

Von den kleinsten Teilchen bis zum Kosmos



Claudia-Elisabeth Wulz

Institut für Hochenergiephysik der ÖAW
Technische Universität Wien
c/o CERN, Genf

University Meets Public (Anmeldung: <http://www.vhs.at>)

VHS Meidling, Längenfeldgasse 13-15, A-1120 Wien, 13. Dez. 2006, 19:00



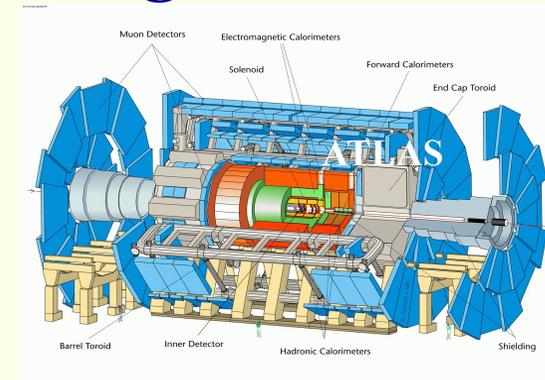
Fundamentale Fragen

- **Woraus besteht das Universum? Aus welchen Teilchen besteht die Materie ?**
- **Welche Wechselwirkungen herrschen zwischen diesen Teilchen? Was hält das Universum zusammen?**
- **Woher kommen wir, wohin gehen wir?**

Werkzeuge zur Beantwortung

Experimente an Beschleunigern

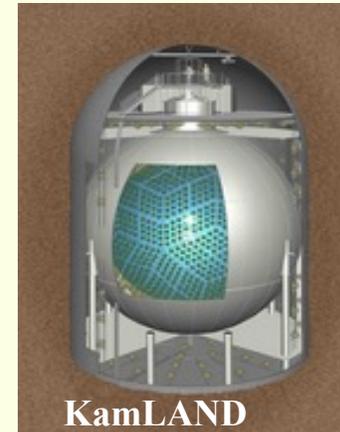
- z.B. Fermilab (USA): Tevatron
- Brookhaven (USA): RHIC
- DESY (Deutschland): HERA
- CERN (Schweiz): Large Hadron Collider (LHC)
- ?: Linear Collider



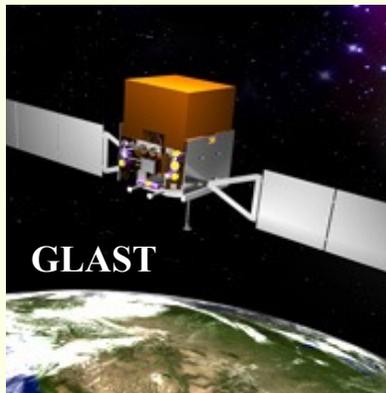
Experimente in Untergrundlaboratorien



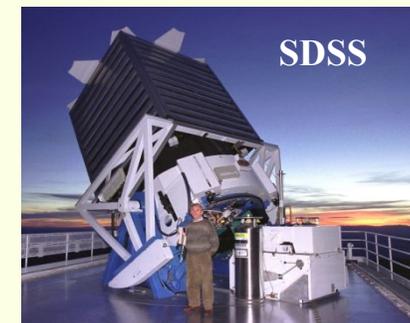
Experimente an Kernreaktoren



Raumsonden



Terrestrische Teleskope



Atomismus



Nach **Demokrit** (460 - 370 v. Chr.) besteht die Welt aus dem **Vollen** und dem **Leeren**. Die Elemente des Kosmos sind die **Atome**. Diese sind unsichtbar und unteilbar (d.h. ihre Größe kann nicht verkleinert werden).

Jedoch Vorsicht: Das Demokritsche Modell ist keine gültige wissenschaftliche Theorie im heutigen Sinn (z.B. fehlte Übereinstimmung mit experimentellen Beobachtungen, Voraussagefähigkeit)!

Unteilbarkeit

Wie kann **Unteilbarkeit** verstanden werden?
-> Es macht keinen Sinn, weiter zu teilen!

Beispiele

Buchstabencode:

**Buchstabe als Bitmuster (1 / 0) im
Computer gespeichert,**

z.B. "A" im ASCII-Code: 1000001

Morsezeichen:

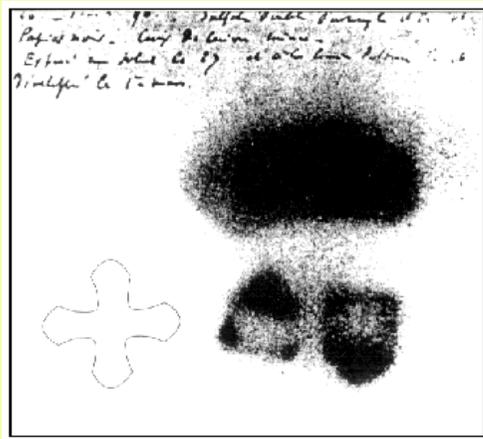
"A": 

"B": 

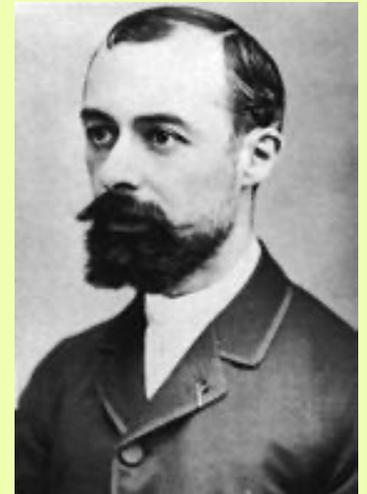
Der Weg zum modernen Atommodell

John Dalton: Atomtheorie als Grundlage der Chemie formuliert (Anfang 19. Jhdt.).

Das Atom sei das kleinste Teilchen eines chemischen Elements. Es gibt ebenso viele Atome wie Elemente. Atome wurden als massive, unteilbare Kugeln angesehen.



Henri Becquerel: entdeckt 1896 die natürliche Radioaktivität, d.h. Atome können sich ineinander umwandeln!



Brown'sche Bewegung

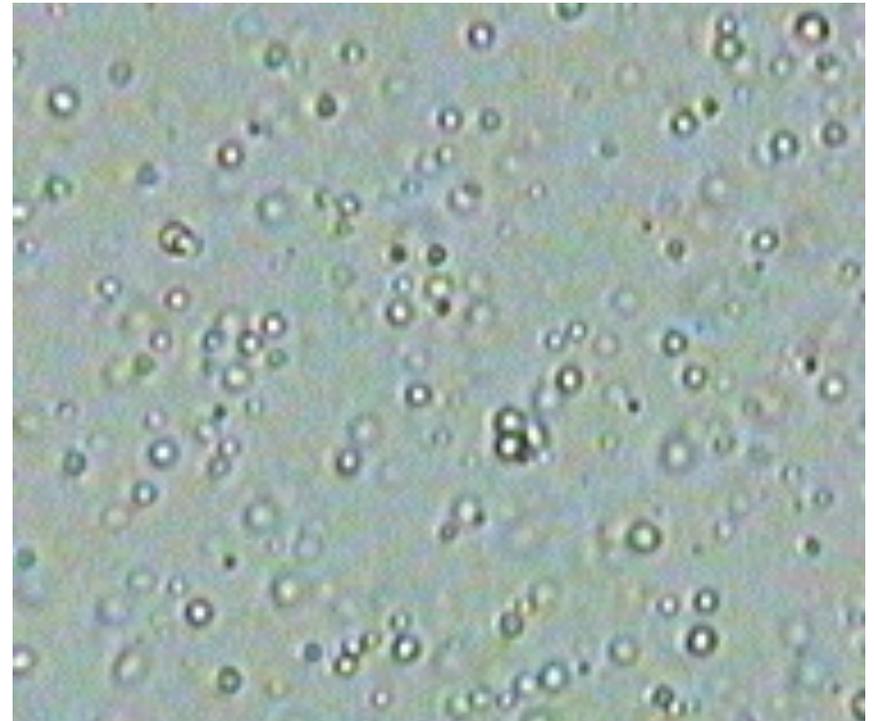
Ein in einer Flüssigkeit suspendiertes Teilchen (z.B. Blütenstaub in Wasser) wird von allen Seiten von den im Vergleich sehr kleinen Wasserteilchen angestoßen, so daß es sich zufällig bewegt. Dieses Phänomen heißt Brown'sche Bewegung.

$$\langle x^2 \rangle = k_B T t / (3\pi\eta a)$$

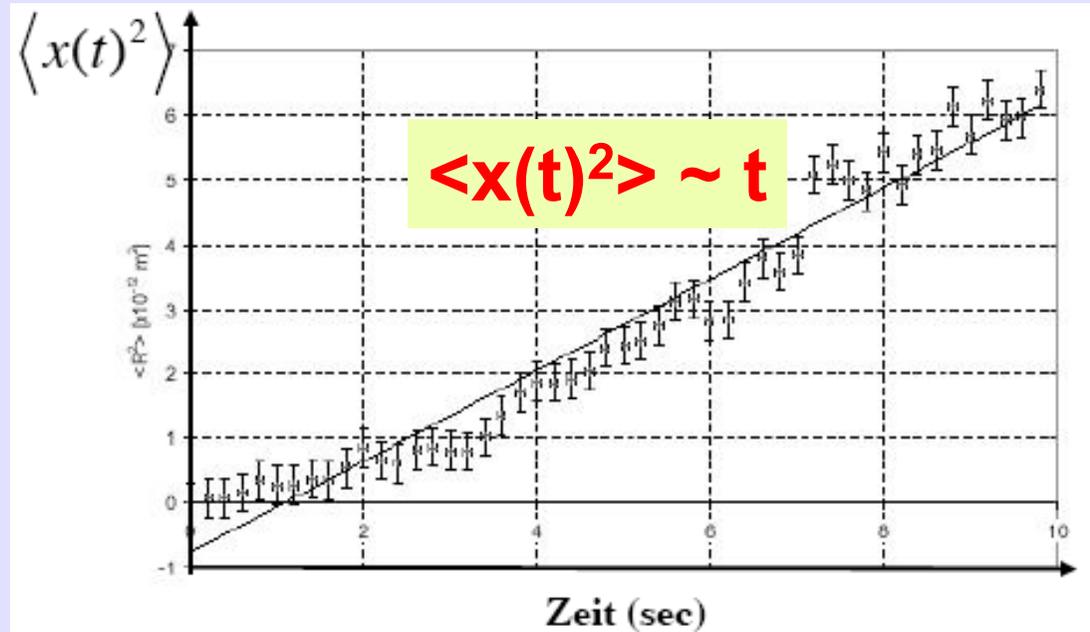
x = Weg, den das Teilchen zurücklegt,
 $\langle x^2 \rangle$ = Quadrat der mittleren Weglänge,
 k_B = Boltzmann-Konstante, T = Temperatur,
 t = Zeit, η = Viskosität der Flüssigkeit,
 a = Radius des Teilchens in Suspension.

A. Einstein erklärte 1905 diese Bewegung durch Zusammenstöße mit Atomen, die zu beobachtbaren (und im Mittel berechenbaren) Bewegungen makroskopisch sichtbarer Teilchen führen.

