

DIE SUCHE NACH SCHWEREN NEUTRINOS MIT DEM ATLAS DETEKTOR

*Eine Bachelorarbeit präsentiert beim Kolloquium der In.PhASE
23.06.2022
Technische Universität Berlin*

Ida Wöstheinrich

INHALT

- Das Standardmodell
- Physikalische Motivation
- Der ATLAS detektor
- Das HNL Model
- Analyseregionen und Hintergrundabschätzung
- Das Standard b-Hadron Veto

Grundlegende Informationen und die Arbeiten der Arbeitsgruppe

- Die Idee
- Methoden und Ergebnisse
 - $p_{T,DV}$ und α_{DV}
 1. Modifizierung des b-Hadron Vetos
 2. Vorhersagen des Hintergrunds
- Zusammenfassung

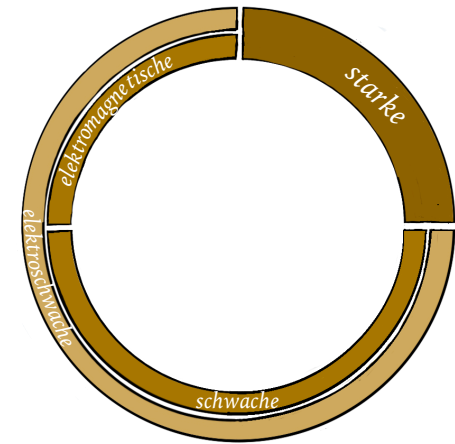
Meine Arbeit

DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

1. elektromagnetische WW
2. schwache WW
3. starke WW

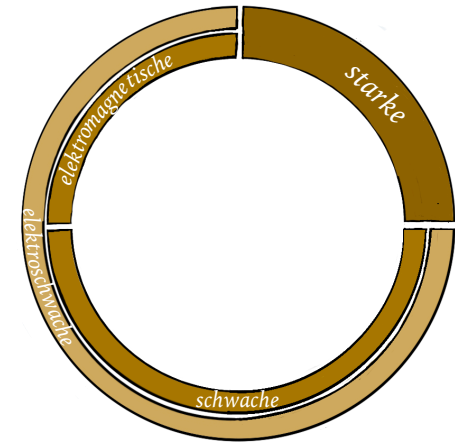


 Wechselwirkungen

DAS STANDARDMODEL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW



 Wechselwirkungen

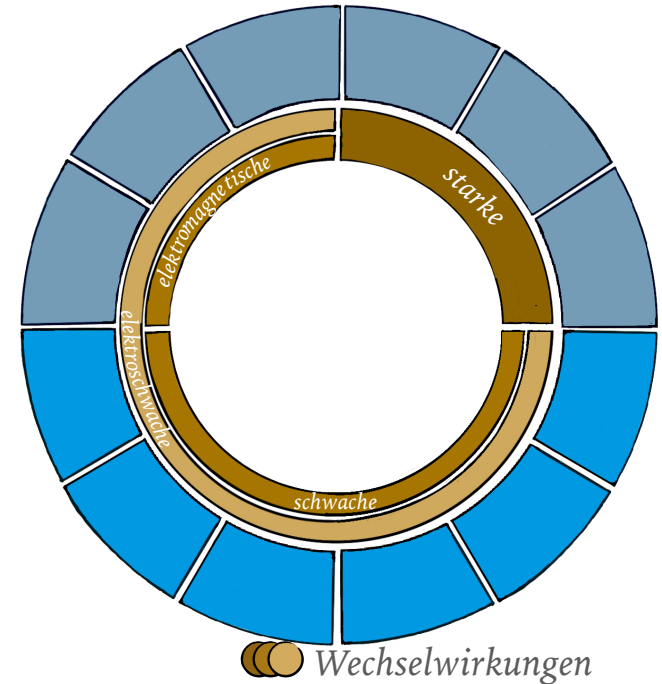
DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW

Materie-Teilchen (Fermionen)

1. Quarks (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom)
2. Leptonen - elektromagnetisch geladene (Elektron, Myon, Tau) und neutrale (Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino, Tau-Neutrino)



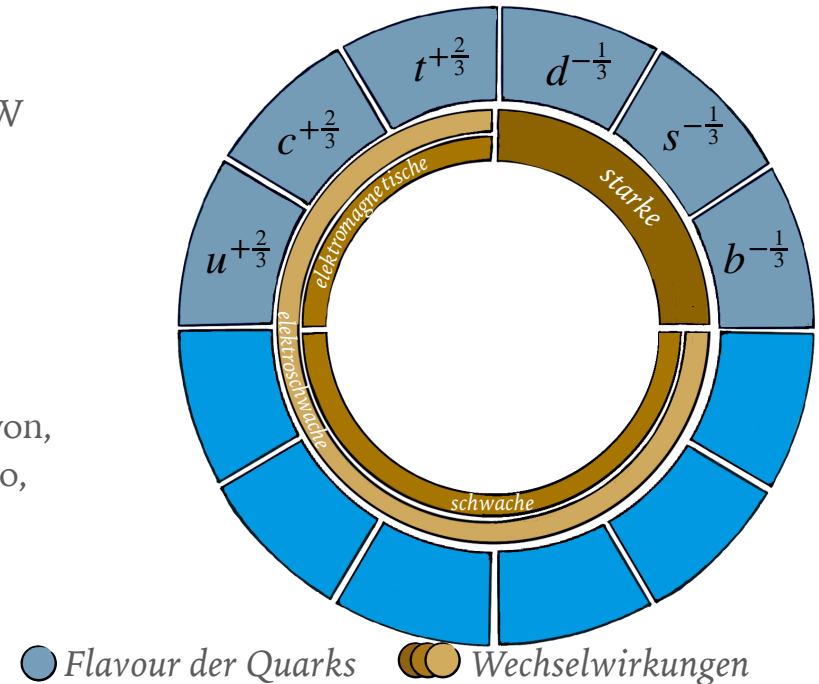
DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW

Materie-Teilchen (Fermionen)

1. Quarks (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom)
2. Leptonen - elektromagnetisch geladene (Elektron, Myon, Tau) und neutrale (Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino, Tau-Neutrino)



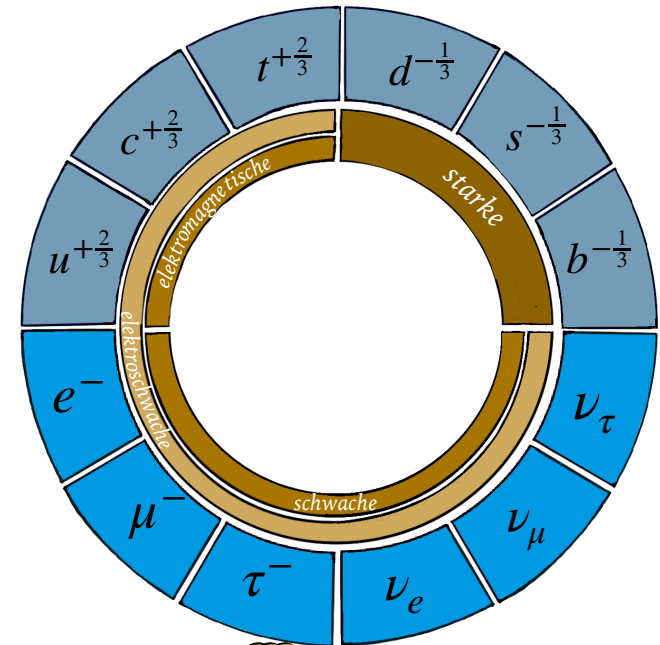
DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW

Materie-Teilchen (Fermionen)

1. Quarks (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom)
2. Leptonen - elektromagnetisch geladene (Elektron, Myon, Tau) und neutrale (Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino, Tau-Neutrino)



- Flavour der Quarks
- Flavour der Leptonen
- Wechselwirkungen

DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

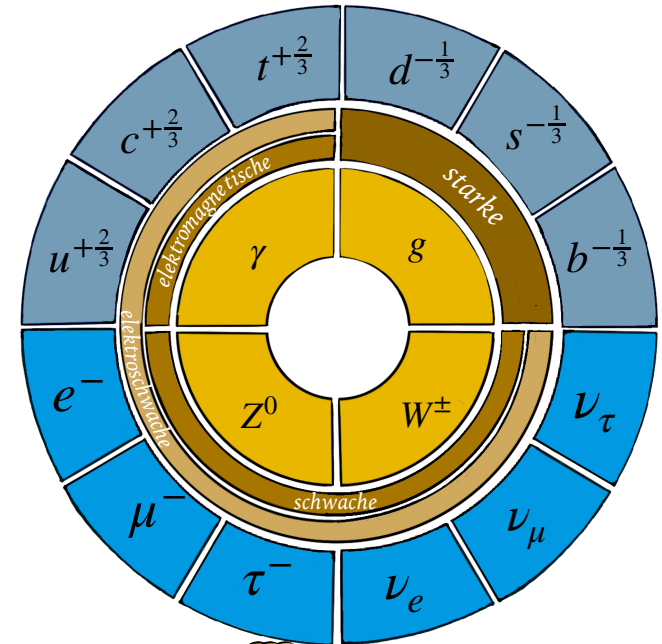
1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW

Materie-Teilchen (Fermionen)

1. Quarks (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom)
2. Leptonen - elektromagnetisch geladene (Elektron, Myon, Tau) und neutrale (Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino, Tau-Neutrino)

Wechselwirkungs-Teilchen (Bosonen)

1. Photon γ , Gluon g , W^\pm - und Z^0 -Boson
2. Higgs



- Flavour der Quarks
- Wechselwirkungen
- Flavour der Leptonen
- Bosonen

DAS STANDARDMODELL DER ELEMENTARTEILCHENPHYSIK

Drei Wechselwirkungen

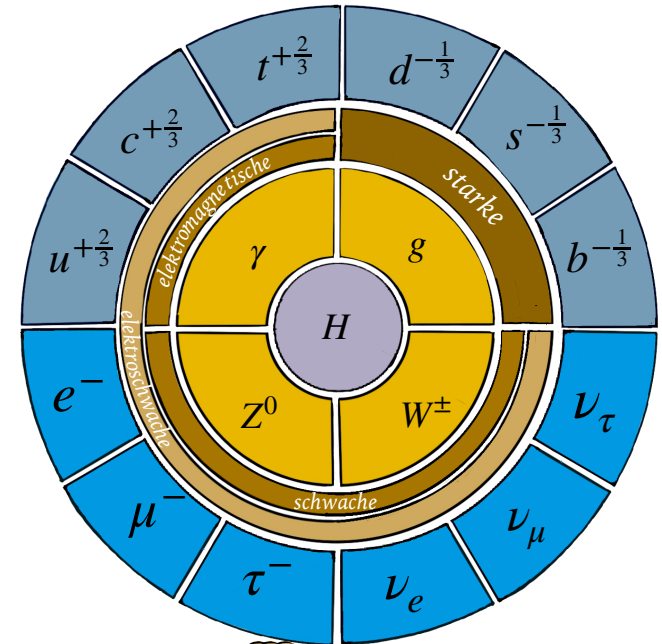
1. elektromagnetische WW
 2. schwache WW
 3. starke WW
- } elektroschwache WW

Materie-Teilchen (Fermionen)

1. Quarks (Up, Down, Charm, Strange, Top, Bottom)
2. Leptonen - elektromagnetisch geladene (Elektron, Myon, Tau) und neutrale (Elektron-Neutrino, Myon-Neutrino, Tau-Neutrino)

Wechselwirkungs-Teilchen (Bosonen)

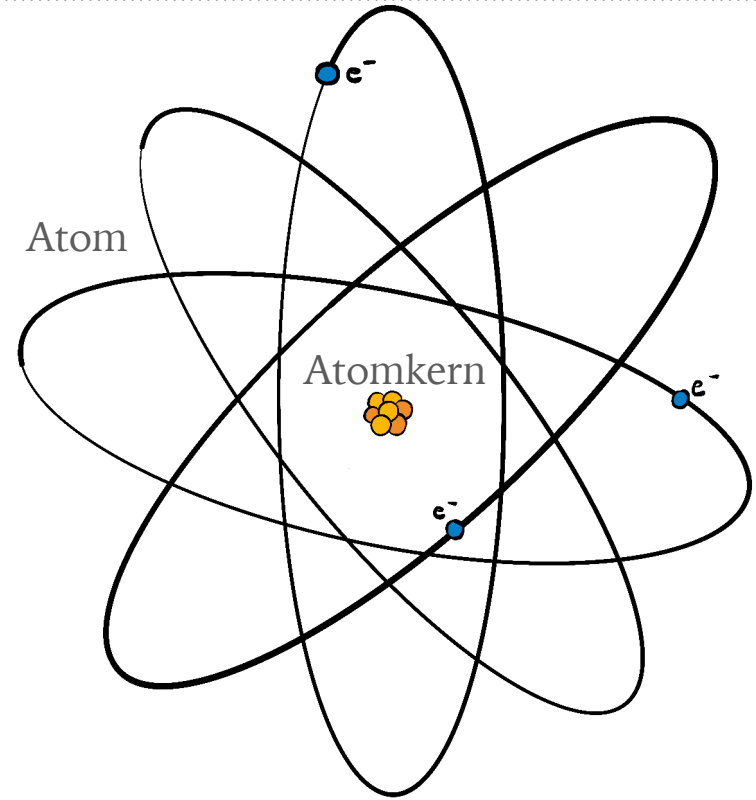
1. Photon γ , Gluon g , W^\pm - und Z^0 -Boson
2. Higgs



