

Teilchenphysik Masterclasses: Faszination Forschung für junge Menschen

Michael Kobel

Institut für Kern- und Teilchenphysik, TU Dresden

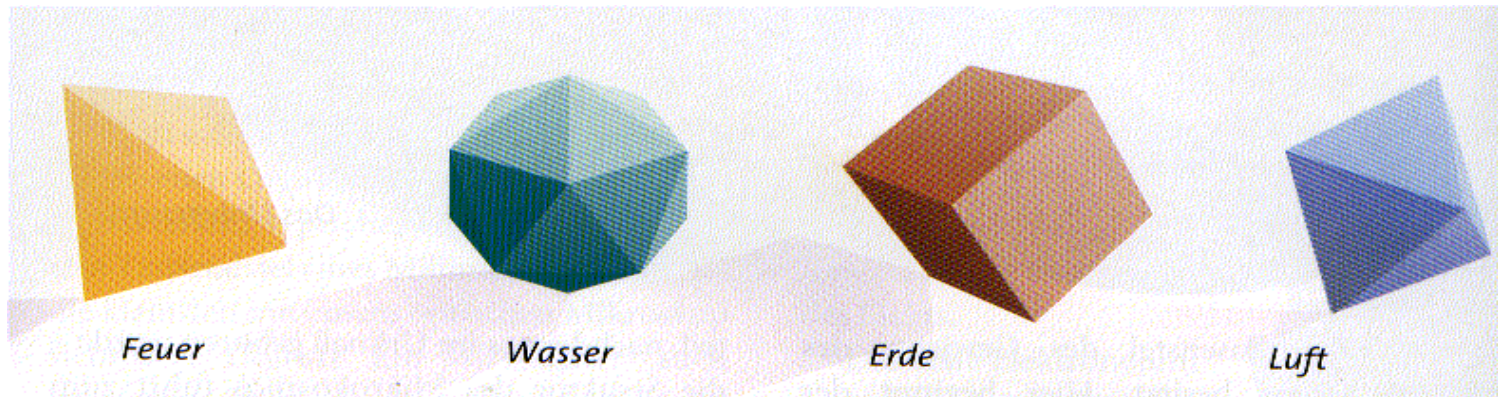
1. Lehrerworkshop Netzwerk Teilchenwelt 13.10.2010

- 1) Ziele der Forschung
- 2) Die Masterclass Idee
- 3) Messungen bei Masterclasses
- 4) Die Suche nach dem Higgs



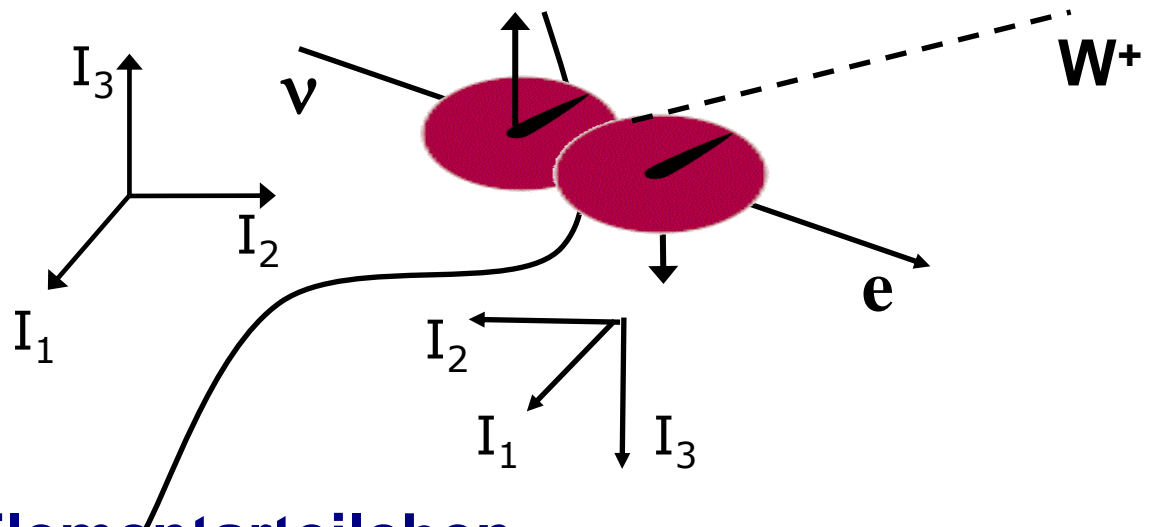
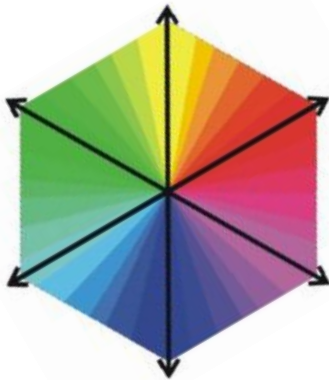
*Die Liebe ist die Tochter der Erkenntnis:
die Liebe ist umso glühender,
je tiefer die Erkenntnis ist.
(Leonardo da Vinci)*

- **Elemente und Kräfte: 500-430 v.Chr. Empedokles**
 - Vier Elemente: Feuer, Wasser, Erde, Luft
 - Zwei Urkräfte: Liebe , Haß \Leftrightarrow Mischung , Trennung
- **Symmetrien: 427-347 v.Chr. Platon**
 - Symmetrische Körper: Schönheit der Gesetze



- **Kleinste Bausteine: 460-371 v.Chr. Demokrit**
 - Atome: verschiedene Formen und Gewichte
 - Leere: Verbindung und Bewegung im Nichts

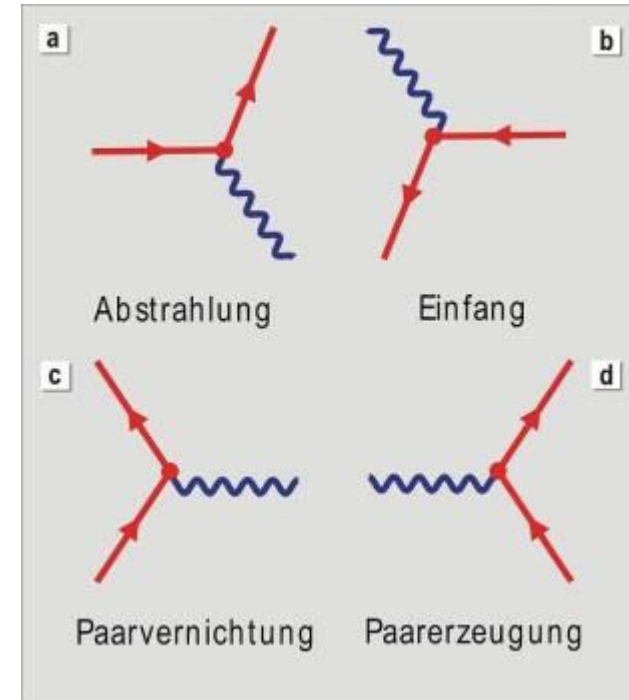
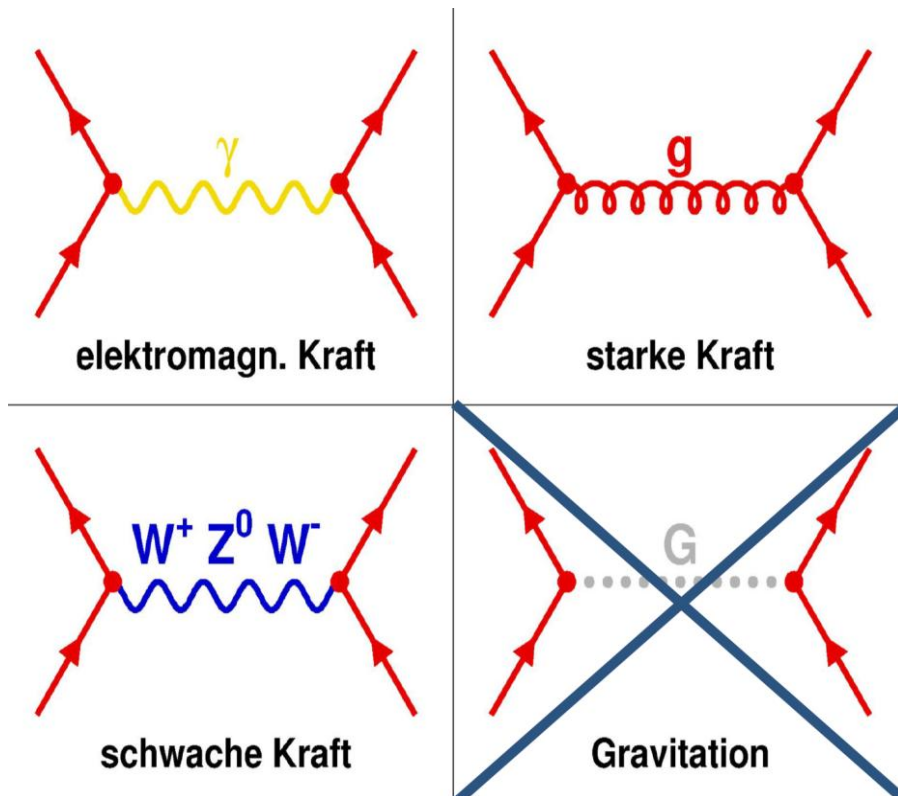
- **Wechselwirkungen = Kraft, Produktion, Zerfall**
 - Vier fundamentale Kräfte: **stark, schwach, elektromagnetisch, (gravitat.?)**
 - Möglicherweise: **eine „Urkraft“?**
- **Symmetrien sind Ursache der Kräfte**
 - 3 Lokale Eichsymmetrien: **Erfordern(!) Wechselwirkungen**



- **Kleinste Bausteine = Elementarteilchen**
 - **Materieteilchen: Fermionen (Pauli-Verbot ermöglicht chem. Vielfalt)**
 - **Botenteilchen: Bosonen (elektromagnetische Wellen, Licht, ...)**

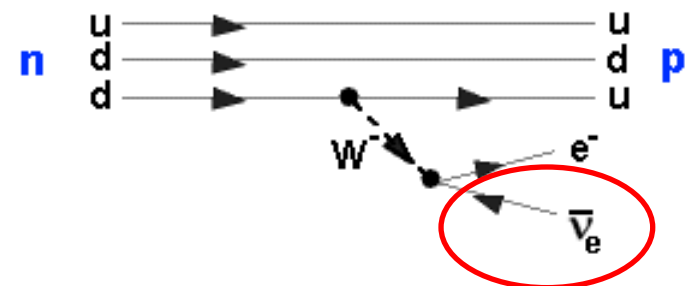
Eindeutige Vorhersagen

- Ursache jeder Wechselwirkung: Erhaltung von Symmetrien
- Ergibt eindeutiges Set von fundamentalen "Vertices"
- Alle Prozesse sind Kombination solch fundamentaler Vertices



Zeit →

- z.B. Beta"zerfall" des Neutrons



Anm: Pfeilrichtung \leftarrow symbolisiert Antiteilchen
Es läuft trotzdem in der Zeit nach rechts

Why are all the theories of interactions so similar in their structure?

