

Projektarbeit

Marie-Curie-Gymnasium Bönen

Physik-Projektkurs 2019/2020

Herr Dr. Thomas Günther

Higgs-Formalismus

Von Lea Lang und Sarah Schmidt

Inhalt

1. Einleitung
2. Geschichte der Entdeckung
3. Higgs-Bosonen
 - 3.1 Funktionsweise
 - 3.2 Vakuumzerfall
4. Verarbeitung innerhalb der Animation
5. Quellen

1. Einleitung

In Anbetracht an die Zeit, die uns im Physik-Projektkurs dieses Jahres zur Verfügung stehen sollte, suchten wir nach einem Thema, welches sowohl aktuell als auch anspruchsvoll und kein Bestandteil des Lehrplans ist.

Der Blick fiel auf das populärwissenschaftlich genannte „Gottesteilchen“ oder auch „god partical“. Der Begriff leitet sich von Leon Ledermann ab, welcher in seinem Forschungsgebiet, der Erforschung der Bausteine der Materie, die Suche nach einer Erklärung für die Masse der Elementarteilchen, als die Suche nach dem „goddamn partical“ bezeichnete. Daraus wurde später der Titel seines Buches „The god partical“.

Die Rede ist vom Higgs-Boson, welches nach dem britischen theoretischen Physiker Peter Higgs benannt wurde und dessen Mechanismus zwar 1964 bereits entwickelt wurde, aber erst 2012 am Beschleunigerzentrum CERN nachgewiesen werden konnte. Weshalb eine so hohe zeitliche Differenz zwischen diesen Daten besteht wird zunächst in der Geschichte der Entdeckung weiter aufgeführt.

Ebenso erklären wir die Higgs-Bosonen, so die Funktionsweise des Higgs-Formalismus, wie auch durch die Entdeckung aufkeimende Fragen. Darunter zählen zum Beispiel die Stabilität des Universums oder auch die Bedeutung für das Standardmodell der Elementarteilchen.

Zuletzt folgt der Bezug auf die von uns erstellte Animation, worunter die von uns gewählten Darstellungen zur Erklärung erläutert werden, aber auch weitere Themen, die in Verbindung zu dem Thema stehen.

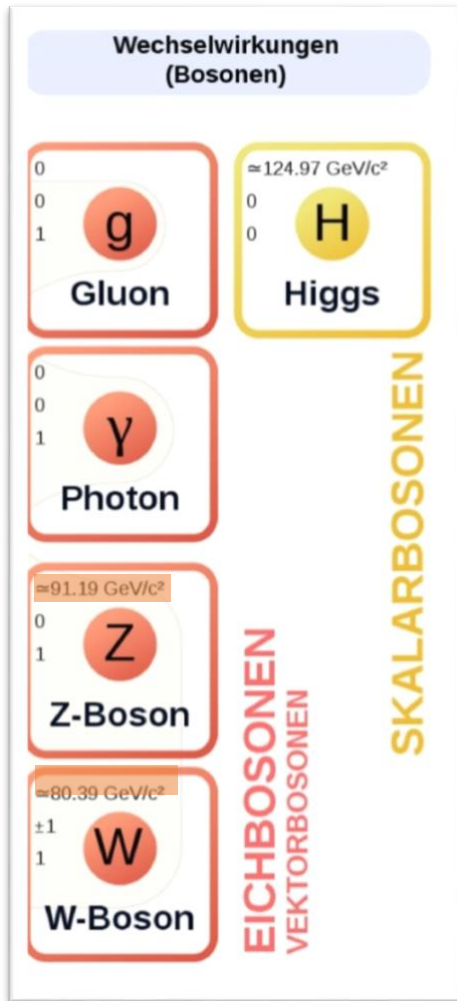
2. Geschichte der Entdeckung

Das Standardmodell der Elementarteilchen zeigt die Fermionen, die Materie, welche zudem in zwei Gruppen unterteilt sind. Sowohl die Quarks, als auch die Leptonen besitzen spezifische Massen, die Eichbosonen hingegen, die für die Wechselwirkungen zwischen den Elementarteilchen zuständig sind, dürfen keine Masse besitzen, so zeigt es sich bei den Photonen wie auch den Gluonen. Dies resultiert aus der Eichtheorie, allerdings gibt es Ausnahmen, die die Eichsymmetrie brechen. Die W- und Z-Bosonen besitzen eine Masse, was im bisher ausgestellten Standardmodell keine Lösung fand.