[M. Fowler's applet](#)



Experimentelle Bestätigung der Atomtheorie



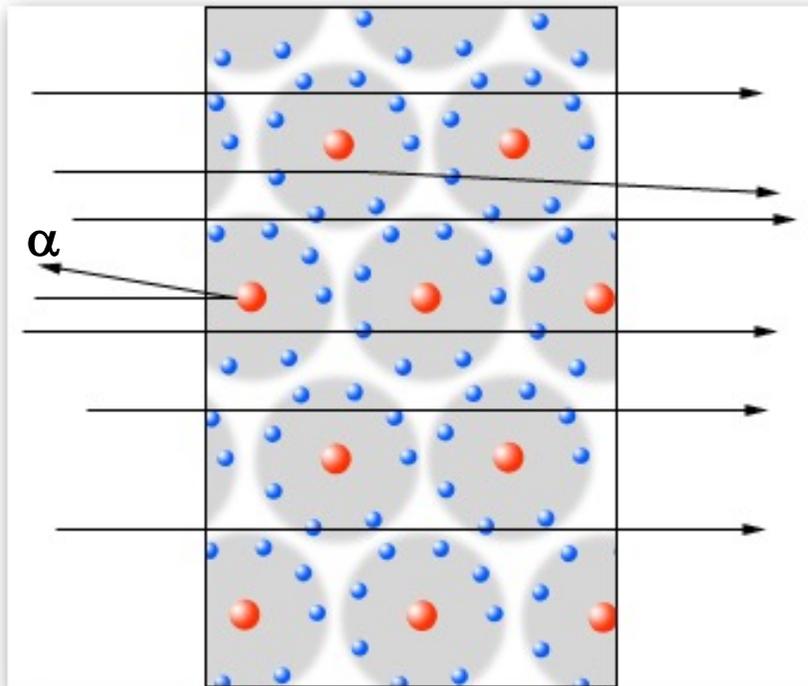
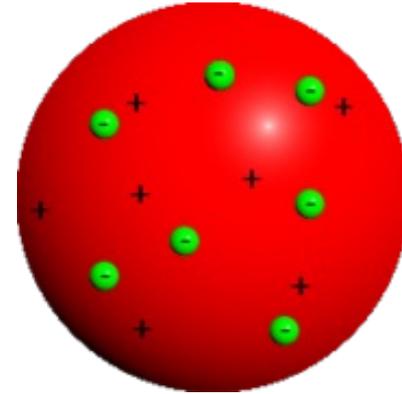
Das Quadrat der Weglänge steigt geradlinig mit der Zeit an.

Jean-Baptiste Perrin (Zitat 1911): *Die Atomtheorie hat triumphiert ... Aber ... die Atome sind nicht jene ewigen und unteilbaren Elemente ... wir beginnen, ein unendliches Gewimmel neuer Welten zu ahnen.*

... Leider zu spät für Boltzmann: Selbstmord 1906

Thompsons und Rutherfords Atommodelle

J. J. Thompson untersucht 1897 die Kathodenstrahlen und entdeckt die **Elektronen** (1. Elementarteilchen!). Er stellt das “Rosinenkuchenmodell” auf:



Rutherford'scher Streuversuch (1911)

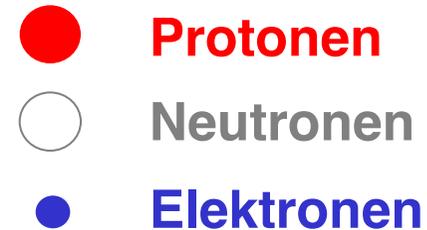
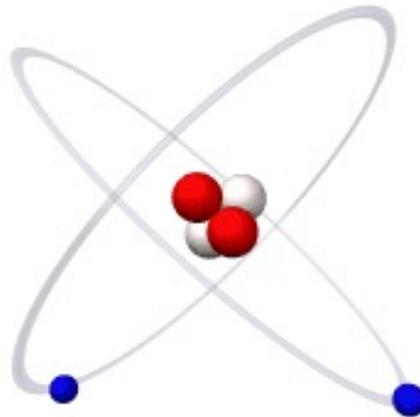
Alphastrahlen gehen meist ungehindert durch Goldfolie. Manchmal werden sie jedoch stark abgelenkt.

- Das Atom (ca. 10^{-10} m) ist praktisch “leer”
- Der “Atomkern” ist auf kleinem Raum (10^{-14} bis 10^{-15} m) konzentriert und enthält fast die ganze Masse.

Das moderne Atommodell

Niels Bohr, Arnold Sommerfeld, Ernst Schrödinger, u.v.a.

Heliumatom



Dimitri Mendeleev (1869):

Klassifizierung der bekannten Elemente nach Atommasse (Massenverhältnisse aus chemischen Reaktionen bestimmt).
Er sagte Elemente voraus: Gallium, Germanium, Scandium.

Moderne Version: Periodensystem der Elemente

Klassifizierung nach Ordnungszahl (Anzahl der Protonen im Atomkern).

PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE

<http://www.kkf-split.hr/periodnt/de/>

GRUPPE	PERIODENSYSTEM DER ELEMENTE																18			
PERIODEN	1	2		3-10										11-17		18				
	IA	IIA	IIIA	IVA	VA	VIA	VIIA	VIIIA	IX	X	XI	XII	XIIIA	XIVA	XVA	XVIIA	VIIIA			
1	1 1.0079 H WASSERSTOFF															2 4.0026 He HELIUM				
2	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BERYLLIUM													5 10.811 B BOR	6 12.011 C KOHLENSTOFF	7 14.007 N STICKSTOFF	8 15.999 O SAUERSTOFF	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne NEON
3	11 22.990 Na NATRIUM	12 24.305 Mg MAGNESIUM													13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILIZIUM	15 30.974 P PHOSPHOR	16 32.065 S SCHWEFEL	17 35.453 Cl CHLOR	18 39.948 Ar ARGON
4	19 39.098 K KAUUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITAN	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROM	25 54.938 Mn MANGAN	26 55.845 Fe EISEN	27 58.933 Co KOBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu KUPFER	30 65.39 Zn ZINK	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSEN	34 78.96 Se SELEN	35 79.904 Br BROM	36 83.80 Kr KRYPTON		
5	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTTRIUM	40 91.224 Zr ZIRKONIUM	41 92.906 Nb NOB	42 95.94 Mo MOLYBDÄN	43 (98) Tc TECHNETIUM	44 101.07 Ru RUTHENIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag SILBER	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn ZINN	51 121.76 Sb ANTIMON	52 127.60 Te TELLUR	53 126.90 I IOD	54 131.29 Xe XENON		
6	55 132.91 Cs CÄSIUM	56 137.33 Ba BARIUM	57-71 La-Lu Lanthaniden	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTAL	74 183.84 W WOLFRAM	75 186.21 Re RHENIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATIN	79 196.97 Au GOLD	80 200.59 Hg QUECKSILBER	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb BLEI	83 208.98 Bi BISMUT	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTAT	86 (222) Rn RADON		
7	87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actiniden	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (268) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNILIUM	111 (272) Uuu UNUNUNIUM	112 (285) Uub UNUNBIUM	114 (289) Uuq UNUNQUADIUM							

RELATIVE ATOMMASSE (1)

GRUPPE IUPAC GRUPPE CAS

ORDNUNGSZAHL ELEMENTSYMBOL NAME DES ELEMENTES

Metalle Halbmetalle Nichtmetalle

1 Alkalimetalle 16 Chalkogene

2 Erdalkalimetalle 17 Halogene

Uebergangselemente 18 Edelgase

Lanthaniden Actiniden

ZUSTAND (100 °C; 101 kPa)

Ne - gasförmig Fe - fest

Ga - flüssig Tc - künstliche

LANTHANIDEN

57 138.91 La LANTHAN	58 140.12 Ce CER	59 140.91 Pr PRASEODYM	60 144.24 Nd NEODYM	61 (145) Pm PROMETHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.04 Yb YTTERIUM	71 174.97 Lu LUTETIUM
-----------------------------------	-------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

ACTINIDEN

89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URAN	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMERICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKELIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELEVIUM	102 (259) No NOBELIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM
-----------------------------------	-----------------------------------	--	-------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------------	------------------------------------	--------------------------------------

(1) Pure Appl. Chem., 73, No. 4, 667-683 (2001)
Die relative Atommasse wird auf fünf Stellen angegeben. Für Elemente ohne stabile Isotope ist die Atommasse des stabilsten Isotops in Klammern angegeben.
Drei dieser Elemente (Th, Pa und U) spielen eine bedeutende Rolle aufgrund ihrer Häufigkeit in der Erdkruste und ihrer Atomgewichte und werden deshalb aufgelistet.

Redakteur: Marc Hers (mhrs@gmx.de)

Teilchenzoo

In den Fünfziger- bis Siebzigerjahren wurden laufend neue Teilchen entdeckt, was zum Begriff des sogenannten **Teilchenzoos** führte.

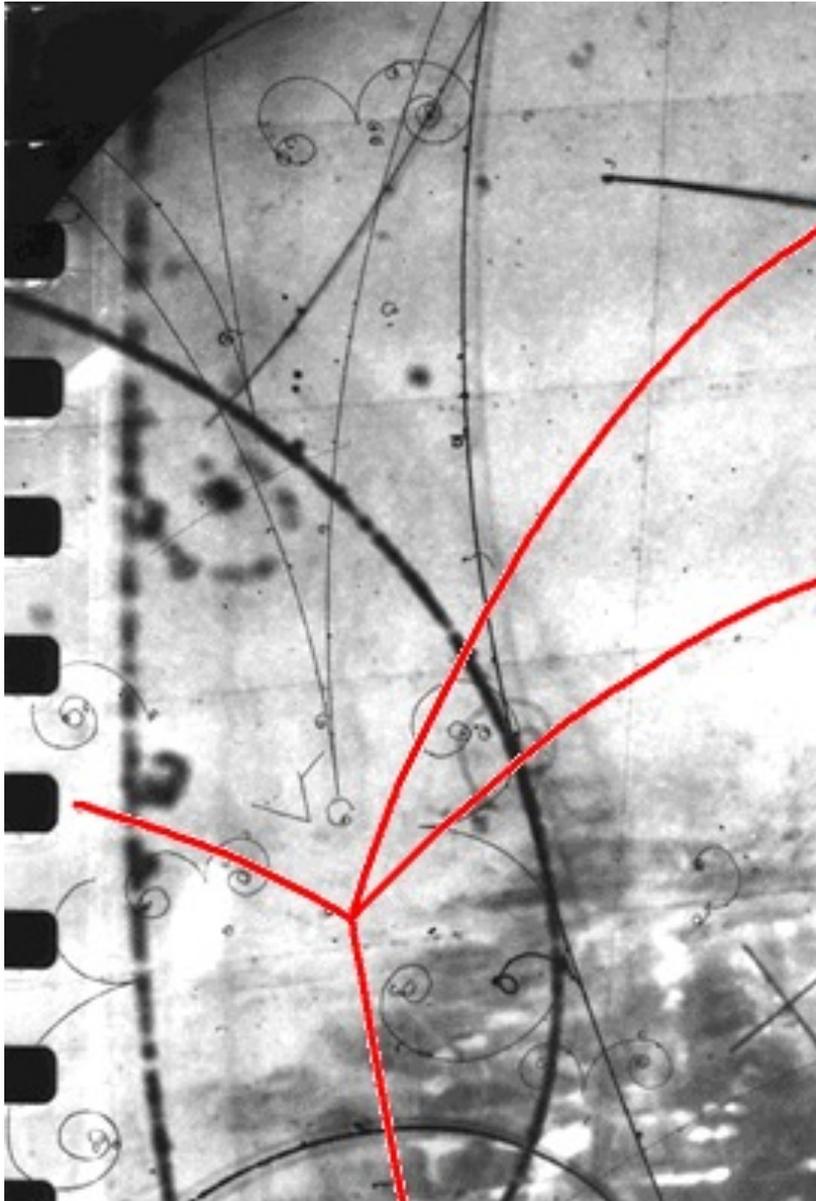
Willis Lamb in seiner Nobelpreisrede 1955:

Als 1901 zum ersten Mal die Nobelpreise verliehen wurden, wußten die Physiker nur von zwei Objekten, die jetzt “Elementarteilchen” genannt werden: dem Elektron und dem Proton. Eine Flut von anderen “elementaren Teilchen” kam nach 1930 zutage - Neutron, Neutrino, μ -Meson, π -Meson, schwerere Mesonen und verschiedene Hyperonen. Ich hörte, wie jemand sagte, daß ein Entdecker eines neuen Elementarteilchens normalerweise mit einem Nobelpreis belohnt wurde, nun aber mit einer Geldstrafe von 10000 \$ belegt werden sollte.