There are a number of possibilities:

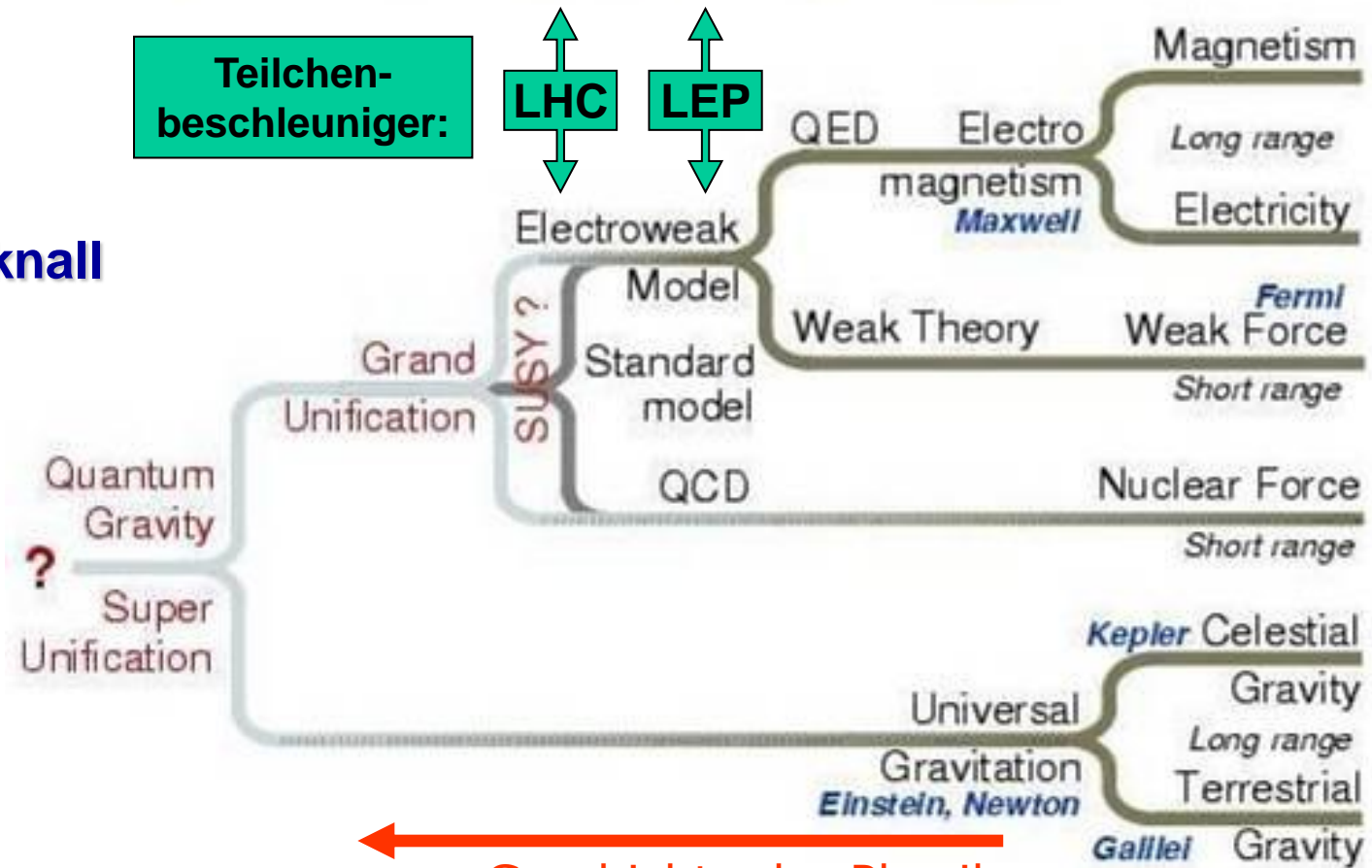
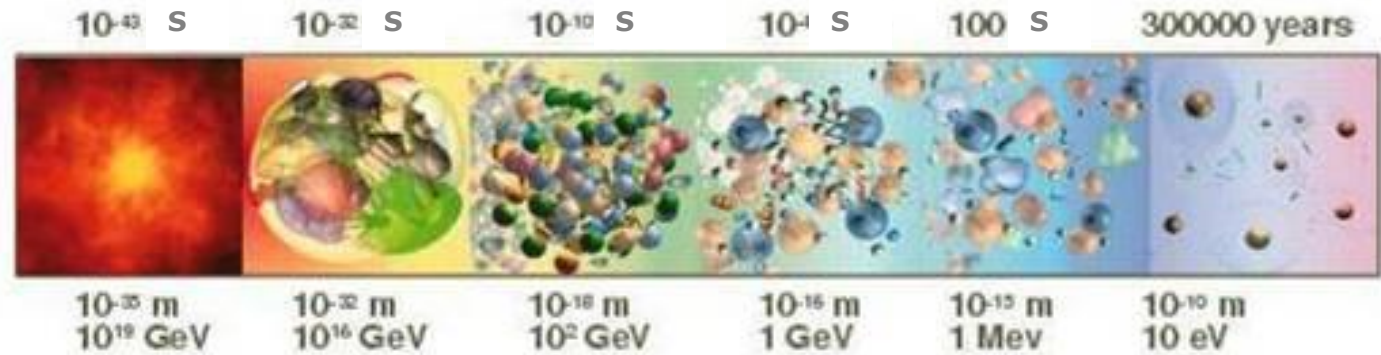
- *The first is the limited imagination of physicists:
When we see a new phenomenon, we try to fit it in the framework we already have - until we have made enough experiments we don't know that it doesn't work...
It's because physicists have only been able to think of the same damn thing, over and over again.*
- *Another possibility is that it is the same damn thing over and over again - that Nature has only one way of doing things, and She repeats her story from time to time.*
- *A third possibility is that things look similar because they are aspects of the same thing - some larger picture underneath...*

Richard. P. Feynman, "The strange theory of light and matter"
Princeton University Press, 1985
"Die seltsame Theorie des Lichts und der Materie"
Piper Taschenbuch, 9,95€

- LHC:**

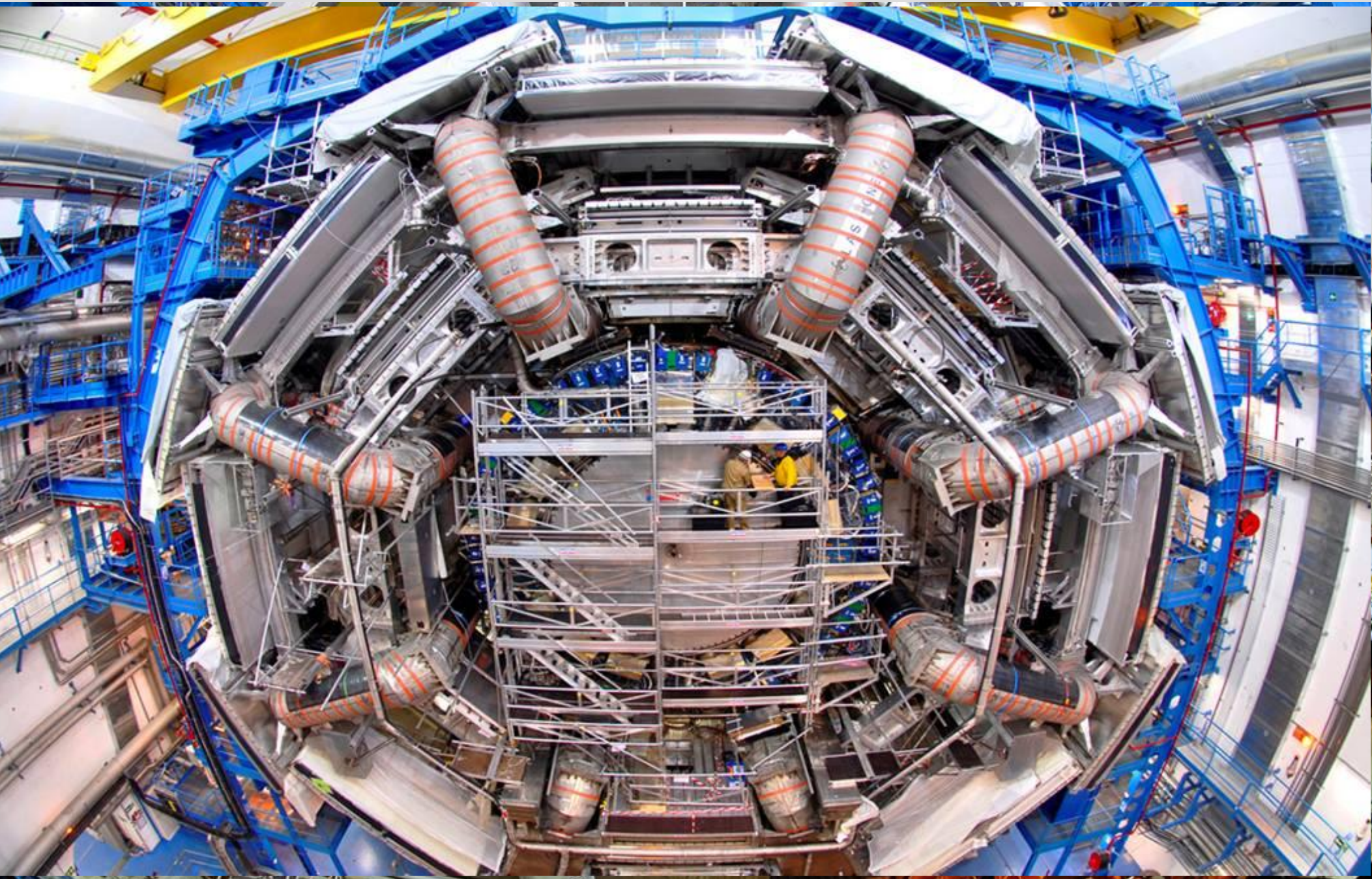
Nachstellen der Prozesse zwischen Elementarteilchen

10^{-12} s nach dem Urknall



← **Geschichte der Physik**
Zurück zum Urknall

Der ATLAS Detektor im Aufbau



Das **Masterclass** Konzept

EPPOG: International masterclasses „hands on particle physics“
Netzwerk Teilchenwelt: Basisprogramm

● Grundidee aus UK (1997)

