

DIE W-/Z-BOSON ENTDECKUNG

JEAN-MARCO ALAMEDDINE

TU DORTMUND
FAKULTÄT PHYSIK

07 12 2018

DIE THEORIE DER SCHWACHEN WECHSELWIRKUNG

FERMIS THEORIE DES β -ZERFALLS

- 1933 beschreibt Fermi den β -Zerfalls über die Fermi-Wechselwirkung
- Theorie beschreibt eine Vier-Fermionen-Wechselwirkung ohne Austauschteilchen
 - Wechselwirkung als Produkt zweier Ströme
 - Kopplungsstärke beschrieben durch Fermikonstante G_F

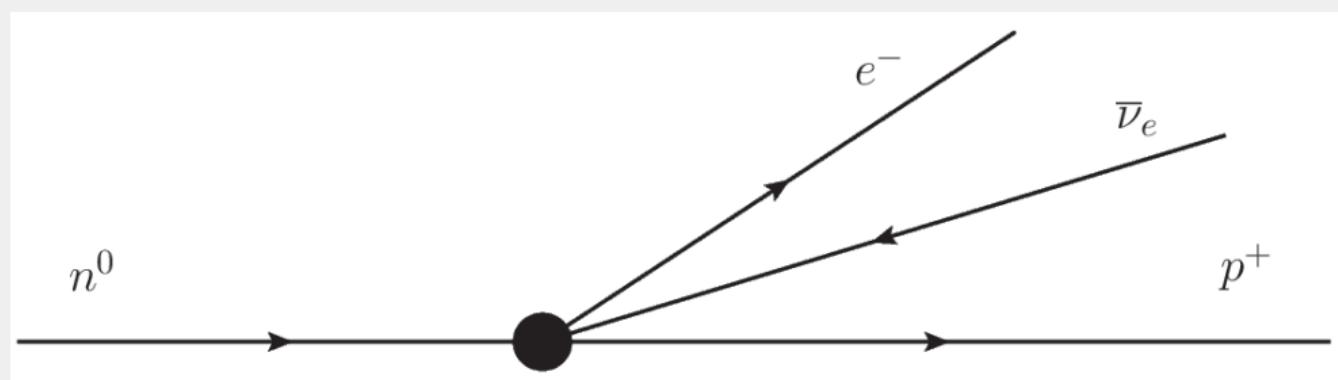
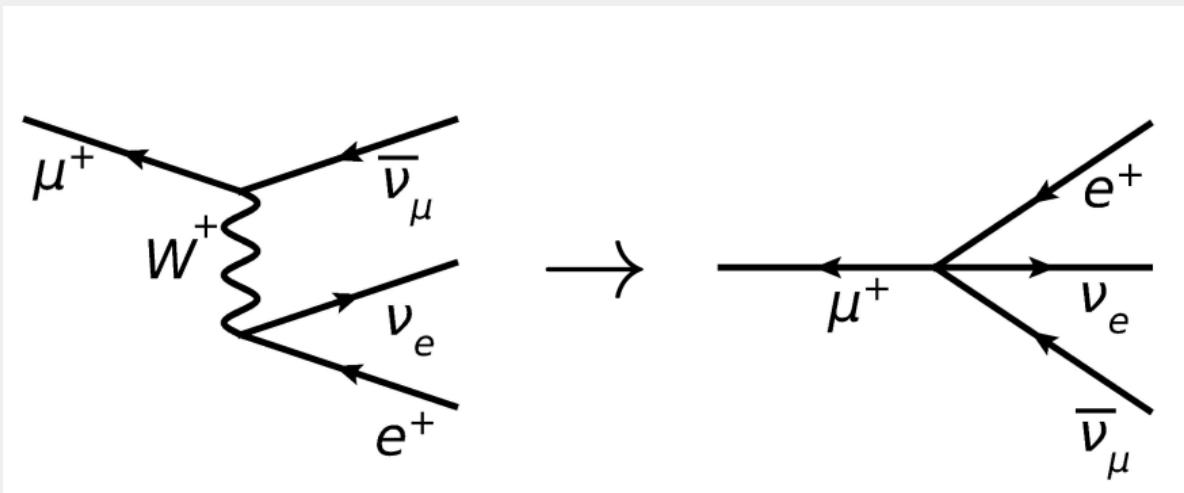


Abbildung: Beschreibung des β -Zerfalls nach Fermi [1].

