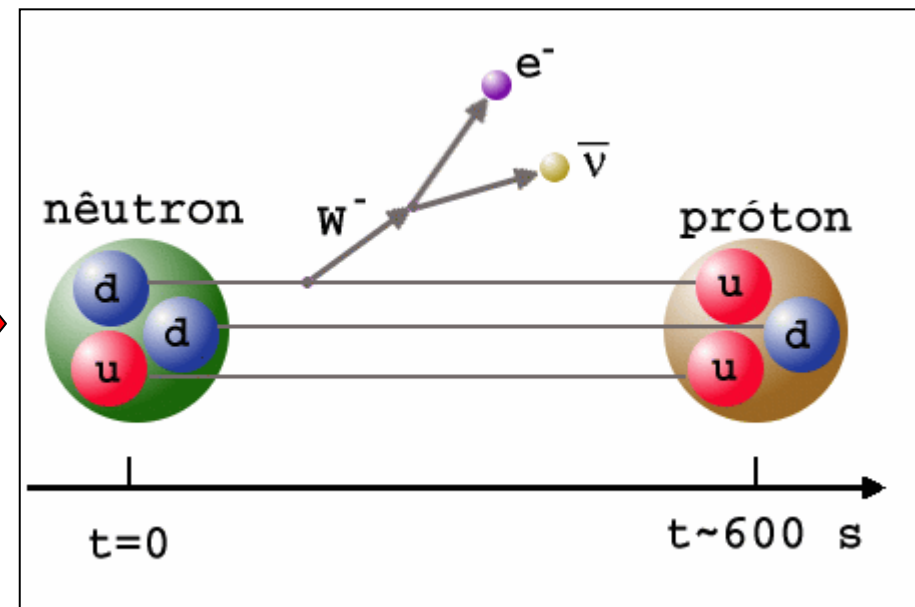
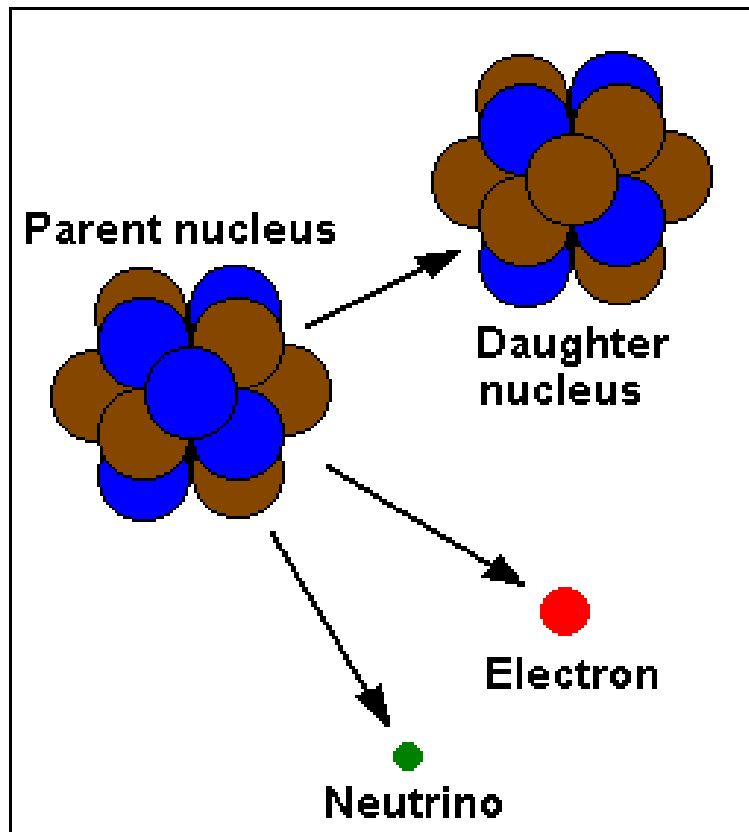
→ man sieht nur elektrisch geladenen Teilchen und Bindungszustände davon