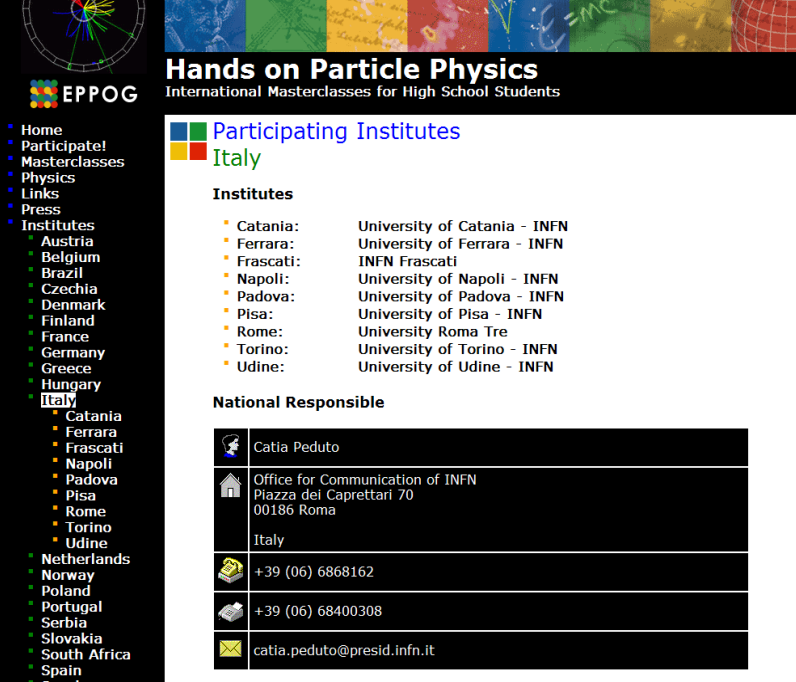
- Schüler/innen (16-19 Jahre) verbringen 1 Tag an Forschungsinstitut
- hören **Vorträge von Wissenschaftlern**, die Teilchenphysik erklären
- arbeiten **wie Wissenschaftler mit echten Daten** vom CERN

● **Warum Masterclasses?**

- Kontakt mit den **aktuellen Fragen der Grundlagenforschung**
- **Erfolgserlebnisse** mit eigenen Messungen und Interpretationen
- Nachvollziehen des **wissenschaftlichen Forschungsprozesses**
- **Stimulation des Interesses** für Naturwissenschaft

Die internationalen masterclasses von EPPOG

- **Erzeuge internationale Kollaboration von Schülern**
 - **Vernetze weltweit Institute** mit jeweils 300-400 Schülern pro Tag
 - **Seit 2005: jährlich innerhalb 3 Wochen im März**
 - **Über 80 Institute in 23 Ländern**
 - **Über 6000 Schüler/innen**
 - **Abschluß: gemeinsame Videokonferenz von 5-6 Masterclasses**
 - ✦ Discussion der Ergebnisse
 - ✦ Kombination (verbessere Genauigkeit)
 - ✦ Quiz und Preise
 - ✦ Fragen an Wissenschaftler am CERN
- Agenda, Daten, Hintergrundmaterial, Beschreibung aller Institute:
www.physicsmasterclasses.org



Hands on Particle Physics
International Masterclasses for High School Students

Participating Institutes
Italy

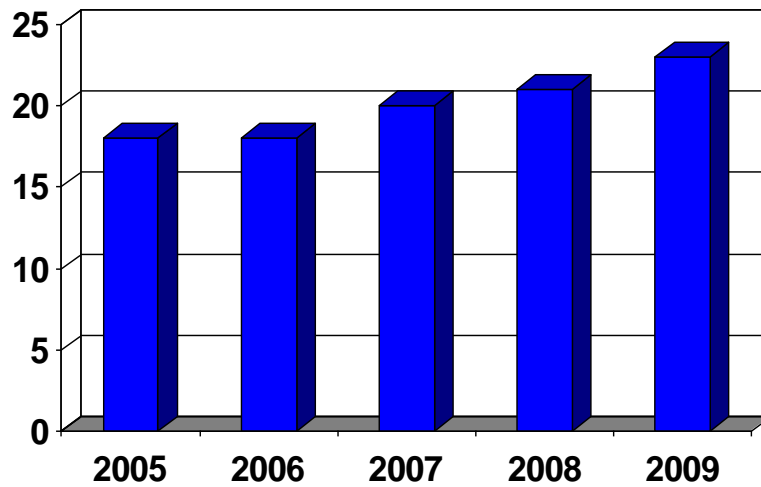
Institutes

• Catania:	University of Catania - INFN
• Ferrara:	University of Ferrara - INFN
• Frascati:	INFN Frascati
• Napoli:	University of Napoli - INFN
• Padova:	University of Padova - INFN
• Pisa:	University of Pisa - INFN
• Rome:	University Roma Tre
• Torino:	University of Torino - INFN
• Udine:	University of Udine - INFN

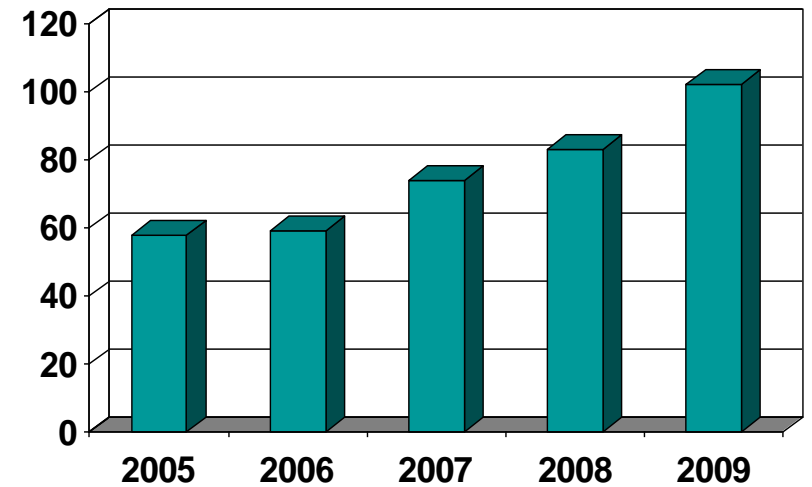
National Responsible

🏠	Catla Peduto
🏠	Office for Communication of INFN Piazza dei Caprettari 70 00186 Roma
📍	Italy
☎	+39 (06) 6868162
☎	+39 (06) 68400308
✉	catia.peduto@presid.infn.it

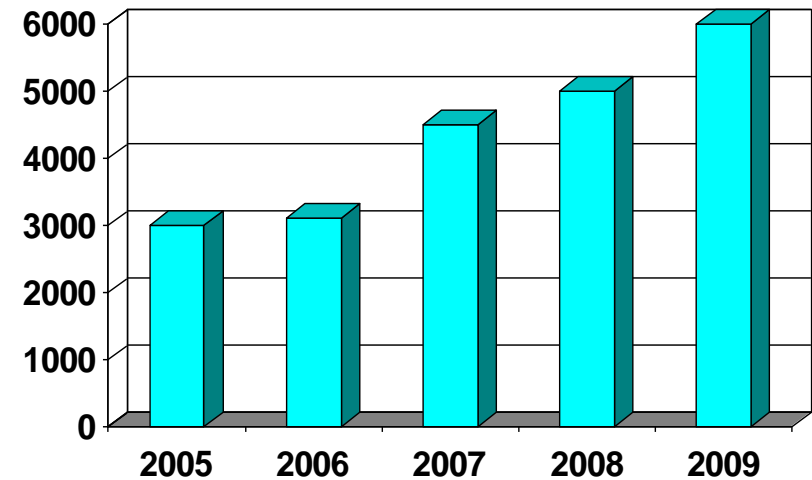
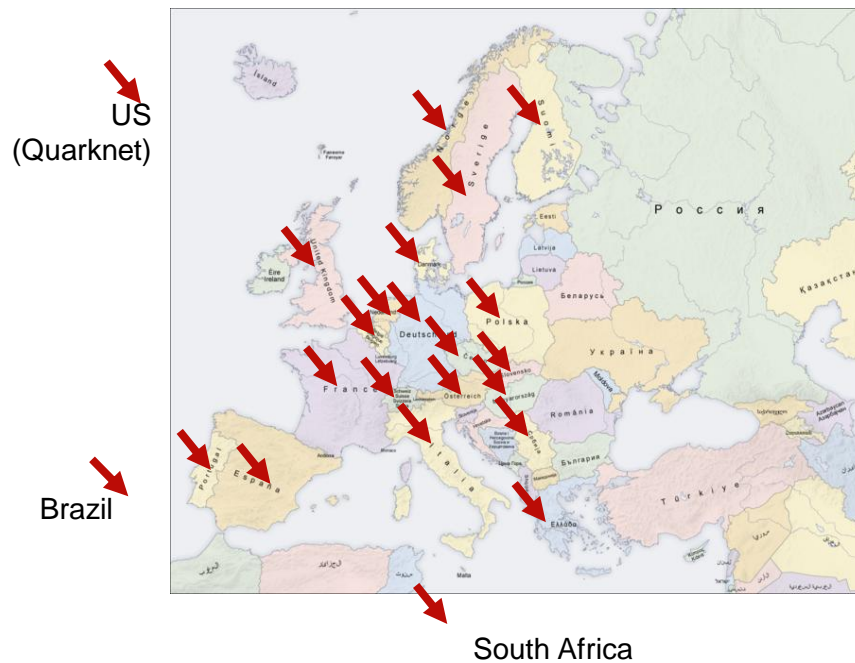
Beteiligung EPPOG international masterclasses



■ Länder



■ Institute



■ Teilnehmer

Lectures



Measurements



Collecting results



Local analysis



"Hands on Particle Physics"
International Masterclasses

Final video conference: combination of results












<http://www.physicsmasterclasses.org/downloads/Zcombine>

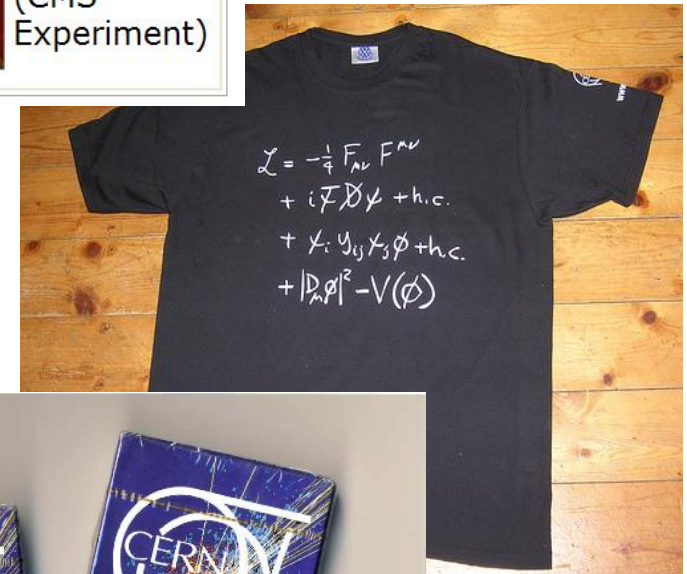
<http://www.physicsmasterclasses.org/downloads/Zcombine.xls>

