

Bausteine des Universums:

Auf der Suche nach dem Unteilbaren



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Prof. Dr.
Robert Roth

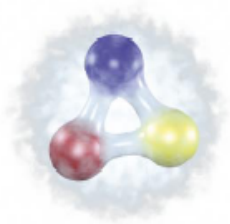
Saturday Morning Physics 2017

Welt der Materie

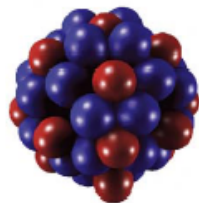


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

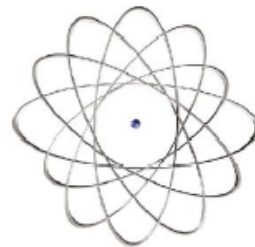
Nukleon
 10^{-15} m



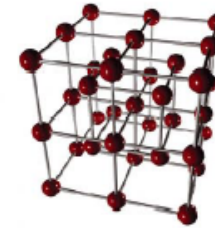
Kern
 10^{-14} m



Atom
 10^{-10} m



Kristall
 10^{-9} m



Makro
 10^{-1} m





Die Suche nach dem Unteilbaren:

- Historie
- Experimente
- Theorien
- Aktuelles

Historie



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

**Erste Schritte auf der Suche nach
dem Unteilbaren**

Naturphilosophie der Antike



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- 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.)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

“Materie muß aus kleinsten unsichtbaren Bausteinen aufgebaut sein.”

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

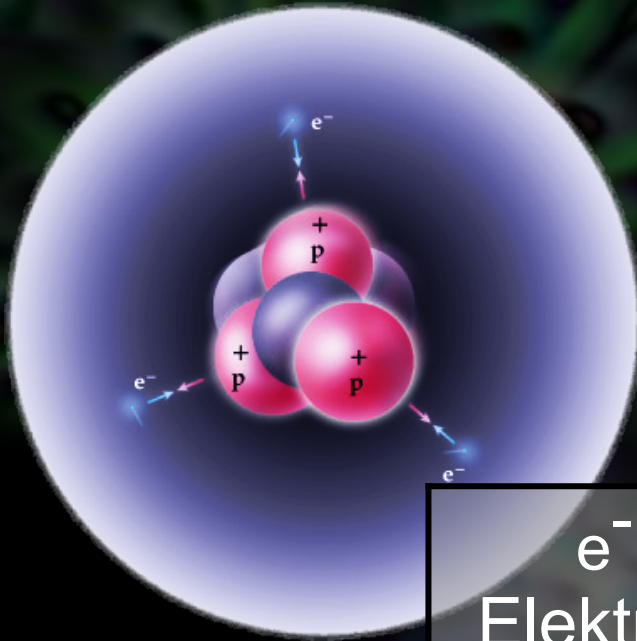


➔ **Atomos**

1932: Physikalisches Weltbild



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



	elektrische Ladung	Masse
e^- Elektron	$-e_0$	$0.0005 m_p$
p Proton	$+e_0$	$1 m_p$ $(1.7 \times 10^{-27} \text{ kg})$
n Neutron	0	$1.0014 m_p$

Höhenstrahlung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Höhenstrahlung liefert neue "exotische" Teilchen

	elektrische Ladung	Masse	Entdeckung
e^+ Positron	$+e_0$	$0.0005 m_p$	1932
μ^- Myon	$-e_0$	$0.11 m_p$	1937
π^\pm, π^0 Pion	$\pm e_0, 0$	$0.15 m_p$	1947/50

Experimente



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

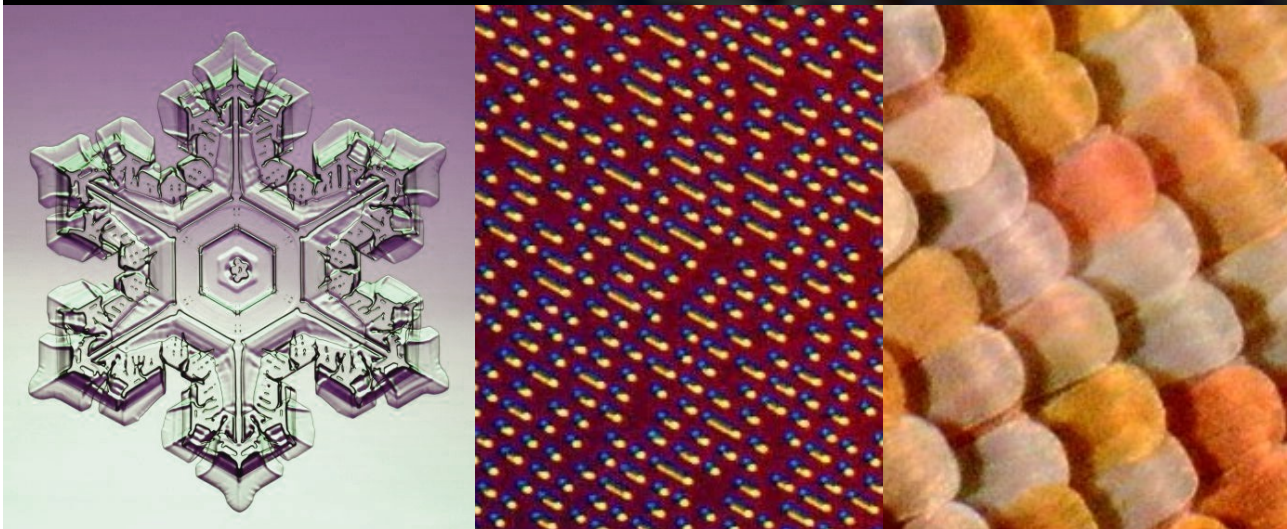
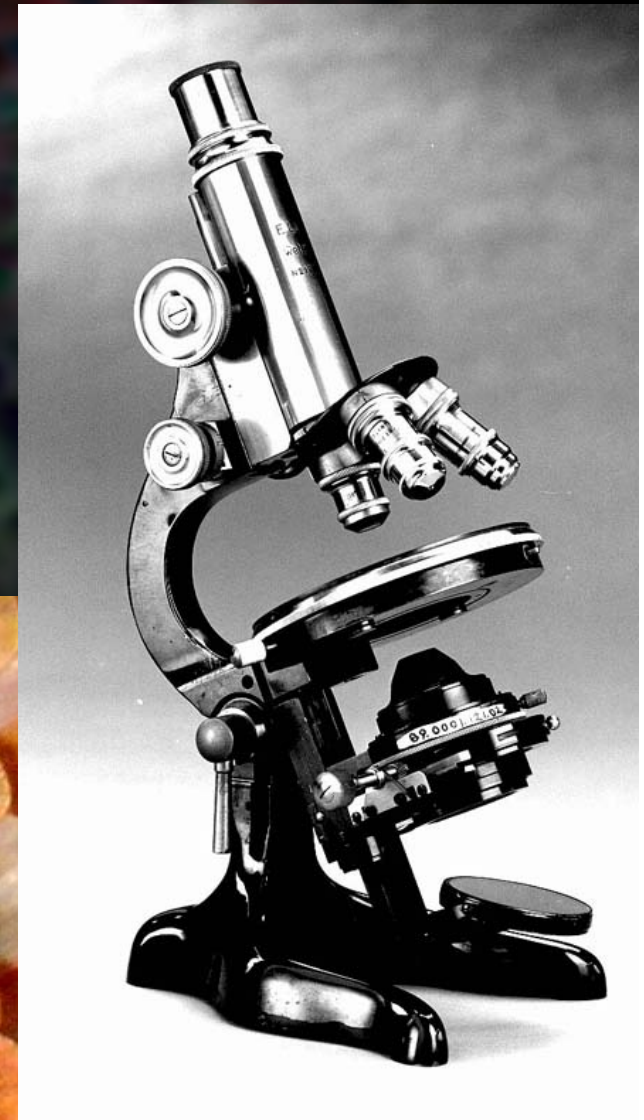
Werkzeuge auf der Suche nach
dem Unteilbaren

Mikroskope



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Wellenlänge limitiert das Auflösungsvermögen
- sichtbares Licht:
 $\lambda = 400 - 700 \text{ nm}$



Teilchen und Wellen



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Nutze den Wellencharakter von Teilchen
- de Broglie Wellenlänge:

$$\lambda = h / p$$

Wellenlänge

Plancksches Wirkungsquantum

Impuls

$$h = 6.626 \times 10^{-34} \text{ J s}$$

Elektronenmikroskop

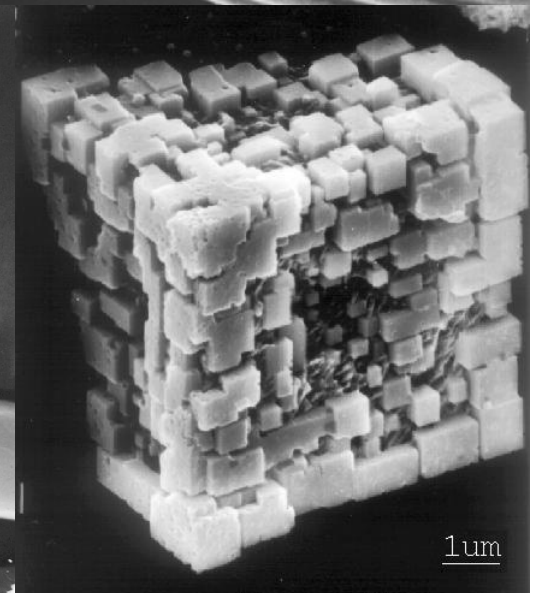
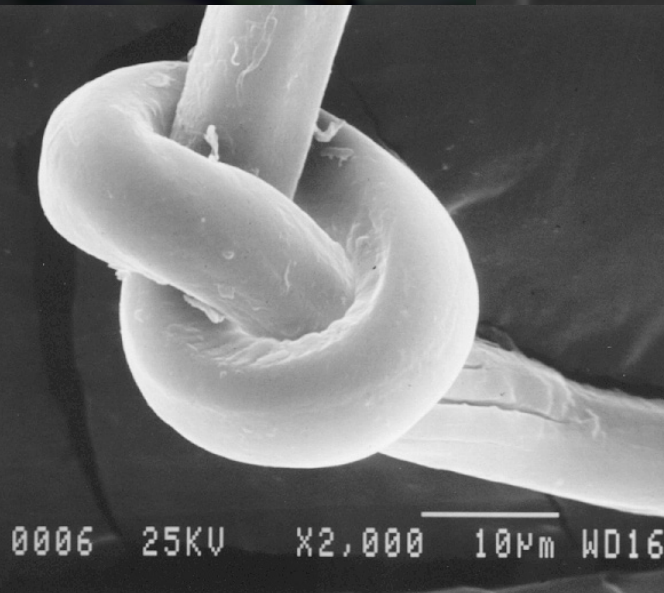
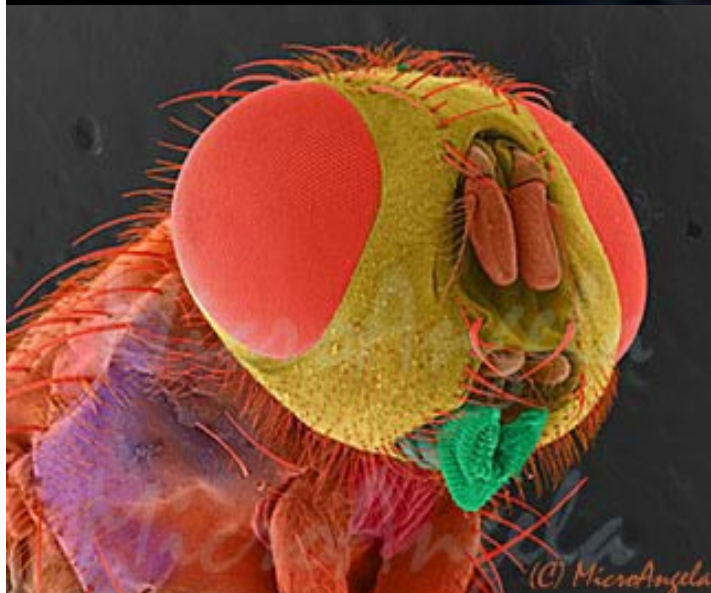
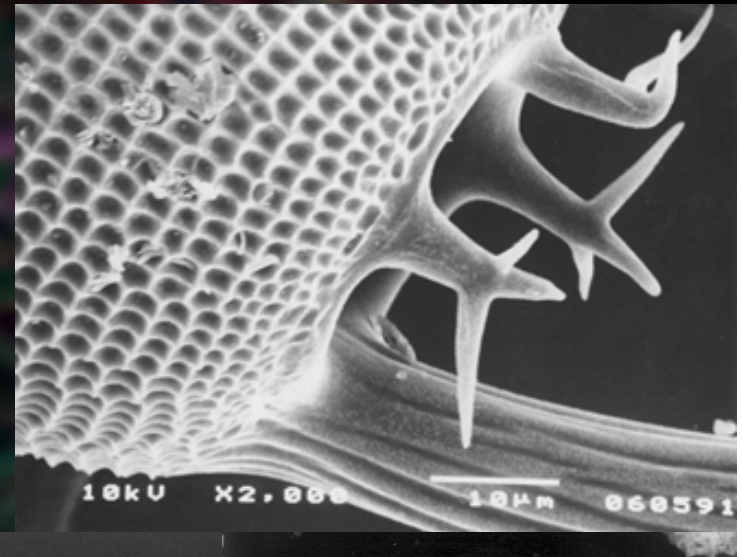


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Probe mit beschleunigten Elektronen beleuchtet

$$E = 10 \text{ keV}$$

$$\lambda = 0.01 \text{ nm} = 10^{-11} \text{ m}$$



S-DALINAC @ Darmstadt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Elektronen

$$E = 100 \text{ MeV}$$

$$\lambda = 10 \text{ fm} = 10^{-14} \text{ m}$$

FAIR / GSI @ Darmstadt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Protonen

$$E = 90 \text{ GeV}$$

$$\lambda = 0.01 \text{ fm} = 10^{-17} \text{ m}$$

Blei-Kerne

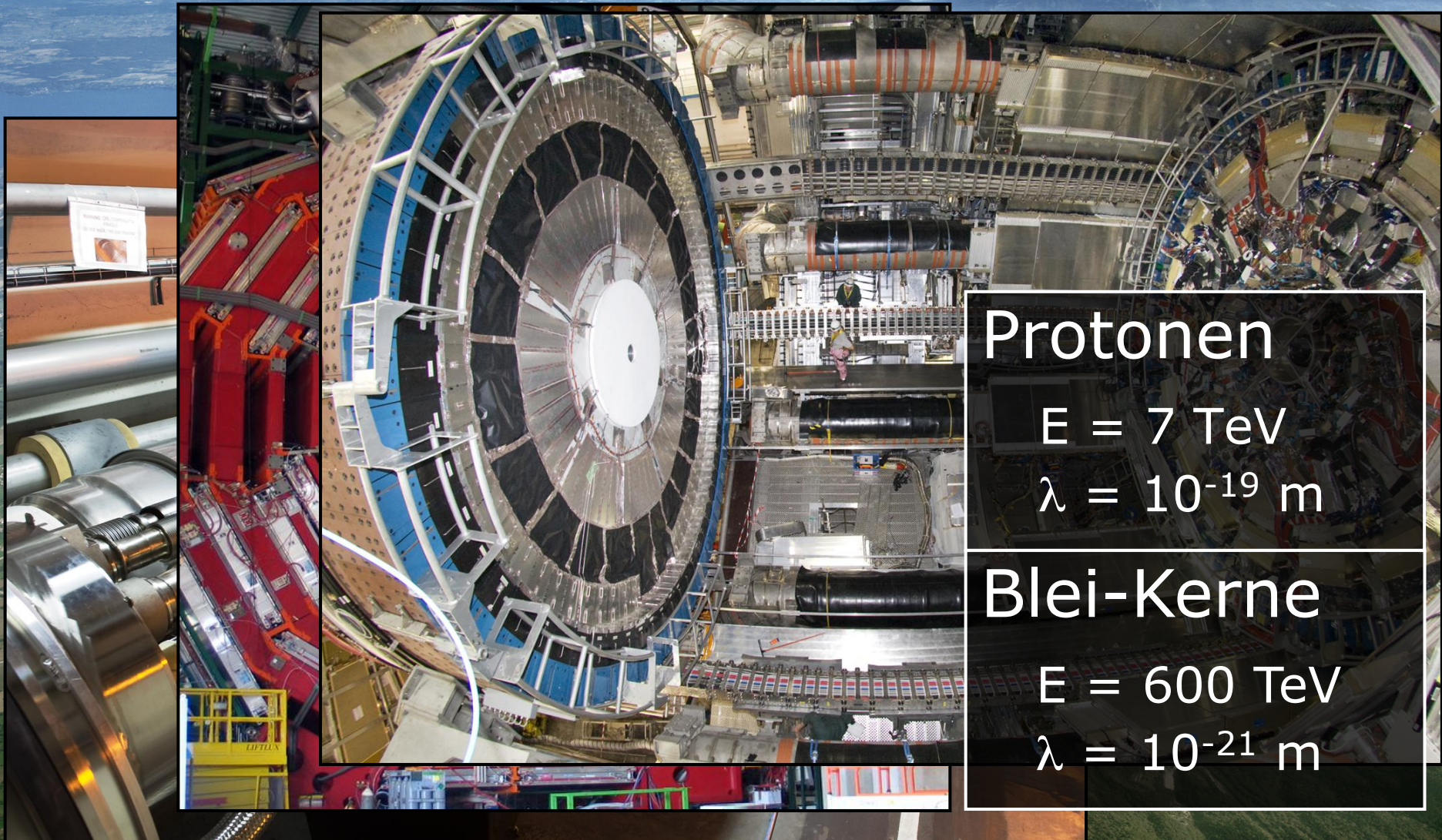
$$E = 6 \text{ TeV}$$

$$\lambda = 0.0001 \text{ fm} = 10^{-19} \text{ m}$$

LHC / CERN @ Genf



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Protonen

$$E = 7 \text{ TeV}$$

$$\lambda = 10^{-19} \text{ m}$$

Blei-Kerne

$$E = 600 \text{ TeV}$$

$$\lambda = 10^{-21} \text{ m}$$

Teilchenerzeugung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- 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



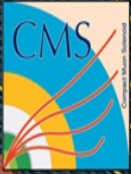
Teilchenerzeugung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