→ **Wie sieht man Neutrinos???**

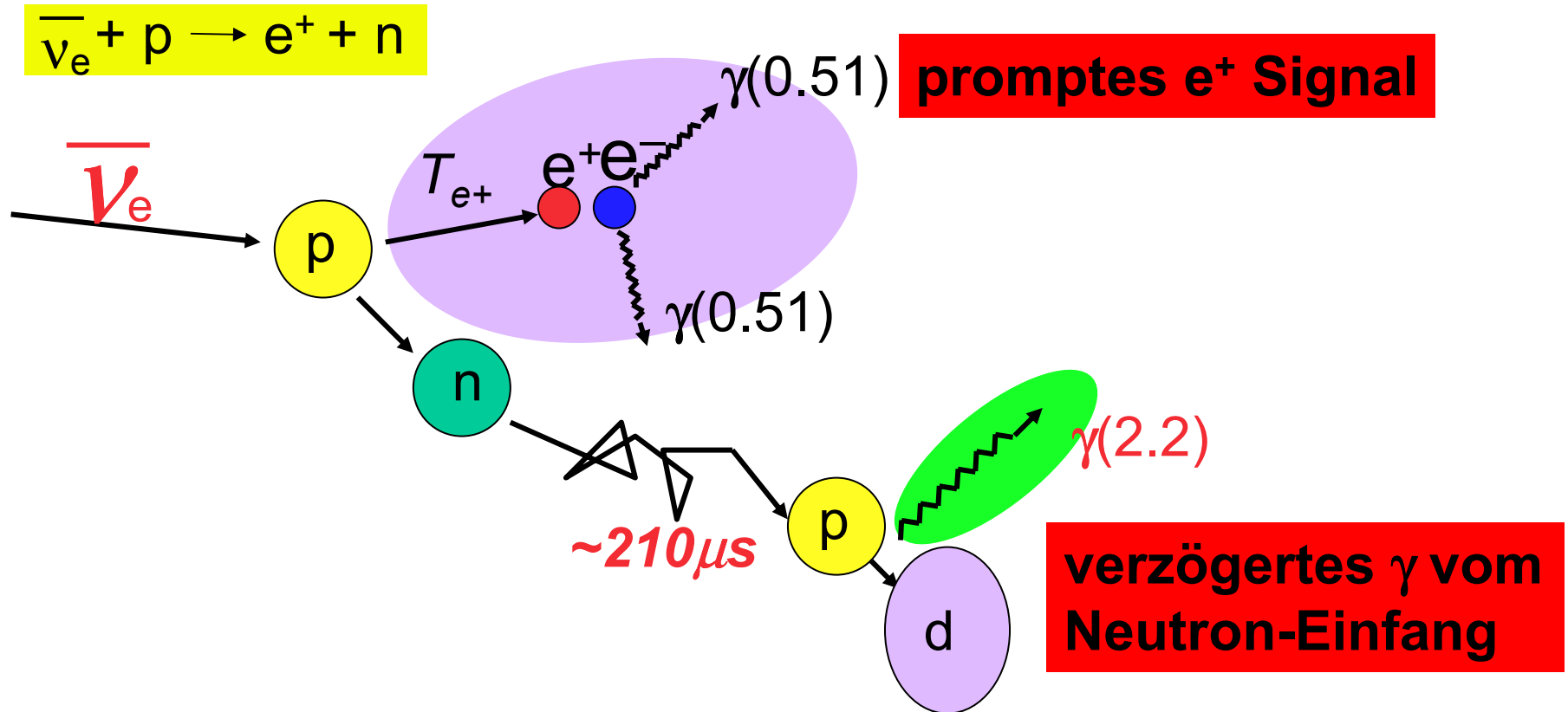


β -Zerfall und inverser β -Zerfall

Radioaktiver β -Zerfall

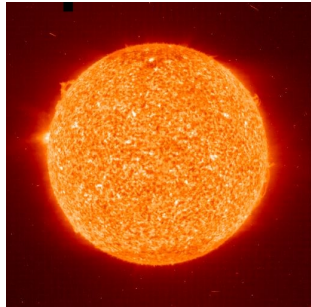


Eine Neutrino Nachweismethode



- Beobachtung der charakteristischen Signatur mit Photovervielfachern
- andere Nachweismethoden...
- Kampf gegen Untergrund → Prof. W. Hampel

Neutrinos Heute: Quellen & Neue Physik

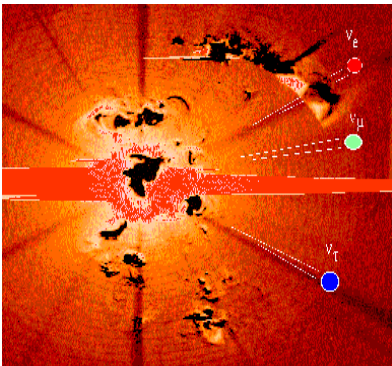


← Sonne

Astronomie: →
Supernovae
UHE ν 's

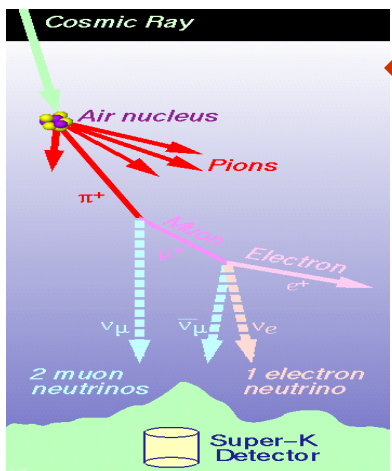


...



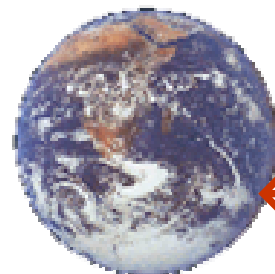
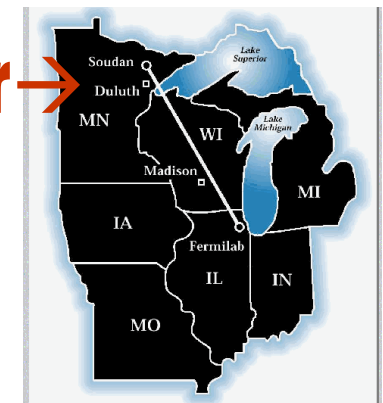
← Kosmologie

Reaktoren →



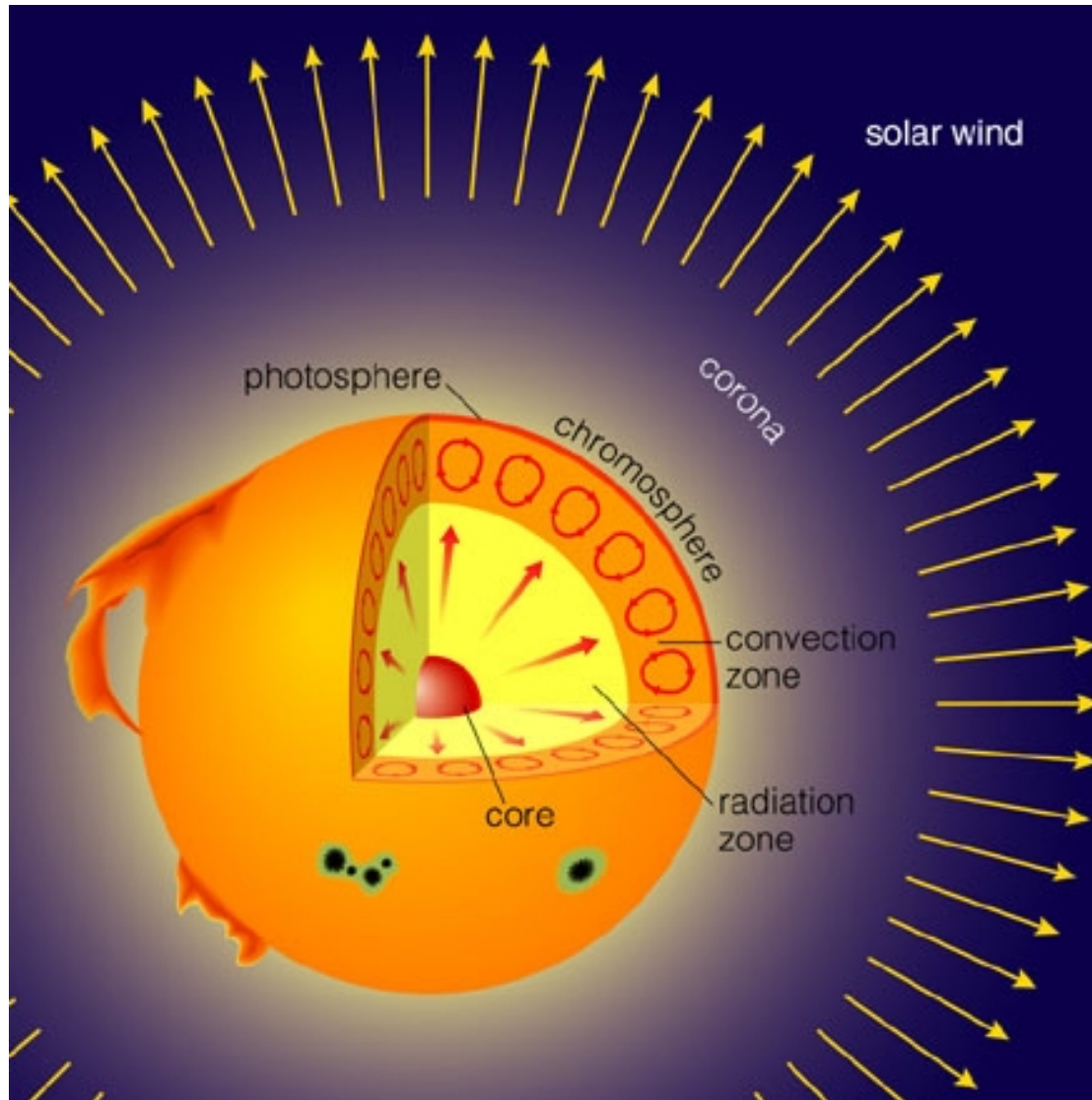
← Atmosphäre

Beschleuniger →
Laboratorien



← Erde

Neutrinos und die Sonne



Energiequelle: Fusionsprozesse im Sonnenkern

Gleichgewicht:

- **thermaler Druck**
- **Gravitation**

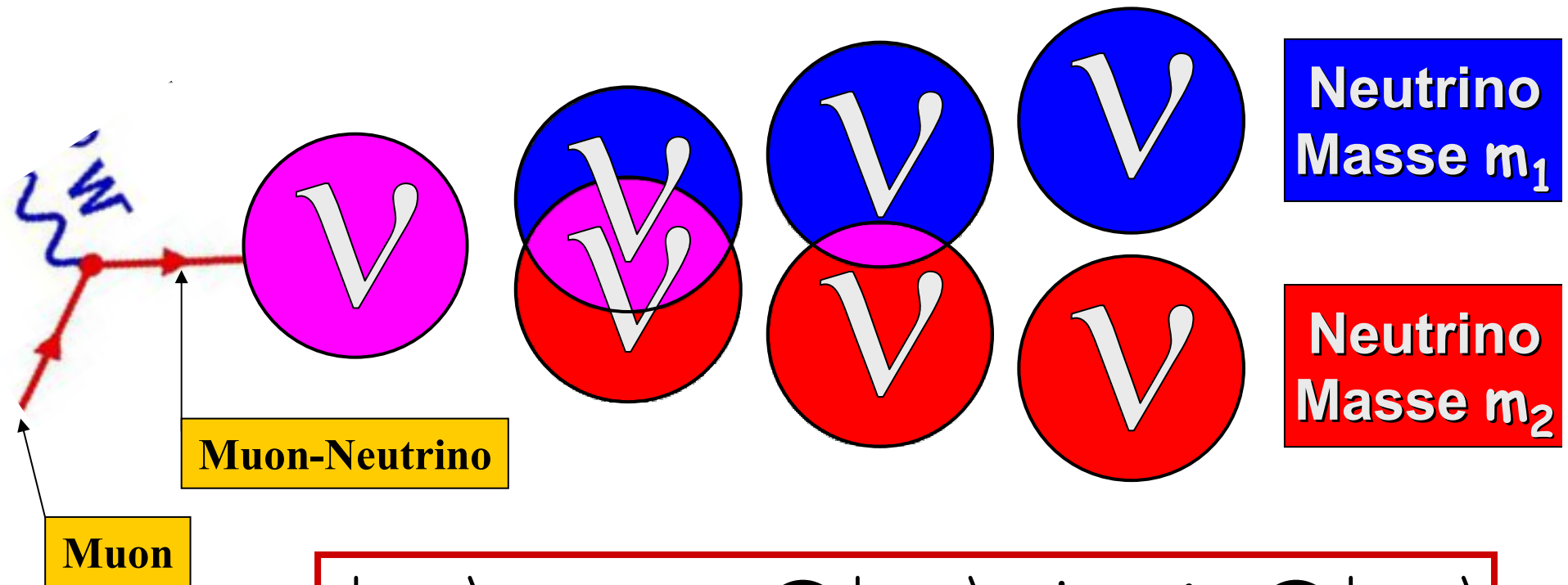
Optische Beobachtungen:

- **Energiefluss**
- **Oberflächendynamik**
 - > **Sonnenflecken**
 - > **differentielle Rotation**
 - > **100.000 Jahre verzögert**

Neutrinos: Blick ins Herz der Sonne mit **BOREXINO**
➔ **Dr. Schönert**

Neutrino-Mischungen

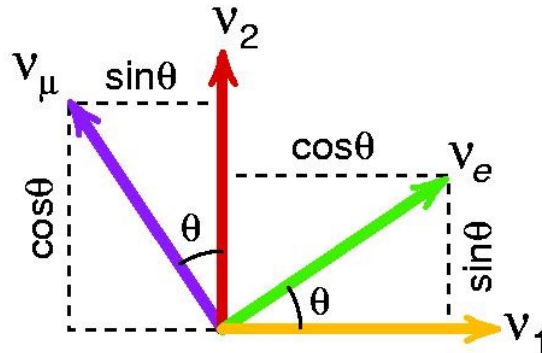
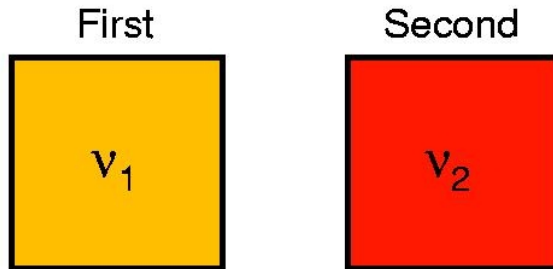
Wechselwirkungszustände und Massenzustände:



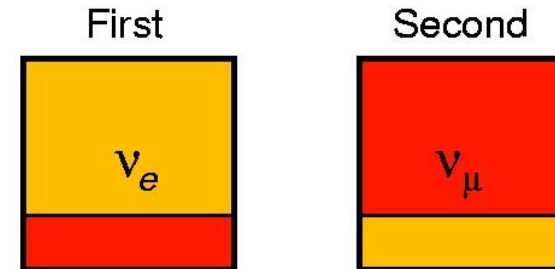
$$|\nu_\mu\rangle = \cos\Theta|\nu_1\rangle + \sin\Theta|\nu_2\rangle$$

Kein klassisches Analogon – Quantenmechanische Überlagerung zweier Teilchen normalerweise Mikrophysik → QM-Effekte auf großen Skalen