Schwache Kernkräfte

- Yukawa-Potential: $V(r) = -\frac{g^2}{4\pi} \frac{1}{r} e^{-\mu r} \Rightarrow \mu = M_{Z,W} \neq 0$
- Reichweite: $< 10^{-14} \text{ m}$
- Lagrange-Dichte: $L = -\frac{1}{4} F_{\mu\nu} F^{\mu\nu} + \frac{1}{2} M^2 A_\mu A^\mu$
- Lokale Eichtransformation: $A^\mu \rightarrow A^\mu + \frac{1}{e} \partial^\mu \alpha(x)$
- Zusätzliche Konstante: Nicht mehr egal!

(Aus der Präsentation von Prof. Dr. Michael Klasen)



In den 1960er Jahren keimte daraufhin der Ansatz ein zusätzliches Feld anstelle eines Masseterms in die Gleichung einzusetzen, wodurch bei den Eichtransformationen kein Symmetriebruch mehr auftrat. Theoretisch wurde die Existenz des Higgs-Boson daher durch Peter Higgs und zwei unabhängige Forschungsteams bewiesen, das eine bestehend aus François Englert und Robert Brout und das andere aus Gerald Guralnik, Carl R. Hagen und T. W. B. Kibble. Schlussendlich wurde das Teilchen nur nach Peter Higgs benannt und ist somit auch das einzige Elementarteilchen, welches nach einer Person benannt wurde.

Der offizielle Nachweis hingegen wurde erst am 04.07.2012 bekanntgegeben, da für diesen zunächst einmal ein geeigneter Teilchenbeschleuniger nötig war, der in der Lage war die notwendige Energie aufzubringen. Dieser befand sich in der Schweiz in der Nähe von Genf und stand wird von der Großforschungseinrichtung CERN betrieben. Auch die hieraus entstandenen Ergebnisse würden mehrfach von unabhängigen Teams und Computern überprüft.

Im Jahre 2013 erhielten Peter Higgs und François Englert schließlich den Physik-Nobelpreis für die Entdeckung.

3. Higgs-Bosonen

Das Higgs-Boson ist ein elektrisch neutrales und kurzlebiges Elementarteilchen mit einem Spin von 0. Das Skalarboson liefert mithilfe des Higgs-Formalismus die Lösung der bisher ungeklärten Masse bei W- und Z-Bosonen und erweitert damit das Standardmodell.

3.1 Funktionsweise

Der Higgs-Formalismus verleiht den Elementarteilchen ihre Masse, da diese mit den Higgs-Bosonen des allgegenwärtigen und universellen Higgs-Feldes wechselwirken.



Der theoretische Physiker John Ellis verglich den Higgs-Formalismus mit dem Verhältnis zwischen einem Schneesportler und den Schneemassen. Ein Skifahrer schwebt beispielsweise beinahe über die Schneemassen hinweg ohne von ihnen ausgebremst zu werden. Dies wäre vergleichbar mit dem Photon, welches nicht mit dem Higgs-Feld interagiert und somit masselos ist.

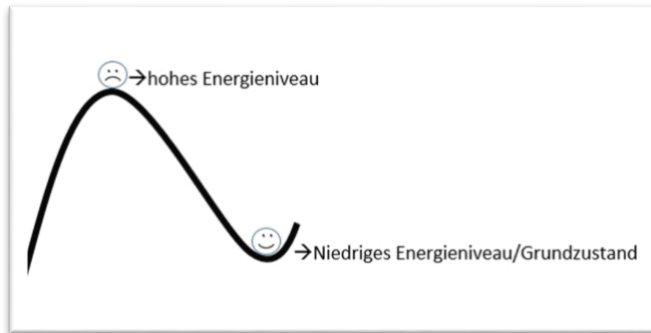
Hingegen wäre ein Strange-Quark mit seiner Ruhemasse von $96 \text{ MeV}/c^2$ eher ein Fußgänger, der bei jedem Schritt knietief im Schnee versinkt. Der Fußgänger wird sehr stark vom Schnee ausgebremst, genau wie das schwere Teilchen vom Higgs-Feld.

Analog wäre zum Beispiel ein Elektron, dessen Ruhemasse circa $0.511 \text{ MeV}/c^2$ beträgt, eventuell ein mit Schneeschuhen ausgerüsteter Wanderer, weniger ausgebremst als der Fußgänger, aber noch lange nicht so unbeschwert wie der Skifahrer. Dieses Beispiel lässt sich weiterverfolgen, jedoch müsste das Prinzip nun einfacher erscheinen.

Je stärker ein Elementarteilchen mit dem Higgs-Feld wechselwirkt oder je stärker die Higgs-Bosonen an dieses „ketten“ (Darstellung aus <https://youtu.be/4KvGdrRrANU>), umso stärker werden die Teilchen ausgebremst. Sie werden träger, was sich in der größer werdenden Masse zeigt.

