

ELEMENTARTEILCHENPHYSIK



**WAS HÄLT DIE WELT IM INNERSTEN ZUSAMMEN?
WIE IST UNSER UNIVERSUM ENTSTANDEN?**

UNSER GESAMTES WISSEN ÜBER DIE GRUNDBAUSTEINE DES UNIVERSUMS KANN IN EINER EINZIGEN FORMEL DARGESTELLT WERDEN:

Was sind die Grundbausteine des Universums?

Welche fundamentalen Kräfte wirken zwischen ihnen?

Woher wissen wir das alles?

Sind wir damit bereits am Ende der Erkenntnis angelangt?

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & + D_{\mu}\Phi^{\dagger}D^{\mu}\Phi - V(\Phi) \\ & + \bar{\Psi}_L\hat{Y}\Phi\Psi_R + h.c.\end{aligned}$$

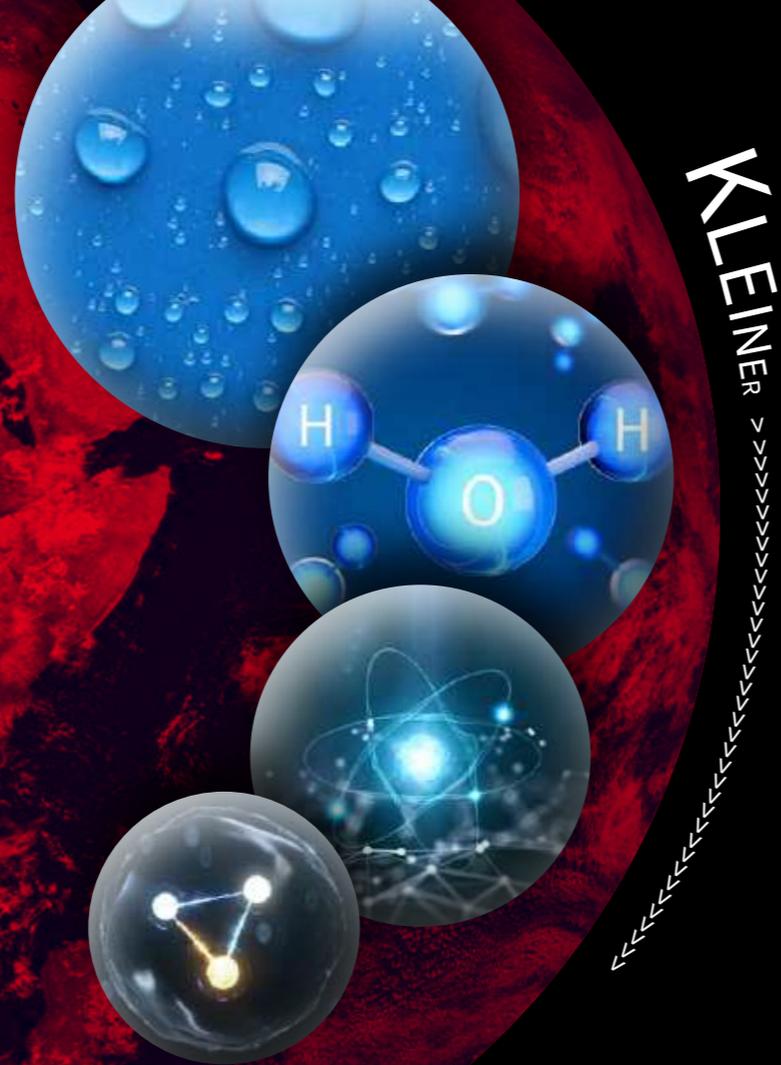
Bildnachweis: stock.adobe.com



WORAUS BESTEHT UNSERE WELT?

Ein Wassertropfen besteht aus Molekülen, welche wiederum aus zwei Wasserstoff und einem Sauerstoffatom bestehen. Diese werden zusammengesetzt aus Elektronen und dem Atomkern. Der Atomkern besteht aus Protonen und Neutronen und diese wiederum aus Quarks.

Bildnachweis: fotolia



WIE FUNKTIONIERT UNSERE WELT?

