Bausteine des Universums:



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Auf der Suche nach dem Unteilbaren

Prof. Dr. Robert Roth

Saturday Morning Physics 2016

TECHNISCHE Welt der Materie UNIVERSITÄT DARMSTADT Makro 10⁻¹ m Kristall 10⁻⁹ m Atom 10⁻¹⁰m Kern 10⁻¹⁴m Nukleon 10⁻¹⁵m

Überblick



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Die Suche nach dem Unteilbaren:

Historie

- Experimente
- Theorien

Aktuelles

Historie



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Erste Schritte auf der Suche nach dem Unteilbaren



Naturphilosophie der Antike



 Versuch, die Formenvielfalt der Natur auf wenige einfache Bausteine zurückzuführen

- Griechenland (500 v. Chr.): Erde, Feuer, Wasser, Luft
- China: Erde, Feuer, Wasser, Luft, Metall



Demokrit (um 400 v. Chr.)



"Materie muß aus kleinsten unsichtbaren Bausteinen aufgebaut sein."

"Bausteine, aus denen sich alles andere zusammensetzt, die aber selbst nicht mehr teilbar sind."





1932: Physikalisches Weltbild



P P					
e		elektrische Ladung	Masse		
	e ⁻ Elektron	-e ₀	0.0005 m _p		
	p Proton	+e ₀	1 m _p (1.7 × 10 ⁻²⁷ kg)		
	n Neutron	0	1.0014 m _p		

Höhenstrahlung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 Höhenstrahlung liefert neue "exotische" Teilchen



Experimente



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Werkzeuge auf der Suche nach dem Unteilbaren



Mikroskope

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 Wellenlänge limitiert das Auflösungsvermögen

• sichtbares Licht: $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$





Teilchen und Wellen



UNIVERSITÄT

Nutze den Wellencharakter von Teilchen

de Broglie Wellenlänge:



Elektronenmikroskop



 Probe mit beschleunigten Elektronen beleuchtet
 E = 10 keV
 λ = 0.01 nm = 10⁻¹¹ m







FAIR / GSI @ Darmstadt



Protonen E = 90 GeV $\lambda = 0.01 \text{ fm} = 10^{-17} \text{ m}$

Blei-Kerne E = 6 TeV $\lambda = 0.0001 \text{ fm} = 10^{-19} \text{ m}$



Teilchenerzeugung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

games/physics/matter

http://nobelprize.org/educational

Kollision hochenergetischer Teilchen…

click for collision (



Teilchenerzeugung

TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 Kinetische Energie wird in Masse umgesetzt:

 $E = mc^2$ $= \sqrt{m_0^2 c^4 + p^2 c^2}$

Ruhemasse Impuls



Teilchenerzeugung



Paarerzeugung

- Energie \rightarrow Ruhemasse
- Teilchen-Antiteilchenpaar wird erzeugt
- Paarvernichtung
 - Ruhemasse → Energie
 - Teilchen und zugehöriges Antiteilchen annihilieren sich



CMS Experiment at the LHC, CERN

Data recorded: 2010-Jul-09.02:25:58.839811 GMT(04:25:58 CEST)

Run / Event 139779 / 4994190

p+p Kollision @ 7 TeV

(c) Copyright CERN, 2010. For the benefit of the CMS Collaboration.



CMS Experiment at LHC, CERN Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST Run/Event: 150431 / 630470 Lumi section: 173