DIE FERMI-WECHSELWIRKUNG ALS EFFEKTIVE THEORIE



$$\frac{-i \left(g_{\mu\nu} - \frac{q_\mu q_\nu}{M^2} \right)}{q^2 - M^2}$$

$\underbrace{\rightarrow}_{q^2 \ll M^2}$

$$\frac{ig_{\mu\nu}}{M^2}$$

[9] (bearbeitet), [10]

DIE FERMI-WECHSELWIRKUNG ALS EFFEKTIVE THEORIE

- Fermi-Wechselwirkung stellt für kleine Energien (bis heute) eine sehr gute Näherung dar (da schwache Wechselwirkung mit geringer Reichweite)
 - Verallgemeinerung: Anwendung der Theorie auf viele weitere Reaktionen (z.B. μ -Zerfall) liefert hervorragende Ergebnisse
- Erweiterung der Theorie, um neue Phänomene wie die Paritätsverletzung beschreiben zu können (V-A-Struktur)

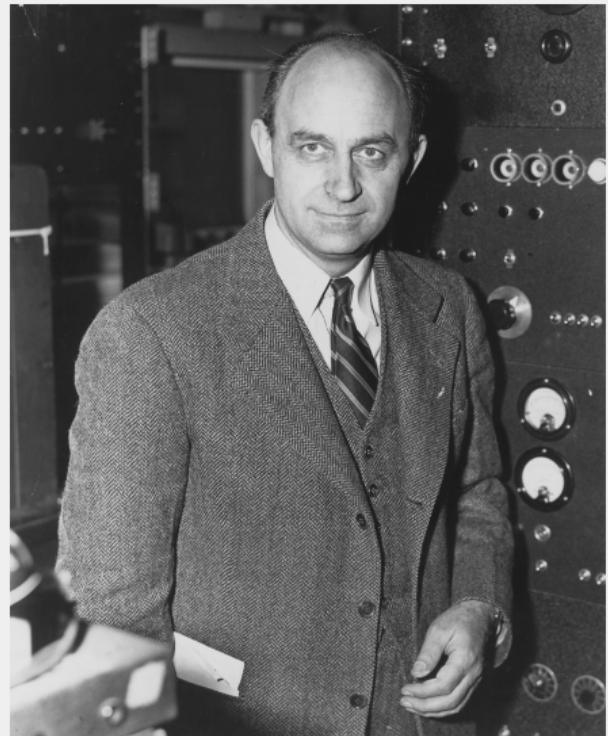


Abbildung: Enrico Fermi [6].

DIE FERMI-WECHSELWIRKUNG ALS EFFEKTIVE THEORIE

- Theorie der Fermi-Wechselwirkung nicht renormierbar
 - Divergenzen bei höheren Energien bzw. höheren Ordnungen in G_F
- Ab $E \approx 300 \text{ GeV}$: Verletzung des "Unitarity limit"
 - $\sigma \propto G_F^2 E^2$
 - Bedingung an totalem Wirkungsquerschnitt, welche aus der Unitarität stammt, wird verletzt (unphysikalisch) [12]
- Mit höheren Beschleunigerenergien können Abweichungen von der Theorie gemessen werden