- Flavour der Quarks
- Wechselwirkungen
- Flavour der Leptonen
- Bosonen

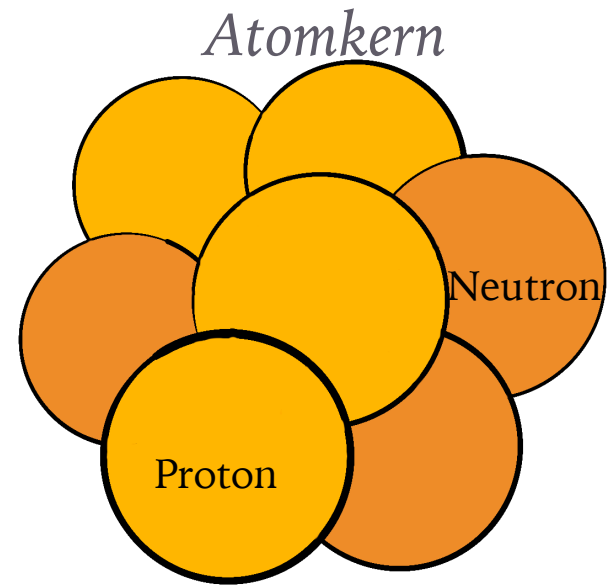
WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung



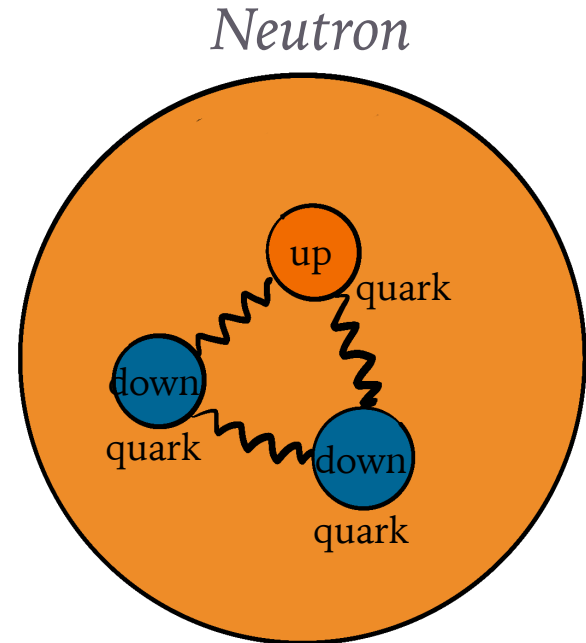
WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung



WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung



WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

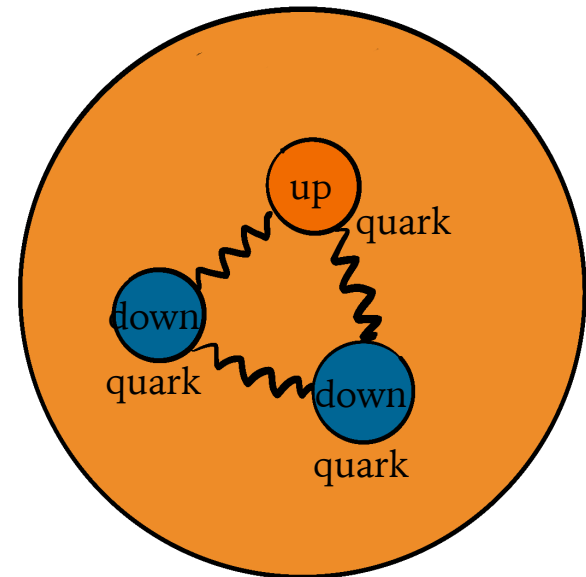
Eine kurze Wiederholung



DER BETA ZERFALL

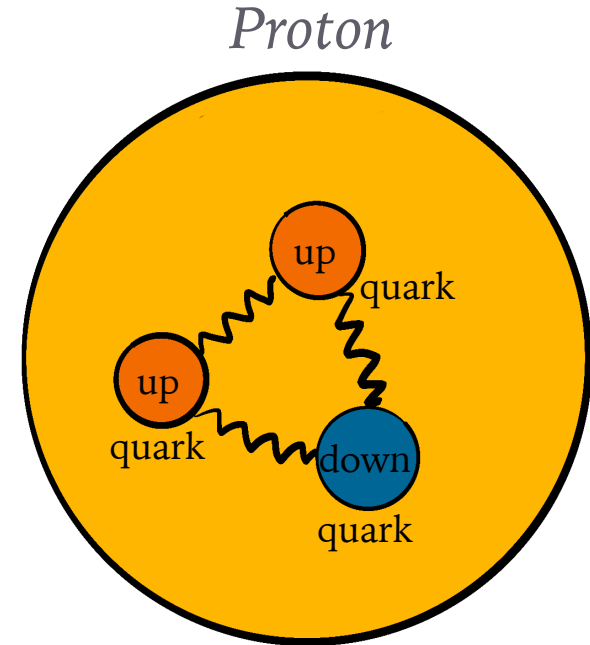
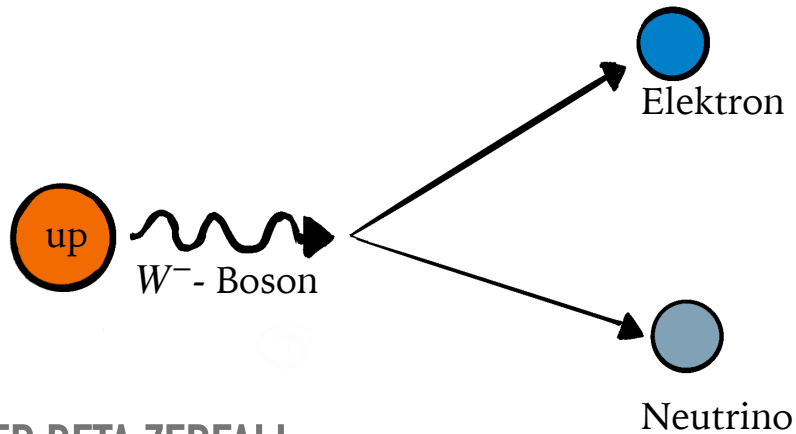
- ▶ Die schwache Wechselwirkung sorgt für einen Austausch von Flavour
- ▶ Die Wechselwirkungsteilchen der schwachen Wechselwirkung ist z.B. das W^- - Boson