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





CMS Experiment at the LHC, CERN

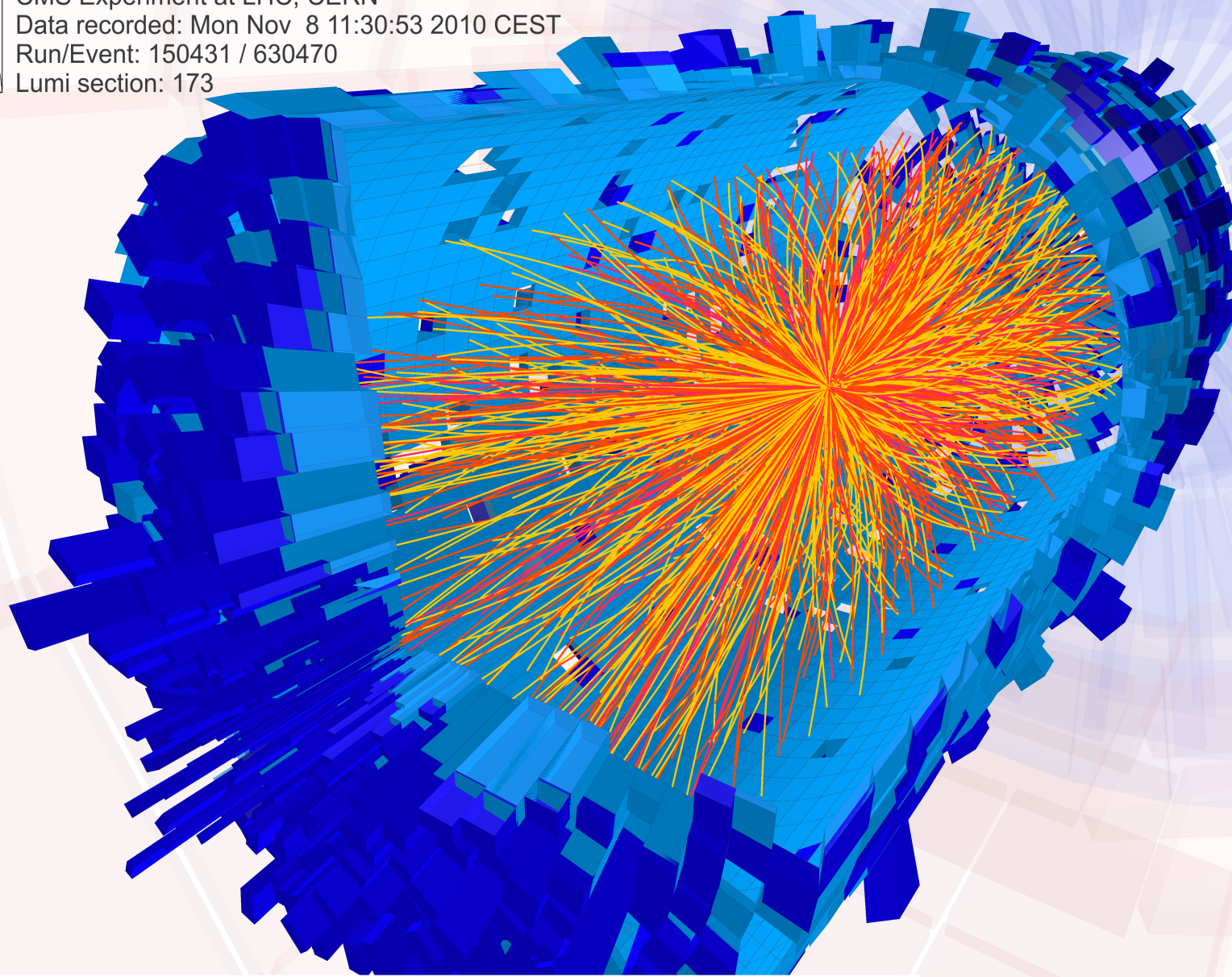
Data recorded: 2010-Jul-09 02:25:58.839811 GMT(04:25:58 CEST)

Run / Event: 139779 / 4994190

p+p Kollision @ 7 TeV

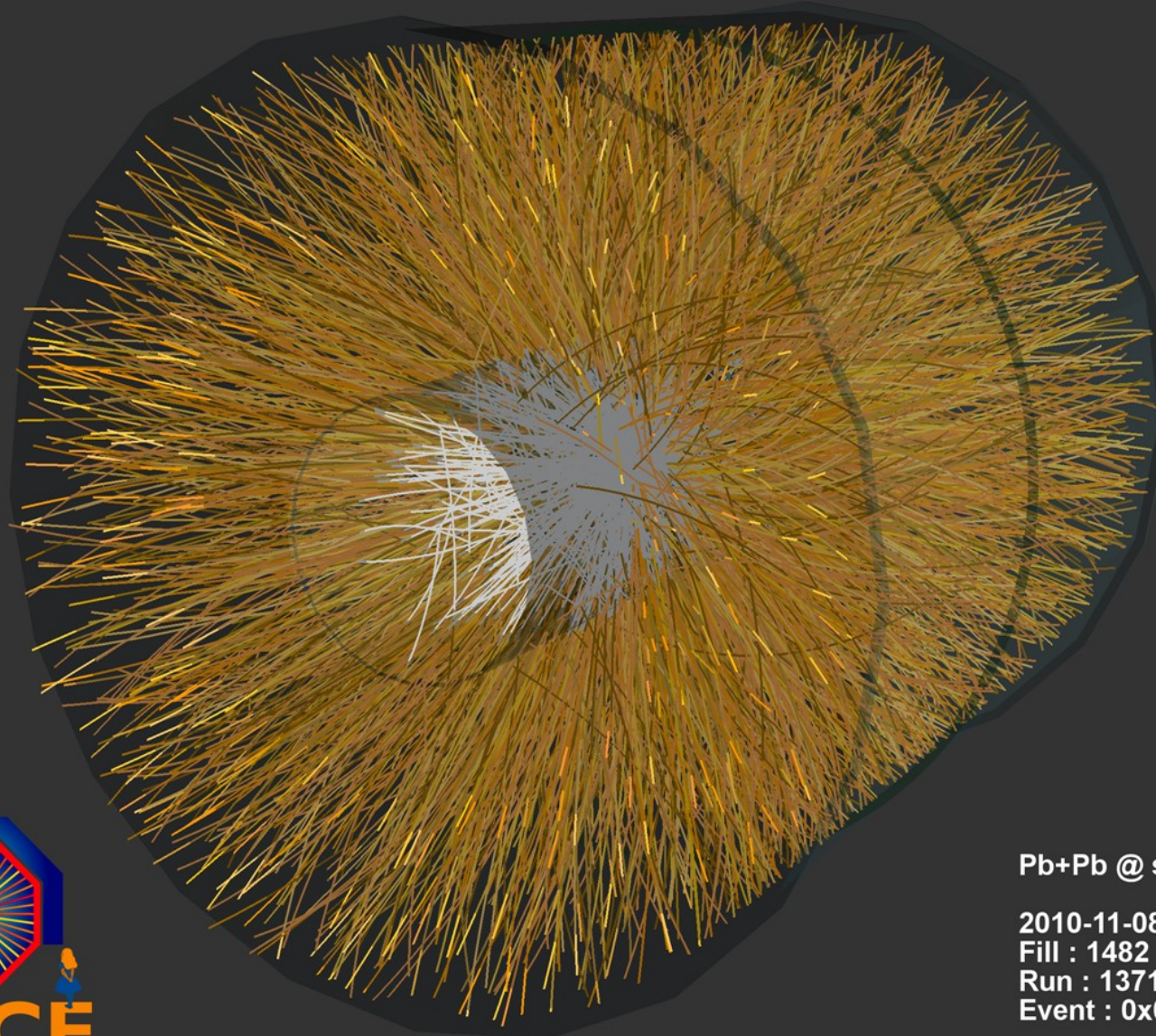


CMS Experiment at LHC, CERN
Data recorded: Mon Nov 8 11:30:53 2010 CEST
Run/Event: 150431 / 630470
Lumi section: 173



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

Teilchenzoo



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

p	P_{11}	****
n	P_{11}	****
$N(1440)$	P_{11}	****
$N(1520)$	$\Delta(1232)$	P_{33} ****
$N(1535)$	$\Delta(1600)$	P_{33} ***
$N(1650)$	$\Delta(1620)$	S_{31} ****
$N(1675)$	$\Delta(1700)$	D_{33} ****
$N(1680)$	$\Delta(1750)$	P_{31} *
$N(1700)$	$\Delta(1900)$	S_{31} **
$N(1710)$	$\Delta(1905)$	
$N(1720)$	$\Delta(1910)$	Λ
$N(1900)$	$\Delta(1920)$	$\Lambda(1405)$
$N(1990)$	$\Delta(1930)$	$\Lambda(1520)$
$N(2000)$	$\Delta(1940)$	$\Lambda(1600)$
$N(2080)$	$\Delta(1950)$	$\Lambda(1670)$
$N(2090)$	$\Delta(2000)$	$\Lambda(1690)$
$N(2100)$	$\Delta(2150)$	$\Lambda(1800)$
$N(2190)$	$\Delta(2200)$	$\Lambda(1810)$
$N(2200)$	$\Delta(2300)$	$\Lambda(1820)$
$N(2220)$	$\Delta(2350)$	$\Lambda(1830)$
$N(2250)$	$\Delta(2390)$	$\Lambda(1890)$
$N(2600)$	$\Delta(2400)$	$\Lambda(2000)$
$N(2700)$	$\Delta(2420)$	$\Lambda(2020)$
	$\Delta(2420)$	$\Lambda(2100)$
	$\Delta(2750)$	$\Lambda(2110)$
	$\Delta(2950)$	$\Lambda(2110)$
		$\Lambda(2325)$
		$\Lambda(2350)$
		$\Lambda(2585)$

Σ^+
Σ^0
Σ^-
$\Sigma(1385)$
$\Sigma(1480)$
$\Sigma(1560)$
$\Sigma(1580)$
$\Sigma(1620)$
$\Sigma(1660)$
$\Sigma(1670)$
$\Sigma(1690)$
$\Sigma(1750)$
$\Sigma(1770)$
$\Sigma(1775)$
$\Sigma(1840)$
$\Sigma(1880)$
$\Sigma(1915)$
$\Sigma(1940)$
$\Sigma(2000)$
$\Sigma(2030)$
$\Sigma(2070)$
$\Sigma(2080)$
$\Sigma(2100)$
$\Sigma(2250)$
$\Sigma(2455)$
$\Sigma(2620)$
$\Sigma(3000)$
$\Sigma(3170)$

Ξ^0, Ξ^-	P_{11}	****
$\Xi(1530)$	P_{13}	****
$\Xi(1620)$		*
$\Xi(1690)$		***
$\Xi(1820)$	D_{13}	***
$\Xi(1950)$		***
$\Xi(2030)$		***
$\Xi(2120)$		*
$\Xi(2250)$		**
$\Xi(2370)$		**
$\Xi(2500)$		*
Ω^-		****
$\Omega(2250)^-$		***
$\Omega(2380)^-$		**
$\Omega(2470)^-$		**
Λ_c^+		****
$\Lambda_c(2593)^+$		***
$\Lambda_c(2625)^+$		***
$\Lambda_c(2765)^+$		*
$\Lambda_c(2880)^+$		**
$\Sigma_c(2455)$		****
$\Sigma_c(2520)$		***
Ξ_c^+, Ξ_c^0		***
Ξ_c^+, Ξ_c^0		***
$\Xi_c(2645)$		***
$\Xi_c(2790)$		***
$\Xi_c(2815)$		***
Ω_c^0		***
Λ_b^0		***
Ξ_b^0, Ξ_b^-		*