Gravitation:

Äpfel fallen von Bäumen und die Erde rotiert um die Sonne

Elektromagnetische Kraft:

ist Ursache für Blitz, Donner und Elektrizität

Schwache Kraft:

ermöglicht Energieerzeugung in der Sonne

Starke Kraft:

bindet Protonen und Neutronen zu Atomkernen



STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Alle bekannten Elementarteilchen im Universum können in drei Klassen eingeteilt werden: Materieteilchen, Kräfterteilchen und Teilchen für die Massenerzeugung.

Materieteilchen

Quarks: Es gibt sechs Arten von Quarks: up, down, charm, strange, top und bottom. Quarks sind Bausteine für größere Teilchen, z. B. besteht ein Proton aus 2 up-Quarks und 1 down-Quark!

Leptonen: Es gibt drei elektrisch geladene Leptonen: Elektronen, Myonen und Tauonen. Außerdem gibt es drei neutrale Leptonen: die Neutrinos.

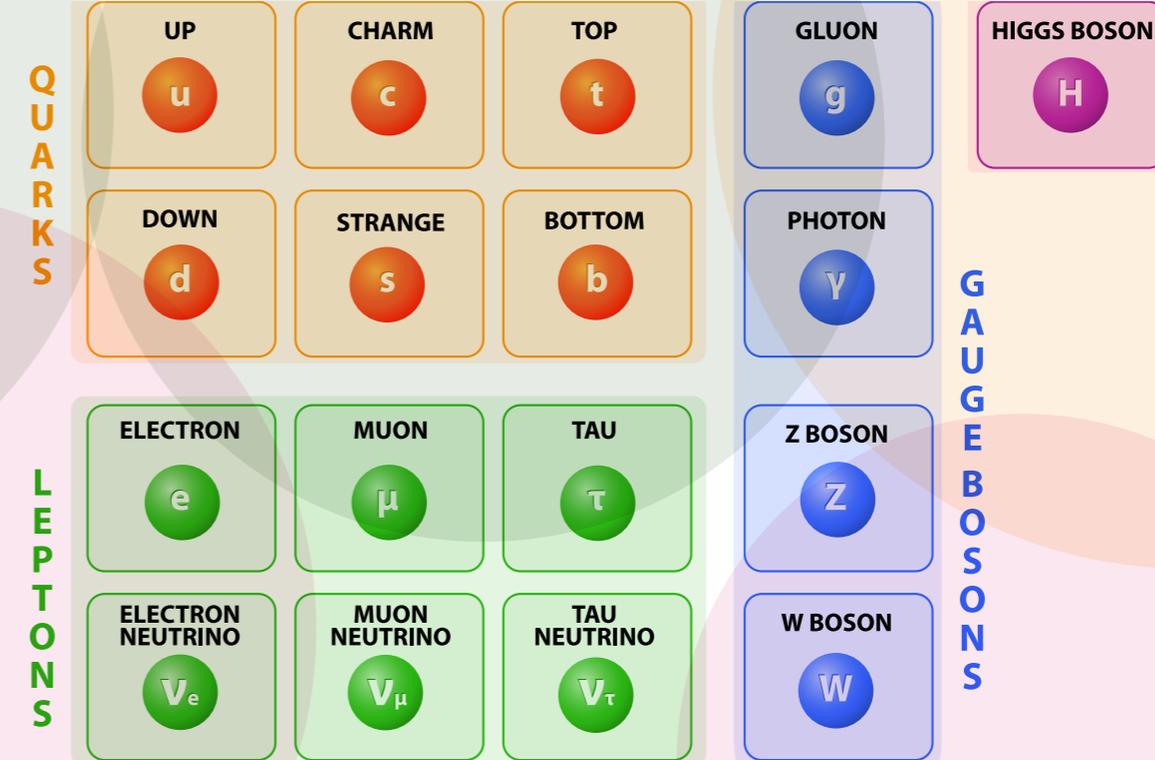
Kräfterteilchen

Die fundamentalen Kräfte werden durch spezielle Teilchen übertragen: die elektromagnetische Kraft durch das Photon, die starke Kraft durch das Gluon und die schwache Kraft durch die W und Z Bosonen.

Massenerzeugung

Wir wissen, dass Teilchen Masse haben, aber das schafft mathematische Probleme in unserer Theorie. Glücklicherweise hat man eine Lösung gefunden, um Teilchen Masse zu verleihen. Dies führte zu einer berühmten Entdeckung im Jahr 2012: dem Higgsboson.

STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK



Das schwerste Elementarteilchen, das top quark, ist 0,000 000 000 000 000 000 000 000 31 kg schwer.

WOMIT WIR WIEDER AM ANFANG WÄREN

Alle Eigenschaften der Elementarteilchen können mathematisch in dieser vier Zeilen langen Formel zusammengefasst werden - diese wird als Standardmodell der Teilchenphysik bezeichnet.

$$\begin{aligned}\mathcal{L} = & -\frac{1}{4}F_{\mu\nu}F^{\mu\nu} \\ & + i\bar{\Psi}\not{D}\Psi \\ & + D_{\mu}\Phi^{\dagger}D^{\mu}\Phi - V(\Phi) \\ & + \bar{\Psi}_L\hat{Y}\Phi\Psi_R + h.c.\end{aligned}$$

beschreibt Kräftepartikel

beschreibt Quarks und Leptonen,
sowie deren Wechselwirkungen mit
den Kräftepartikeln

beschreibt das Higgs-Teilchen und gibt
W und Z Bosonen eine Masse

gibt Quarks und
Leptonen eine
Masse



WOHER WISSEN WIR DAS ALLES?



Teilchenbeschleuniger sind unsere Mikroskope zur Untersuchung des Mikrokosmos - der größte ist der Large Hadron Collider (LHC).

Wenn wir irgendein Objekt anschauen, dann arbeiten unsere Augen als Detektoren für Licht, das von der Sonne kommt und von diesem Objekt gestreut wird.

Mit einem Lichtmikroskop können wir nur Objekte auflösen, die größer als die Wellenlänge des Lichts sind, was in etwa der Größe von kleinen Bakterien entspricht.

Für kleinere Objekte brauchen wir kleinere Wellenlängen - was höheren Energien entspricht.

Die höchstmöglichen Energien können gegenwärtig am LHC erzeugt werden, somit ist der LHC unser leistungsfähigstes Mikroskop.

WAS IST DER LHC?



LHC steht für Large Hadron Collider und ist der größte Teilchenbeschleuniger weltweit und steht am CERN in Genf in der Schweiz.

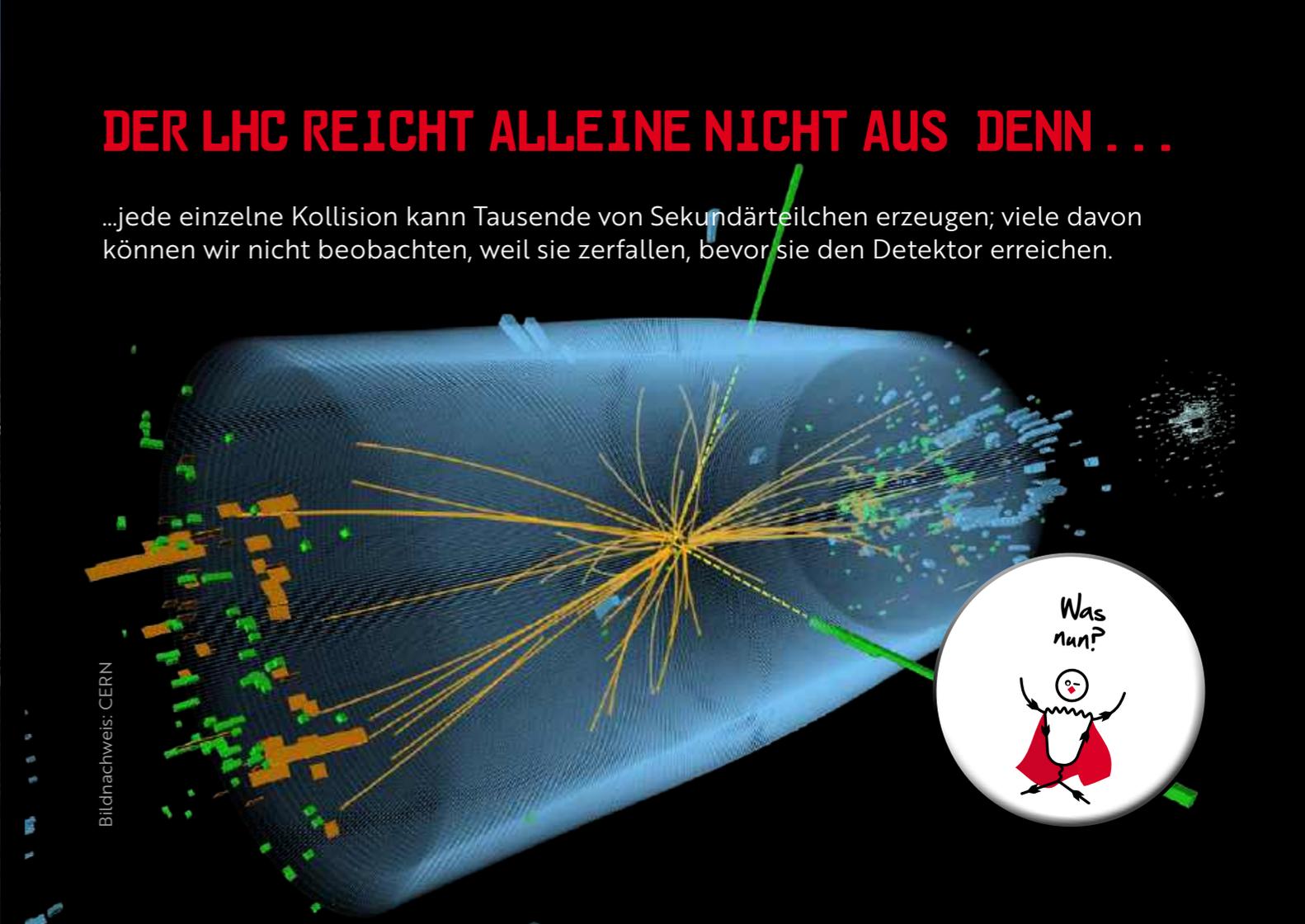
Pro Sekunde gibt es am LHC in etwa 1 Milliarde Kollisionen von einem Proton mit einem anderen Proton.