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Town (COUNTRY)	0: DELPHI 1: OPAL	Electrons	Myons	Taus	Quarks		enable institutes	OPAL institut
2	Athens (GR)	1	30	40	30	900		1	1
3	Berlin (DE)	1	30	45	45	880		1	1
4	Bruxelles (BE)	0	40	50	40	870		1	0
5	Budapest (HU)	0	50	40	50	860		1	0
6	Catania(IT)	0	30	40	50	880		1	0
7	Ioannina(GR)	1	20	30	40	910		1	1
8	xx(YY)								
9			e	μ	τ	q	all	6	3
10	Sum (corr)		248	245	255	5300	6048		
11	Stat. Uncertainty		30	27	28	126			
12									
13	Fract. of Visible		e / all	μ / all	τ / all	q / all	q / ((e+μ+τ)/3)		
14	Athens (GR)	1	0,047	0,039	0,029	0,884	22,9		
15	Berlin (DE)	1	0,047	0,044	0,044	0,864	19,1		
16	Bruxelles (BE)	0	0,040	0,050	0,040	0,870	20,1		
17	Budapest (HU)	0	0,050	0,040	0,050	0,860	18,4		
18	Catania(IT)	0	0,030	0,040	0,050	0,880	22,0		
19	Ioannina(GR)	1	0,032	0,030	0,040	0,899	26,8		
20	xx(YY)	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,0		
21	DELPHI		0,040	0,043	0,047	0,870	20,1		
22	Statistical Uncertainty ±		0,006	0,006	0,007	0,011	2,0		
23	Systematic Uncertainty ±		0,008	0,005	0,005	0,008	1,9		
24	OPAL		0,042	0,038	0,038	0,883	22,5		
25	Statistical Uncertainty ±		0,008	0,006	0,006	0,010	2,5		
26	Systematic Uncertainty ±		0,007	0,006	0,006	0,014	2,5		
27	Combination		0,041	0,041	0,042	0,875	21,1		
28	Statistical Uncertainty ±		0,005	0,004	0,005	0,008	1,6		
29	Systematic Uncertainty ±		0,006	0,004	0,004	0,007	1,5		
30									

Quiz mit den CERN Moderatoren

 Jula Draeger (CMS Experiment)	 Zoe Matthews (ALICE Experiment)	 Sue Cheatham (ATLAS Experiment)
 Sam Harper (CMS Experiment)	 Michael Hauschild (ATLAS Experiment)	 Vicki Moeller (ATLAS Experiment)
 Peter Steinbach (ATLAS Experiment)	 Matthew Tamsett (ATLAS Experiment)	 Tom Whyntie (CMS Experiment)

Preise
gestiftet
vom
CERN



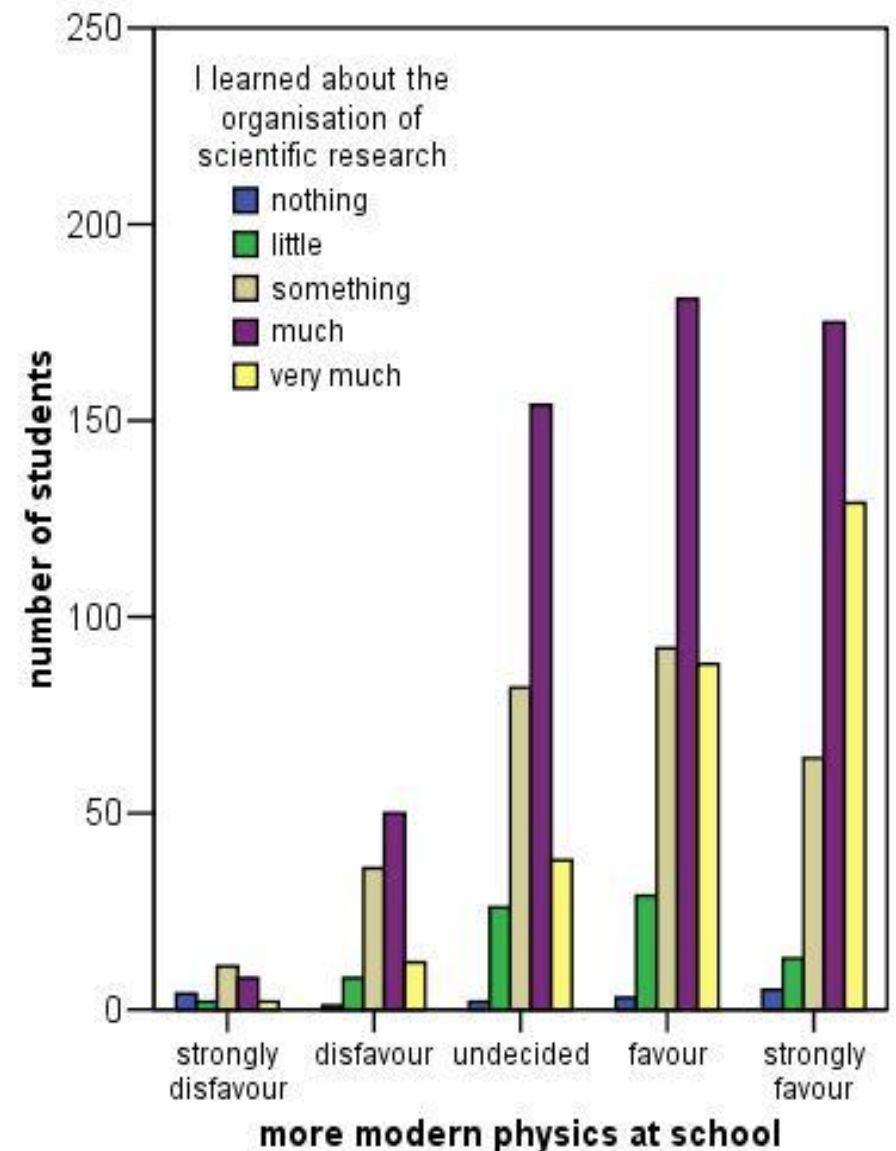
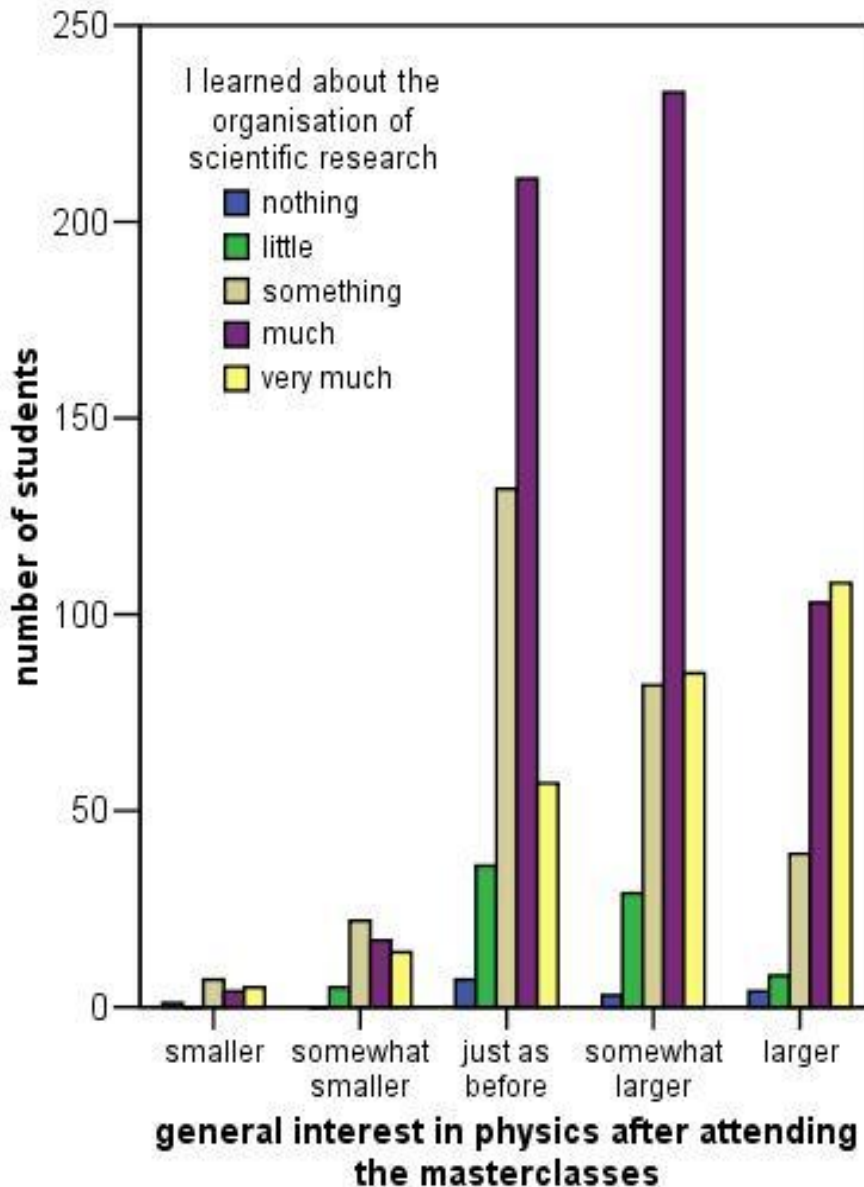
"Hands on Particle Physics"
International Masterclasses

EPPOG
European Particle Physics Outreach Group

Wichtigstes Evaluationsergebnis

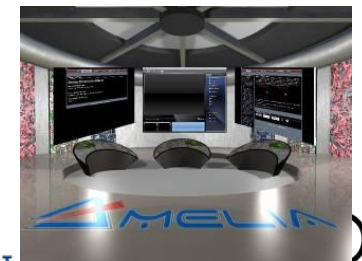
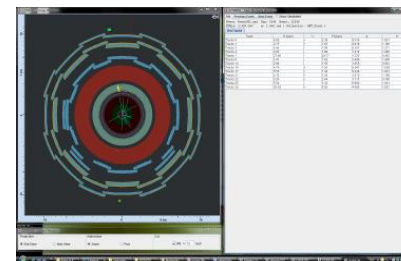
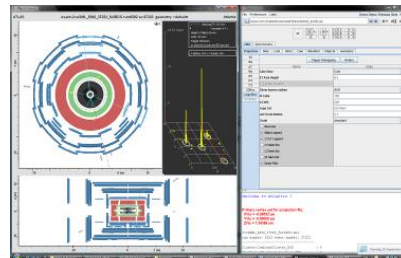
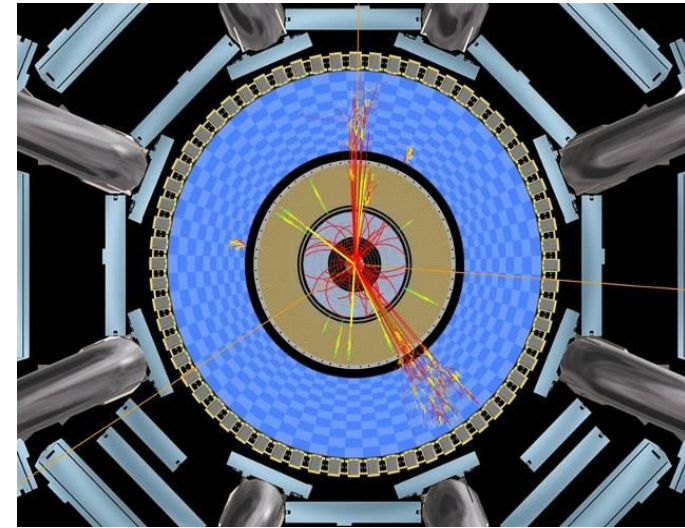
Physics Education 42 (2007) 636-644