π^\pm	$1^-(0^-)$
π^0	$1^-(0^-)$
η	$0^+(0^-)$
$f_0(600)$	$0^+(0^-)$
$\rho(770)$	$1^-(1^-)$
$\omega(782)$	$1^+(1^-)$
$\eta'(958)$	$0^+(0^-)$
$f_0(980)$	$0^+(0^-)$
$a_0(980)$	$0^+(0^-)$
$\phi(1020)$	$1^-(0^-)$
$h_1(1170)$	$1^-(1^-)$
$b_1(1235)$	$1^+(3^-)$
$a_1(1260)$	$1^+(1^-)$
$f_2(1270)$	$1^-(2^+)$
$f_1(1285)$	$1^-(1^-)$
$\eta(1295)$	$0^-(1^-)$
$\pi(1300)$	$1^+(3^-)$
$a_2(1320)$	$1^+(1^-)$
$f_0(1370)$	$1^-(2^+)$
$h_1(1380)$	$1^-(1^-)$
$\pi_1(1400)$	$1^-(0^-)$
$f_1(1420)$	$1^-(0^-)$
$\omega(1420)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1430)$	$1^-(1^-)$
$\eta(1440)$	$1^-(0^-)$
$a_0(1450)$	$1^-(0^-)$
$\rho(1450)$	$1^-(0^-)$
$f_0(1500)$	$1^-(0^-)$
$f_1(1510)$	$1^-(0^-)$
$f_2^'(1525)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1565)$	$1^-(0^-)$
$h_1(1595)$	$1^-(0^-)$
$\pi_1(1600)$	$1^-(0^-)$
$X(1600)$	$1^-(0^-)$
$a_1(1640)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1640)$	$1^-(0^-)$
$\eta_2(1645)$	$1^-(0^-)$
$\omega(1650)$	$1^-(0^-)$
$\omega_3(1670)$	$1^-(0^-)$
$\pi_2(1670)$	$1^-(0^-)$

$\phi(1680)$	$0^-(1^-)$
$\rho_3(1690)$	$1^+(3^-)$
$\rho(1700)$	$1^+(1^-)$
$a_2(1700)$	$1^-(2^+)$
$f_0(1710)$	$1^-(2^+)$
$\eta(1760)$	$1^-(0^-)$
$\pi(1800)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1810)$	$1^-(0^-)$
$\phi_3(1850)$	$1^-(0^-)$
$\eta_2(1870)$	$1^-(0^-)$
$\rho(1900)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1910)$	$1^-(0^-)$
$f_2(1950)$	$1^-(0^-)$
$\rho_3(1990)$	$1^-(0^-)$
$X(2000)$	$1^-(0^-)$
$f_2(2010)$	$1^-(0^-)$
$f_0(2020)$	$1^-(0^-)$
$a_4(2040)$	$1^-(0^-)$
$f_4(2050)$	$1^-(0^-)$
$\pi_2(2100)$	$1^-(0^-)$
$f_0(2100)$	$1^-(0^-)$
$f_2(2150)$	$1^-(0^-)$
$\rho(2150)$	$1^-(0^-)$
$f_0(2200)$	$1^-(0^-)$
$f_j(2220)$	$1^-(0^-)$
$\eta(2225)$	$1^-(0^-)$
$\rho_3(2250)$	$1^-(0^-)$
$f_2(2300)$	$1^-(0^-)$
$f_4(2300)$	$1^-(0^-)$
$f_0(2330)$	$1^-(0^-)$
$f_2(2340)$	$1^-(0^-)$
$\rho_5(2350)$	$1^-(0^-)$
$a_6(2450)$	$1^-(0^-)$
$f_6(2510)$	$1^-(0^-)$

K^\pm	$1/2(0^-)$
K^0	$1/2(0^-)$
K_S^0	$1/2(0^-)$
K_L^0	$1/2(0^-)$
$K^*(892)$	$1/2(0^-)$
$K_1(1270)$	$1/2(0^-)$
$K_1(1400)$	$1/2(0^-)$
$K^*(1410)$	$1/2(0^-)$
$K^*(1430)$	$1/2(0^-)$
$K_2^*(1430)$	$1/2(0^-)$
$K(1460)$	$1/2(0^-)$
$K_2(1580)$	$1/2(0^-)$
$K(1630)$	$1/2(0^-)$
$K_1(1650)$	$1/2(0^-)$
$K^*(1680)$	$1/2(0^-)$
$K_2(1770)$	$1/2(0^-)$
$K_3^*(1780)$	$1/2(0^-)$
$K_2(1820)$	$1/2(0^-)$
$K(1830)$	$1/2(0^-)$
$K_0^*(1950)$	$1/2(0^-)$
$K_2^*(1980)$	$1/2(0^-)$
$K_4^*(2045)$	$1/2(0^-)$
$K_2(2250)$	$1/2(0^-)$
$K_3(2320)$	$1/2(0^-)$
$K_5^*(2380)$	$1/2(0^-)$
$K_4(2500)$	$1/2(0^-)$
$K(3100)$	$1/2(0^-)$

D^\pm	$1/2(0^-)$
D^0	$1/2(0^-)$
$D^*(2007)^0$	$1/2(0^-)$
$D^*(2010)^\pm$	$1/2(0^-)$
$D_1(2420)^0$	$1/2(0^-)$
$D_1(2420)^\pm$	$1/2(0^-)$
$D_2^*(2460)^0$	$1/2(0^-)$
$D_2^*(2460)^+$	$1/2(0^-)$
$D^*(2640)^\pm$	$1/2(0^-)$
$\eta_c(1S)$	$0^-(0^-)$
$J/\psi(1S)$	$0^-(0^-)$
$\chi_{c0}(1P)$	$0^-(1^-)$
$\chi_{c1}(1P)$	$0^-(1^-)$
$h_c(1P)$	$0^-(1^-)$
$\chi_{c2}(1P)$	$0^-(1^-)$
$\eta_c(2S)$	$0^-(0^-)$
$\psi(2S)$	$0^-(1^-)$
$\psi(3770)$	$0^-(1^-)$
$\psi(3836)$	$0^-(2^-)$
$\psi(4040)$	$0^-(1^-)$
$\psi(4160)$	$0^-(1^-)$
$\psi(4415)$	$0^-(1^-)$

$\eta_b(1S)$	$0^+(0^-)$
$\Upsilon(1S)$	$0^-(1^-)$
$\chi_{b0}(1P)$	$0^+(0^+)$
$\chi_{b1}(1P)$	$0^+(1^+)$
$\chi_{b2}(1P)$	$0^+(2^+)$
$\Upsilon(2S)$	$0^-(1^-)$
$\chi_{b0}(2P)$	$0^+(0^+)$
$\chi_{b1}(2P)$	$0^+(1^+)$
$\chi_{b2}(2P)$	$0^+(2^+)$
$\Upsilon(3S)$	$0^-(1^-)$
$\Upsilon(4S)$	$0^-(1^-)$
$\Upsilon(10860)$	$0^-(1^-)$
$\Upsilon(11020)$	$0^-(1^-)$

$1^-(2^-)$
 $1^-(6^+)$
 $0^+(6^+)$
 $1^-(2^-)$

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

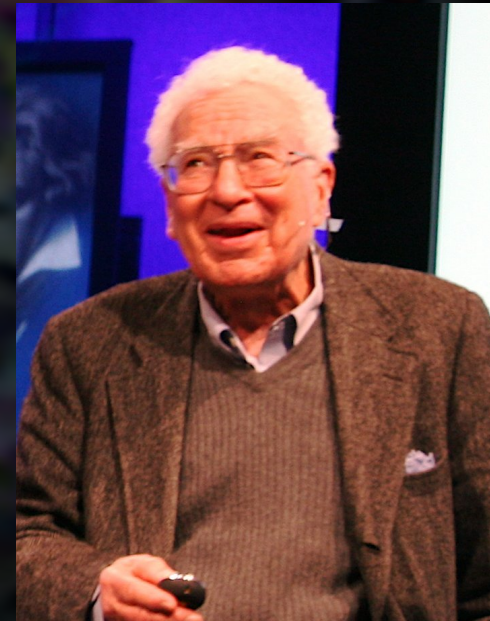
Wie bringt man Ordnung in das
Chaos der Elementarteilchen?

Murray Gell-Mann (1964)



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Einfaches Ordnungsschema für den Zoo der Elementarteilchen
- Hadronen bestehen aus zwei oder drei abstrakten Bausteinen



➔ **Quarks**

“Three Quarks for Muster Mark” (J. Joyce)

Quarks



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

3. Fam. 2. Fam. 1. Fam.

	Flavour	"Masse"	el. Ladung
u	up	0.002 GeV	+2/3 e_0
d	down	0.005 GeV	-1/3 e_0
s	strange	0.095 GeV	-1/3 e_0
c	charm	1.25 GeV	+2/3 e_0
b	bottom	4.2 GeV	-1/3 e_0
t	top	174 GeV	+2/3 e_0

$1 m_p \approx 1 \text{ GeV}$

+ Anti-Quarks mit umgekehrter Ladung

Farb-Freiheitsgrad



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- 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)