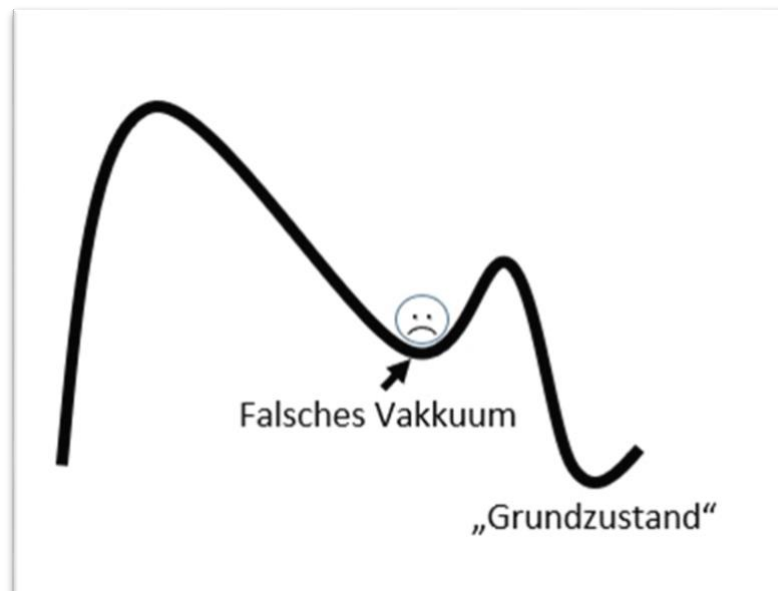
3.2 Vakuumzerfall

Zum Verständnis des Vakuumzerfalls fehlen zwei grundlegende Prinzipien. Zunächst die verschiedenen Energieniveaus, die den Energiezuständen eines quantenmechanischen Systems entsprechen.



Zweitens streben Systeme an ihr Energieniveau auf den Grundzustand, das Vakuum, zu reduzieren, da hohe Energien auch eine hohe Instabilität mit sich bringen.

Nach heutigem Erkenntnisstand geht man davon aus, dass alle Quantenfelder sich in ihrem Grundzustand beziehungsweise ihrem Vakuum befinden, bis auf das Higgs-Feld. Bei diesem ist man sich noch nicht sicher, ob es nicht metastabil sein könnte, sich also in einem falschen Vakuum befinden könnte. Analog zur oberen Darstellung bedeutet dies:



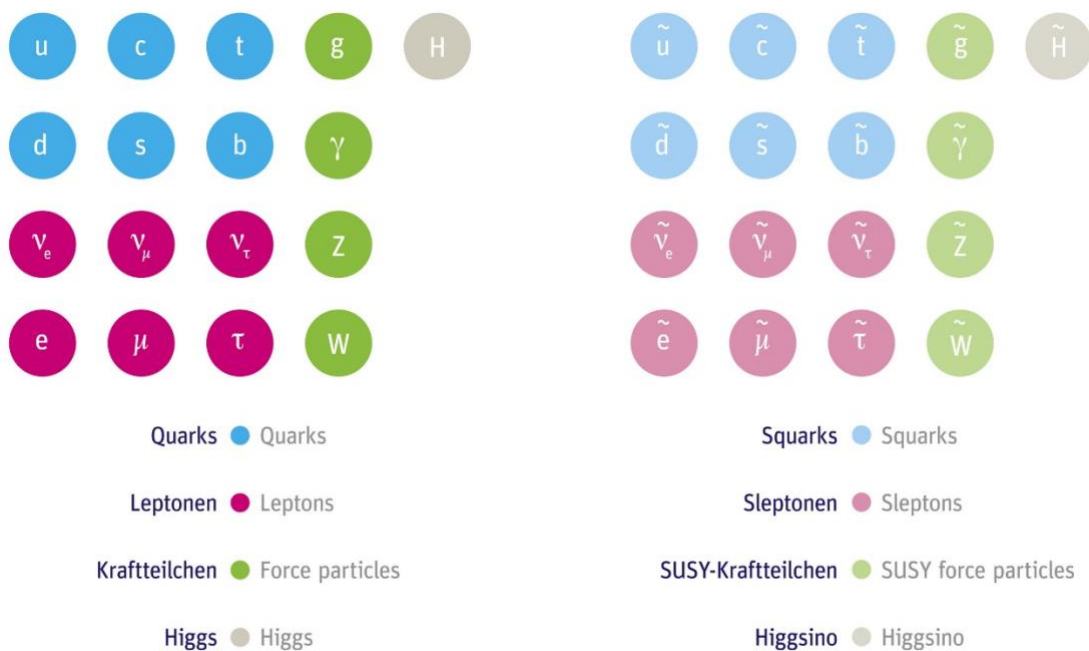
Nun könnte allerdings zu einem zufälligen Zeitpunkt an einem zufälligen Ort die Potentialbarriere durch den Quantentunneleffekt überwunden werden, wodurch das Higgs-Boson in sein echtes Vakuum übergeht. Dabei würde Energie auch an die anderen Teilchen in der Umgebung weitergegeben werden, wodurch auch diese die Potentialbarriere überqueren könnten und im „Sturz“ in Vakuum auch wieder Energie freisetzen würden. Diese Kettenreaktion würde sich durch das ganze Universum ziehen und Leben auf mehrerer Arten unmöglich machen.