Pb+Pb Kollision @ 600 TeV

Pb+Pb Kollision @ 600 TeV



Pb+Pb @ sqrt(s) = 2.76 ATeV

2010-11-08 11:30:46 Fill : 1482 Run : 137124 Event : 0x00000000D3BBE693

Tei	lcł	ien	ZO	0			• π^{\pm} • π^{0} • η • $f_{0}(600)$ • $\rho(770)$ • $\omega(782)$ • $\eta'(958)$	$ \begin{array}{c} 1^{-}(0^{-}) \\ 1^{-}(0^{-}+) \\ 0^{+}(0^{-}+) \\ \bullet^{+}(0^{+}+) \\ \bullet\phi(1680) \\ \bullet\rho_{3}(1690) \\ \bullet\rho(1700) \end{array} $	$\begin{array}{c} 0^{-}(1^{-}) \\ 1^{+}(3^{-}) \\ 1^{+}(1^{-}) \end{array}$		TECHN UNIVER DARMS	ISCHE SITÄT STADT
p n N(1440) N(1520) N(1535) N(1650) N(1675) N(1675) N(1670) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1700) N(1900) N(2000) N(2000) N(2000) N(2100) N(2100) N(2200) N(2600) N(2700)	$\begin{array}{c} P_{11} & **\\ P_{11} & **\\ P_{11} & **\\ \hline \Delta(1232)\\ \Delta(1600)\\ \Delta(1620)\\ \Delta(1700)\\ \Delta(1750)\\ \Delta(1900)\\ \Delta(1905)\\ \Delta(1900)\\ \Delta(1905)\\ \Delta(1910)\\ \Delta(1920)\\ \Delta(1930)\\ \Delta(1940)\\ \Delta(1950)\\ \Delta(2000)\\ \Delta(2000)\\ \Delta(2150)\\ \Delta(2000)\\ \Delta(2350)\\ \Delta(2390)\\ \Delta(2390)\\ \Delta(2390)\\ \Delta(2420)\\ \Delta(2750)\\ \Delta(2950)\\ \end{array}$	$\begin{array}{c} *** \\ *** \\ *** \\ P_{33} & *** \\ P_{33} & *** \\ P_{31} & * \\ P_$	$\begin{array}{c} \Sigma^+ \\ \Sigma^0 \\ \Sigma^- \\ \Sigma(1385) \\ \Sigma(1480) \\ \Sigma(1560) \\ \Sigma(1580) \\ \Sigma(1580) \\ \Sigma(1620) \\ \Sigma(1670) \\ \Sigma(1670) \\ \Sigma(1670) \\ \Sigma(1770) \\ \Sigma(1700) \\ \Sigma(1915) \\ \Sigma(1940) \\ \Sigma(1915) \\ \Sigma(1940) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2000) \\ \Sigma(2250) \\ \Sigma(2455) \\ \Sigma(2620) \\ \Sigma(2455) \\ \Sigma(2620) \\ \Sigma(3170) \\ \end{array}$	$ \begin{array}{c} \Xi^{0}, \ \Xi^{-} \\ \Xi(1530) \\ \Xi(1620) \\ \Xi(1620) \\ \Xi(1690) \\ \Xi(1950) \\ \Xi(2030) \\ \Xi(2250) \\ \Xi(2250) \\ \Xi(2250) \\ \Xi(2370) \\ \Xi(2500) \\ \Omega^{-} \\ \Omega(2250)^{-} \\ \Omega(2250)^{-} \\ \Omega(2470)^{-} \\ \Omega(2470)^{-} \\ \Lambda_{c}^{+} \\ \Lambda_{c}(2625)^{+} \\ \Lambda_{c}(2625)^{+} \\ \Lambda_{c}(2625)^{+} \\ \Lambda_{c}(280)^{+} \\ \Sigma_{c}(2455) \\ \Sigma_{c}(2520) \\ \Xi^{+}_{c}, \ \Xi^{0}_{c} \\ \Xi^{+}_{c}, \ \Xi^{0}_{c} \\ \Xi^{+}_{c}, \ \Xi^{0}_{c} \\ \Xi^{-}_{c}(2815) \\ \Omega^{0}_{c} \\ \Lambda^{0}_{c} \end{array} $	P ₁₁ P ₁₃ D ₁₃	*** *** *** **** *********************	• η (938) • $f_0(980)$ • $a_0(980)$ • $\phi(1020)$ • $h_1(1170)$ • $b_1(1235)$ • $a_1(1260)$ • $f_2(1270)$ • $f_1(1285)$ • $\eta(1295)$ • $\pi(1300)$ • $a_2(1320)$ • $f_0(1370)$ • $h_1(1380)$ $\pi_1(1400)$ • $f_1(1420)$ • $\omega(1420)$ • $f_2(1430)$ • $\eta(1440)$ • $a_0(1450)$ • $\rho(1450)$ • $f_0(1500)$ • $f_2(1525)$ • $f_2(1565)$ • $h_1(1595)$ $\pi_1(1600)$ × $\chi(1600)$ $a_1(1640)$ • $f_2(1645)$ • $\omega(1650)$ • $\omega_3(1670)$ • $\pi_2(1670)$	$\begin{aligned} & a_2(1700) \\ & a_2(1700) \\ & f_0(1710) \\ & \eta(1760) \\ & \pi(1800) \\ & f_2(1810) \\ & \phi_3(1850) \\ & \eta_2(1870) \\ & \rho(1900) \\ & f_2(1910) \\ & f_2(1950) \\ & \rho_3(1990) \\ & X(2000) \\ & f_2(2010) \\ & f_0(2020) \\ & a_4(2040) \\ & f_4(2050) \\ & \pi_2(2100) \\ & f_0(2150) \\ & f_0(2100) \\ & f_0(2150) \\ & f_0(2100) \\ & f_2(2150) \\ & \rho(2150) \\ & f_0(2200) \\ & f_1(2220) \\ \\ & \eta(2225) \\ & \rho_3(2250) \\ & f_2(2300) \\ & f_0(2330) \\ & e_2(2350) \\ & a_6(2450) \\ & f_6(2510) \\ \\ & 1^-(2^{-+}) \end{aligned}$	$1^{-}(2^{+}+)$ • K^{\pm} • K^{0} • K^{0}_{S} • K^{0}_{L} • $K^{*}(892)$ • $K_{1}(1270)$ • $K_{1}(1400)$ • $K^{*}(1410)$ • $K^{*}(1410)$ • $K^{*}(1410)$ • $K^{*}(1430)$ • $K^{*}(1430)$ • $K^{*}(1460)$ • $K^{*}(1630)$ • $K(1630)$ • $K(1630)$ • $K^{*}(1680)$ • $K^{*}(1680)$ • $K^{*}(1680)$ • $K^{*}(1680)$ • $K^{*}(1680)$ • $K^{*}(1630)$ • $K^{$	$\frac{1/2(0^{-})}{1/2(0^{-})}$ $\frac{1/2(0^{-})}{1/2(0^{-})}$ $\frac{D^{\pm}}{D^{0}}$ $D^{\pm}(2007)^{0}$ $D^{\pm}(2010)^{\pm}$ $D_{1}(2420)^{0}$ $D_{1}(2420)^{\pm}$ $D_{2}^{*}(2460)^{0}$ $D_{2}^{*}(2460)^{\pm}$ $\frac{1}{D^{*}(2640)^{\pm}}$ $\frac{1}{\gamma_{c}(1S)}$ $\frac{1}{\psi(1S)}$ $\frac{1}{\psi(1S)}$ $\frac{1}{\psi(1S)}$ $\frac{1}{\psi(2S)}$ $\frac{1}{\psi(2S)}$ $\frac{1}{\psi(3836)}$ $\frac{1}{\psi(44160)}$ $\frac{1}{\psi(4415)}$ $\frac{1}{\gamma_{c}(??)}$	$\frac{1/2(0^{-})}{1/2(0^{-})}$ $\frac{1}{2(0^{-})}$	$0^{+}(0^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{-})^{-}(1^{$
				Ξ_b^0, Ξ_b^-		*						