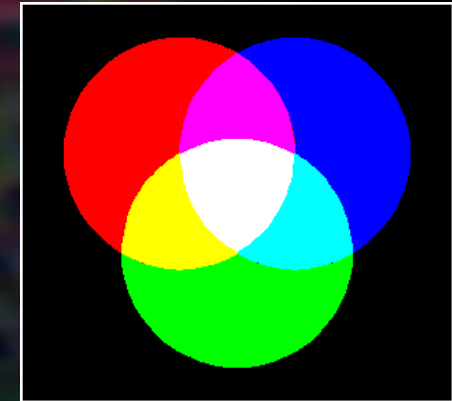


Farbneutralität



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

Teilchenbaukasten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Proton



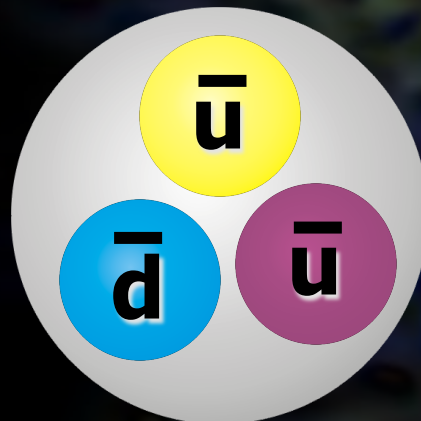
Neutron



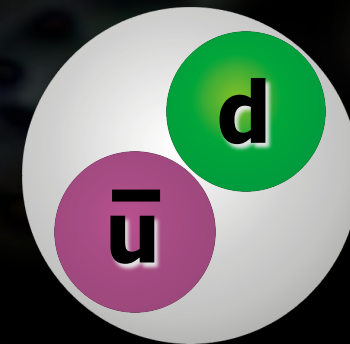
Pion π^+



Anti-Proton



Pion π^-

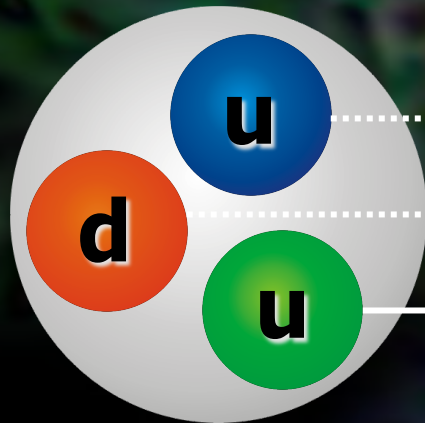


Reaktionen: $p + \pi^- \rightarrow \Lambda + K^0$

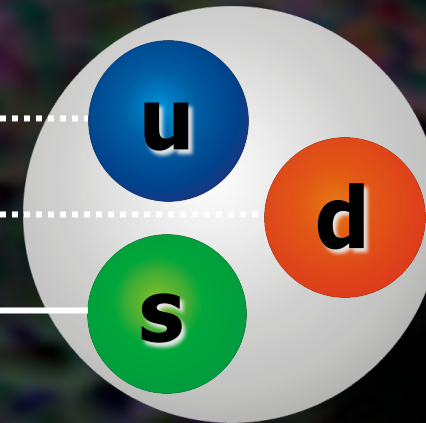


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

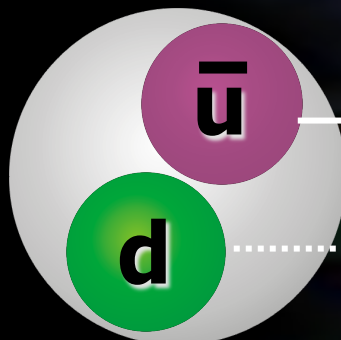
Proton p



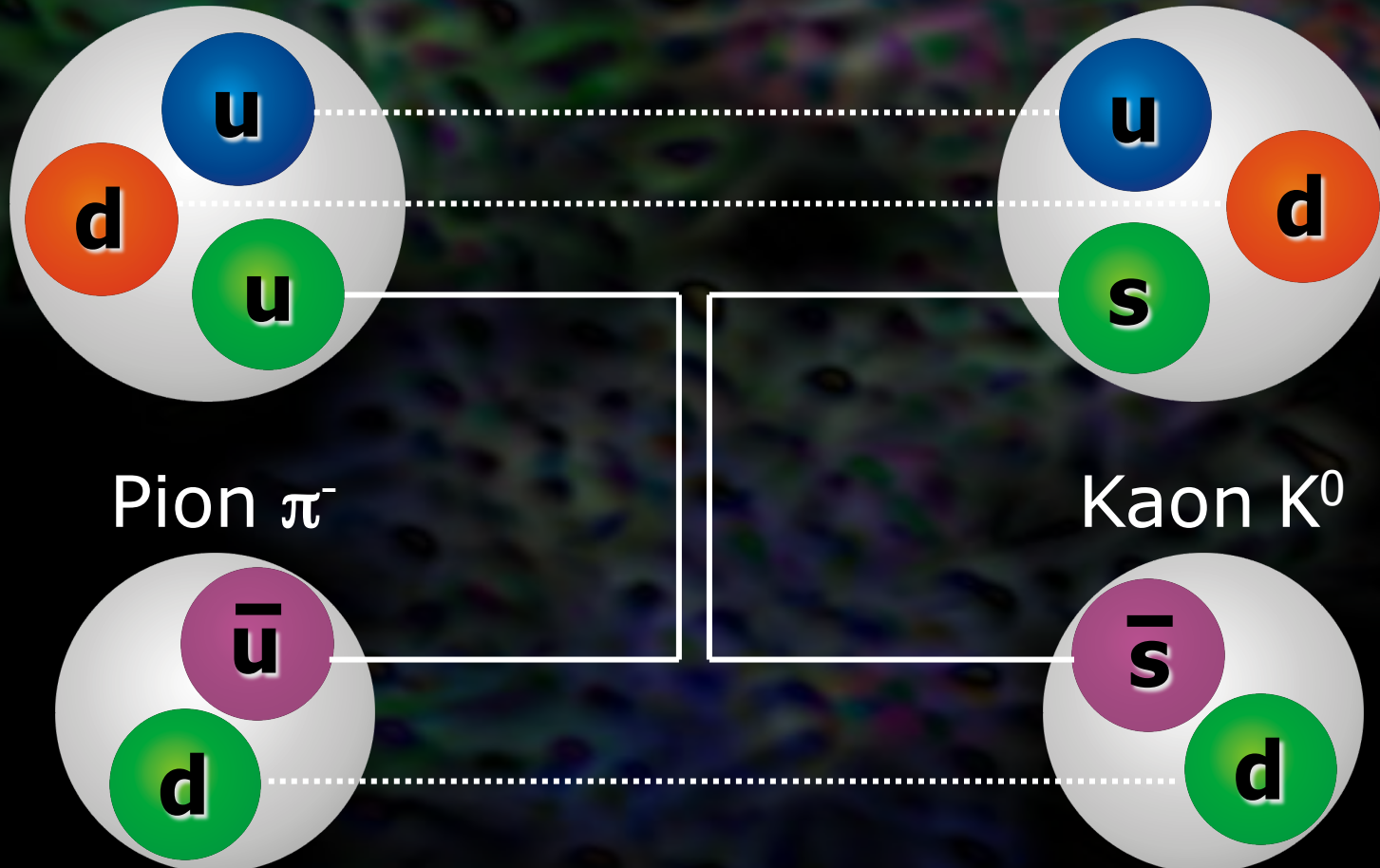
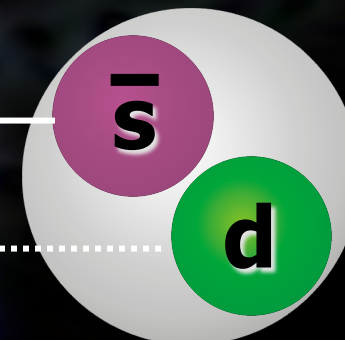
Lambda Λ



Pion π^-



Kaon K^0



Standardmodell – Materie



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

3. Fam. 2. Fam. 1. Fam.

Quarks	Leptonen	Masse
u	e^- Elektron	0.0005 GeV
d	ν_e e-Neutrino	< 2 eV
s	μ^- Myon	0.1 GeV
c	ν_μ μ -Neutrino	< 2 eV
b	τ^- Tau	1.8 GeV
t	ν_τ τ -Neutrino	< 2 eV

Standardmodell – Kräfte



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Wechselwirkungen werden durch Austausch von "Botenteilchen" vermittelt

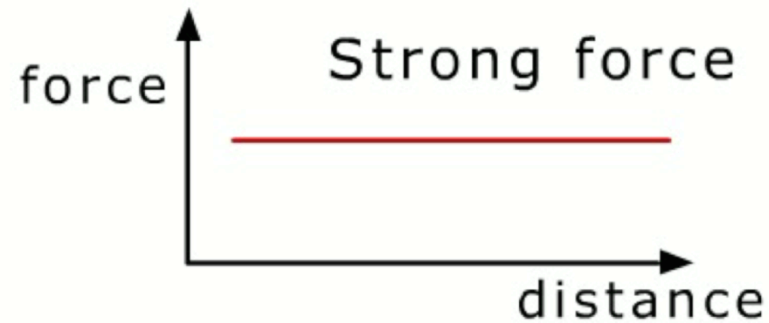
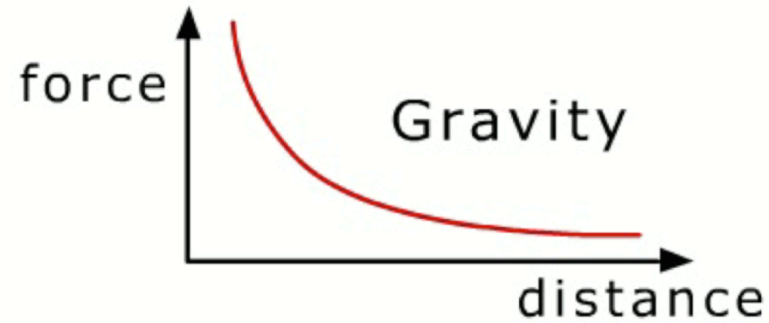
Kraft	Bote	Wirkung
elektromag. Wechselwirkung	Photon	geladene Teilchen
starke Wechselwirkung	g Gluon	Quarks und Gluonen
schwache Wechselwirkung	W^{\pm}, Z^0	Quarks und Leptonen

Gravitation fehlt !!!