- Erleben heutiger naturwissenschaftlicher Arbeitsweise erzeugt Interesse an (insbesondere moderner) Physik



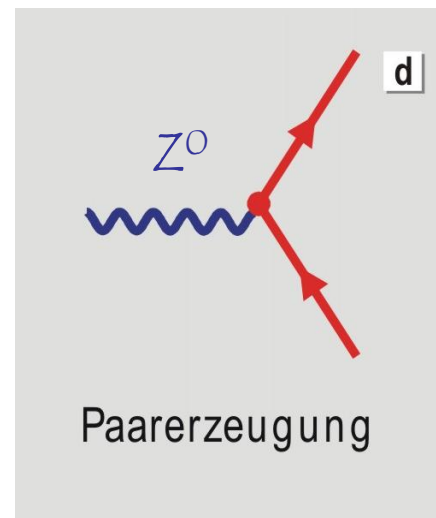
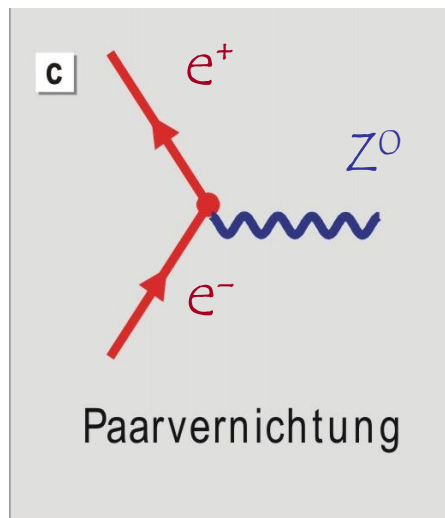
New activity: upgrade for LHC

- **Didactical and technical concept**
 - Didactics Ph.D. thesis Konrad Jende @ CERN
 - close cooperation with CERN teachers program
 - and EPPOG, Quarknet, Netzwerk Teilchenwelt
- **Challenges:**
 - Flexible for whatever the LHC will discover
 - Plug & play for all institutes
 - At least ATLAS and CMS, others possible
 - First test package in autumn 2010, beta version for Masterclasses 2011
- **Physics task**
 - So far LEP:
 - lepton universality and 3 colors in Z-decays
 - optional: α_s from counting jets, WW at LEP2
 - LHC: find W (real), Z (real), Higgs (simulated!), ...(?)
- **Existing ATLAS programs for LHC-exercises**
in EC-project „Learning with ATLAS @CERN“
 - Minerva (UK)
 - Hypatia (Greece)
 - Amelia (US)



Masterclass Messungen bisher: Z "Zerfälle"

- Das Z Teilchen ist nicht stabil
- Wandelt sich nach $3 \times 10^{-25} \text{s}$ (!) in andere Teilchen um



—————→
Zeit



Zerfallskanäle

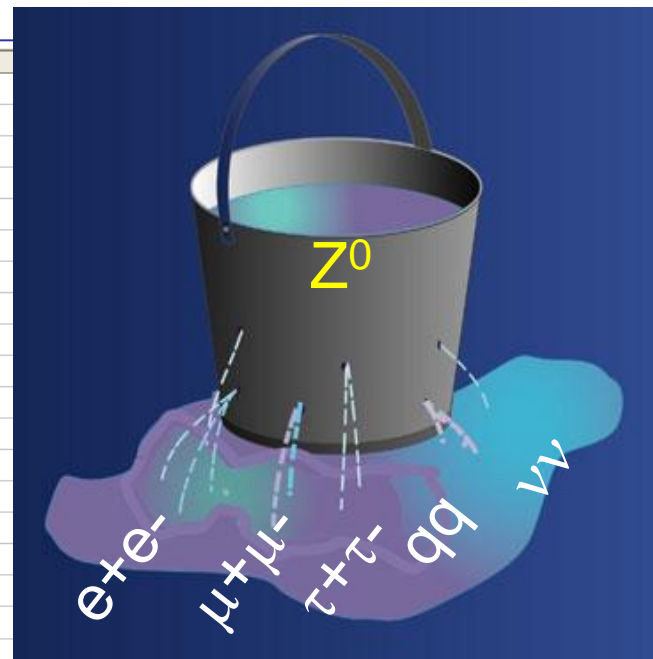
- Löcher entsprechen „Zerfallskanälen“
- Für einzelnes Wassermolekül Austrittsloch nicht vorhersagbar
Für einzelnes Z-Teilchen Zerfallskanal nicht vorhersagbar
- Entleerungsdauer → absolute Größe der Löcher
Zerfallsdauer → Stärke der „Kopplungen“ an Teilchenpaare
- Verhältnis der Austrittsmengen
→ Größenvergleich der Löcher
Verhältnis der Zerfallshäufigkeiten (nur ZÄHLEN!)
→ Größenvergleich der Kopplungen
- Lernziel / selbstständige Interpretation:
→ Vergleich der Teilchenhäufigkeiten:
e, μ , τ haben gleiche Eigenschaften
Quarks kommen 3*5 Mal „zu häufig“ vor

Aufgabe für Schüler !



Masterclass Messungen bisher

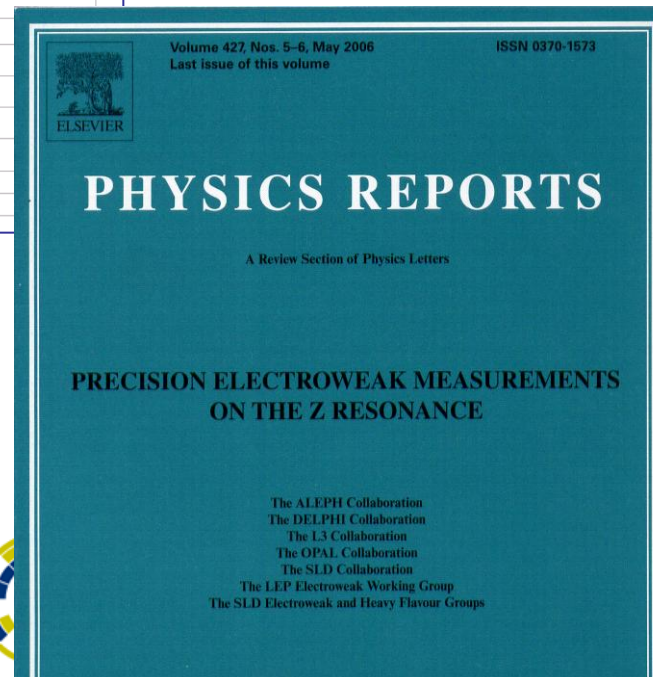
	A	B	C	D	E	F
1	Group	Electrons	Myons	Taus	Quarks	
2	A (1-100)	4	6	4	86	
3	B (101-200)	2	2	2	94	
4	C (201-300)	3	3	3	91	
5	D (301-400)	2	7	4	87	
6	E (401-500)	3	5	4	88	
7	F (501-600)	3	10	7	80	
8	G (601 -700)	6	5	3	86	
9	H (701-800)	3	4	7	86	
10	I (801-900)	1	2	5	92	
11	J (901-1000)	4	0	4	92	
12						
13						
14	Sum all	Sum e	Sum μ	Sum τ	Sum q	
15	1000	31	44	43	882	
16	Sum corr	Sum e corr	Sum μ	Sum τ	Sum q	
17	1018,6	49,6	44,0	43,0	882,0	
18	Stat. Uncertainty	8,9	6,6	6,6	29,7	
19						
20	Fract. of Visible	e / all	μ / all	τ / all	q / alle	q / ((e+μ+τ)/3)
21		0,049	0,043	0,042	0,866	19,4
22	Stat. Uncertainty	0,009	0,006	0,006	0,011	2,1
23						
24						
25	Theory	0,04212	0,04212	0,04212	0,8736	20,74
26						
27	LEP Result	0,04200	0,04204	0,04208	0,8738	20,77
28	Uncertainty	0,00005	0,00008	0,00010	0,0012	0,03
29						
30						
31						



In Einklang mit
LEP Ergebnissen, publiziert in:

Physics Reports, Mai 2006

"Hands on Particle Physics"
International Masterclasses

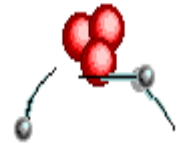


Die Bedeutung der Teilchenmassen

★ Größen- und Energieskala der Atome (Moleküle, Festkörper, Lebewesen, ...)