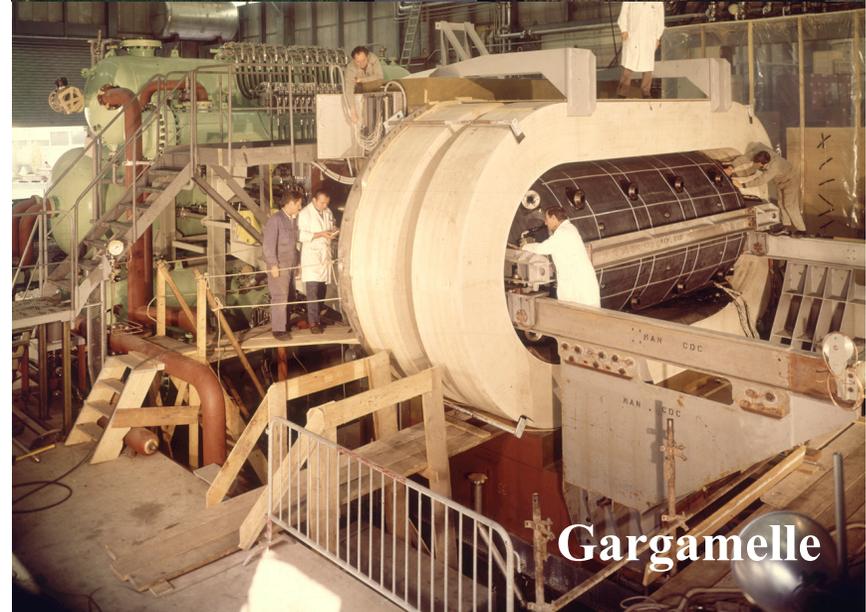
Ähnliches antwortete Enrico Fermi zu einem Studenten anlässlich eines Vortrags:

Junger Mann, wenn ich mir die Namen aller dieser Teilchen merken könnte, wäre ich Botaniker geworden.

Detektoren - Blasenkammern



Big European Bubble Chamber



Gargamelle

Der achtfache Weg zur Weisheit

*Murray Gell-Mann, Yuval Ne'eman (1961):
“Eightfold Way” - Versuch zur Klassifizierung der Teilchen*

Neutron n (udd)

Proton p (uud)

Baryonenoktett

Σ^- (dds)

Σ^0 (uds)

Σ^+ (uus)

Λ (uds)

Ξ^- (dss)

Ξ^0 (uss)

Das Quarkmodell

1964: Murray Gell-Mann, George Zweig



Elementare Bausteine der Materie:

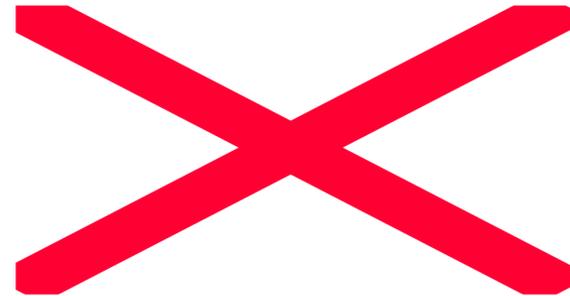
**Quarks in 3 “Flavors”:
up, down, strange**

**Der Name Quark kommt aus Finnegans Wake (James Joyce):
*Three quarks for Muster Mark!***



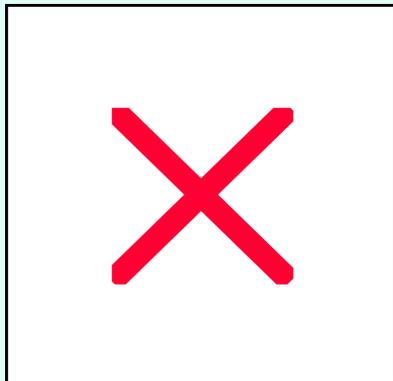
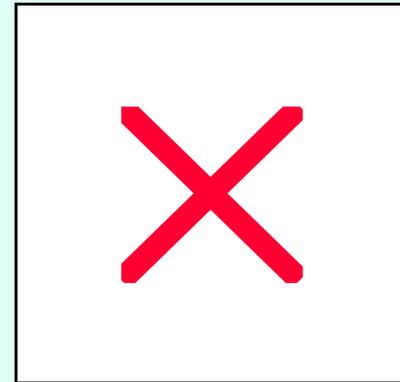
Das Quarkmodell

Q: elektrische Ladung



Mesonen, Baryonen

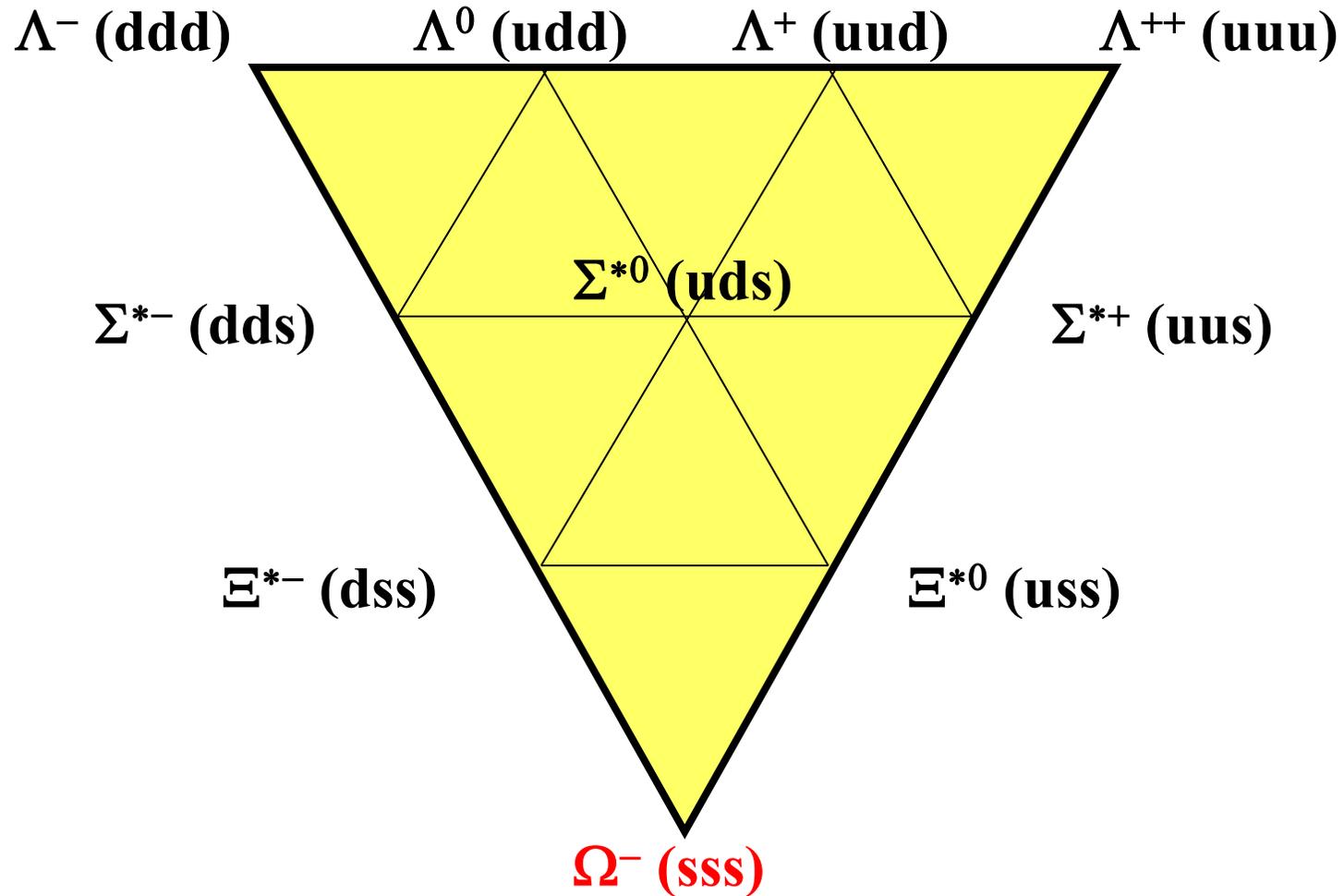
Jedes Meson besteht aus 1 Quark und 1 Antiquark.



Jedes Baryon besteht aus 3 Quarks.