Massenzustände



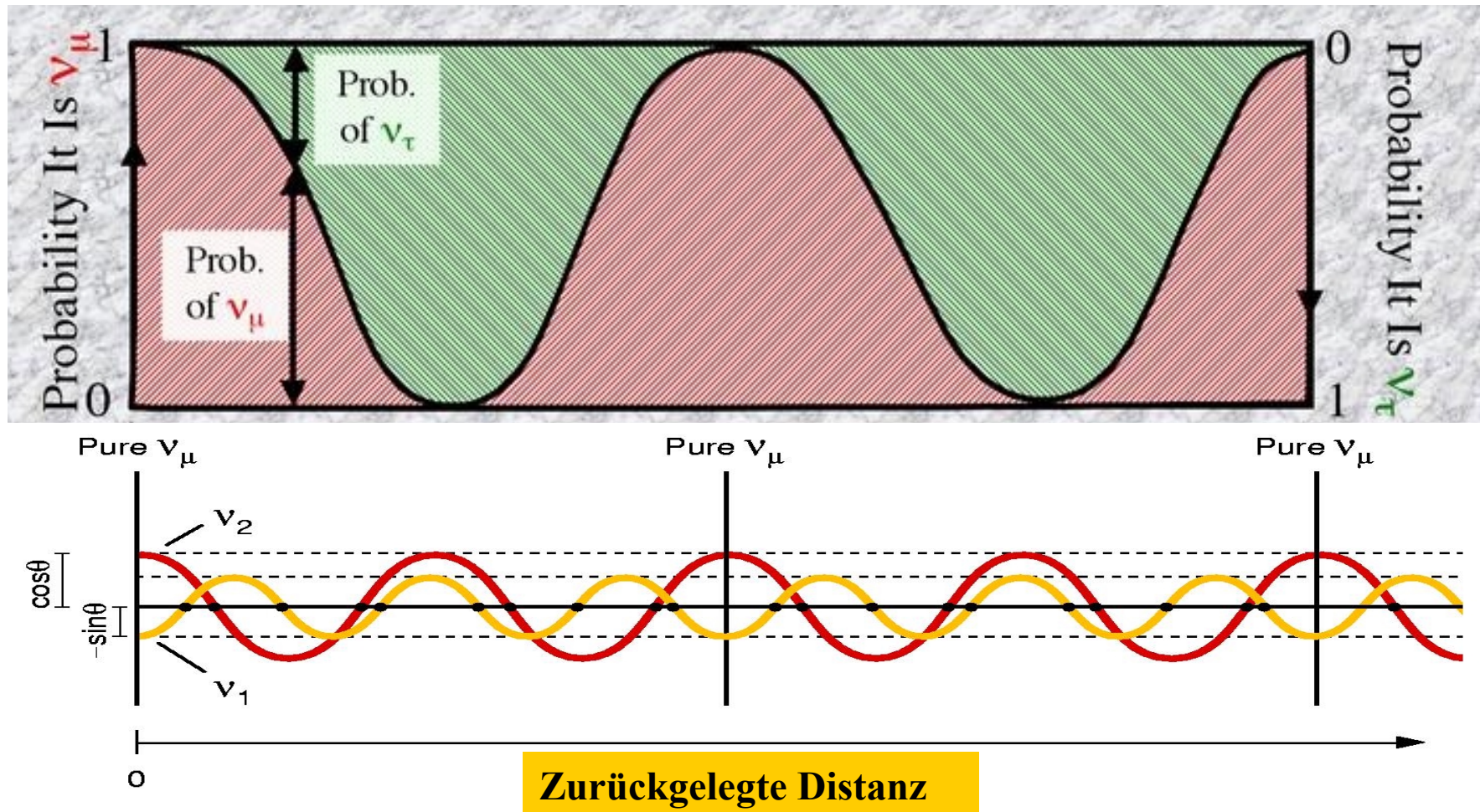
Wechselwirkungszustände



$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ \nu_\mu \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \nu_1 \\ \nu_2 \end{pmatrix}$$

- Produktion mit Leptonpartner → **quantenmechanischer Mischzustand**
- Propagation des Massenzustands als **Teilchenwelle** über makroskopische Distanzen
- Nachweis eines gewissen **Neutrino**typs über den **Leptonpartner**

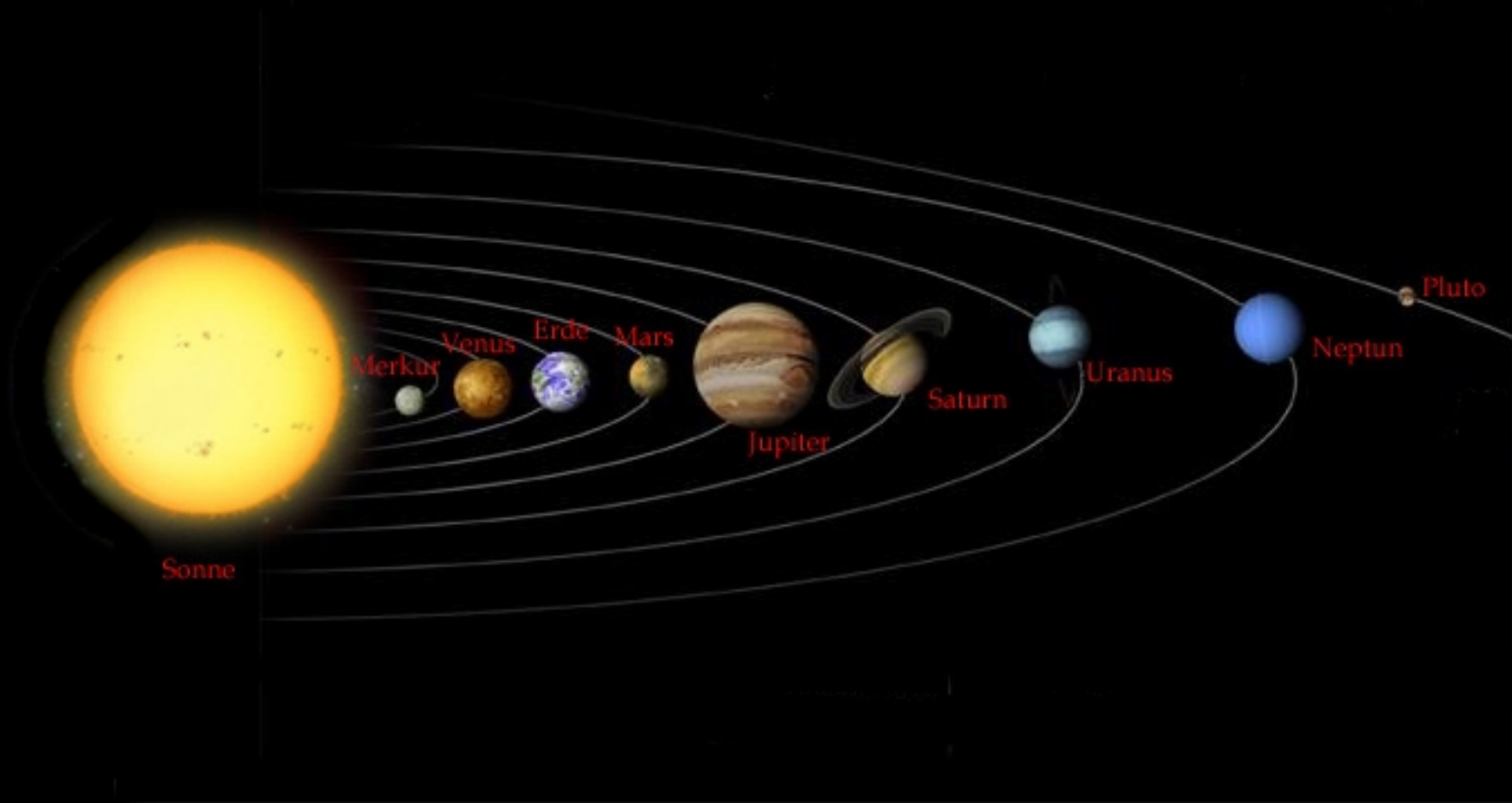
Neutrino Oszillationen



Gibt es andere Geisterteilchen?



Unser Sonnensystem



Unsere Galaxie



Unser Sonnensystem

Andromeda eine Nachbargalaxie



Tief im Kosmos

Sehen wir eigentlich alles?