Elektronmasse regiert atomare **Energien** und **Radien**

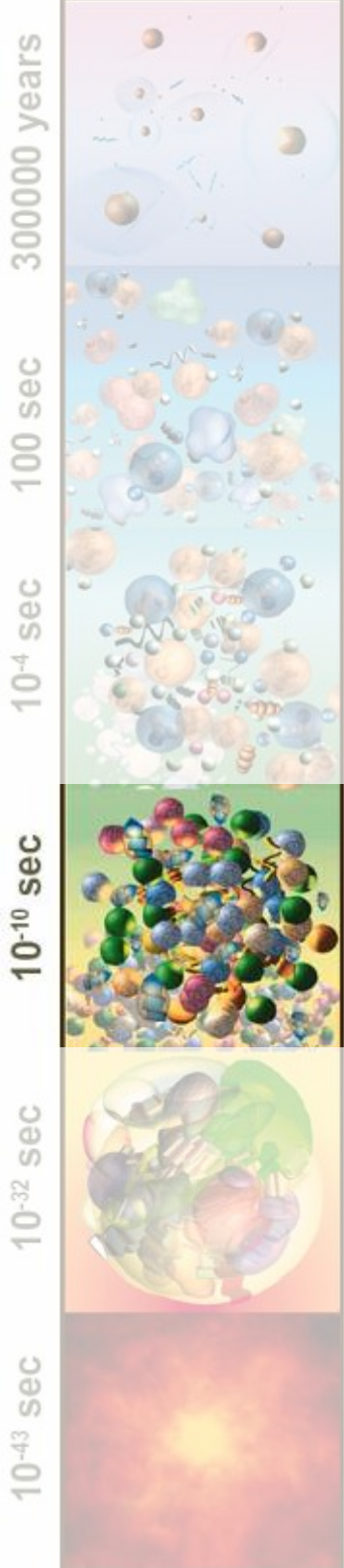
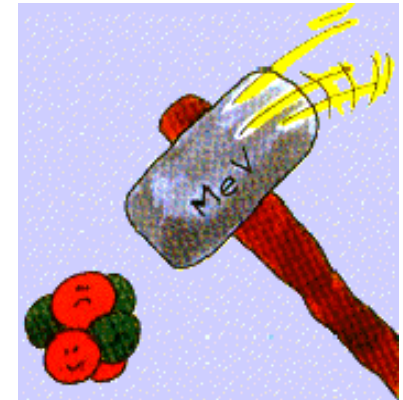
- ★ Bindungsenergie steigt mit m_e
- ★ Atomdurchmesser fällt mit $1 / m_e$



★ Stabilität der Nukleonen:

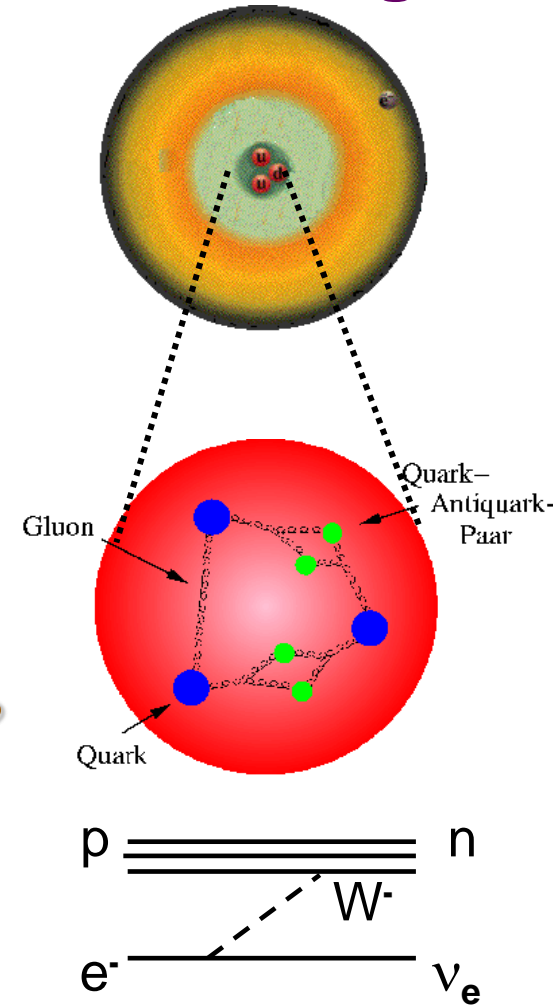
Feine Abstimmung zwischen

- ★ Starker Kraft
- ★ Elektromagn. Abstoßung der Quarks
- ★ Massen(differenzen): $m_d - m_u$, $m_d - m_e$

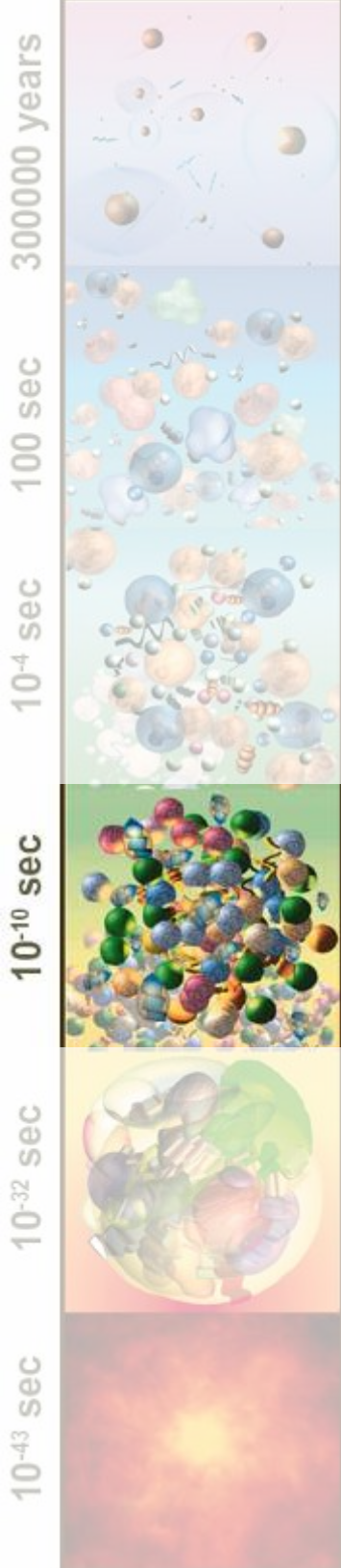


Auswirkung von Änderungen

- Die Masse der Atome kommt
 - nur ~1% aus Ruhemasse der Bausteine
 - 99% aus Energie der Quarkbindung
- Ändern von m_u , m_d oder m_e hätte
 - kaum Effekt auf **Atommassen**
 - kaum Effekt auf **Materiedichte**
 - riesigen Effekt auf **Verhalten** der Materie
- Erniedrige m_e auf $0.025 \text{ MeV}/c^2$
 - Leben: 30m große Riesenwesen auf Titan?
- Erniedrige $m_d - m_e$ um $1 \text{ MeV}/c^2$
 - ermöglicht Umwandlung des Wasserstoffs:
 - keine Wasserstoff-Atome, n stabil
- Erniedrige $m_d - m_u$ um $2 \text{ MeV}/c^2$
 - Proton- und Deuteriumzerfall
 - Keine Sterne
 - nur neutrale Teilchen (n, γ, ν)



Animation: Was wäre wenn...



View Online: www.youtube.com/watch?v=p5cPg62z8xs

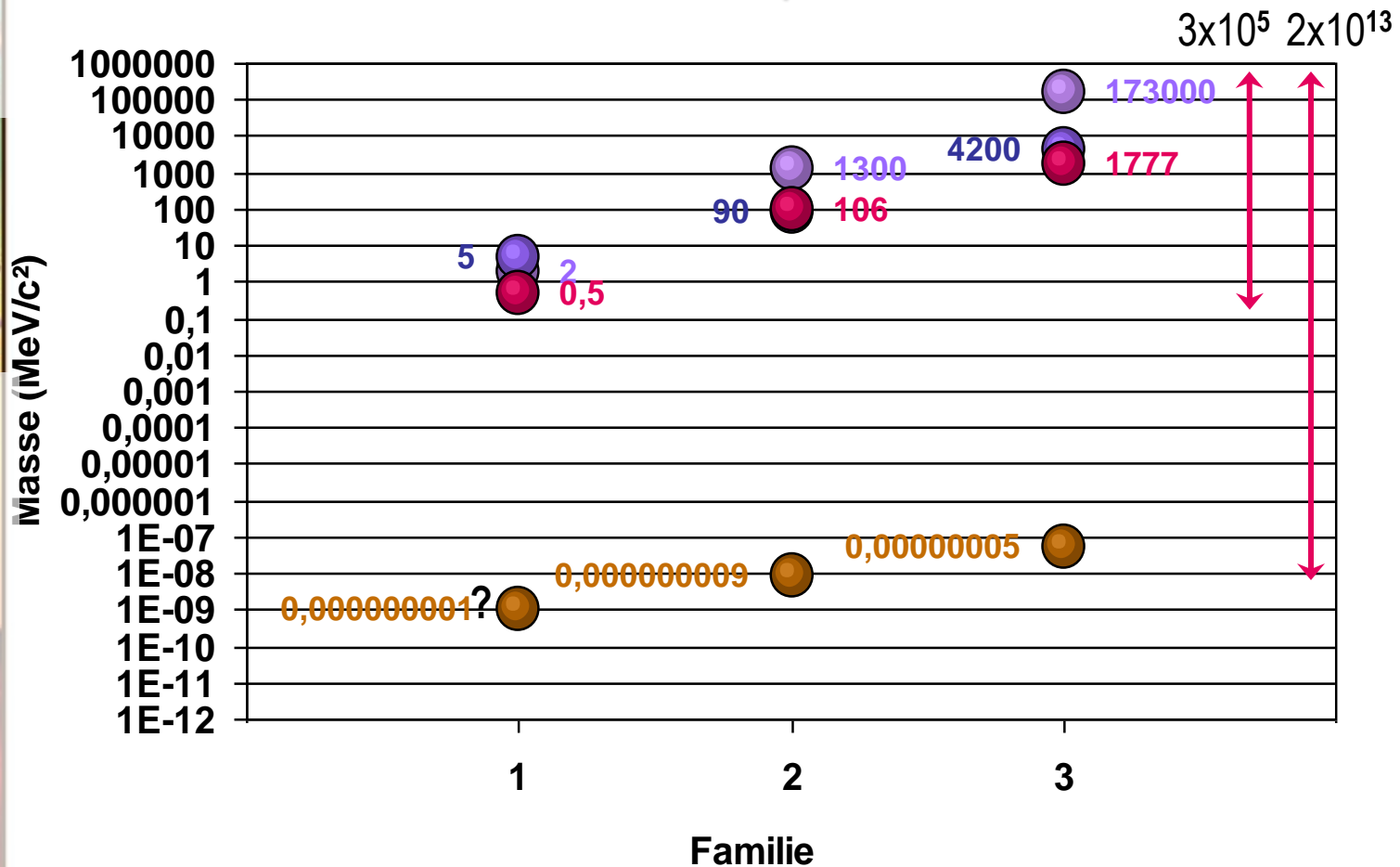
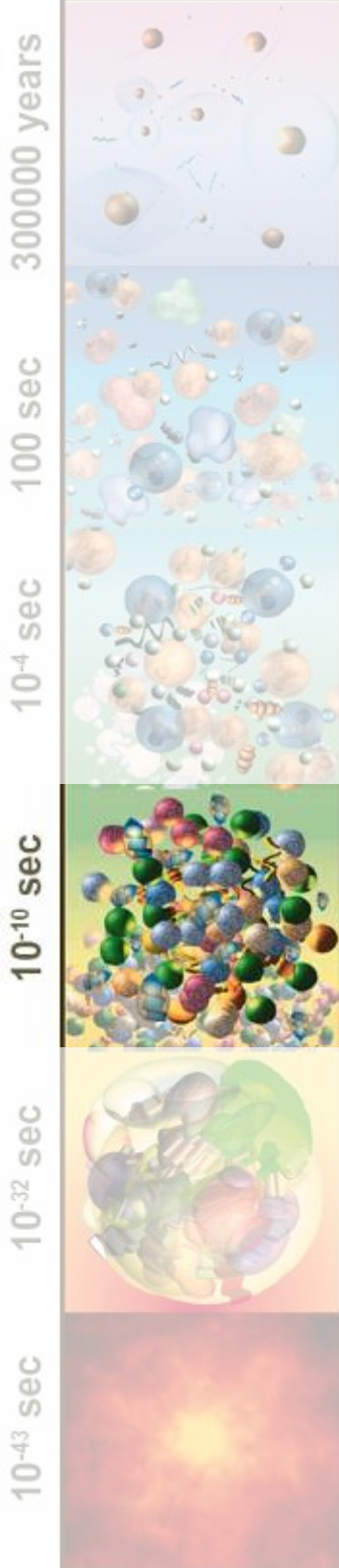
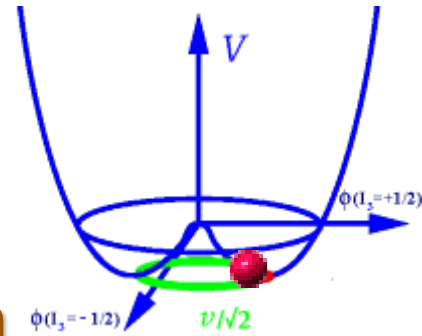
Download: : www.teilchenphysik.de/multimedia/informationmaterial/veranstaltungen