Starke Wechselwirkung



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



click to start animation

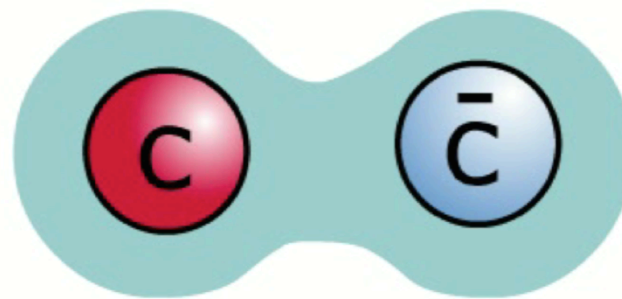


Confinement



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Was passiert, wenn man zwei Quarks eines Mesons auseinanderzieht?



separate two quarks



Theorien II

Die Maschinerie hinter dem Quark-Baukasten



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

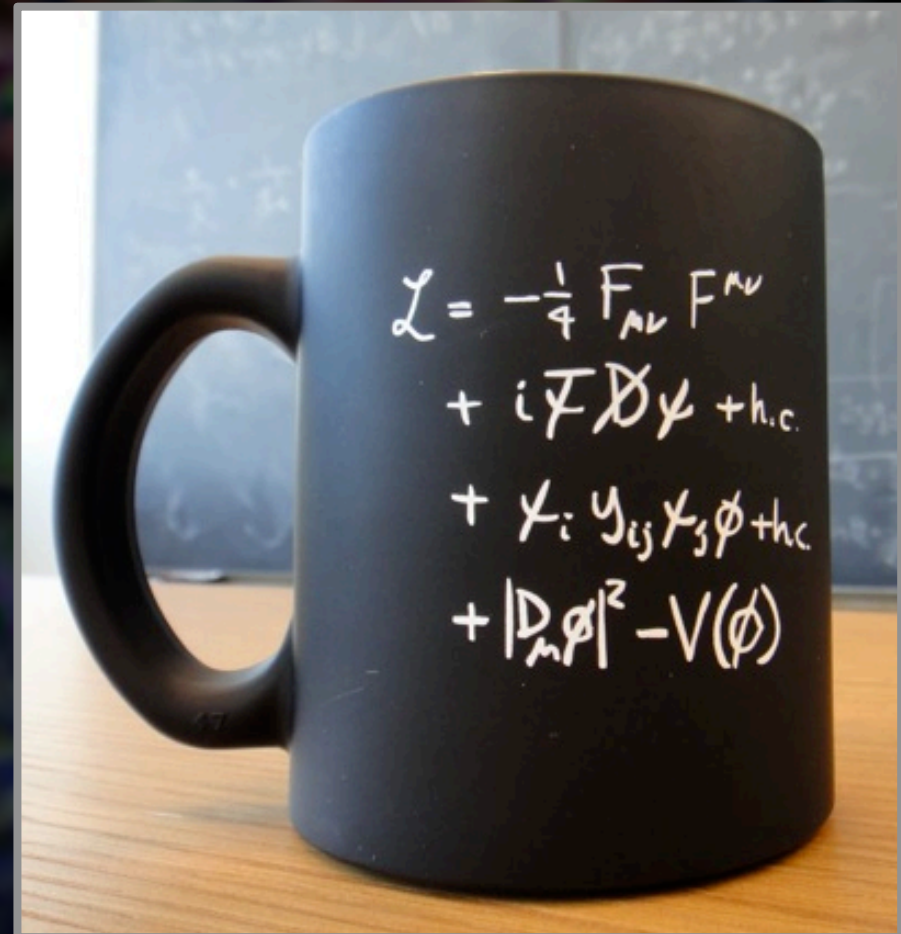
Vorsicht...



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- hinter dem simplen Baukasten steckt eine komplizierte physikalische Theorie

**Quanten-
Chromo-
Dynamik**



Supercomputer



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

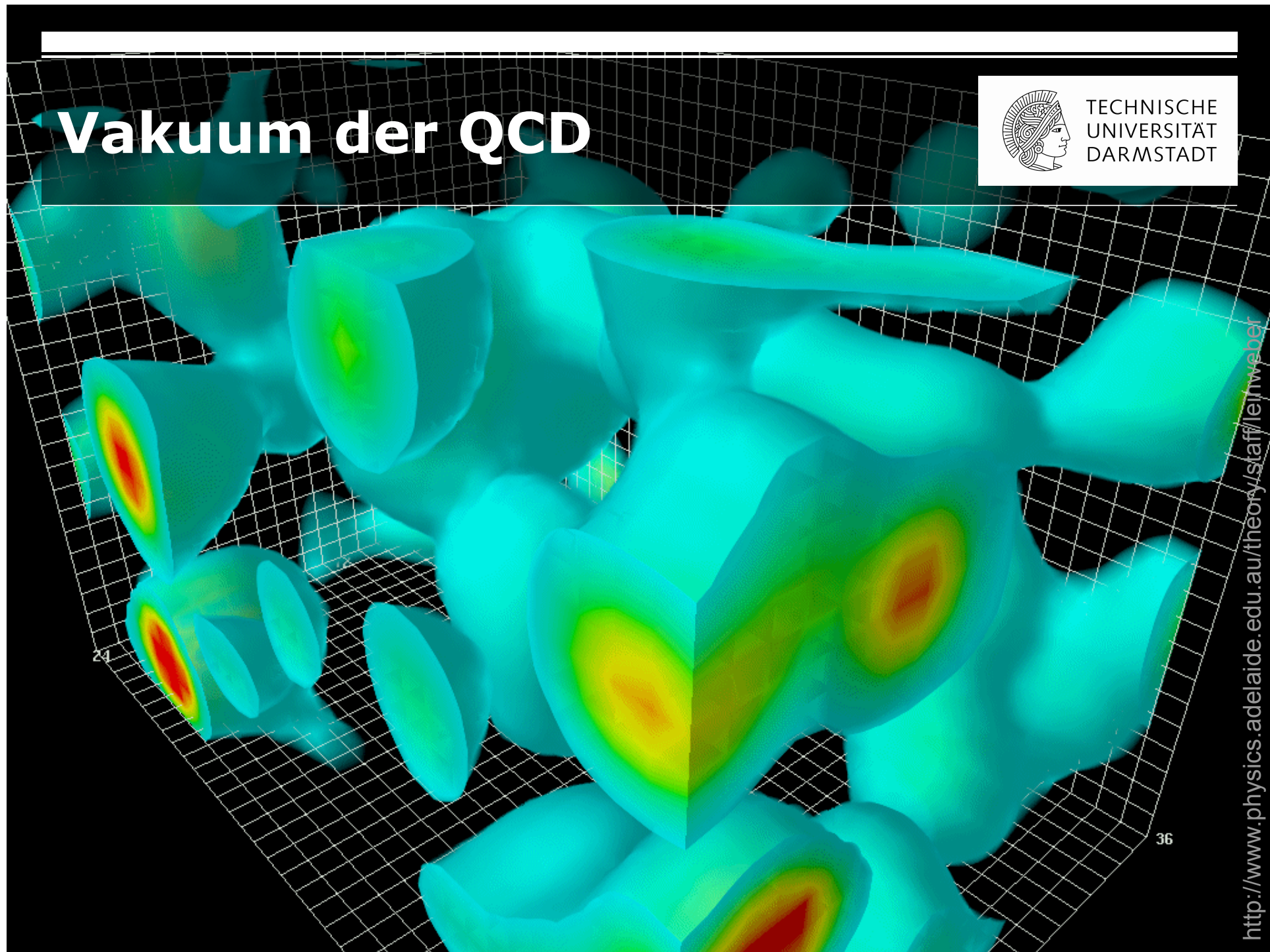
SuperMUC
150000 Cores
3 PetaFlop/s

TITAN
300000 Cores
+20000 GPUs
20 PetaFlop/s

Vakuum der QCD



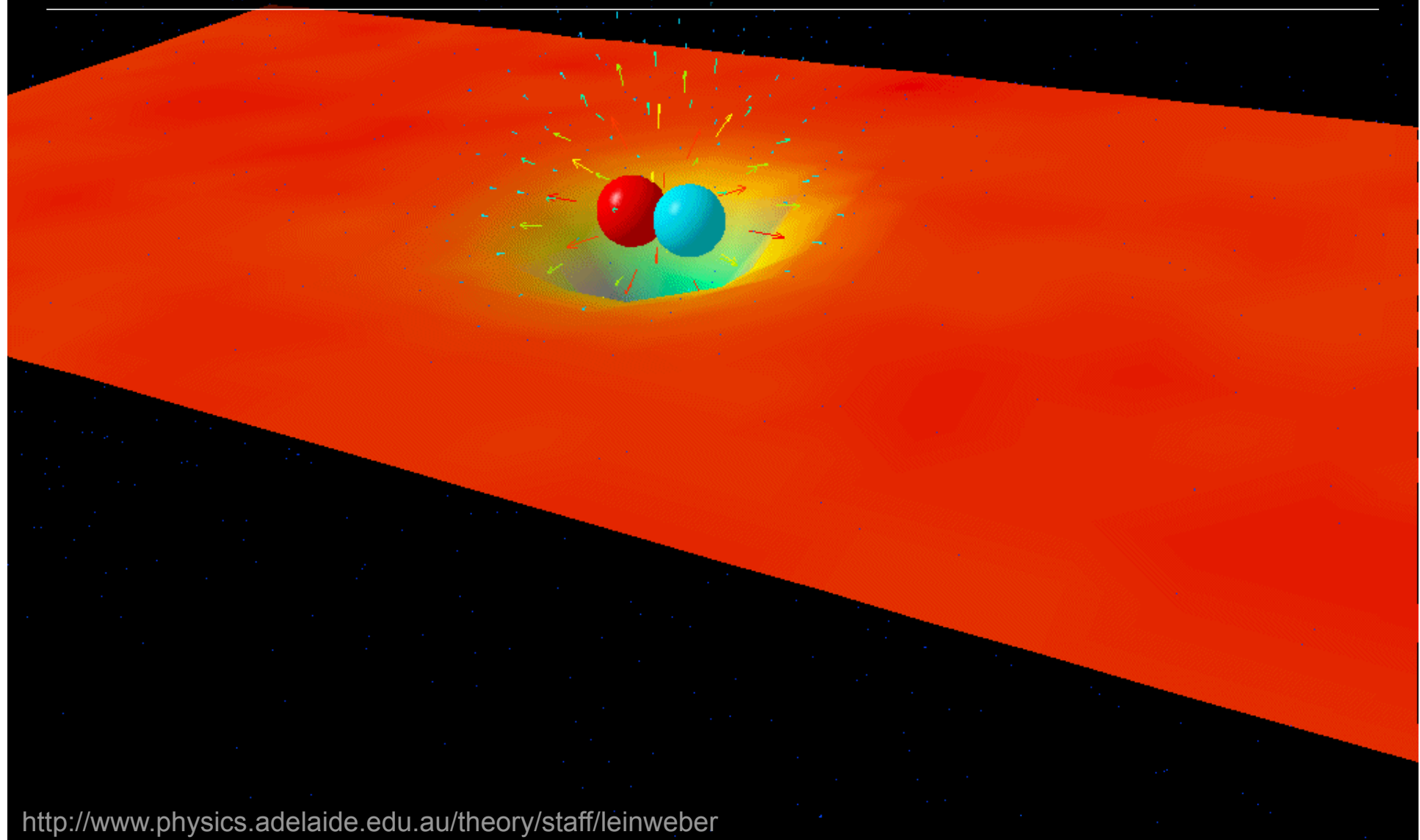
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Gluonen im Meson