Versteckte Materie?

Prinzipiell unsichtbare Materie?

Hubble Deep Field

HST · WFPC2

PRC96-01a · ST ScI OPO · January 15, 1996 · R. Williams (ST ScI), NASA

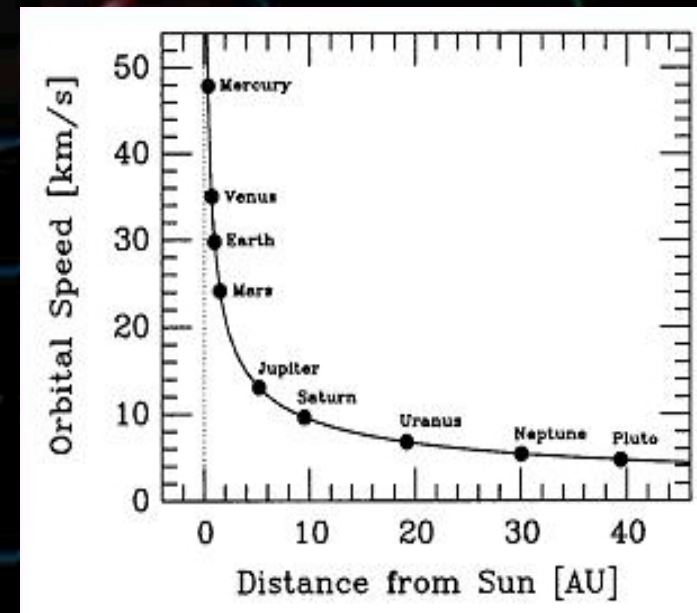
Neutrinobeitrag zur kosmischen Massenbilanz



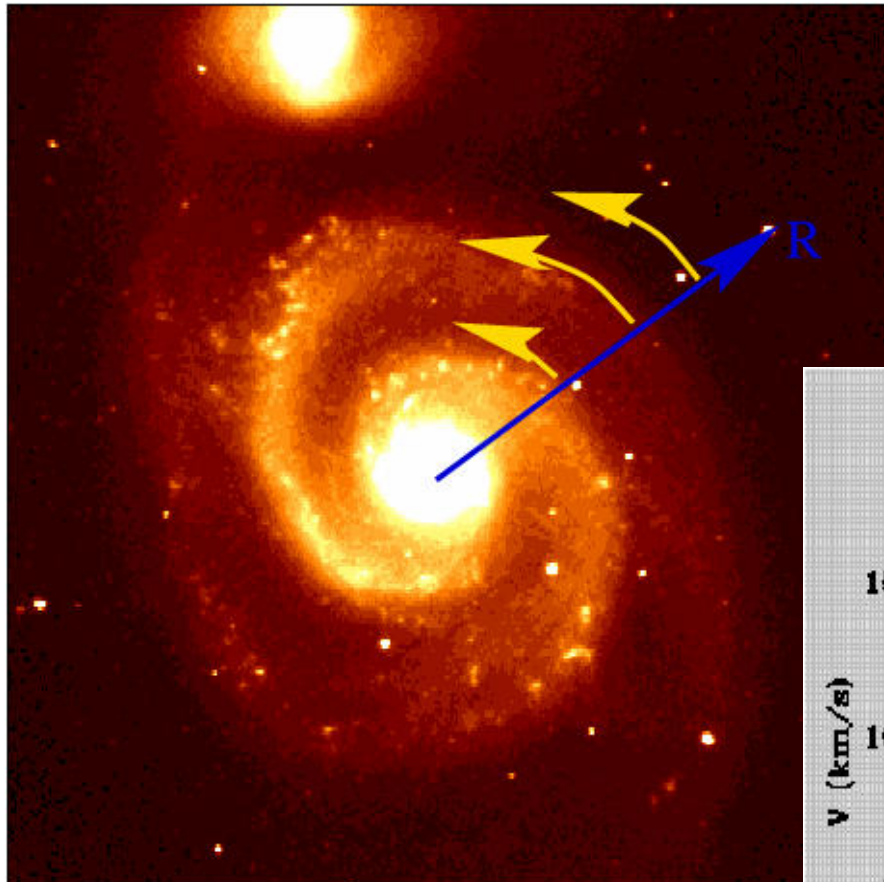
Ist das Bild nun komplett?

Mit Hilfe der Gravitation sehen

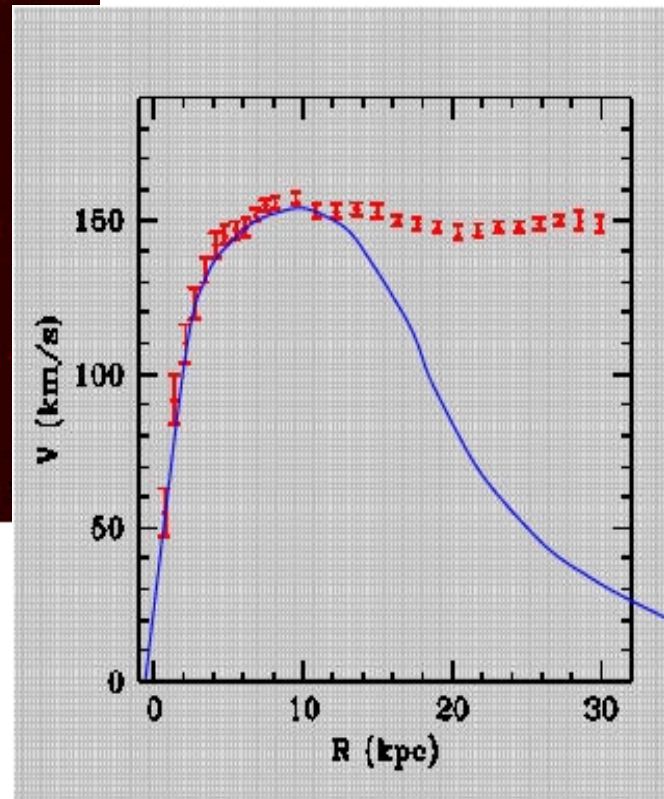
Historische Methode zur Suche neuer Planeten:
Vergleich von berechneter und beobachteter Bahn
bekannter Planeten → Position neuer Planeten



Galaktische Rotationskurven



Vergleich der von der sichtbaren Materie erwarteten Rotationskurven mit gravitativer Rotationsdynamik