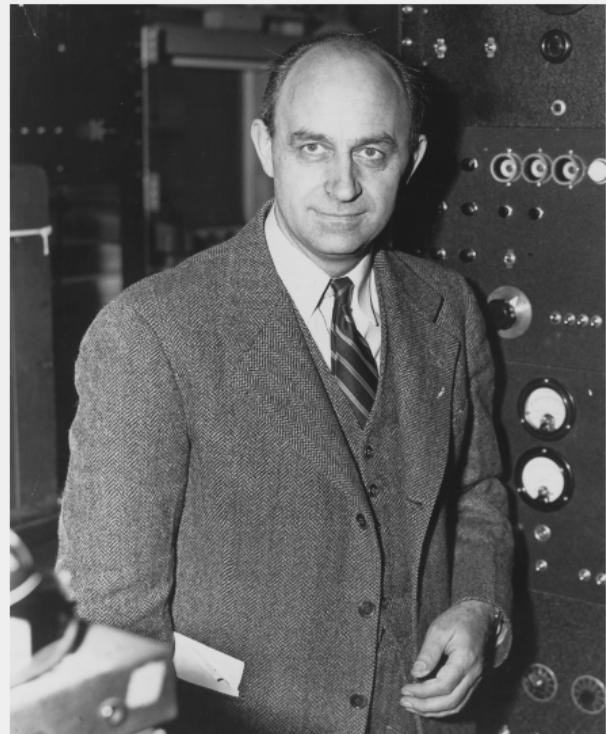


Abbildung: Enrico Fermi [6].

DIE ELEKTROSCHWACHE WECHSELWIRKUNG



Abbildung: Sheldon
Glashow

[5]



Abbildung: Steven
Weinberg



Abbildung: Abdus Salam

DIE ELEKTROSCHWACHE WECHSELWIRKUNG

- **1968** wird die elektroschwache Wechselwirkung durch Sheldon Glashow, Steven Weinberg und Abdus Salam beschrieben
- Vereinheitlichte Theorie der Quantenelektrodynamik und schwachen Wechselwirkung
- Vier Austauschteilchen:
 - Das masselose Photon γ
 - Die massebehafteten Teilchen W^+ , W^- , Z^0
- Geringe Stärke und Reichweite der schwachen Wechselwirkung wird begründet durch die hohen Massen der Austauschteilchen
- Schwacher Mischungswinkel Θ_W als freier Parameter

DIE ENTDECKUNG DER NEUTRALEN STRÖME

NEUTRALE STRÖME (NC)

- Vorhersage der schwachen Ströme durch die elektroschwache Wechselwirkung
- Leptonische NC: $\nu_\mu + e^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$
→ Signatur: Einzelnes Elektron
- Hadronische NC: $\nu_\mu + N \rightarrow \nu_\mu + X$
→ Signatur: Nur Hadronen, ohne Leptonen

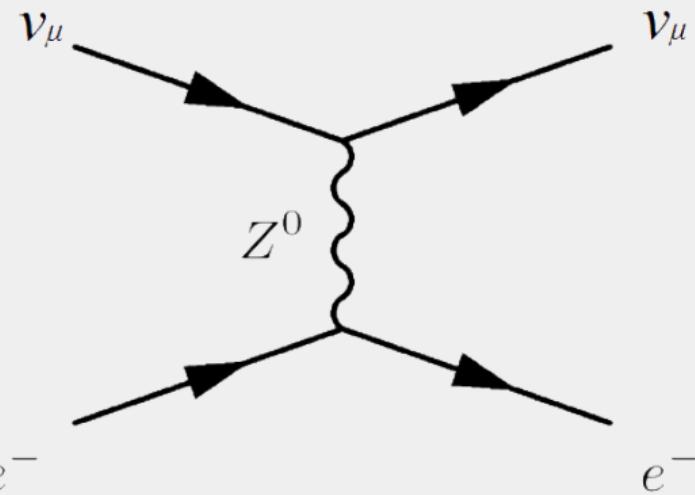


Abbildung: Feynman-Diagramm eines leptonischen neutralen Stromes [8].

1. INTRODUCTION

Among the many problems posed in weak interactions, it appears that neutrino experiments in Gargamelle would be especially suitable to investigate the following : *)

- i) Total cross-sections in the high energy region, for ν and $\bar{\nu}$;
- ii) Inelastic continuum excitation of the hadronic amplitude-structure factors and "partons";
- iii) Existence of the intermediate W-boson;
- iv) Coupling constants for diagonal and non-diagonal weak interactions;
- v) Neutral currents.