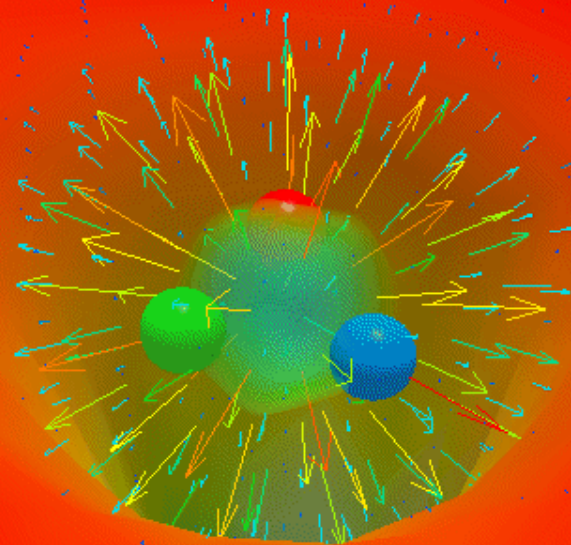
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Gluonen im Proton



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



Higgs-Teilchen

... das fehlende Puzzleteil



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Higgs-Mechanismus



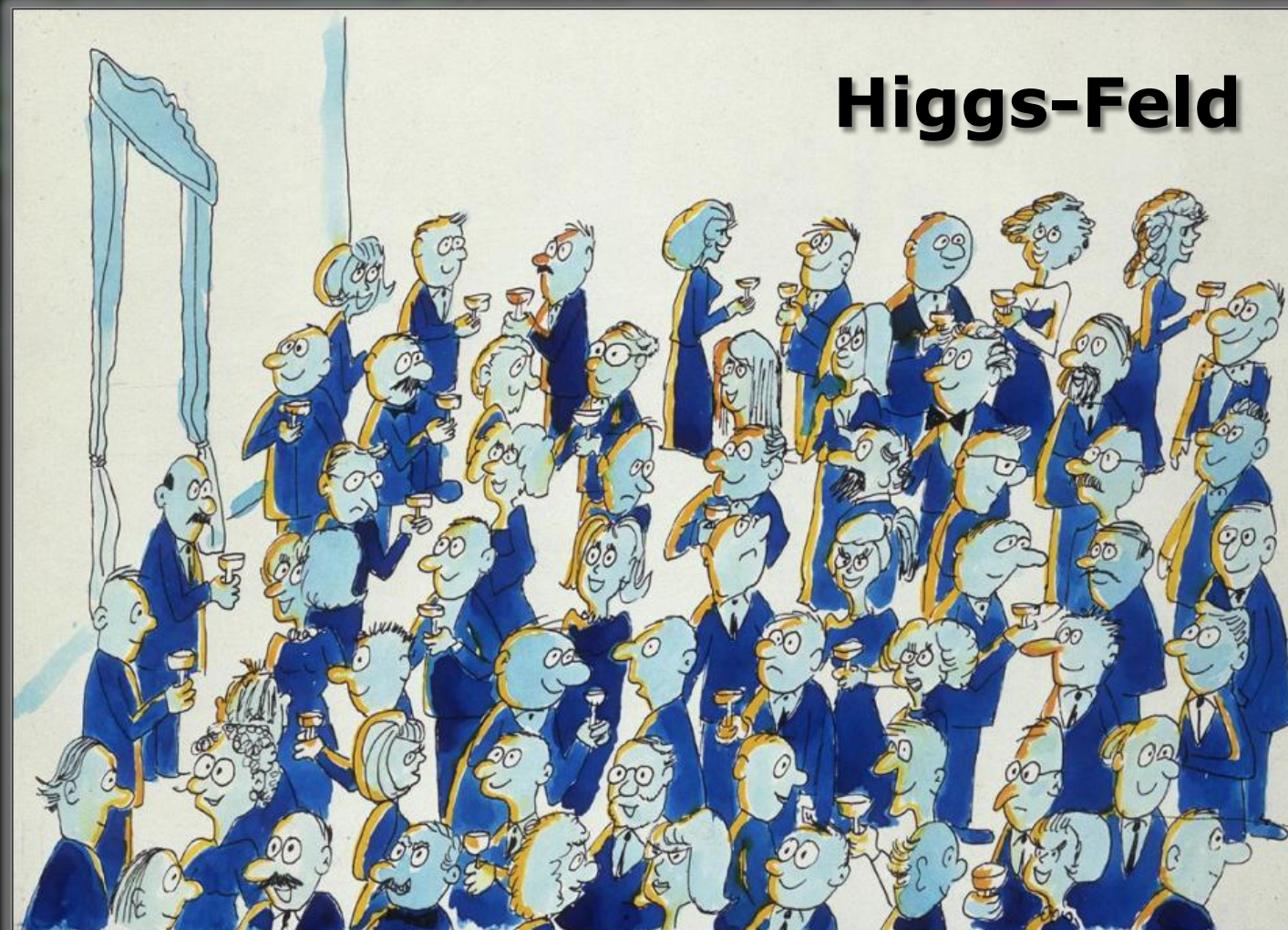
TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- 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