Neutron



WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung

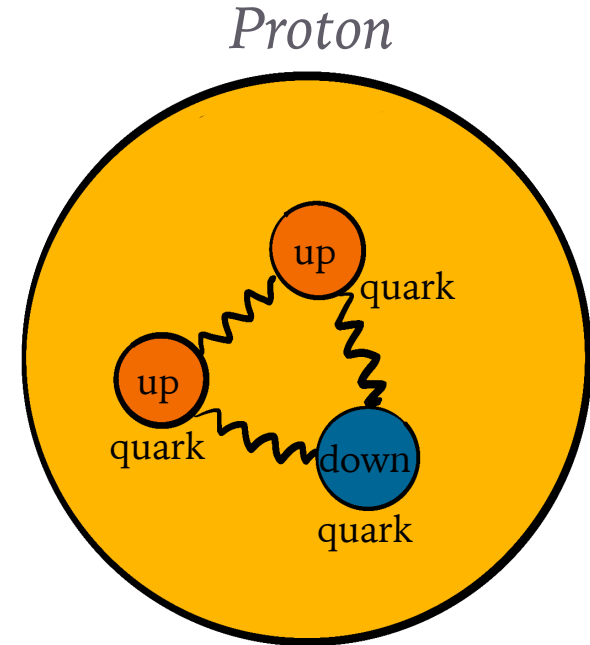
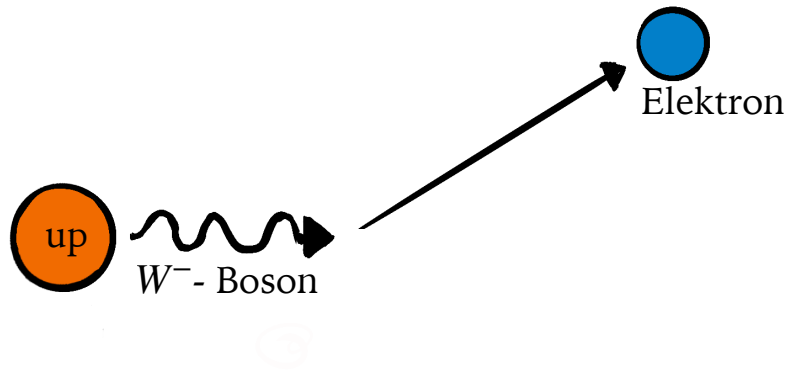


DER BETA ZERFALL

- ▶ Die schwache Wechselwirkung sorgt für einen Austausch von Flavour
- ▶ Das Wechselwirkungsteilchen der schwachen Wechselwirkung ist z.B. das W^- - Boson

WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung

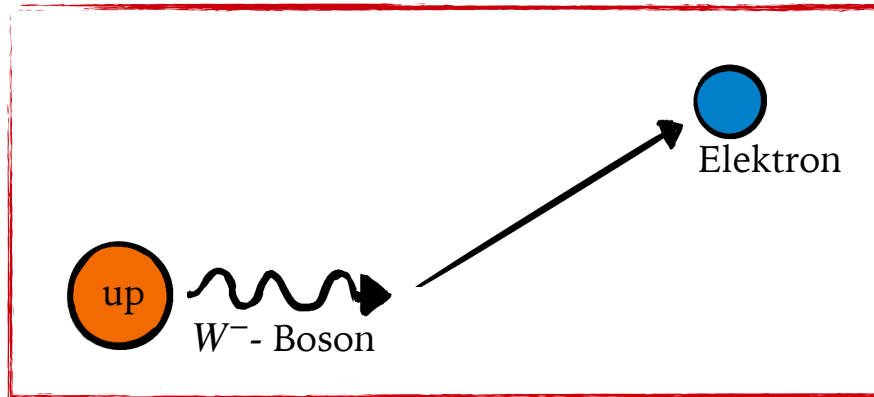


DER BETA ZERFALL

- ▶ Die schwache Wechselwirkung sorgt für einen Austausch von Flavour
- ▶ Das Wechselwirkungsteilchen der schwachen Wechselwirkung ist z.B. das W^- - Boson

WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

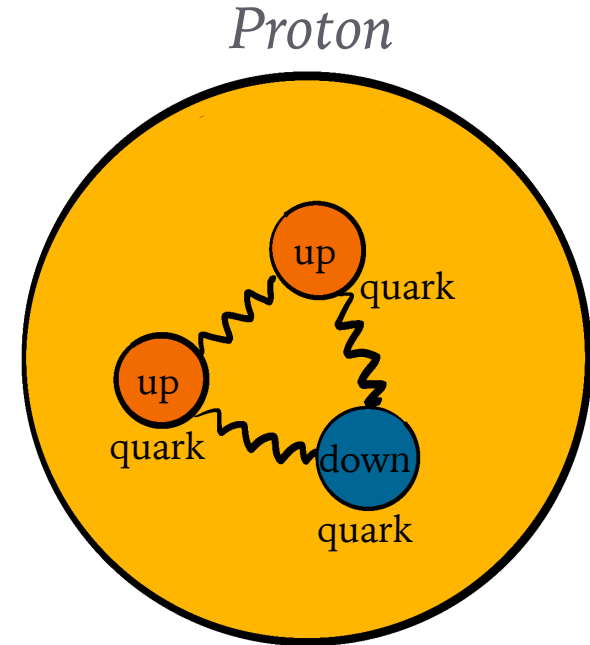
Eine kurze Wiederholung



Energieerhaltung verletzt

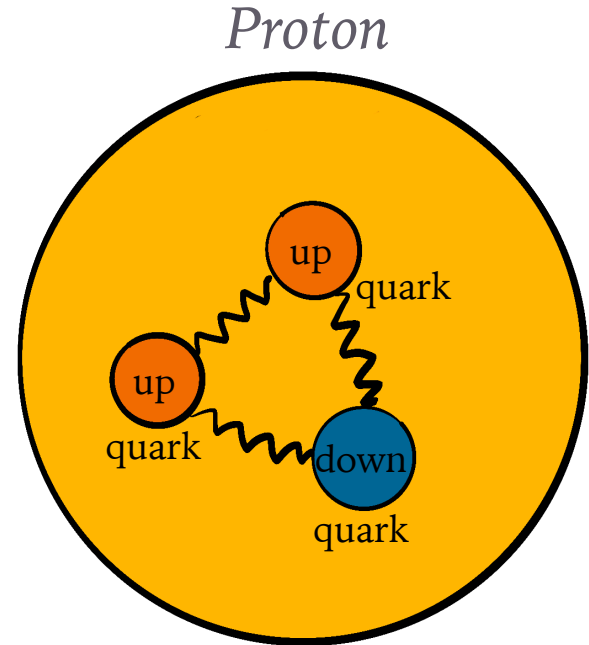
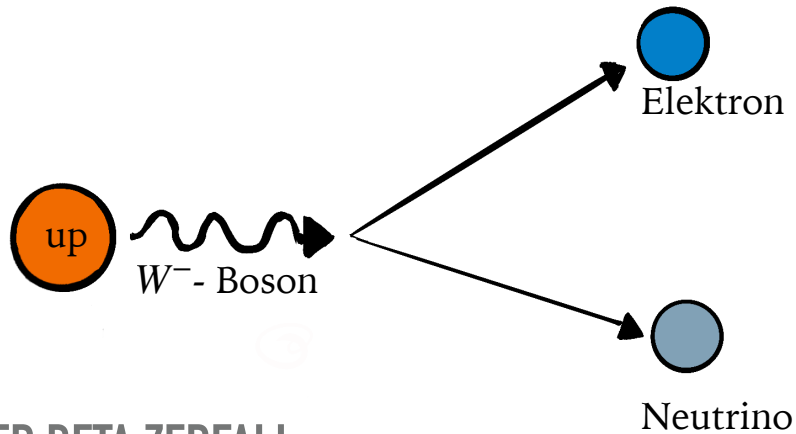
DER BETA ZERFALL