Der Weg nach Stockholm

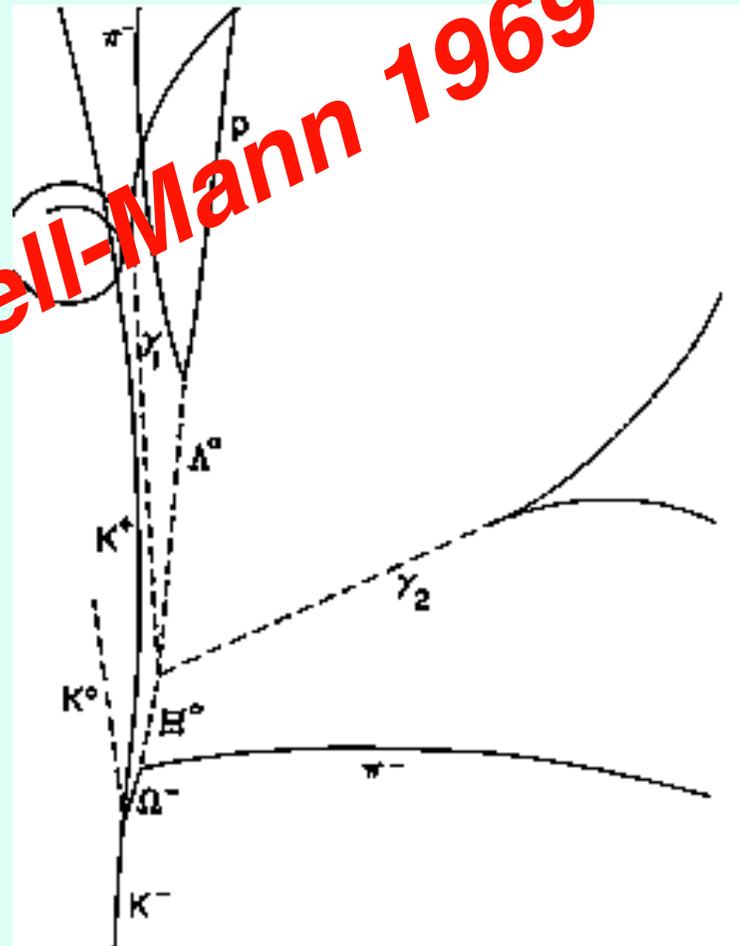


Baryonendekuplett

Das Omega-Minus

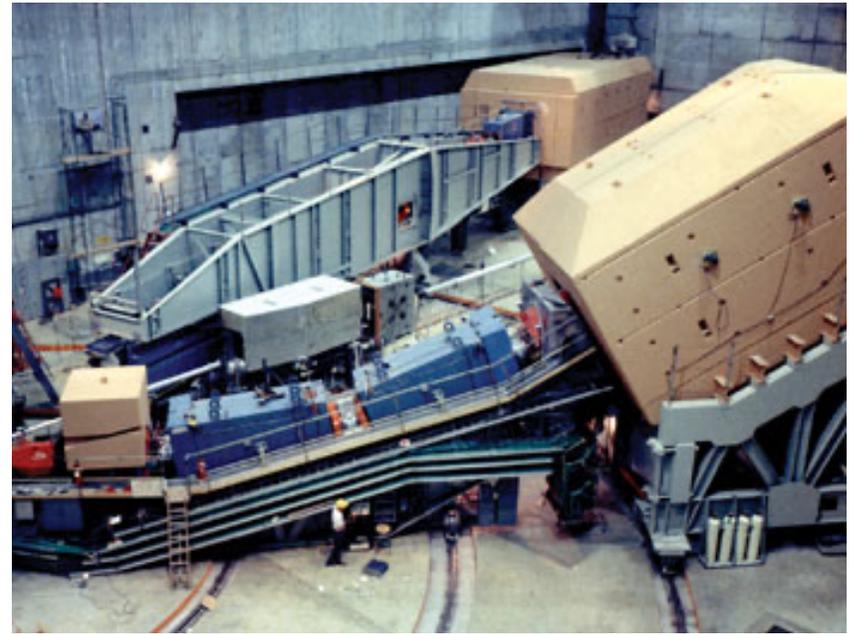
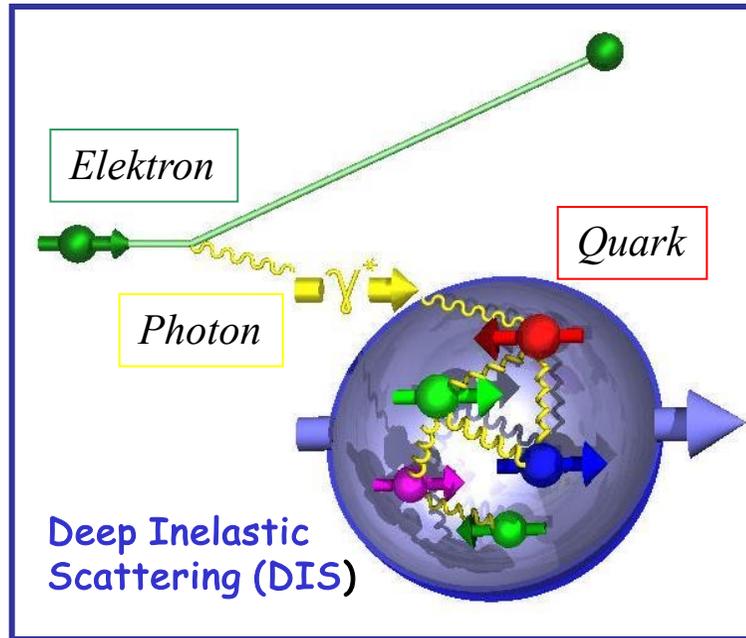


Nobelpreis für Gell-Mann 1969



Brookhaven, 1964

Das SLAC-MIT-Streuexperiment (1969)



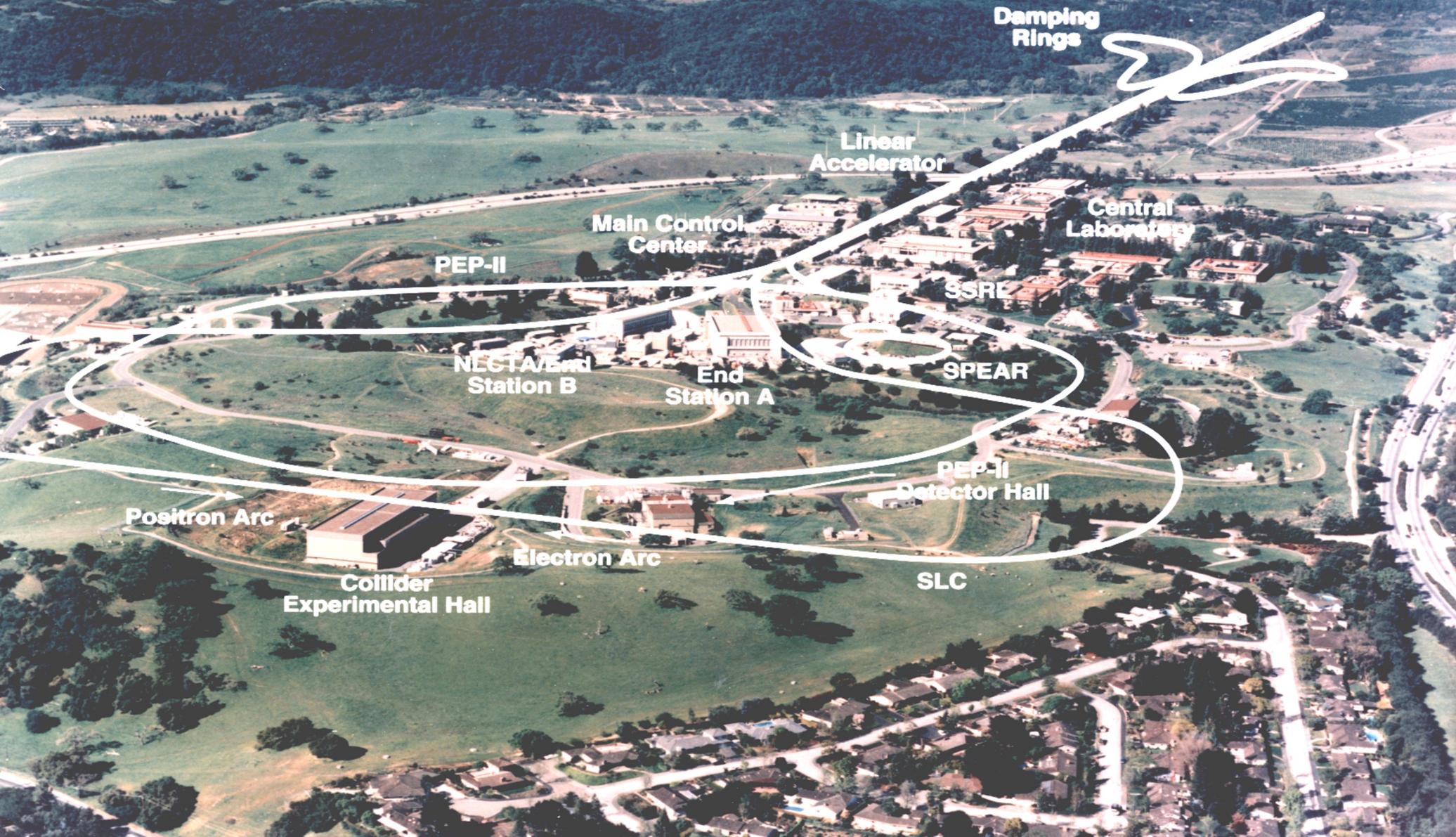
Mehr Elektronen als erwartet, wenn Protonen Kugeln mit gleichverteilter Masse wären, wurden mit großen Winkeln und bei höheren Energien gestreut.
(1. Präsentation: W. Panofsky, Wien ICHEP 1968)

Das Proton enthält punktförmige Teilchen, die mit Quarks zu identifizieren sind!



R. Taylor, J. Friedman, H. Kendall (1990)

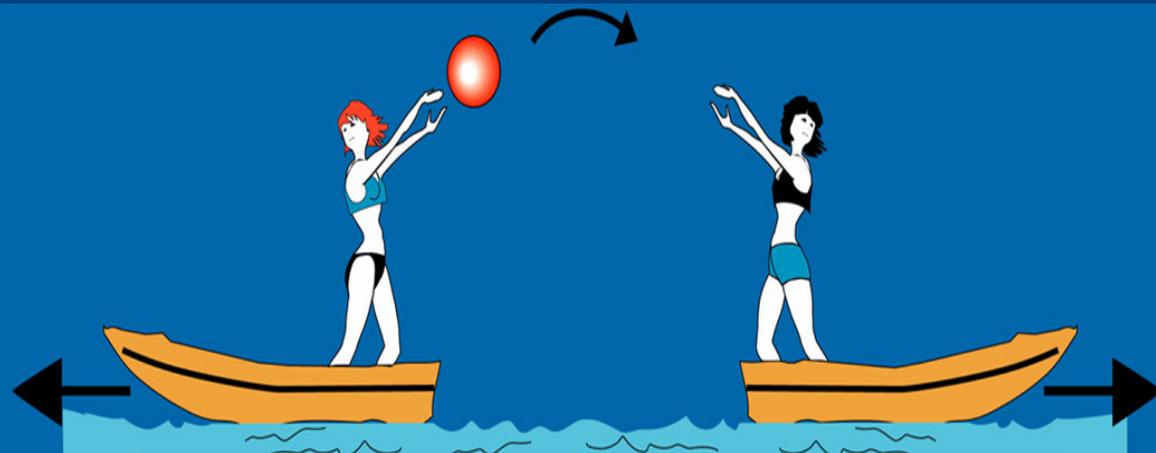
Stanford Linear Accelerator Center (SLAC)



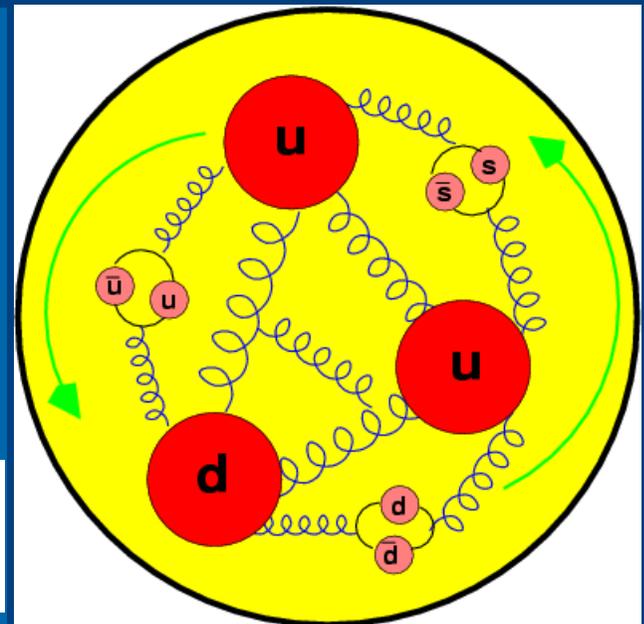
Was hält das Proton (und die Atomkerne) zusammen?