Der LHC ist 27km lang und befindet sich in etwa 100m unten der Erde.
Die Protonen fliegen in einer Sekunde etwa 10 000 mal um den gesamten Ring!

Bildnachweis: CERN

DER LHC REICHT ALLEINE NICHT AUS DENN...

...jede einzelne Kollision kann Tausende von Sekundärteilchen erzeugen; viele davon können wir nicht beobachten, weil sie zerfallen, bevor sie den Detektor erreichen.



Bildnachweis: CERN



DIE LÖSUNG: NUMERISCHE SIMULATIONEN

... aber wir können Rückschlüsse auf die Existenz dieser Sekundärteilchen und Ihre Eigenschaften schließen, indem wir uns die detektierten Zerfallsprodukte und deren Verteilung im Detektor ansehen.



Die Hauptmethode, um diese Beobachtungen zu verstehen und zu interpretieren, besteht darin, auf einem Computer zu simulieren, was wir für verschiedene theoretische Modelle erwarten, und dann das simulierte Ergebnis mit realen Daten zu vergleichen.

Simulationen stellen somit eine Brücke zwischen Theorie und Experiment dar.

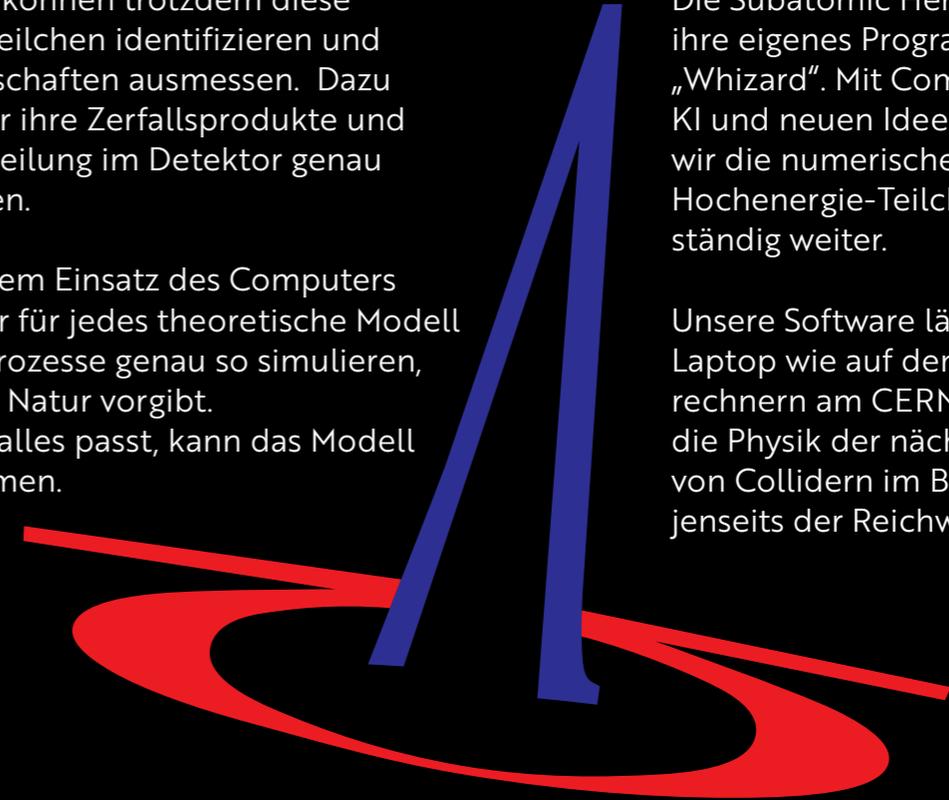
FORSCHUNG IN SIEGEN

... aber wir können trotzdem diese Sekundärteilchen identifizieren und ihre Eigenschaften ausmessen. Dazu müssen wir ihre Zerfallsprodukte und deren Verteilung im Detektor genau beobachten.

Mit massivem Einsatz des Computers können wir für jedes theoretische Modell Quantenprozesse genau so simulieren, wie sie die Natur vorgibt. Nur wenn alles passt, kann das Modell auch stimmen.

Die Subatomic Heroes betreiben ihre eigenes Programmsystem „Whizard“. Mit Computeralgebra, KI und neuen Ideen entwickeln wir die numerische Simulation von Hochenergie-Teilchenprozessen ständig weiter.

Unsere Software läuft auf dem Laptop wie auf den Hochleistungsrechnern am CERN und hat schon die Physik der nächsten Generation von Collidern im Blick - bis weit jenseits der Reichweite des LHC.



GIB ES IRGENDETWAS JENSEITS VOM STANDARDMODELL?



KI generiertes Bild

Woher kommt
dunkle Materie?

Das Standard Model ist
extrem erfolgreich, da es
tausende Observablen
sehr genau vorhersagt.

**ABER VIELE FRAGEN
BLEIBEN OFFEN:**

Warum gibt es
so viele verschiedene
Quarks?

Wieso gibt es
mehr Materie als
Antimaterie?



Wie baut man die
Gravitation ein?