- ▶ Die schwache Wechselwirkung sorgt für einen Austausch von Flavour
- ▶ Das Wechselwirkungsteilchen der schwachen Wechselwirkung ist z.B. das W^- - Boson



WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Eine kurze Wiederholung

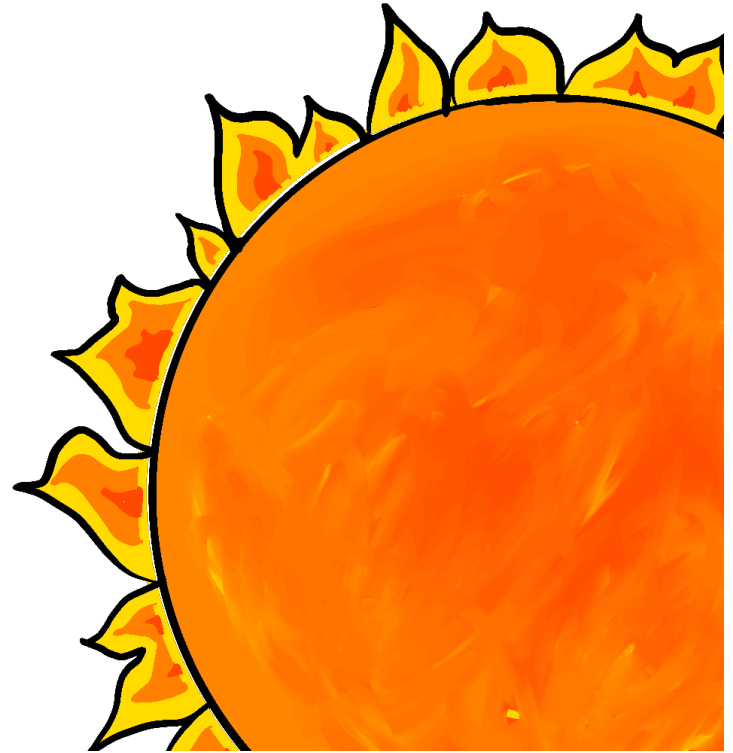
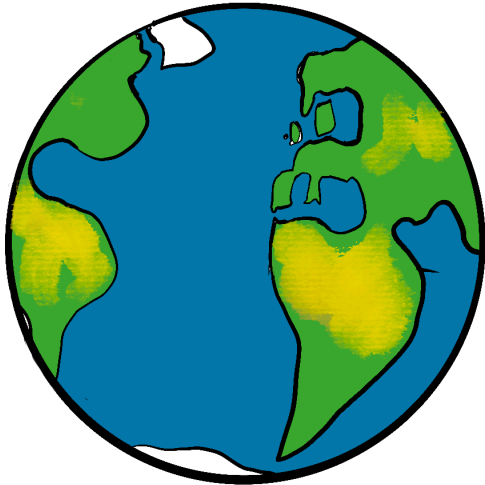


DER BETA ZERFALL

- ▶ Die schwache Wechselwirkung sorgt für einen Austausch von Flavour
- ▶ Das Wechselwirkungsteilchen der schwachen Wechselwirkung ist z.B. das W^- - Boson

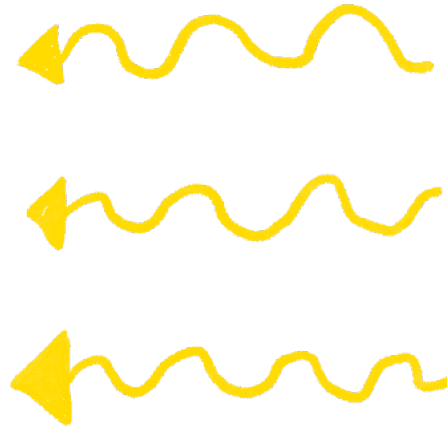
WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Die schwache Wechselwirkung



WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

Die schwache Wechselwirkung

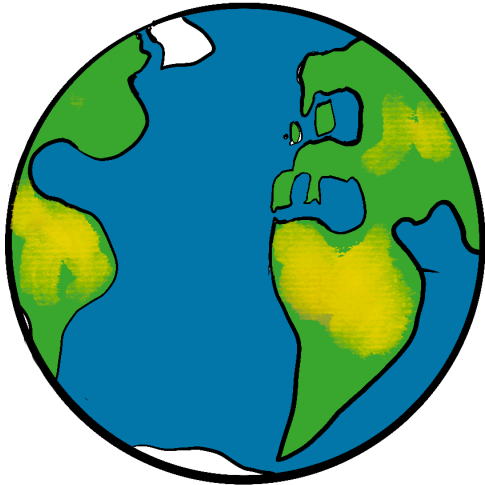


*Fusion von
Wasserstoff
in Helium*

WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

DAS NEUTRINO

- ist neutral geladen und wechselwirkt nur schwach

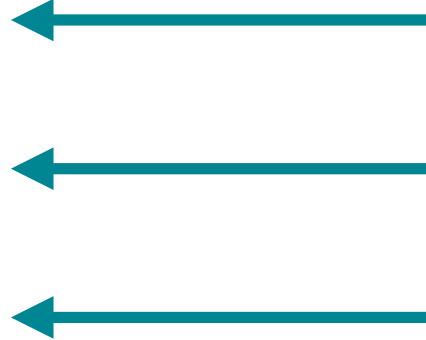
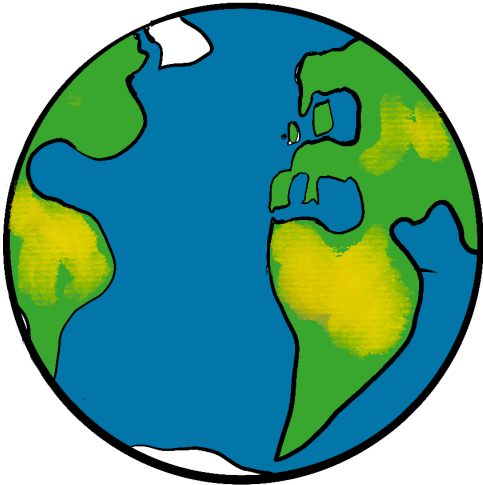


WAS SIND NOCHMAL NEUTRINOS?