In DIS-Experimenten wurde auch gefunden, daß die Impulse der Quarks im Proton nicht den gesamten Protonimpuls ausmachen. Es müssen daher noch andere Teilchen vorhanden sein: die **Gluonen** (glue = Klebstoff) wurden postuliert!

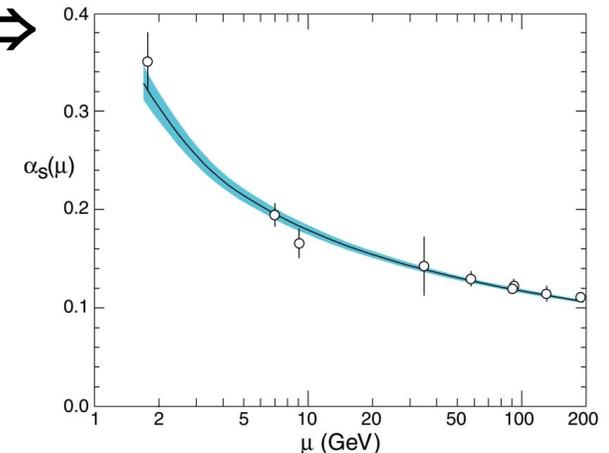
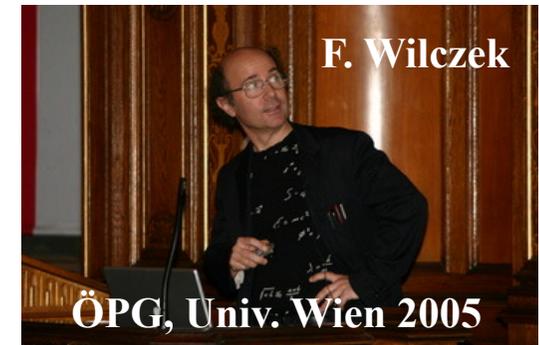
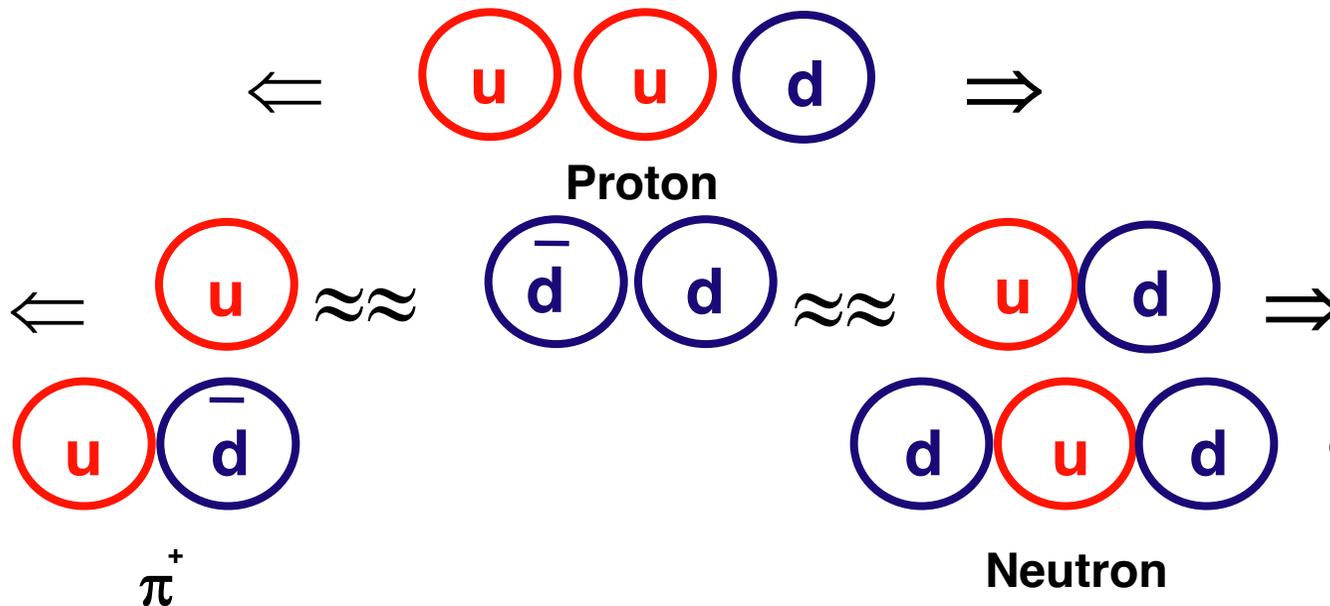


TEILCHENAUSTAUSCH IST FÜR KRAFT VERANTWORTLICH!
(Bemerkung: Kraft kann auch anziehend sein!)



Asymptotische Freiheit

Trotz langer Suche wurden freie Quarks oder Gluonen nie gefunden! Der Grund liegt in der “asymptotischen Freiheit” (Confinement) -> Nobelpreis 2004: Gross, Politzer, Wilczek.



WANTED: Quarks und Gluonen

Der Nachweis von Gluonjets gelang 1979 am Beschleuniger PETRA des DESY in Hamburg.

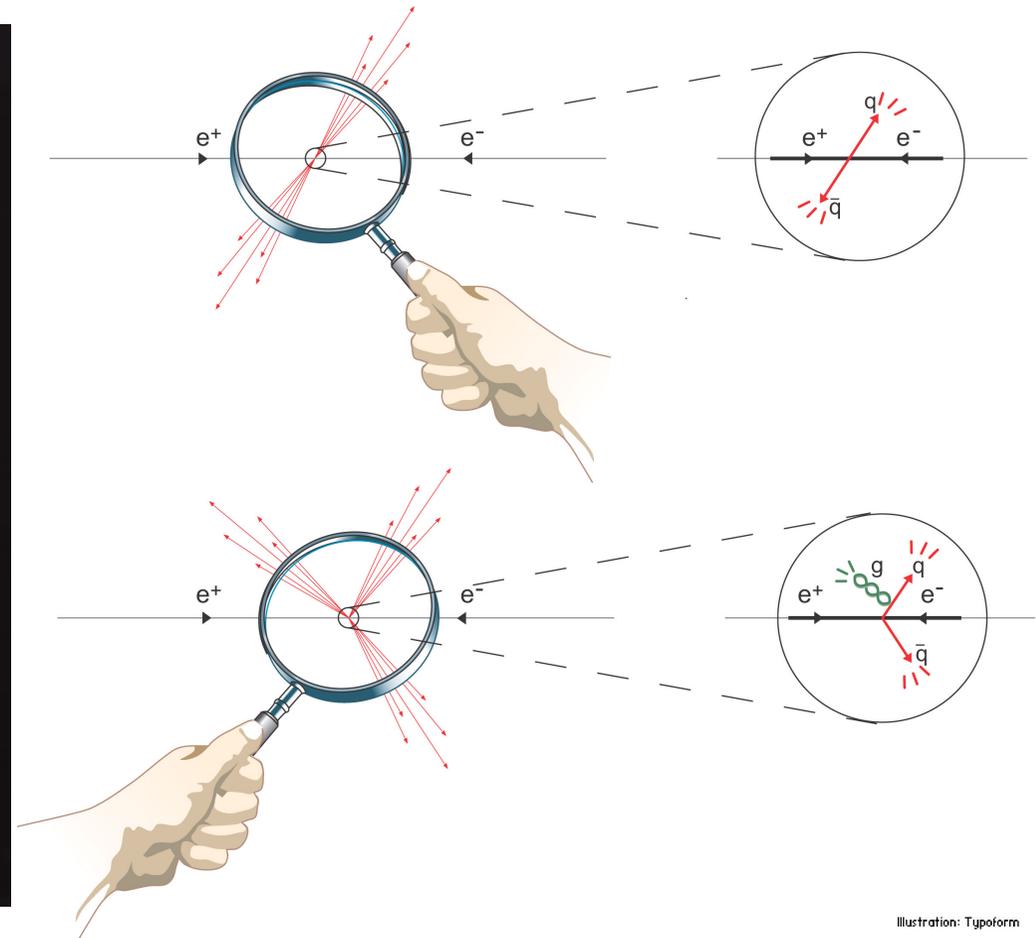
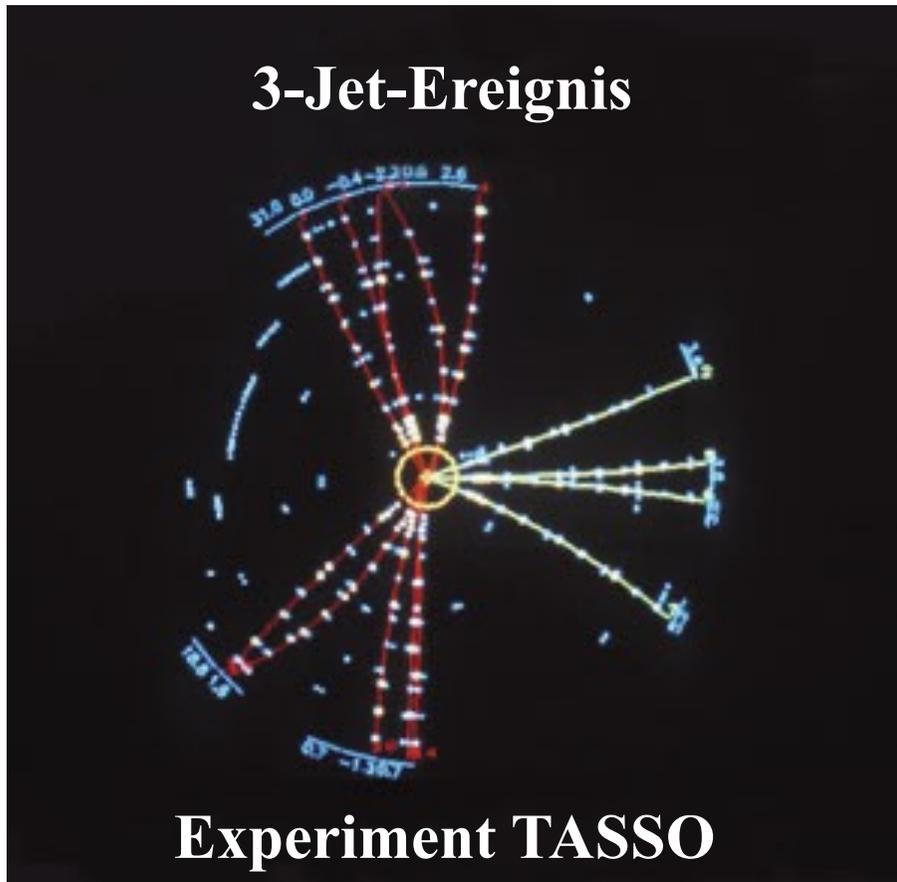