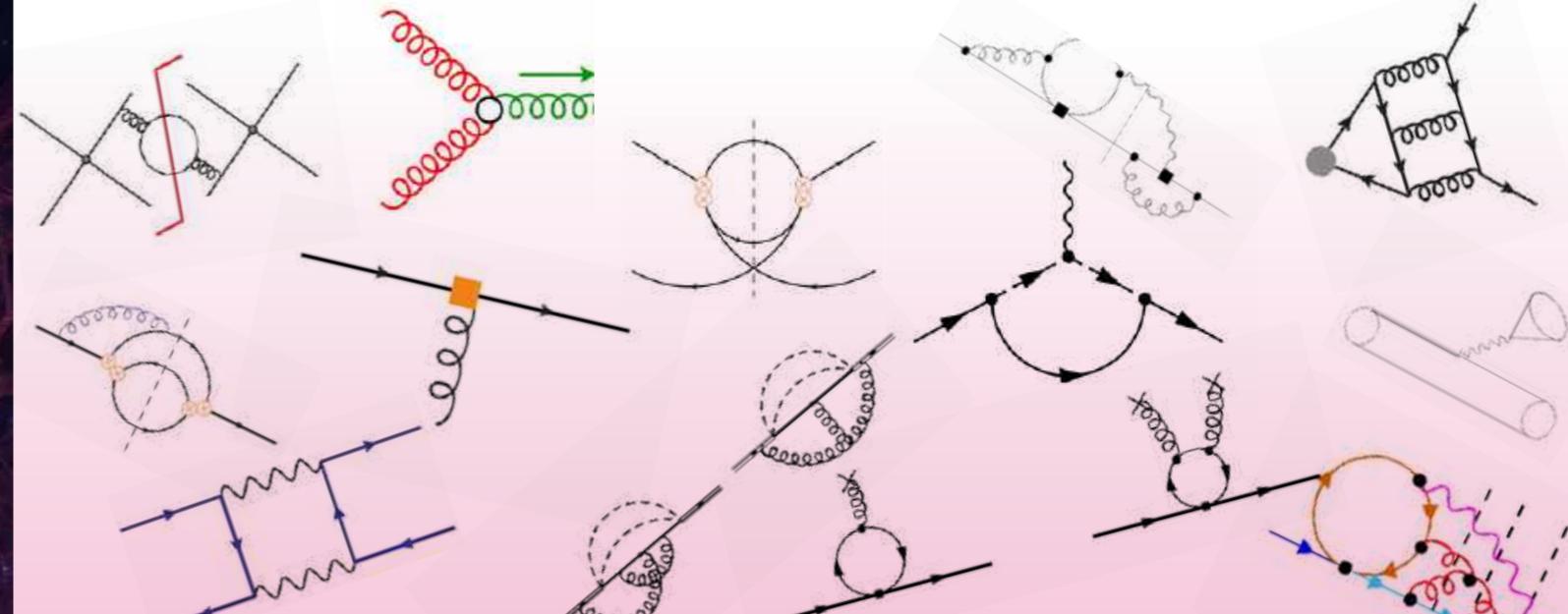
DUNKLE MATERIE

In den frühen 1970er wurde bestätigt, dass die Sterne in nahen Galaxien schneller rotieren als erwartet, basierend auf ihrer sichtbaren Masse. Wenn Einsteins Gravitationstheorie korrekt ist, ist die einzige vernünftige Erklärung dafür, dass es fünf mal mehr Masse um jede Galaxie herum geben muss, die wir nicht sehen können (das sogenannte Halo). Dies ist das, was Physiker Dunkle Materie nennen. Wir wissen noch nicht, wie man die dunkle Materie ins Standardmodell einbettet.

KI generiertes Bild

PRÄZISIONSRECHNUNGEN

Um mit Hilfe des Standardmodells äußerst präzise Vorhersagen zu treffen, wandeln wir diese Bilder (Feynman Diagramme) in komplexe mathematische Ausdrücke um. Dann verwenden wir viele verschiedene Methoden, um diese Ausdrücke auszuwerten, damit wir sie mit dem Experiment vergleichen können!



EXPERIMENTELLE TEILCHENPHYSIK:

Wir vergleichen unsere Präzisionsrechnung von komplizierten Zerfällen mit dem Experiment, durchgeführt von unseren Freunden, die an den Large Hadron Collider Experimenten LHCb, ATLAS und CMS arbeiten am CERN.

Wir hoffen, einige signifikante Diskrepanzen zwischen Theorie und Experiment zu finden, welche der Ursprung zur Entdeckung eines neuen Teilchens sein könnten, das wiederum einige der Rätsel des Standardmodells lösen könnte.



Bildnachweis: CERN

TEILCHENPHYSIK AN DER UNIVERSITÄT SIEGEN

Center for Particle Physics Siegen
ca. 80 Forschende in Experiment und Theorie



Bildnachweis: Sascha Hüttenhain

WIESO PHYSIK IN SIEGEN?

1. Sensationelles Betreuungsverhältnis

2. Internationale Spitzenforschung in vielen Bereichen; für die Subatomic Heroes sind dabei folgende Gebiete besonders relevant:

- Theoretische Flavourphysik
- Experimentelle Teilchenphysik: ATLAS@Siegen
- Experimentelle Quantenoptik (Quantencomputing, eleQtron)

3. Ein Studium in Siegen bietet ein exzellentes Preis-Leistungsverhältnis

4. Du kannst auch zu einem Subatomic Hero werden!

Bildnachweis: Sascha Hüttenhain

SIEGEN



Bildnachweis: stock.adobe.com



**WIR AGIEREN
INTERNATIONAL!**



IMPRESSUM:

Universität Siegen
Fakultät IV/Department Physik
Theoretische Physik I
Alexander Lenz
Walter-Flex-Straße 3
57068 Siegen



Folge uns
auf Instagram:



www.tp1.physik.uni-siegen.de