DAS NEUTRINO

- ist neutral geladen und wechselwirkt nur schwach

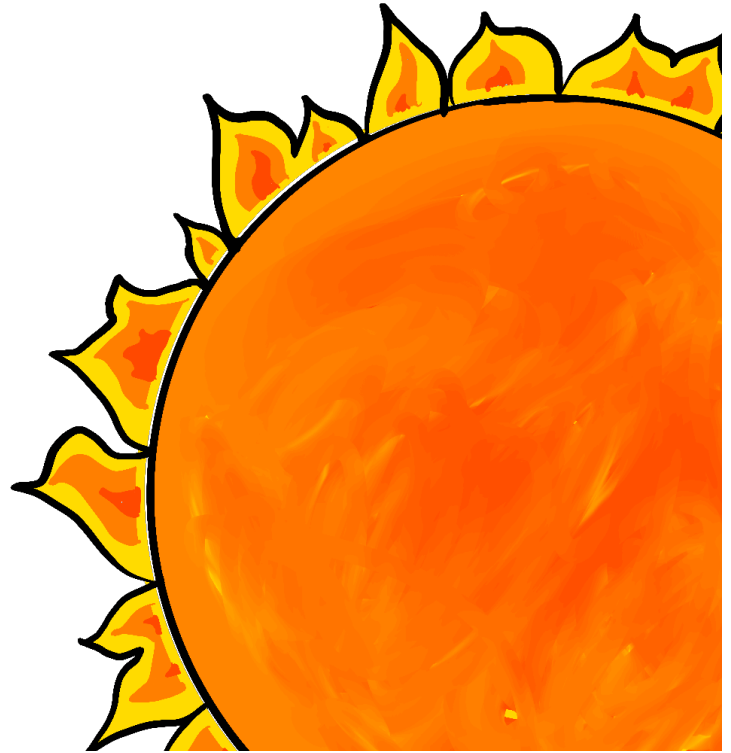
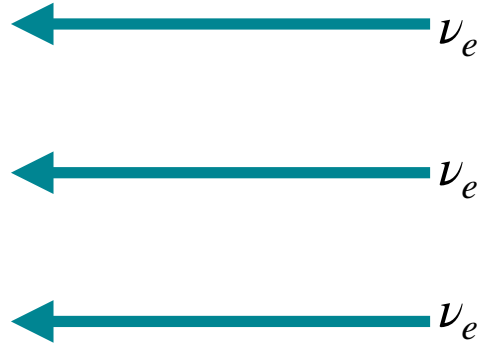
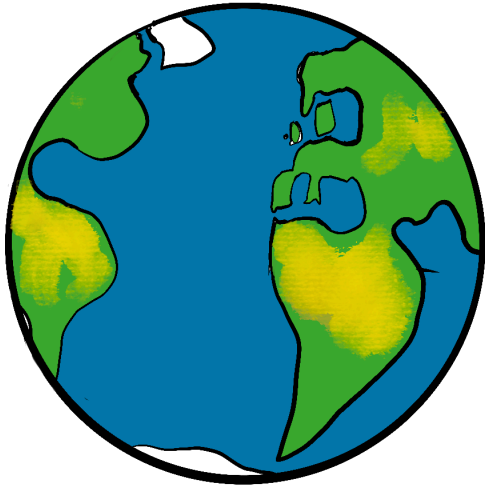
63 Milliarden Neutrinos
erreichen uns von der Sonne
pro $\text{cm}^2 \cdot \text{s}$



DAS PROBLEM MIT DEN NEUTRINO OSZILLATIONEN

DAS NEUTRINO

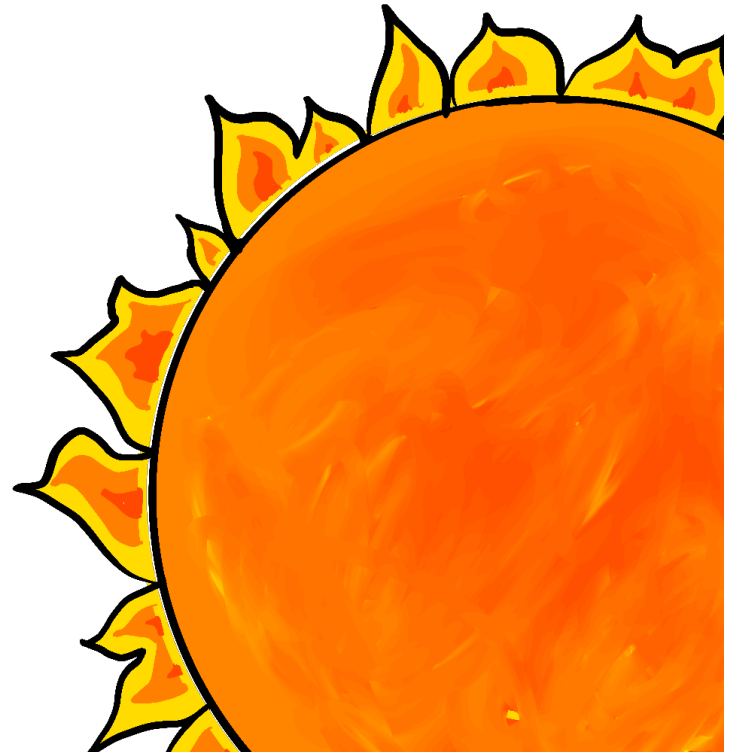
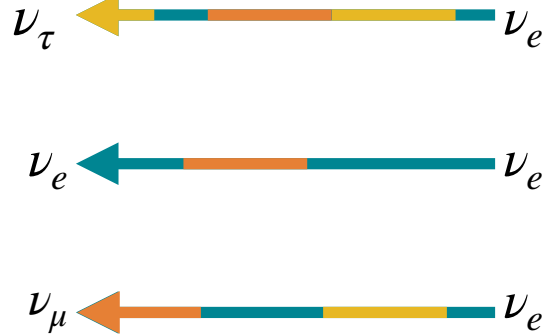
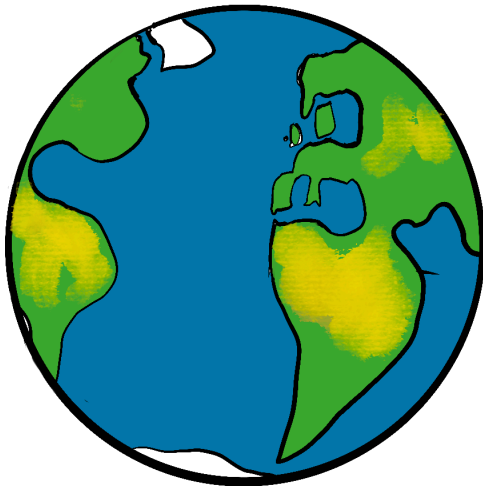
► sollte masselos sein



DAS PROBLEM MIT DEN NEUTRINO OSZILLATIONEN

DAS NEUTRINO

- sollte masselos sein
- Oszilliert im Flavour - erfährt also eine Zeit
- hat eine (sehr kleine) Masse