Illustration: Typoform

Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY)



HERA

PETRA

N

S

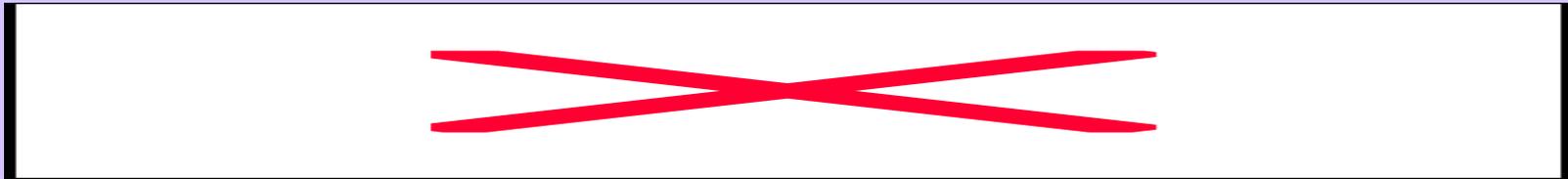
W

E

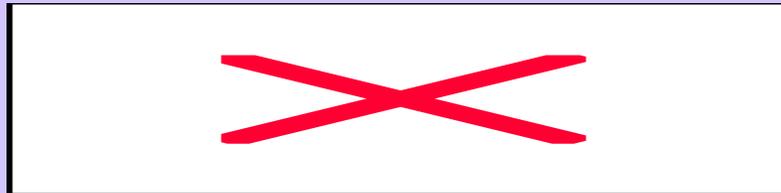
Die fundamentalen Kräfte

KRAFT	REICHWEITE	VERMITTLER
Stark	10^{-15} m	 Gluonen
Schwach	10^{-18} m	W, Z 
Elektromagnetisch		Photon 
Gravitationell		Graviton 

Ziel: Vereinigung aller fundamentalen Kräfte bei hohen Energien (analog Elektrizität - Magnetismus)



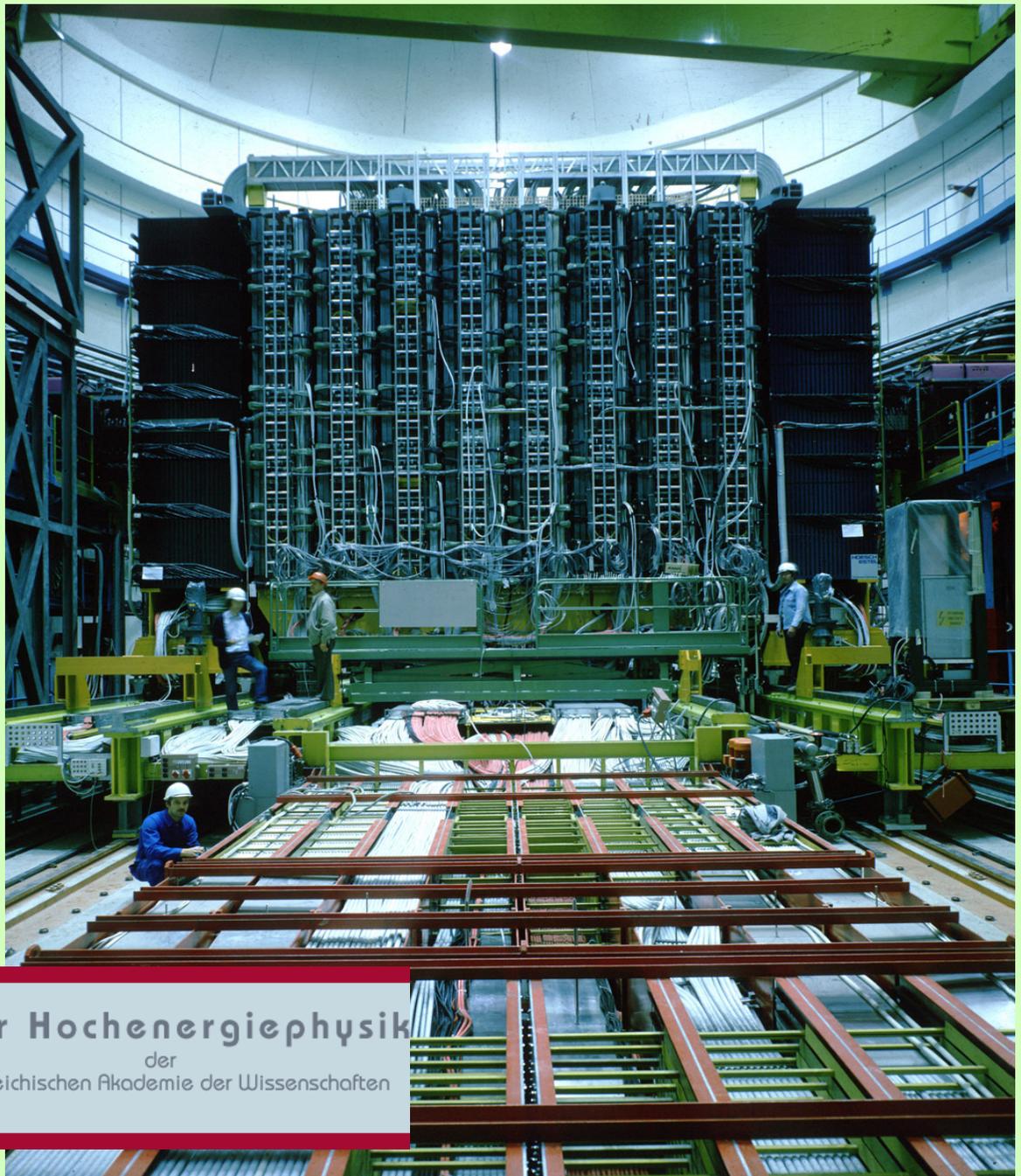
Sie tritt z.B. beim radioaktiven β -Zerfall (z.B. ${}^3_1\text{H} \rightarrow {}^3_2\text{He}$) auf:



Teilchen ohne starke Wechselwirkung heißen **LEPTONEN** (z.B. Elektron, Myon, Neutrino).

Die schwache Wechselwirkung wird durch die **INTERMEDIÄREN VEKTORBOSONEN** (W^\pm , Z) vermittelt. Diese sind fast 100 mal so schwer wie das Proton und wurden 1983/1984 an den Experimenten UA1 und UA2 des Superprotonsynchrotrons am CERN entdeckt. Carlo Rubbia und Simon van der Meer bekamen für ihre entscheidenden Beiträge den Nobelpreis.