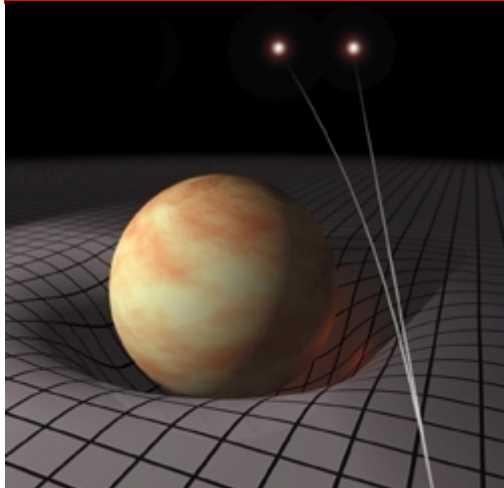
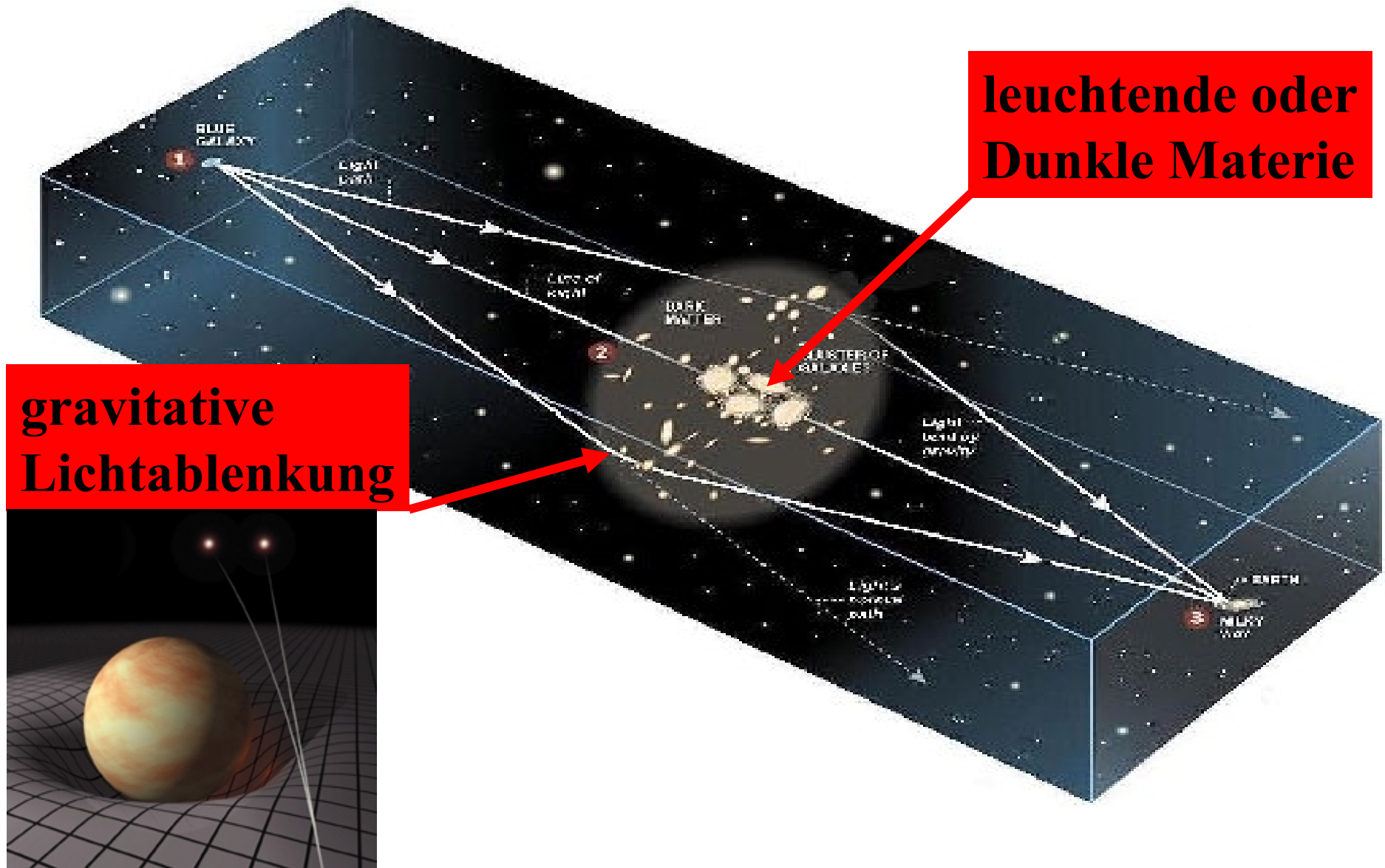
Beobachtete Rotationskurven

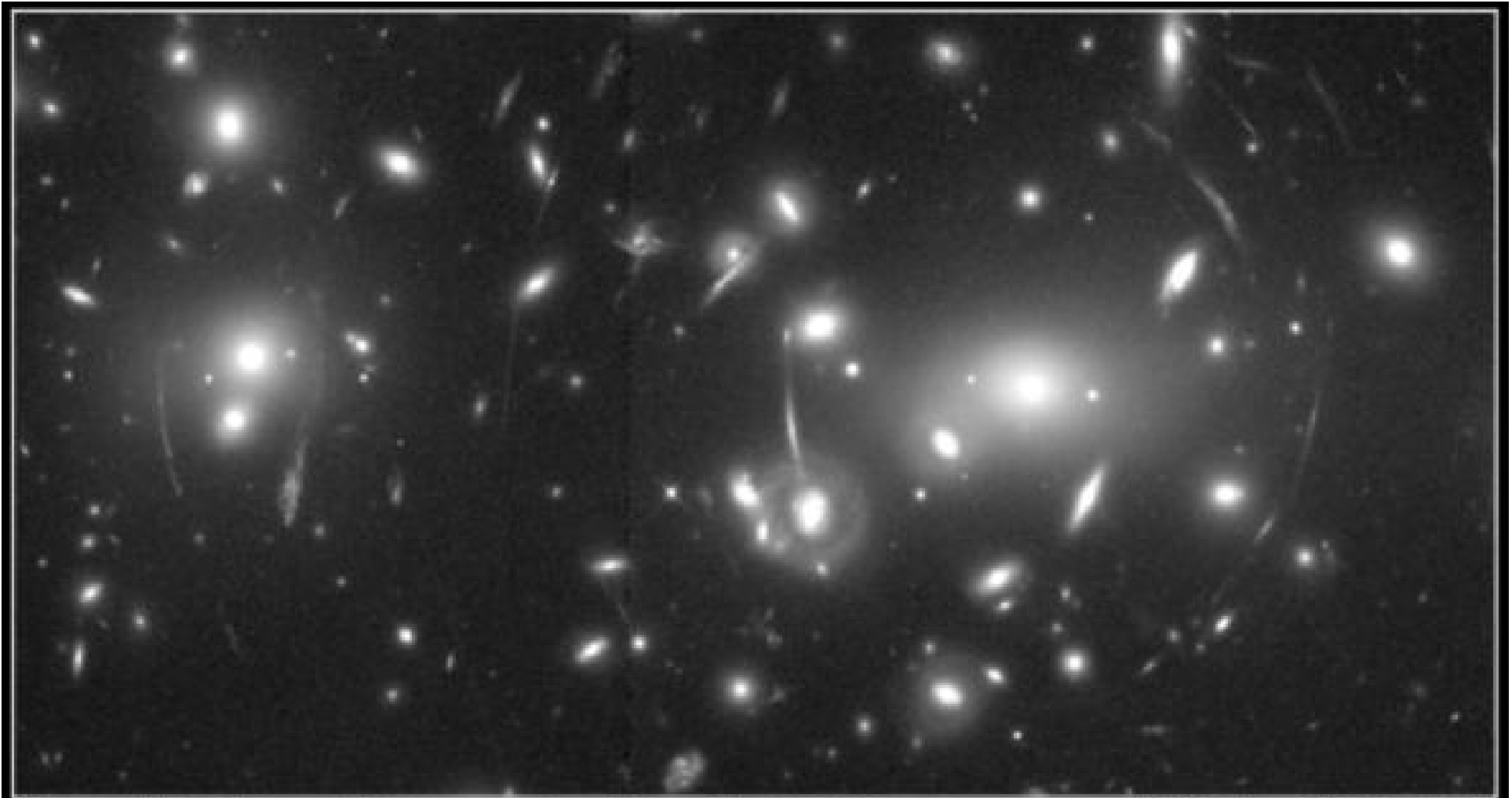
Erwartung aus der sichtbare Massenverteilung