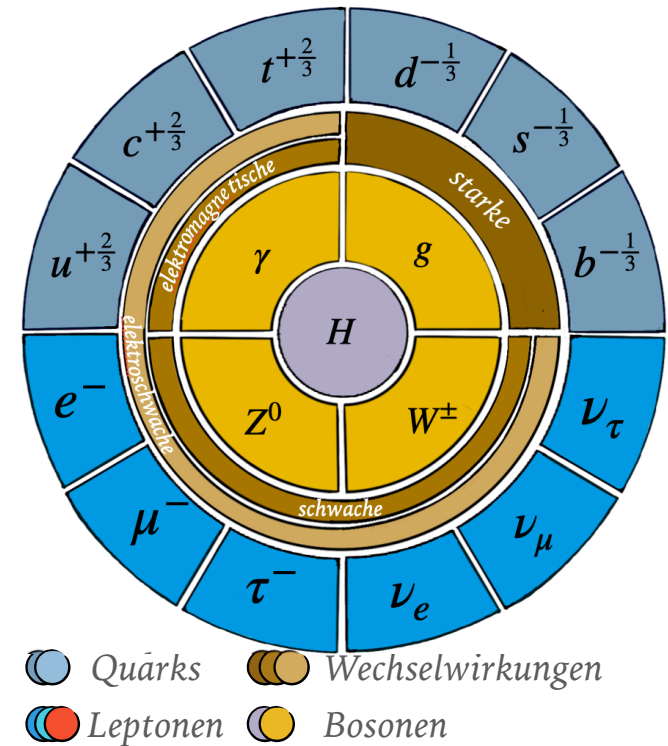
WARUM SUCHEN WIR NACH SCHWEREN NEUTRINOS?

Ungeklärte Phänomene

1. Neutrino Oszillationen

Könnten erklärt werden durch

- ▶ die Ergänzung des Standard Model Lagrangian durch $\mathcal{N} \geq 2$ rechts-händige Majorana Neutrinos N_1, N_2
- ▶ die Teilchen die zu diesen \mathcal{N} Zuständen gehören werden schwere neutrale Leptonen (HNLs) genannt



[2] T. Asaka, S. Blanchet, and M. Shaposhnikov. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/79/12/124201>.

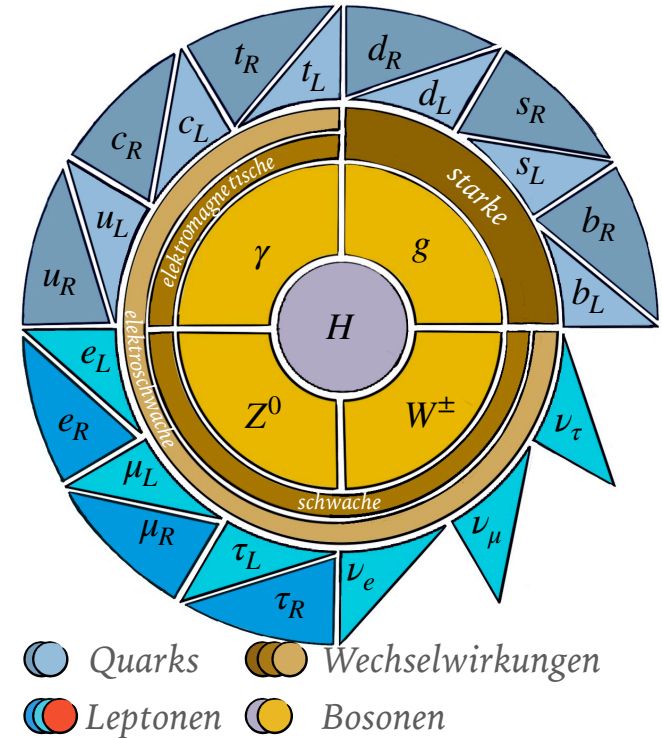
WARUM SUCHEN WIR NACH SCHWEREN NEUTRINOS?

Ungeklärte Phänomene

1. Neutrino Oszillationen

Könnten erklärt werden durch

- ▶ die Ergänzung des Standard Model Lagrangian durch $\mathcal{N} \geq 2$ rechts-händige Majorana Neutrinos N_1, N_2
- ▶ die Teilchen die zu diesen \mathcal{N} Zuständen gehören werden schwere neutrale Leptonen (HNLS) genannt



[2] T. Asaka, S. Blanchet, and M. Shaposhnikov. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/79/12/124201>.

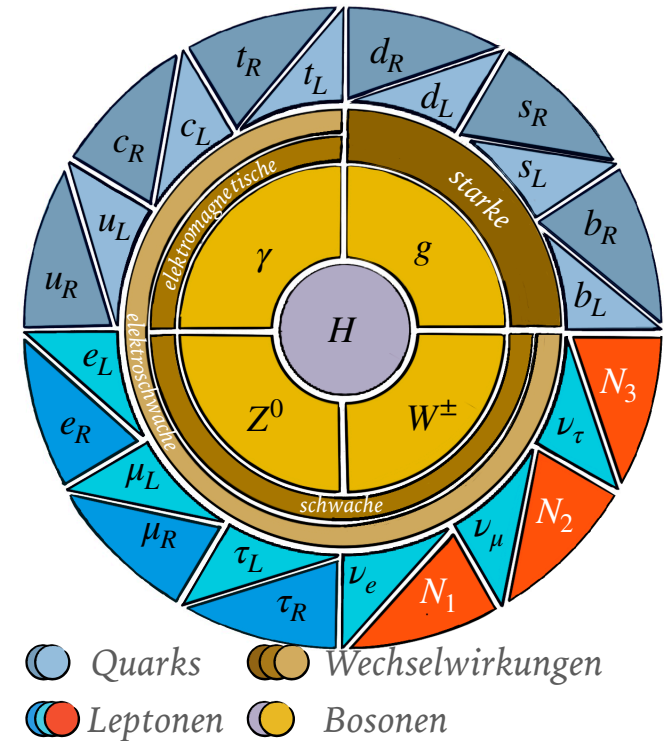
WARUM SUCHEN WIR NACH SCHWEREN NEUTRINOS?

Ungeklärte Phänomene

1. Neutrino Oszillationen
2. Gemessene Materie - Antimaterie Asymmetrie
3. Dunkle Materie

Könnten erklärt werden durch

- ▶ die Ergänzung des Standard Model Lagrangian durch $\mathcal{N} \geq 3$ rechts-händige Majorana Neutrinos N_1, N_2, N_3
- ▶ die Teilchen die zu diesen \mathcal{N} Zuständen gehören werden schwere neutrale Leptonen (HNLs) genannt



[2] T. Asaka, S. Blanchet, and M. Shaposhnikov. <https://doi.org/10.1088/0034-4885/79/12/124201>.