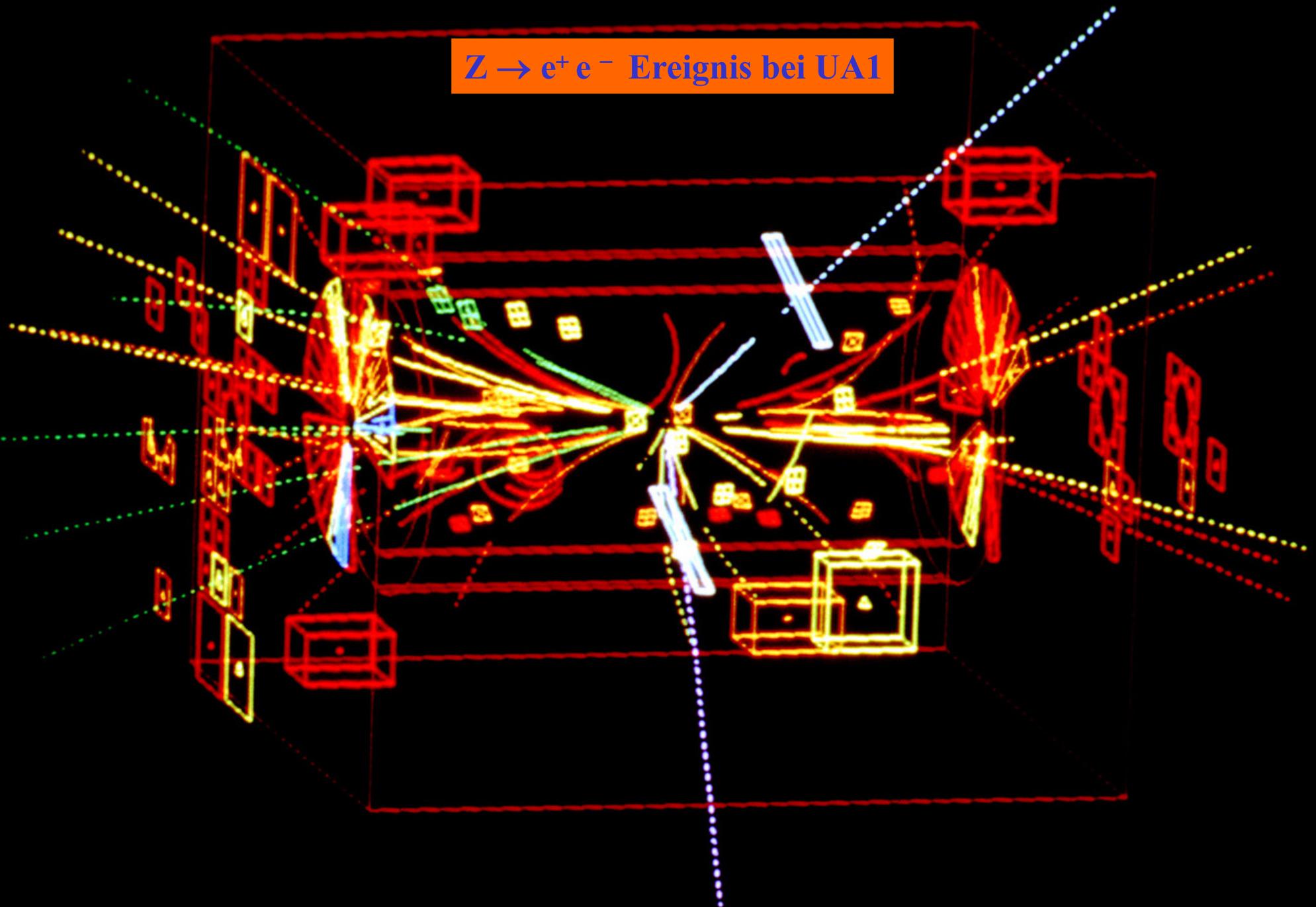
UA1-Experiment



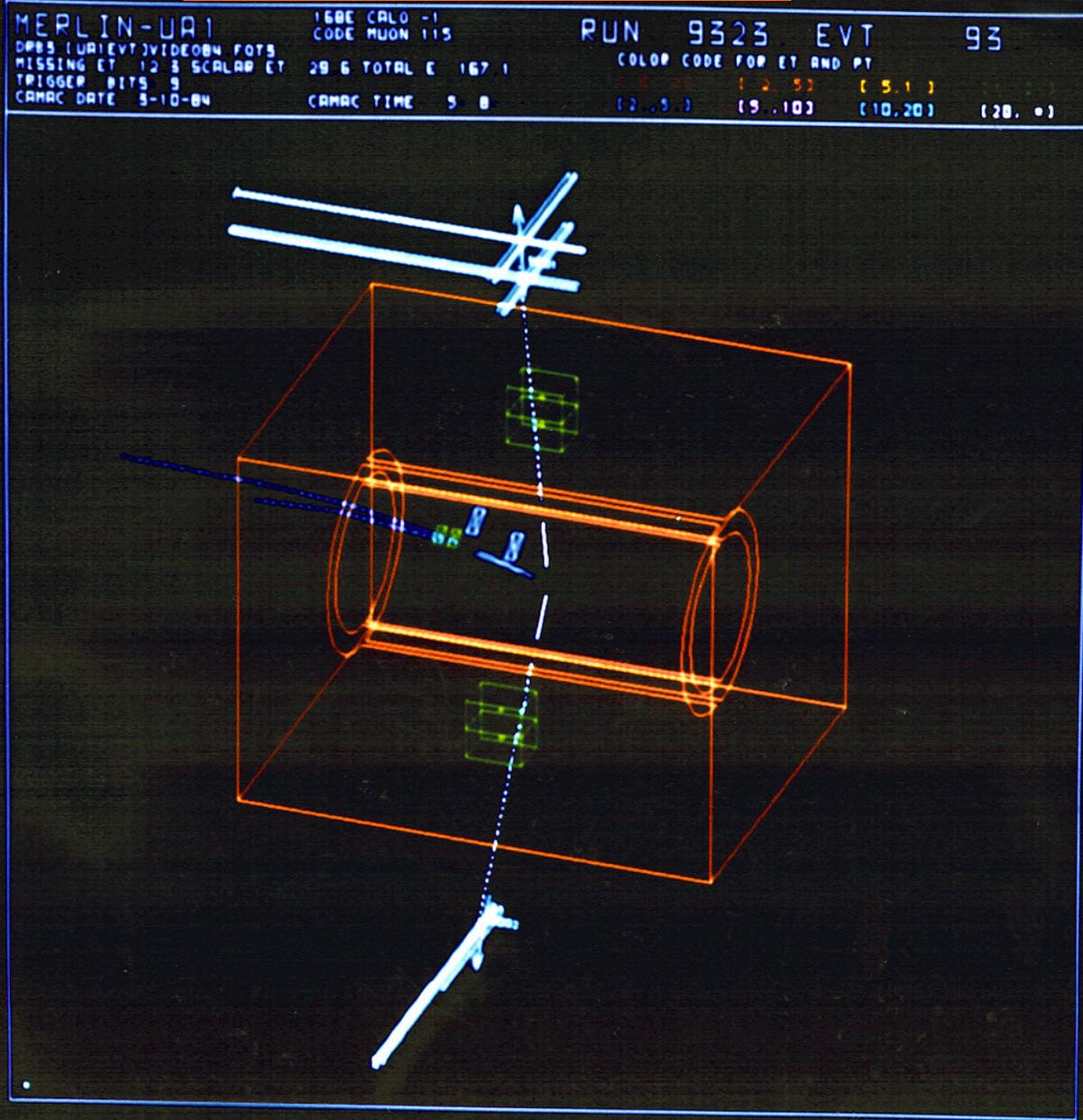
Mitwirkung:

hephy Institut für Hochenergiephysik
der hephy Österreichischen Akademie der Wissenschaften

$Z \rightarrow e^+ e^-$ Ereignis bei UA1



$Z \rightarrow \mu^+ \mu^-$ Ereignis bei UA1

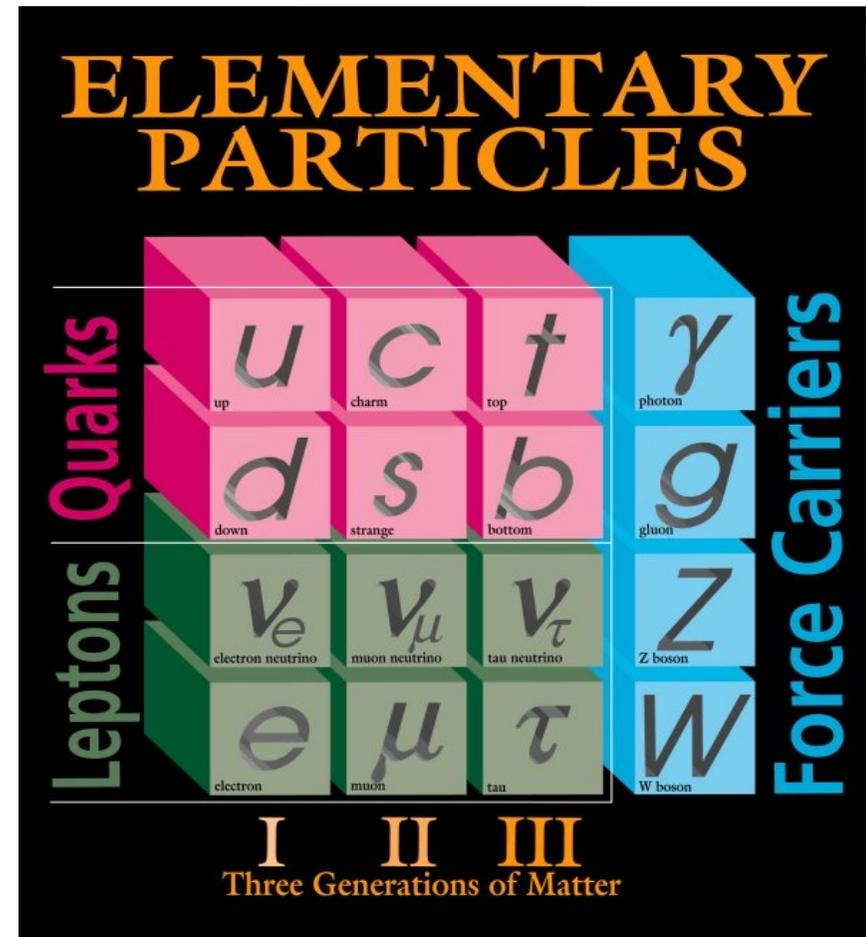


X591-2-85

+

Teilchenphysik am Ende des 20. Jhdts.

Das **Standardmodell** der Teilchenphysik enthält die Materieteilchen Quarks [up, down, charm, strange, top, bottom (beauty)] und Leptonen (Elektron, Myon, Tau und ihre Neutrinos), die Vermittlerteilchen der elektroschwachen (Photon, W- und Z-Bosonen) und der starken Wechselwirkung (Gluonen). Alle diese Teilchen sind gefunden, und ihre vorhergesagten Eigenschaften wurden bisher eindrucksvoll, teilweise mit höchster Präzision, experimentell bestätigt. Jedoch fehlt noch die Entdeckung des **Higgsteilchens**, das mit dem Feld assoziiert ist, das allen anderen (außer den Neutrinos) Masse gibt. Ebenso ist die Gravitation nicht inkludiert. Das Standardmodell muß also erweitert werden, insbesondere auch für höhere Energien als sie bisher zugänglich waren!



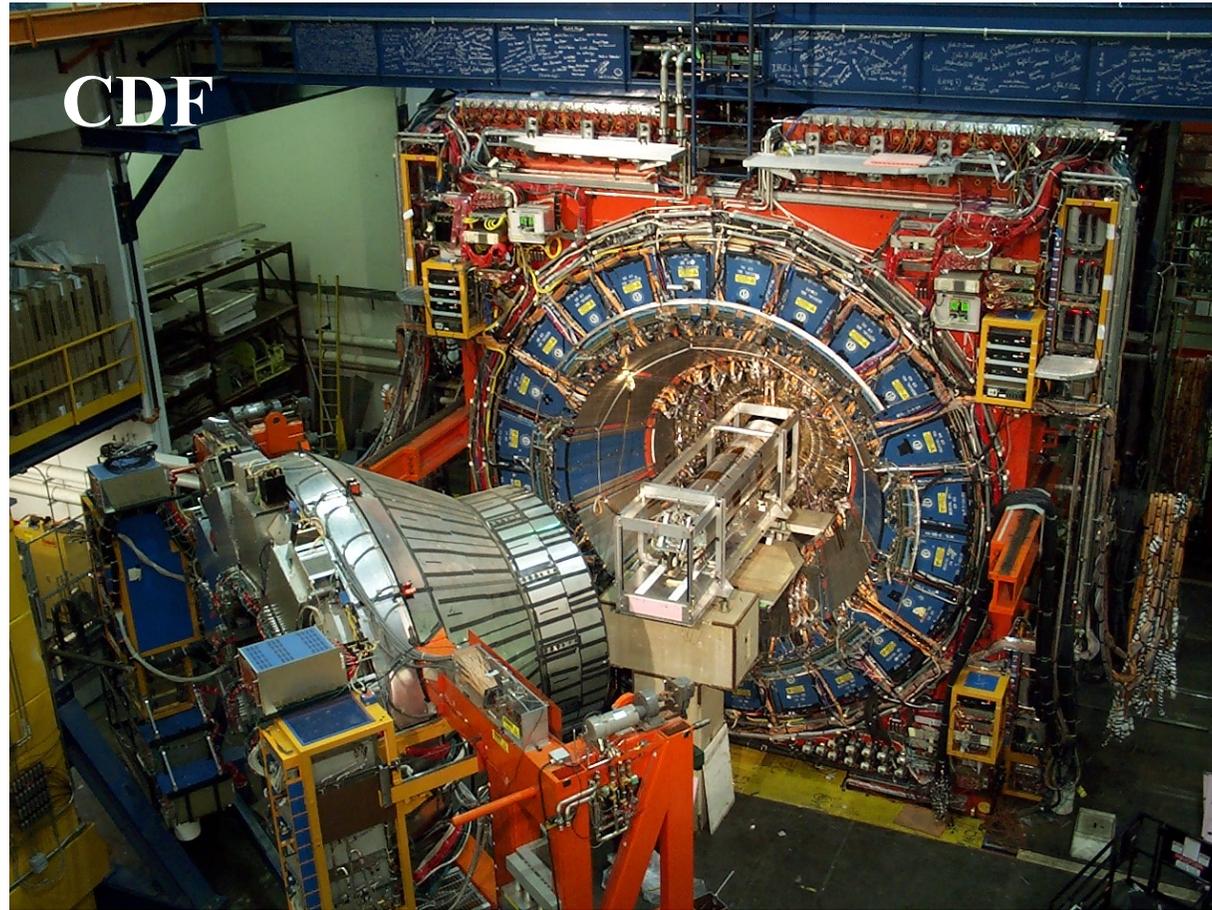
Fermilab 95-759

“Periodensystem”

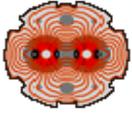
Der Higgsmechanismus



Detektoren zur Suche nach dem Higgsteilchen



Zur Zeit können nur die Beschleunigerexperimente CDF und D0 am **Tevatron** des Fermilab (USA) nach dem Higgsteilchen suchen. Jedoch ist der erforschbare Massenbereich sehr eng. Die beste Hoffnung auf Entdeckung hat der **Large Hadron Collider** in Genf.