Erklärung: Ein Halo aus „Dunkler Materie“



Eine weitere Methode: Gravitationslinsen



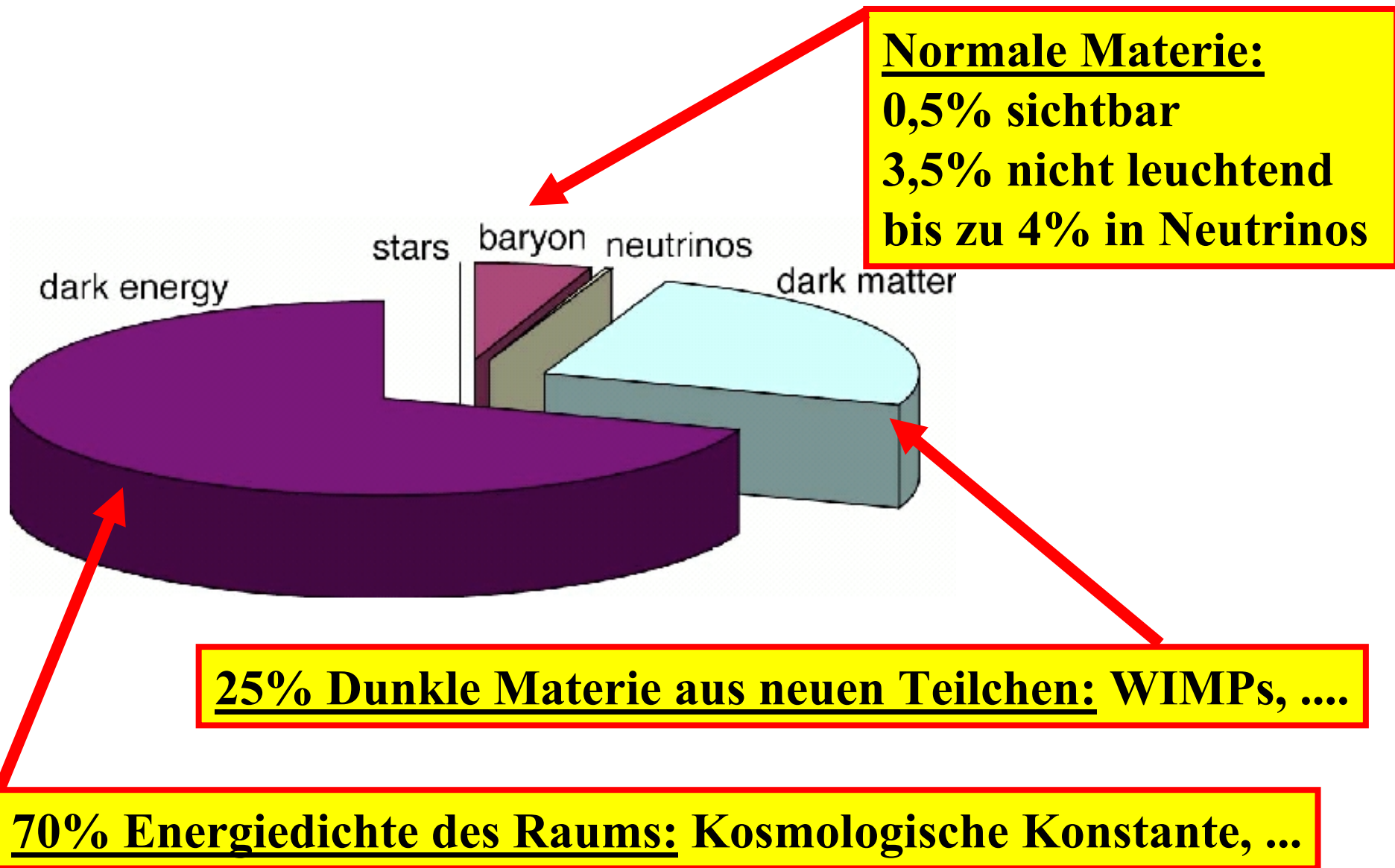


Gravitational Lens in Abell 2218

HST · WFPC2

→ indirekte Information über die Materieverteilung

Kosmische Massenbilanz





Neutrinos

Dunkle Materie

→ WIMP's

Dunkle Energie



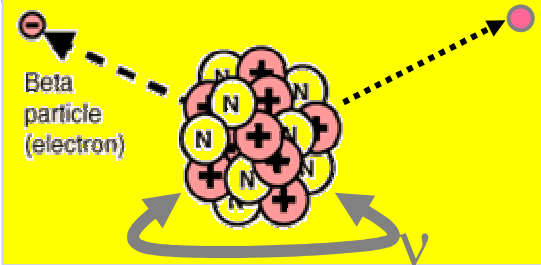
Forschungsschwerpunkte der Abteilung:

- Neutrinos
- Dunkle Materie
- Physik jenseits des Standard Modells

➔ Theorie und Experiment

Theoretische Astroteilchenphysik

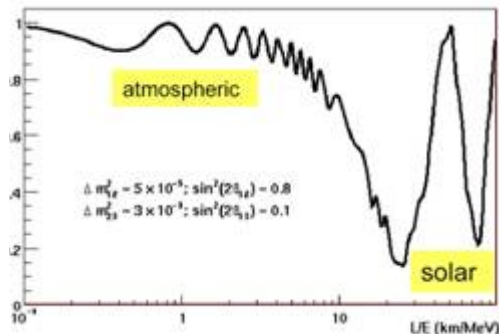
Leptonzahlverletzung & Doppelbetazerfall



Flavoursymmetrien vereinheitlichte Theorien

$$M = \begin{pmatrix} 0 & Y_\nu \langle \phi \rangle & 0 \\ Y_\nu^T \langle \phi \rangle & 0 & Y_N^T \langle \sigma \rangle \\ 0 & Y_N \langle \sigma \rangle & M_S \end{pmatrix}$$