Abbildung: Auszug aus dem Proposal zum Gargamelle Detektor, März 1970 [3].

DER GARGAMELLE DETEKTOR

- Blasenkammer, betrieben am CERN von 1970 bis 1979
 - Kammer gefüllt mit 12 m^3 Freon (CBrF_3)
 - Temperatur der Flüssigkeit über der Siedetemperatur
 - Durchquerende Teilchen ionisieren die Flüssigkeit, wobei Dampfblasen entstehen
 - Nachweis der Gasblasen durch Kameras
- Kammer 4,8 m lang, 2 m im Durchmesser, 2 T Magnetfeld (zur Rekonstruktion)



Abbildung: Gargamelle Blasenkammer, ausgestellt am CERN [7].

DER GARGAMELLE DETEKTOR - NEUTRINOQUELLE

- Als Neutrinoquelle diente ein Protonenbeam vom Proton Syncrotron (26 GeV)
 - Entstehung von Kaonen und Pionen durch Kollision der Protonen mit einem Beryllium-Target
 - Kaonen und Pionen werden fokussiert und zerfallen in einem 70 m langen Tunnel in Myonen und Neutrinos
 - Neutrinoenergie im Bereich 1 GeV bis 10 GeV

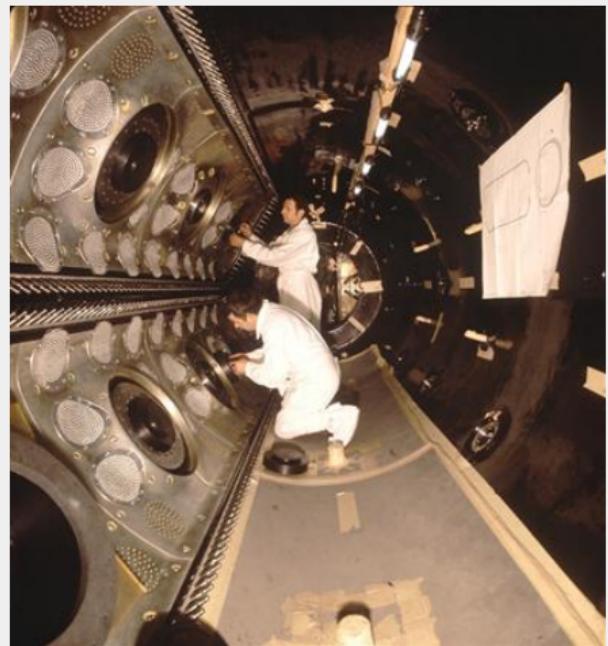


Abbildung: Blick in die Gargamelle Blasenkammer [2].

DER GARGAMELLE DETEKTOR - ERSTE RESULTATE

- **März 1972:** Erste Hinweise auf hadronische schwache Ströme ändern die Prioritäten der Analyse
 - Suche sowohl nach hadronischen als auch leptonischen Events
 - Leptonische Events: Weniger Hintergrundereignisse, treten jedoch selten auf
- **Dezember 1972:** Erste Beobachtung eines leptonischen NC-Events
- **19. Juli 1973:** Entdeckung der schwachen Ströme (leptonisch und hadronisch) wird präsentiert

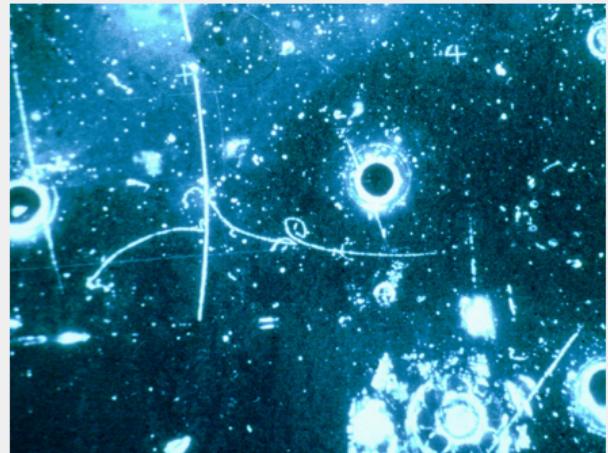


Abbildung: Beobachtung eines leptonischen neutralen Stromes [4]. Das Elektron bewegt sich horizontal von rechts nach links.