Zusammenfassung



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 Teilchenbeschleuniger als Mikroskop mit extrem hohem Auflösungsvermögen

 Erzeugung neuer Teilchen durch Umwandlung von kinetischer Energie in Masse

 Unüberschaubarer Zoo von "elementaren" Teilchen

Theorien



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Wie bringt man Ordnung in das Chaos der Elementarteilchen?



Murray Gell-Mann (1964)



 Einfaches Ordnungsschema f
ür den Zoo der Elementarteilchen

 Hadronen bestehen aus zwei oder drei abstrakten Bausteinen





"Three Quarks for Muster Mark" (J. Joyce)

Quarks



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

		Flavour	"Masse"	el. Ladung	
-am.	a	up	0.002 GeV	+2/3 e ₀	
1. I	d	down	0.005 GeV	-1/3 e ₀	
-am.	S	strange	0.095 GeV	-1/3 e ₀	d I
2. F	C	charm	1.25 GeV	+2/3 e ₀	F
-am.	b	bottom	4.2 GeV	-1/3 e ₀	
З. Р	t	top	174 GeV	+2/3 e ₀	

+ Anti-Quarks mit umgekehrter Ladung

Farb-Freiheitsgrad



UNIVERSITÄT

 Quarks tragen zusätzliche Quantenzahl "Farbe"



- Jeder Quark-Flavour kommt in drei Farben vor (rot, grün, blau)
- Anti-Quarks haben entsprechende Anti-Farben (cyan, magenta, gelb)

Farbneutralität



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 Prinzip: Physikalische Teilchen müssen "weiß" sein

1) keine isolierten Quarks

2) Zwei-Quark-Systeme (z.B. rot + anti-rot)
 ➡ Mesonen

3) Drei-Quark-Systeme (rot + grün + blau)
 ➡ Baryonen



Reaktionen: $p + \pi^- \rightarrow \Lambda + K^0$





Standardmodell – Materie



Quarks Leptonen Masse Fam e⁻) Elektron 0.0005 GeV U ve d < 2 eV e-Neutrino Ţ. Fam. S Myon μ 0.1 GeV v_{μ} 2. С µ-Neutrino < 2 eV Fam. b 1.8 GeV τ Tau t v_{τ} 3. τ -Neutrino < 2 eV

Standardmodell – Kräfte



 Wechselwirkungen werden durch Austausch von "Botenteilchen" vermittelt

Kraft	Bote	
elektromag. Wechselwirkung	60	eladene Teilchen
starke Wechse	Gluon	Quarks und Gluonen
Gröwirkung	W±, Z ⁰	Quarks und Leptonen



Confinement



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Was passiert, wenn man zwei Quarks eines Mesons auseinanderzieht?



separate two quarks

games/physics/matter http://nobelprize.org/educational

Theorien II



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

Die Maschinerie hinter dem Quark-Baukasten



Vorsicht...



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

 hinter dem simplen Baukasten steckt eine komplizierte physikalische Theorie

> Quanten-Chromo-Dynamik







Gluonen im Meson



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

and a second second

http://www.physics.adelaide.edu.au/theory/staff/leinweber

Gluonen im Proton



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Higgs-Teilchen ... das fehlende Puzzleteil



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT



Higgs-Mechanismus



 mathematische Struktur des Standardmodells erzwingt eine dynamische Erzeugung der Masse (Eichfeldtheorie)

- Higgs-Mechanismus: durch Kopplung an ein neues skalares Feld erhalten Teilchen Masse
- Higgs-Teilchen ist das dem Higgs-Feld zugeordnete Teilchen (Welle-Teilchen-Dualismus)



Higgs-Mechanismus



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT





Higgs-Mechanismus



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT







Status of the

SCHOOL of PHYSICS and ASTRONOMY

The University of Edinburgh James Clerk Maxwell Building The King's Buildings Mayfield Road Edinburgh EH9 3JZ Telephone +44 (0)131 650 5249 Fax +44 (0)131 650 5922 Email info@ph.ed.ac.uk www.ph.ed.ac.uk

Congratulations to both attas and CMS Collaborations and to the builders of the WHC on a magnificent achievement!