- Erst nachdem der LHC geklärt hat, wie Teilchenmassen überhaupt entstanden sind, wird man erforschen können, wie ihre Werte zustande kamen.
- http://prola.aps.org/abstract/RMP/v68/i3/p951_1
R.N. Cahn,
„The 18 arbitrary parameters of the standard model in your everyday life“ (1996)
- <http://arxiv.org/abs/hep-ph/9707380>
V.Agrawal, S.M.Barr, J.F.Donoghue, D.Seckel,
„The anthropic principle and the mass scale of the Standard Model“ (1997)
- <http://arxiv.org/abs/astro-ph/9909295v2>
C. Hogan, „Why the Universe is Just So“ (1999)
- <http://arxiv.org/abs/0712.2968v1>
Th Damour und J.F.Donoghue,
„Constraints on the variability of quark masses from nuclear binding“ (2007)

Das Problem der Masse

- Symmetrien erfordern masselose Teilchen !!
- Lösungsvorschlag im Standardmodell:

- Masse entsteht erst $\sim 10^{-12}$ sec nach Urknall durch „spontane“ Symmetriebrechung
- **LHC: Verursacht die Kopplung von Teilchen an ein „Higgs“ Hintergrundfeld ihre Masse?**
- **Später: Woher kommen die riesigen Massenunterschiede? „Sandkorn .vs. Ozeandampfer“?**



- Up Typ
- Down Typ
- Lepton +/-
- Neutrino

Was ist Masse?

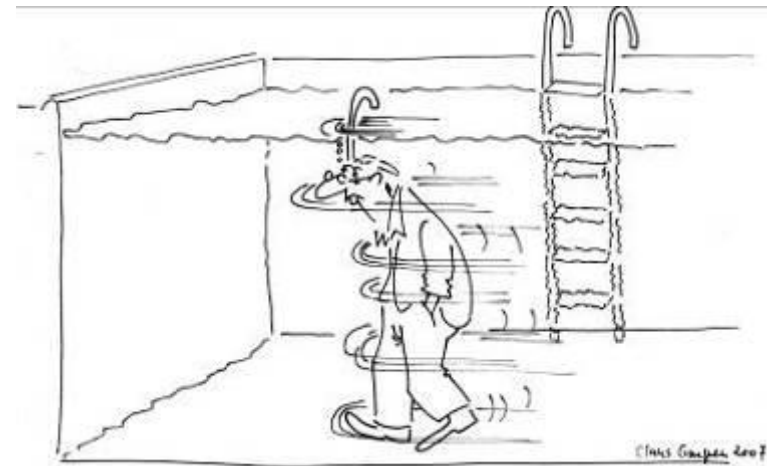
■ Leeres Vakuum

- Alle Teilchen sind masselos
- bewegen sich mit Lichtgeschwindigkeit



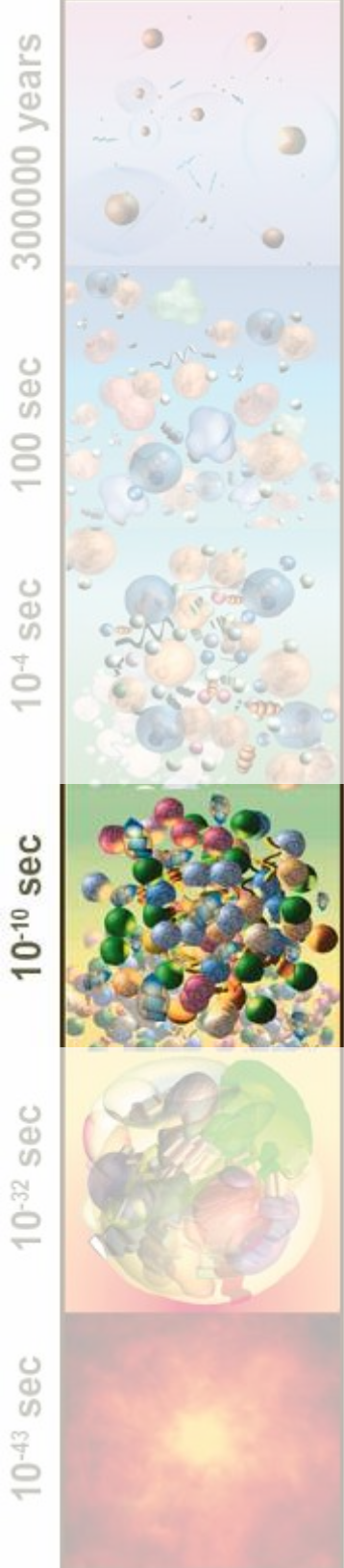
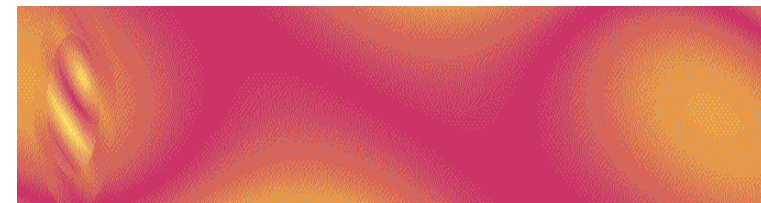
■ Higgshintergrundfeld

- Teilchen werden durch WW mit dem Higgs-Hintergrund-Feld verlangsamt
- Teilchen erhalten effektiv eine Masse
- Wert hängt von der Stärke der WW mit dem Hintergrundfeld ab



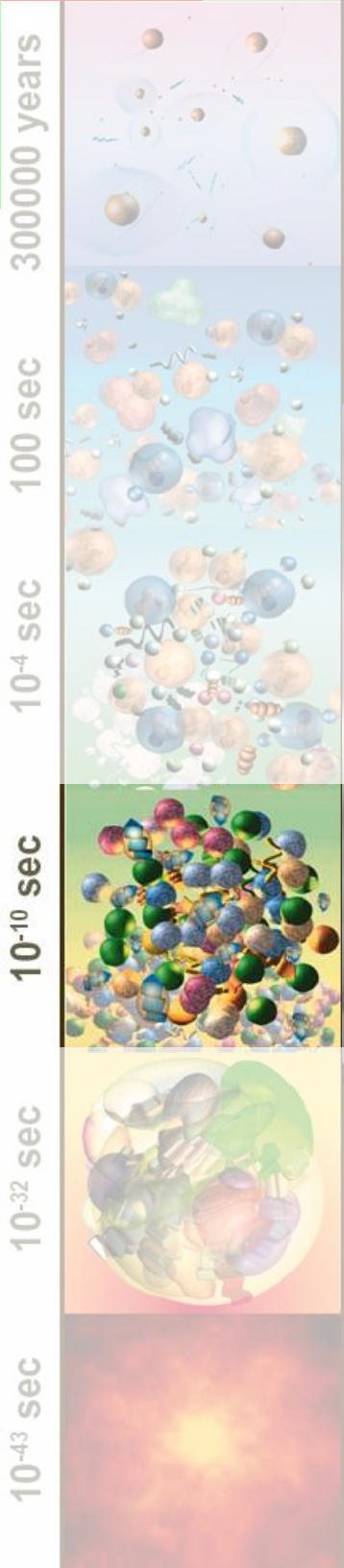
■ Higgs-Teilchen

- quantenmechanische Anregung des Higgsfeldes
- **notwendige Konsequenz des Konzepts!**



Mechanische Analogie zur Higgs Produktion

- Luft (~ Higgsfeld) normalerweise kaum zu spüren
am Besten erfahrbar, wenn in Bewegung
- Objekte hoher Energie erzeugen Anregungen der Luft:

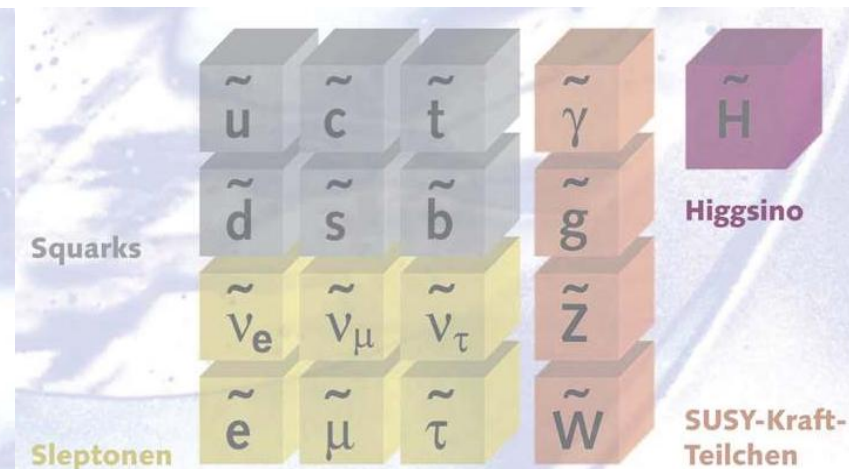
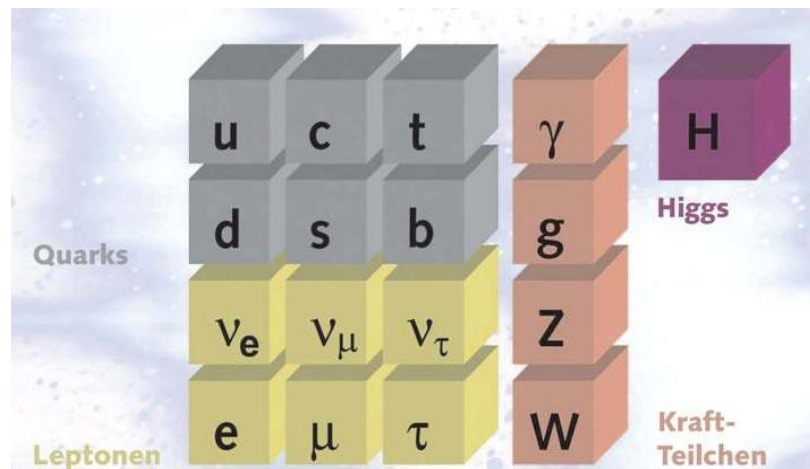
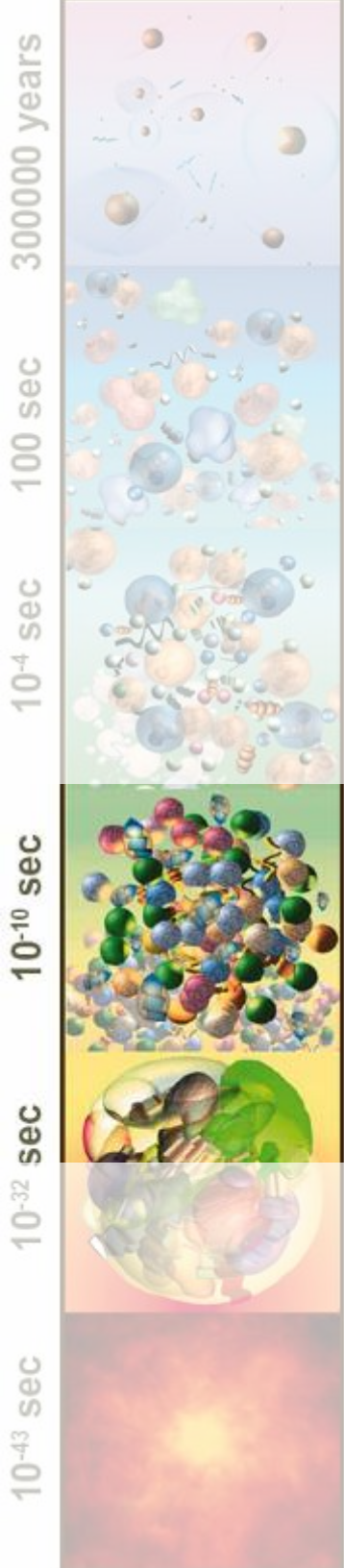


COPYRIGHT STEVE MORRIS

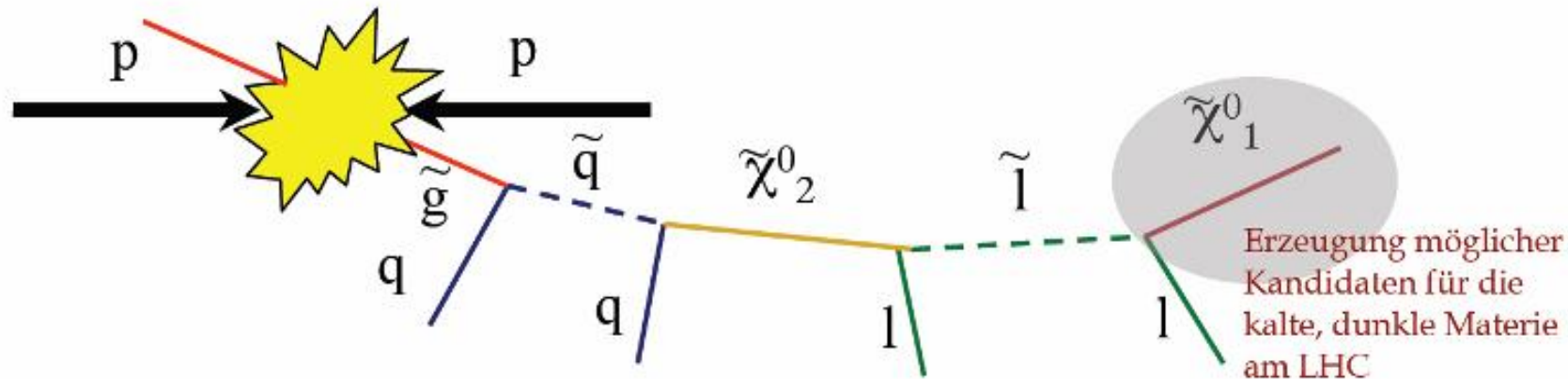
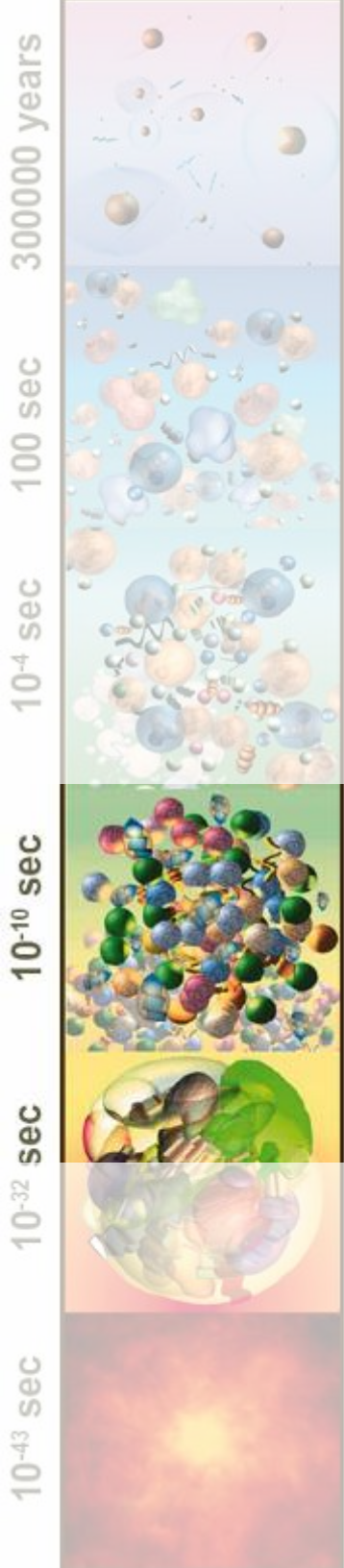


Supersymmetrie?

- Botenteilchen mit den Eigenschaften von Materie?
- ...und anders herum



Supersymmetrische Teilchen - 25 % unseres Universums ?



UNSICHTBAR !



Messbare Gravitationslinsen aus leuchtender und dunkler Materie

3000 unsichtbare, aber im Prinzip spürbare Teilchen pro Kubikmeter Universum ?

- K.Meier, FSP Inauguration, Januar 2007

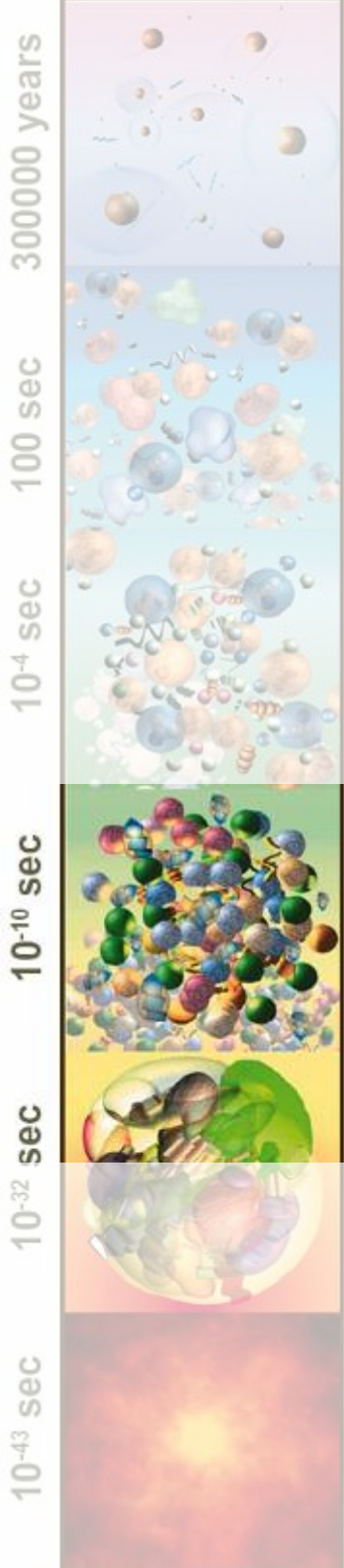
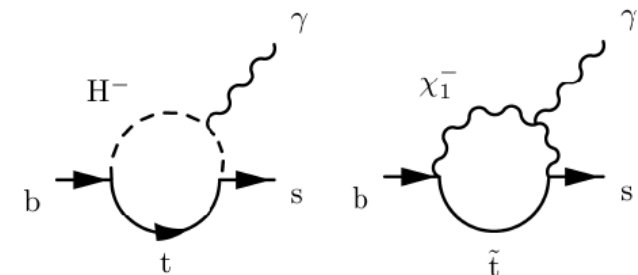
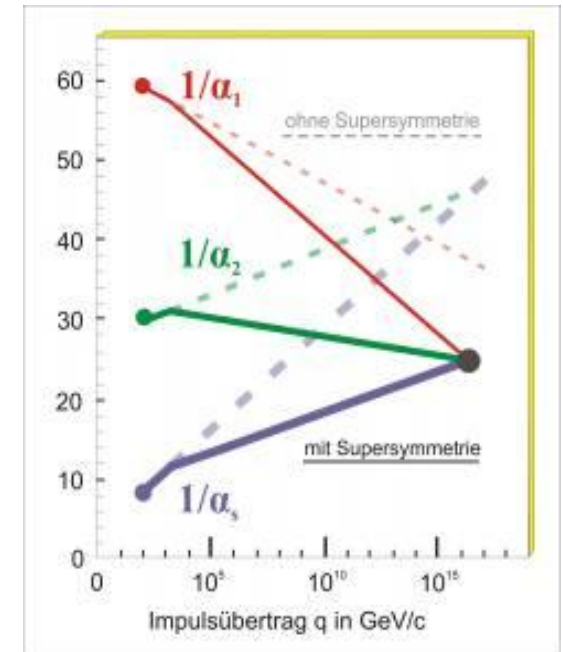
Die letzte fehlende Symmetrie !

- Würde helfen, mehrere Theoretische Fragen zu lösen

- “Relativ“ niedrige Higgs Masse
- Einbindung der Gravitation
- Vereinigung aller Kopplungen

- Leichtestes SUSY Teilchen stabil = Dunkle Materie (ca 3000 /m³)?

- ATLAS & CMS:
Direkte Erzeugung möglich
Nachweis: „fehlende Energie“
- LHCb:
„Virtueller“ Zwischenzustand
Nachweis: sehr seltene b-Zerfälle



LHC - Die Symmetriemaschine:

- Das Fundament der Naturgesetze ist vermutlich eine perfekte, großartige

Symmetrie