Zum einen würde die Differenz zwischen der Energie innerhalb der Kugel des „wahren“ Vakuums und der Energie außerhalb dazu führen, dass sich am Rande dieser zerstörerischen Kugel die überschüssige Energie sammeln würde und alles, was es durch die Ausbreitung berühren würde, auslöschen würde.

Weiterhin würde die Veränderung des Higgs-Feldes auch einen Einfluss auf alle physikalischen Gesetze haben, sodass im entstandenen Vakuum, völlig neue gelten könnten, die das Leben in der uns bekannten Form unmöglich machen könnten.

3.3 Supersymmetrie

Die Entdeckung des Higgs-Formalismus bringt allerdings weitere Folgen mit sich, so auch für das Standardmodell der Elementarteilchen, da dieses aufgrund bisheriger Erkenntnisse auch notwendige Vorhersagen für die Higgs-Bosonen. Sofern die neuen Ergebnisse den Vorhersagen des Standardmodells widersprechen, müsste man sich an anderen Theorien orientieren, wie zum Beispiel die Supersymmetrie. Unter anderem auch da das Standardmodell der Elementarteilchen keine Rücksicht auf Gravitation, dunkle Materie oder auch die Verbindung zwischen Kraft- und Materieteilchen nimmt.



Die Supersymmetrie ermöglicht die Transformation von Fermionen in Bosonen wie auch von Bosonen in Fermionen, indem sie den Teilchen Superpartner zuteilt. So erzählt ein Fermion einen Superpartner mit ganzzahligen Spin und ein Boson einen mit halbzahligen Spin.

Diese Theorie ist zwar populär in der theoretischen Physik, man siehe zum Beispiel Superstringtheorien, konnte bisher jedoch nicht nachgewiesen werden.

4. Verarbeitung in der Animation

In der Animation versuchten wir eine möglichst einfache, kinderfreundliche Erklärung für den Higgs-Formalismus zu finden, so erschufen wir das kleine unförmige Wesen „Higgs“. Durch ihn schufen wir einen interessanten Einstieg in das Thema und eine niedliche Atmosphäre .

Der Charakter Lea übernimmt hier die Rolle der Erklärenden und sorgt für die informativen und sachlichen Einschübe.

Zudem ließen wir uns von einer anderen Animation inspirieren, die ebenso im außerirdischen Café spielte, was uns zu dem intergalaktischen Café brachte und unserer ursprünglichen Idee viele Möglichkeiten brachte, die jedoch aus aktuellen Umständen nicht mehr alle integriert werden konnten.



5. Quellen

<https://www.zeit.de/2010/15/N-Cern/seite-2>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/bausteine/higgs/ursprung-der-masse/>

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Higgs-Boson>

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Standardmodell>

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/physik-nobelpreis-fuer-higgs-und-englert-a-926681.html#fotostrecke-204f90cd-0001-0002-0000-000000102354>

<https://www.weltderphysik.de/gebiet/teilchen/bausteine/higgs/ursprung-der-masse/>

Bildmaterial:

https://de.m.wikipedia.org/wiki/Standardmodell#/media/Datei:3AStandard_Model_of_Elementary_Particles-de.svg

https://www.zermatt.ch/content/download/46211/2312940/file/Sportlicher%20Skifahrer%20vor%20Matterhorn_cr-Pascal_Gertschen.jpg

Vakuumzerfall:

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Energieniveau>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/energieniveau/4337>

https://youtu.be/hHzA5S_usnM

https://youtu.be/488aQoy_WI4

Supersymmetrie:

<https://www.weltmaschine.de/physik/supersymmetrie/>

<https://de.m.wikipedia.org/wiki/Supersymmetrie>

Hierbei auch Dank an Herrn Doktor Günther und Professor Doktor Michael Klasen, die uns weiterhin mit vielen Informationen ausgestatteteten.