DER GARGAMELLE DETEKTOR - ERSTE RESULTATE

- Aus den Ergebnissen des Experimentes konnten die Massen von W-Boson und Z-Boson vorhergesagt werden [11]:

$$M_W \approx (60 - 80) \text{ GeV}$$
$$M_Z \approx (75 - 92) \text{ GeV}$$

- Jedoch existierte noch kein Experiment, welches die zur Erzeugung notwendige Schwerpunktsenergie zur Verfügung stellen konnte
⇒ Verschieben der "energy frontier" notwendig!

VIELEN DANK FÜR DIE AUFMERKSAMKEIT!

REFERENCES |



FERMIS NEUTRINO: THE KEY TO THE WEAK NUCLEAR FORCE.

<https://www.quantumdiaries.org/tag/majorana/>.

[Online; accessed 01-December-2018].



A VIEW INSIDE THE GARGAMELLE BUBBLE CHAMBER. TRAVAUX DE FINITION À L'INTÉRIEUR DU COPRS DE LA CHAMBRE DE GARGAMELLE.

NOV 1970.



PROPOSAL FOR A NEUTRINO EXPERIMENT IN GARGAMELLE.

TECHNICAL REPORT CERN-TCC-70-12, CERN, GENEVA, MAR 1970.



GARGAMELLE: FIRST NEUTRAL CURRENT. EN JUILLET 1973, UNE GRANDE DÉCOUVERTE EST ANNONCÉE DANS LE GRAND AMPHITHEÂTRE DU CERN : LE GROUPE GARGAMELLE A DÉTECTÉ LES COURANTS NEUTRES FAIBLES ! CETTE OBSERVATION CONFIRME LA THÉORIE ÉLECTROFAIBLE, QUI PRÉDIT QUE LA FORCE FAIBLE ET LA FORCE ÉLECTROMAGNÉTIQUE DOIVENT FORMER UNE UNIQUE INTERACTION.

1973.



NOBEL LECTURES IN PHYSICS 1971-1980 (NOBEL LECTURES, INCLUDING PRESENTATION SPEECHES AND LAUREATE).

WORLD SCIENTIFIC PUB CO INC, 1991.

REFERENCES II



WIKIMEDIA COMMONS.

FILE:ENRICO FERMI 1943-49.JPG — WIKIMEDIA COMMONS, THE FREE MEDIA REPOSITORY, 2017.
[Online; accessed 1-December-2018].



WIKIMEDIA COMMONS.

FILE:GARGAMELLE.JPG — WIKIMEDIA COMMONS, THE FREE MEDIA REPOSITORY, 2018.
[Online; accessed 26-November-2018].



WIKIMEDIA COMMONS.

FILE:NEUTRAL CURRENT, LEPTONIC EVENT, MUON NEUTRINO.PNG — WIKIMEDIA COMMONS, THE FREE MEDIA REPOSITORY, 2018.
[Online; accessed 26-November-2018].



T. P. GORRINGE AND D. W. HERTZOG.

PRECISION MUON PHYSICS.

Prog. Part. Nucl. Phys., 84:73–123, 2015.



DAVID J GRIFFITHS.

INTRODUCTION TO ELEMENTARY PARTICLES; 2ND REV. VERSION.

Physics textbook. Wiley, New York, NY, 2008.



LUIGI DI LELLA AND CARLO RUBBIA.

THE DISCOVERY OF THE W AND Z PARTICLES, PAGES 137–163.

REFERENCES III



DONALD H. PERKINS.

ELECTROWEAK INTERACTIONS AND THE STANDARD MODEL, PAGE 242275.

Cambridge University Press, 4 edition, 2000.

BACKUP SLIDE

This is a backup slide, useful to include additional materials to answer questions from the audience.

The package `appendixnumberbeamer` is used to refrain from numbering appendix slides.