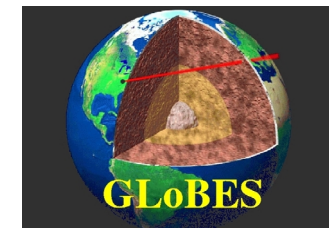
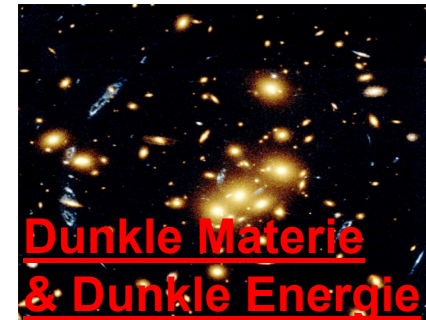
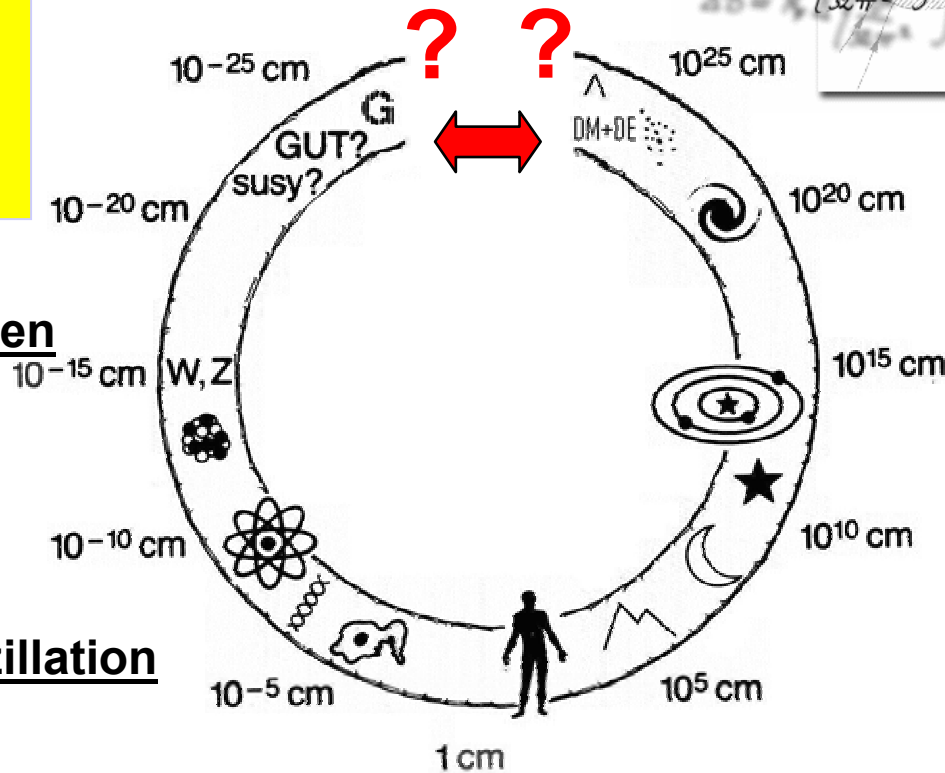
Neutrinomassen & Oszillation



Reaktorneutrinos
Super-beams
β-Beams
Neutrinfabriken, ...

Baryonasymmetrie des Universums

$$\Delta B = N_F \Delta \left\{ \frac{g^2}{32\pi^2} \int d^3x \epsilon^{ijk} \text{Tr} (W_i \cdot W_j \cdot W_k + \frac{2}{3} ig_s W_i W_j W_k) \right\}$$



Neutrinos als Sonden

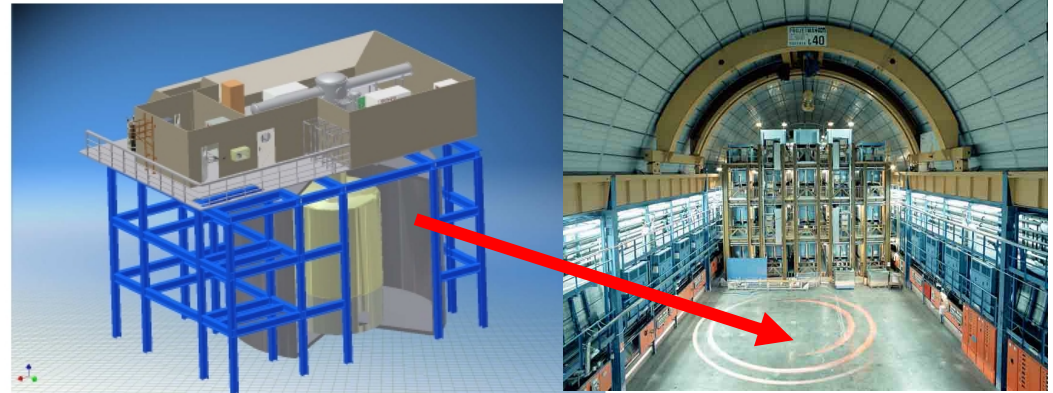


Experimentelle Projekte

GERDA

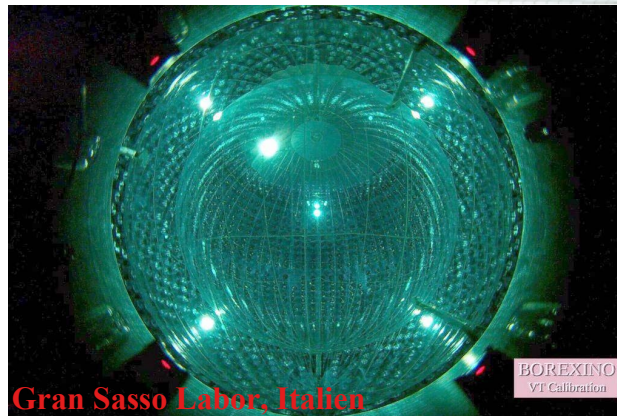
(gemeinsam mit Abteilung Hofmann)

... Suche nach neutrinolosem
 $0\nu\beta\beta$ Zerfall in ^{76}Ge



Gran Sasso Labor, Italien

Borexino



Gran Sasso Labor, Italien

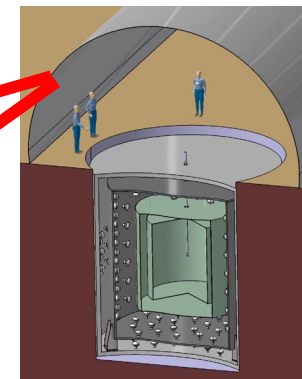
... Spektroskopie solarer Neutrios

Double Chooz

Neutrino-Oszillationen



Chooz, Frankreich



Weiteres Programm:

- Vortrag Prof. Hampel

**Der Kampf im Untergrund gegen den Untergrund
(mit Demonstrationen)**

- **Pause mit Imbiß und Besichtigung der Demonstration**

- Vortrag Dr. Schönert

Live-Aufnahmen aus dem Herzen der Sonne

- **Film über das Untergrundlabor im Gran Sasso**