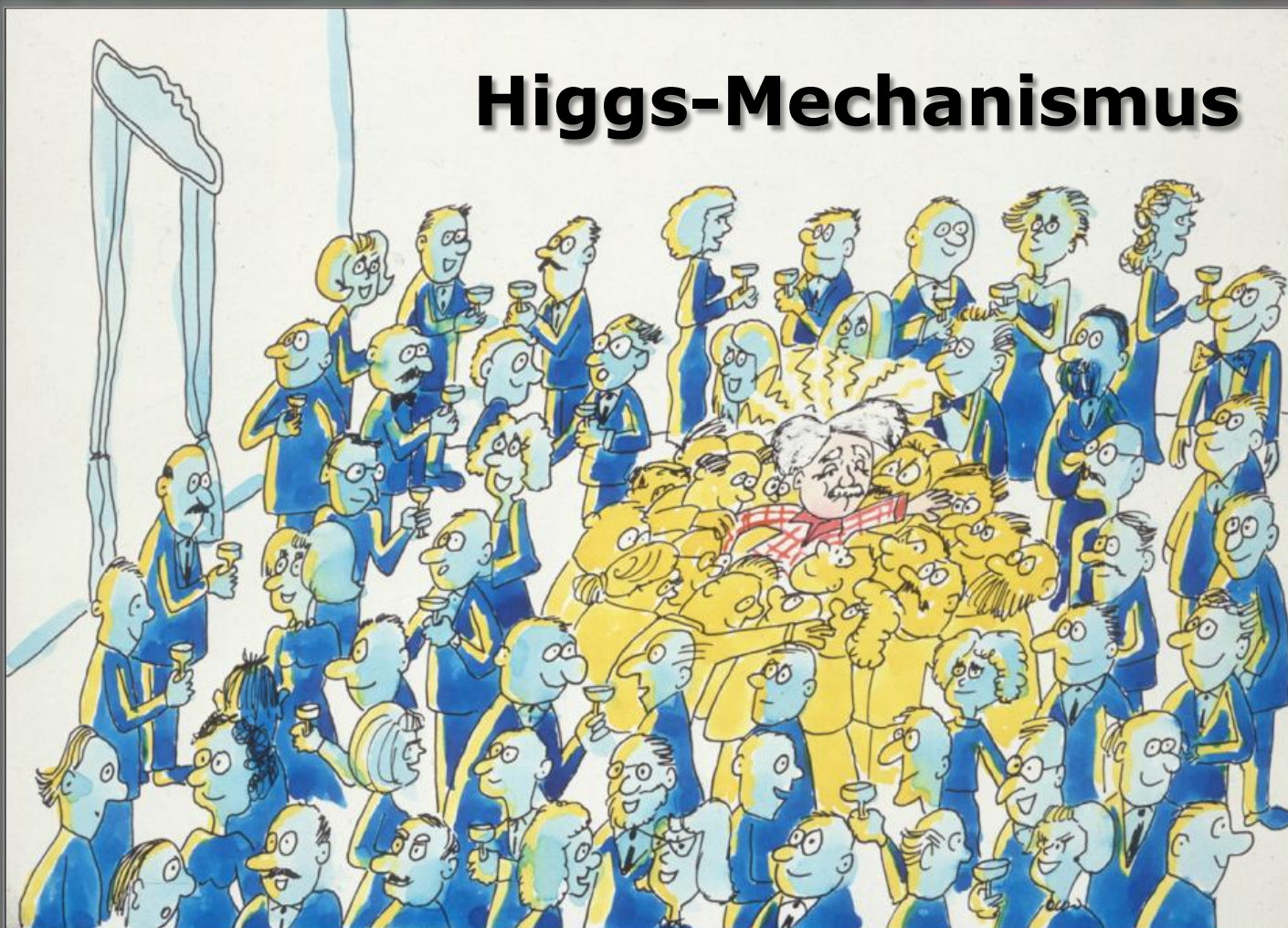


Higgs-Mechanismus



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Higgs-Mechanismus



Higgs-Mechanismus



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

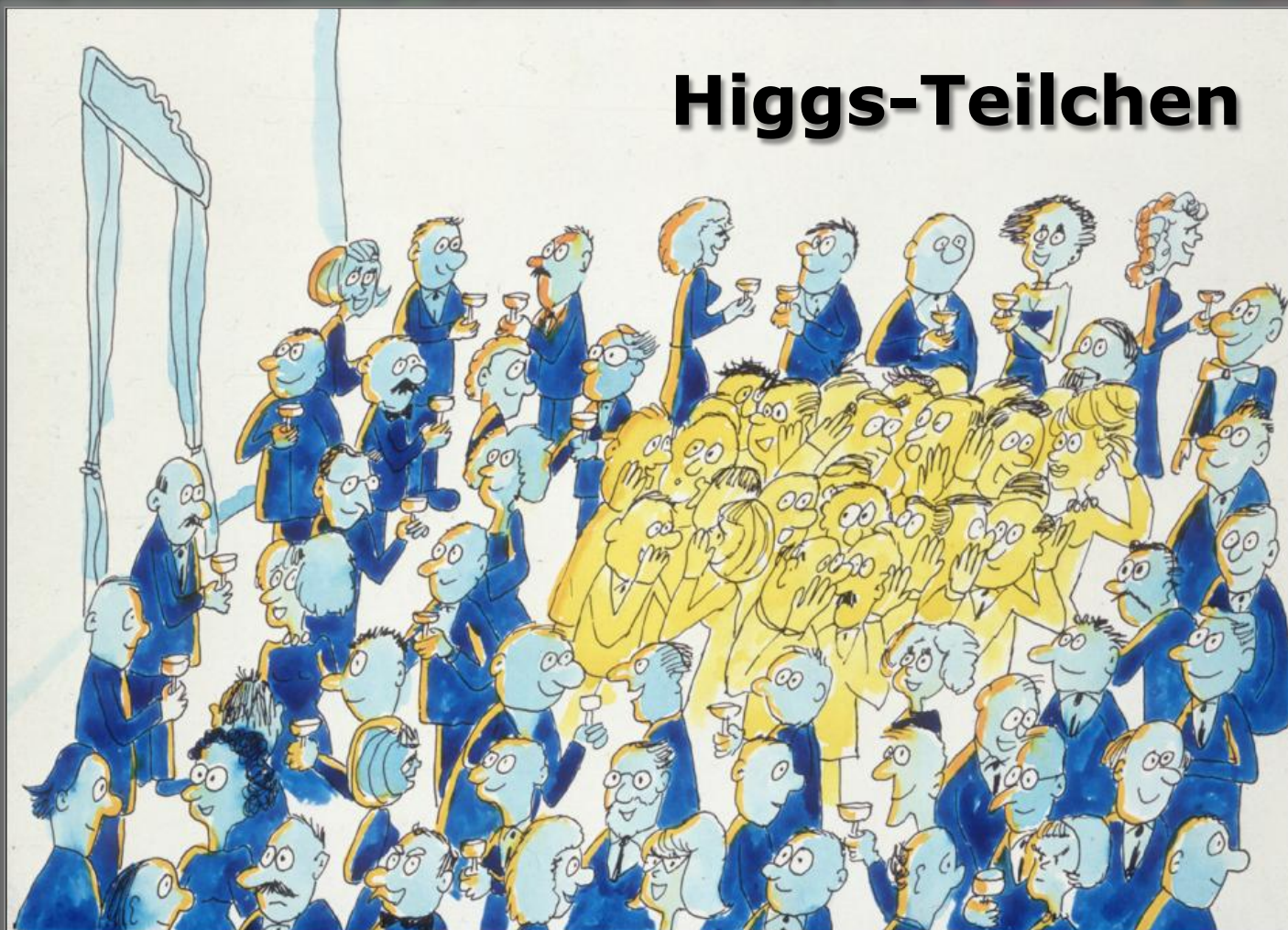


Higgs-Mechanismus



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Higgs-Teilchen





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 1000
or direct dial +44 (0)131 650 5249
Fax +44 (0)131 650 5902
Email info@ph.ed.ac.uk
www.ph.ed.ac.uk

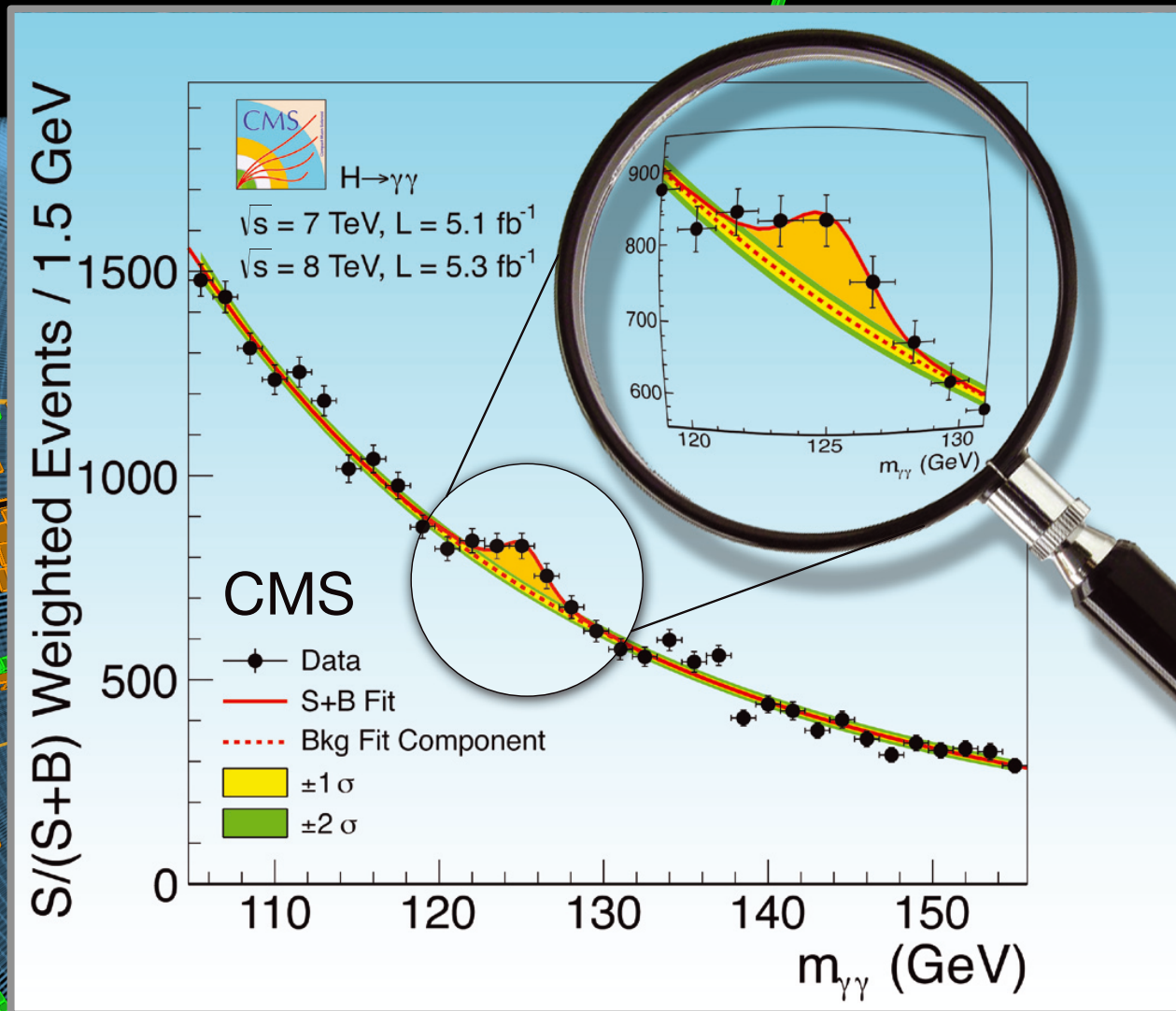
Congratulations to both
Atlas and CMS Collaborations
and to the builders of the LHC
on a magnificent achievement!

Peter Higgs

30 August 2012



Higgs $\rightarrow \gamma \gamma$





Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb



Observation of a new particle in the search for the Standard Model Higgs boson with the ATLAS detector at the LHC [☆]

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.

ARTICLE INFO

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 $\sqrt{s} = 7 \text{ TeV}$ in 2011 and 5.8 fb^{-1} at $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$ 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 $126.0 \pm 0.4 \text{ (stat)} \pm 0.4 \text{ (sys)} \text{ GeV}$ 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.



Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Physics Letters B

www.elsevier.com/locate/physletb



Observation of a new boson at a mass of 125 GeV with the CMS experiment at the LHC [☆]

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 $b\bar{b}$. 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.

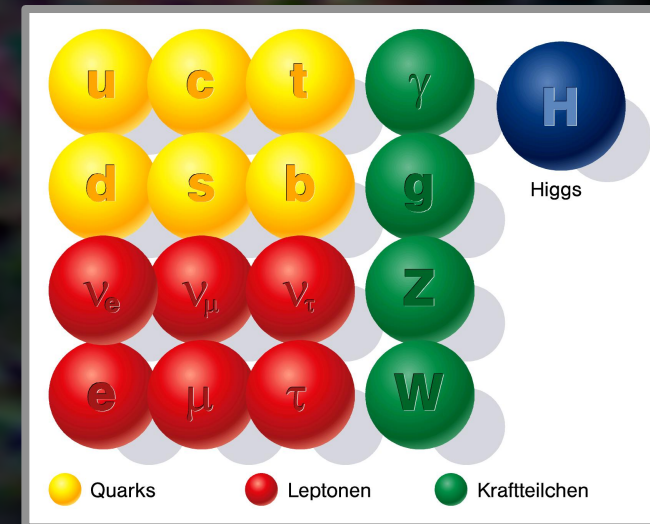
© 2012 CERN. Published by Elsevier B.V. All rights reserved.

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



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

- Unteilbarkeit haben wir bereits mit den Quarks des Standardmodells erreicht
- Die Suche nach einer fundamentalen, eleganten und einfachen Theorie geht allerdings weiter ...