ATLAS DETEKTOR

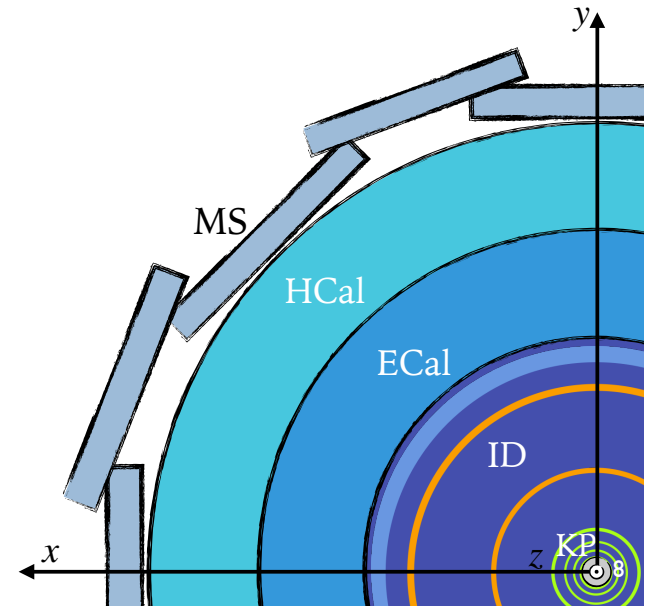
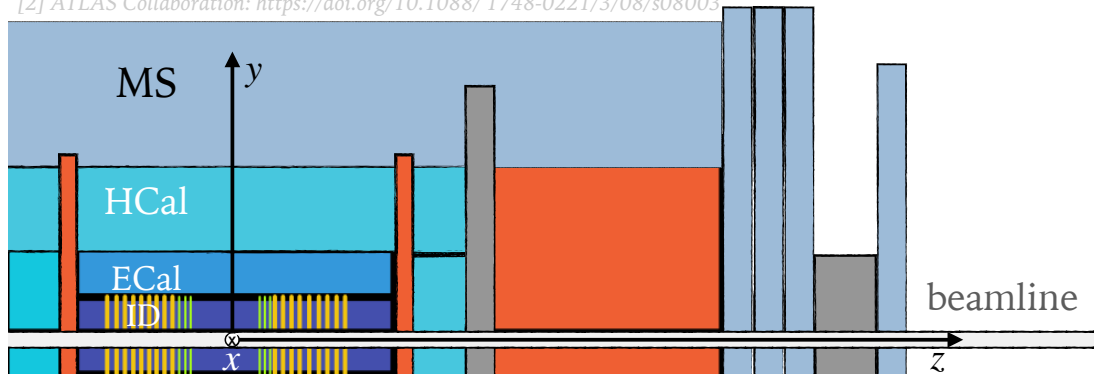
Teildetektoren

MS	●	Myonspektrometer
HCal	●	Hadronisches Kalorimeter
ECal	●	Elektromagnetisches Kalorimeter
ID	●	Innerer Spurendetektor
KP		Kollisionspunkt

● Kalorimeters

● Spurendetektoren

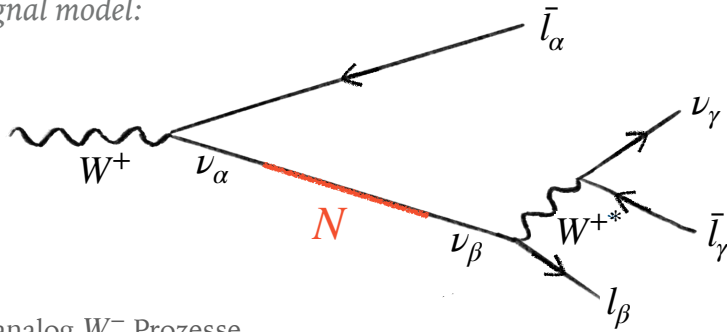
[2] ATLAS Collaboration: <https://doi.org/10.1088/1748-0221/3/08/s08003>



DAS HNL MODEL

Suche nach langlebigen HNL N mit $M_N \in \{4 \text{ GeV}, 10 \text{ GeV}, 15 \text{ GeV}\}$ und $c\tau \in [1 \text{ mm}, 10 \text{ mm}, 100 \text{ mm}]$

signal model:

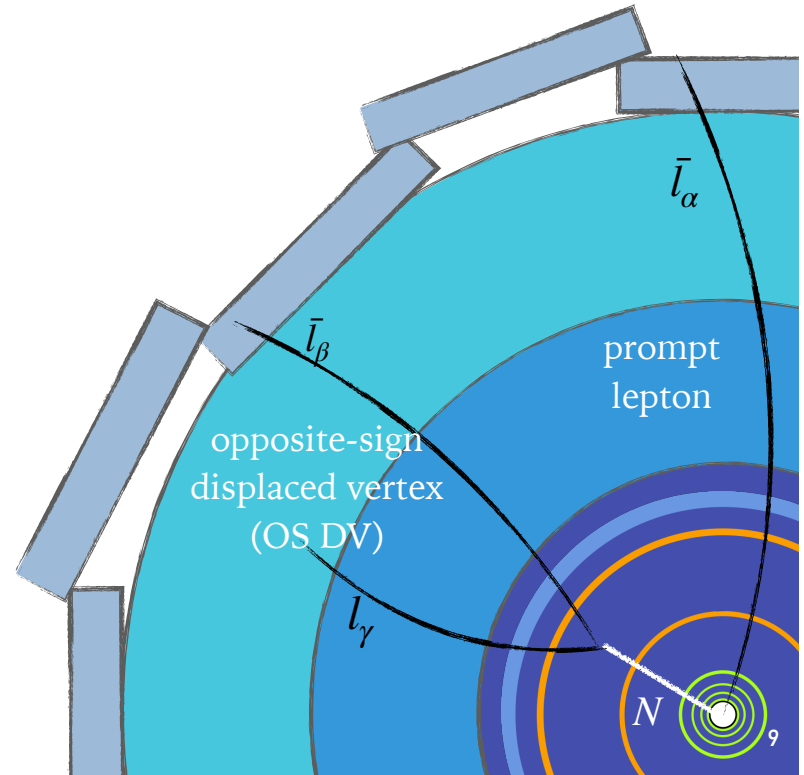


+ analog W^- Prozesse

► Analyse Kanäle definiert über (α, β, γ)

► Kanäle in der Datenanalyse:

$(\mu, \mu, \mu), (\mu, \mu, e), (e, e, \mu), (e, e, e)$



FÜR DIE SELEKTION RELEVANTE VARIABLEN

Selektion siehe Anhang, Slide 21

prompt lepton *HNL* displaced vertex (DV)

\bar{l}_α

HNL

displaced vertex (DV)

- r_{DV} [mm]
- p_{DV} [GeV]
- $p_{T,DV}$ [GeV]
- m_{DV} [GeV]
- α_{DV}

\bar{l}_β

$p_{T,DV}$

\vec{p}_{DV}

l_γ

α_{DV}

N

r_{DV}

y

x

z

beamline

[4] Internal note, CERN, Geneva, Jul 2021, ATL-COM-PHYS-2020-248