Peter Aligge 30 August 2012

Higgs $\rightarrow \gamma \gamma$





ATLAS Collaboration*

This paper is dedicated to the memory of our ATLAS colleagues who did not live to see the full impact and significance of their contributions to the experiment.

A R T I C L E I N F O

Article history: Received 31 July 2012 Received in revised form 8 August 2012 Accepted 11 August 2012 Available online 14 August 2012 Editor: W.-D. Schlatter

ABSTRACT

A search for the Standard Model Higgs boson in proton–proton collisions with the ATLAS detector at the LHC is presented. The datasets used correspond to integrated luminosities of approximately 4.8 fb⁻¹ collected at $\sqrt{s} = 7$ TeV in 2011 and 5.8 fb⁻¹ at $\sqrt{s} = 8$ TeV in 2012. Individual searches in the channels $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$, $H \rightarrow \gamma\gamma$ and $H \rightarrow WW^{(*)} \rightarrow e\nu\mu\nu$ in the 8 TeV data are combined with previously published results of searches for $H \rightarrow ZZ^{(*)}$, $WW^{(*)}$, $b\bar{b}$ and $\tau^+\tau^-$ in the 7 TeV data and results from improved analyses of the $H \rightarrow ZZ^{(*)} \rightarrow 4\ell$ and $H \rightarrow \gamma\gamma$ channels in the 7 TeV data. Clear evidence for the production of a neutral boson with a measured mass of 126.0 ± 0.4 (stat) ±0.4 (sys) GeV is presented. This observation, which has a significance of 5.9 standard deviations, corresponding to a background fluctuation probability of 1.7×10^{-9} , is compatible with the production and decay of the Standard Model Higgs boson.

© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.



Physics Letters B

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

www.elsevier.com/locate/physletb

Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC $^{\bigstar}$

CMS Collaboration*

CERN, Switzerland

This paper is dedicated to the memory of our colleagues who worked on CMS but have since passed away. In recognition of their many contributions to the achievement of this observation.

ARTICLE INFO

Article history: Received 31 July 2012 Received in revised form 9 August 2012 Accepted 11 August 2012 Available online 18 August 2012 Editor: W.-D. Schlatter

Keywords: CMS Physics Higgs ABSTRACT

Results are presented from searches for the standard model Higgs boson in proton–proton collisions at $\sqrt{s} = 7$ and 8 TeV in the Compact Muon Solenoid experiment at the LHC, using data samples corresponding to integrated luminosities of up to 5.1 fb⁻¹ at 7 TeV and 5.3 fb⁻¹ at 8 TeV. The search is performed in five decay modes: $\gamma \gamma$, ZZ, W⁺W⁻, $\tau^+ \tau^-$, and bb. An excess of events is observed above the expected background, with a local significance of 5.0 standard deviations, at a mass near 125 GeV, signalling the production of a new particle. The expected significance for a standard model Higgs boson of that mass is 5.8 standard deviations. The excess is most significant in the two decay modes with the best mass resolution, $\gamma \gamma$ and ZZ; a fit to these signals gives a mass of $125.3 \pm 0.4(\text{stat.}) \pm 0.5(\text{syst.})$ GeV. The decay to two photons indicates that the new particle is a boson with spin different from one.



Status



TECHNISCHE UNIVERSITÄT DARMSTADT

- Standardmodell ist eine der erfolgreichsten Theorien und beschreibt alle bisherigen experimentellen Befunde
- Die Untersuchung des Higgs-Teilchens hat gerade erst begonnen



 Allerdings hat das Standardmodell Lücken (Gravitation), die eine wirklich fundamentale Theorie schließen sollte

Suche nach dem Unteilbaren



UNIVERSITÄT

 Unteilbarkeit haben wir bereits mit den Quarks des Standardmodells erreicht

 Die Suche nach einer fundamentalen, eleganten und einfachen Theorie geht allerdings weiter …