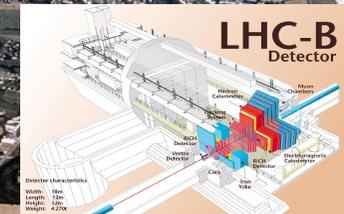
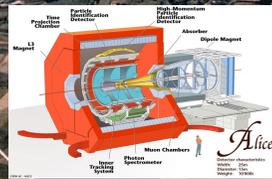


Large Hadron Collider

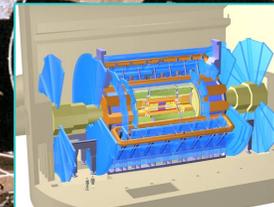
Start: 2007



ALICE



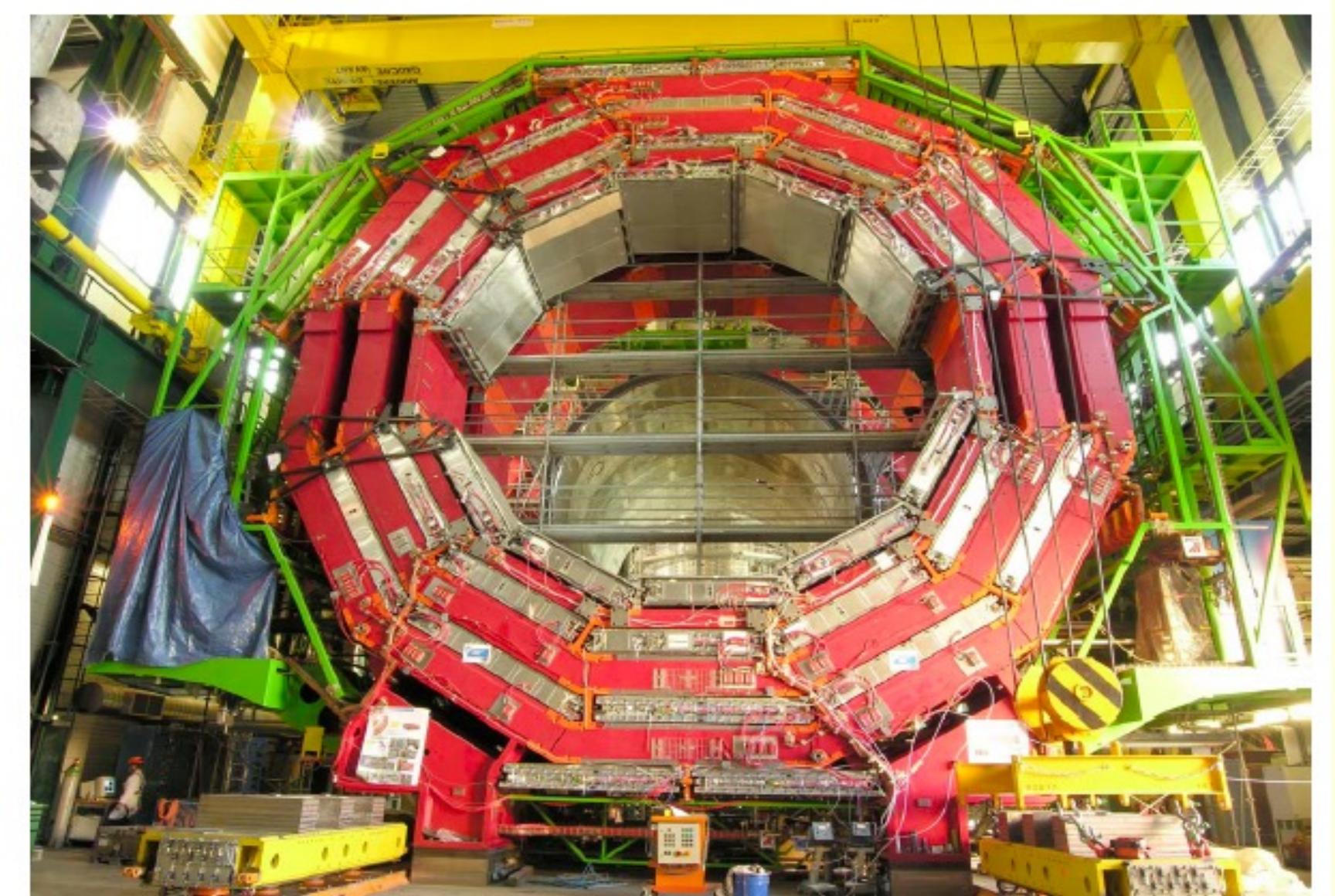
SPS



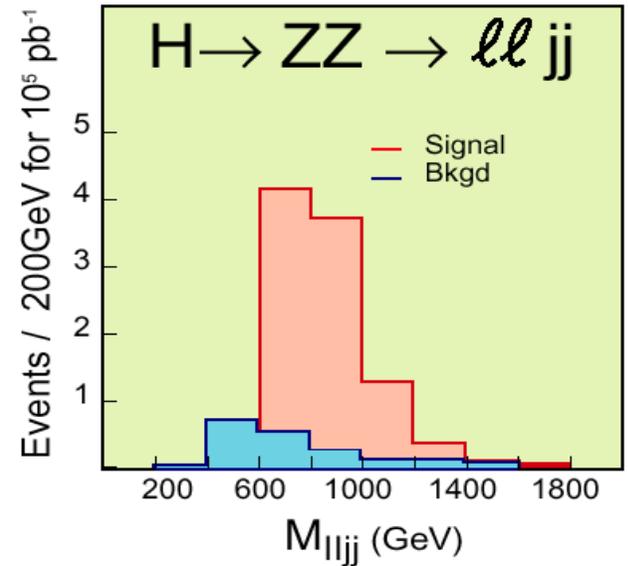
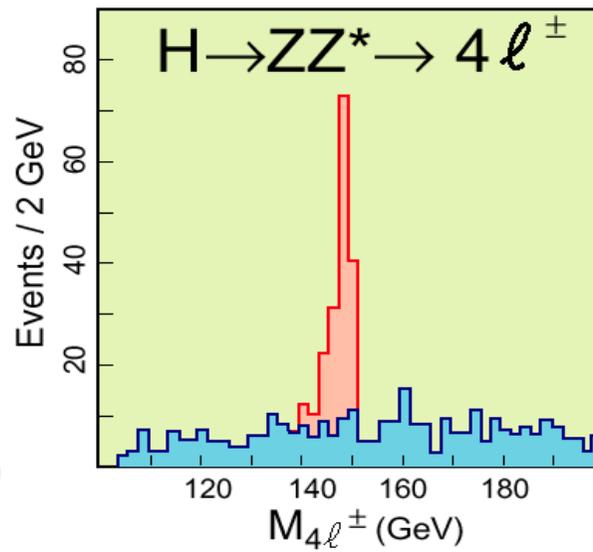
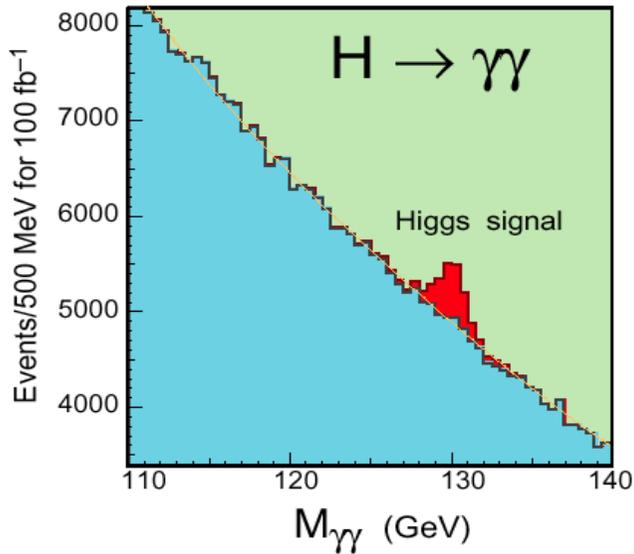
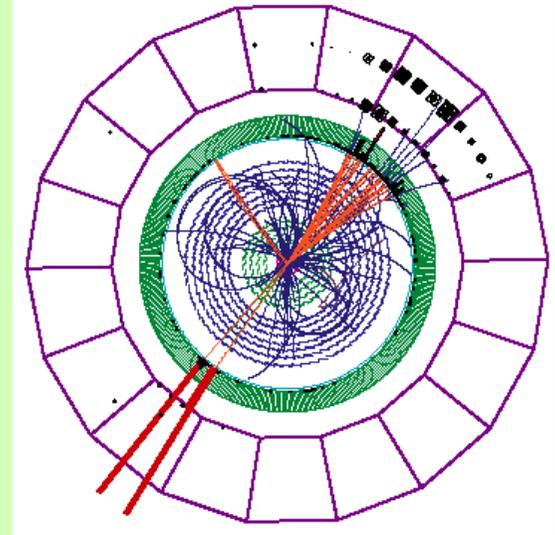
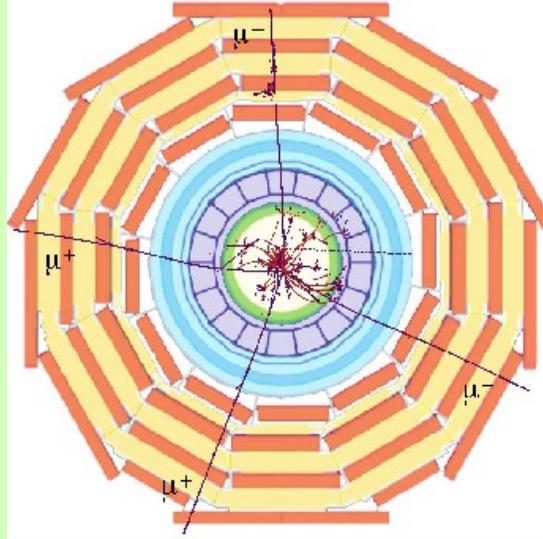
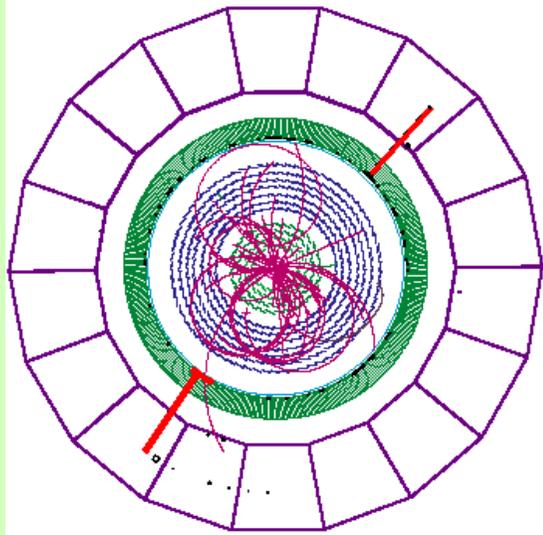
LHC



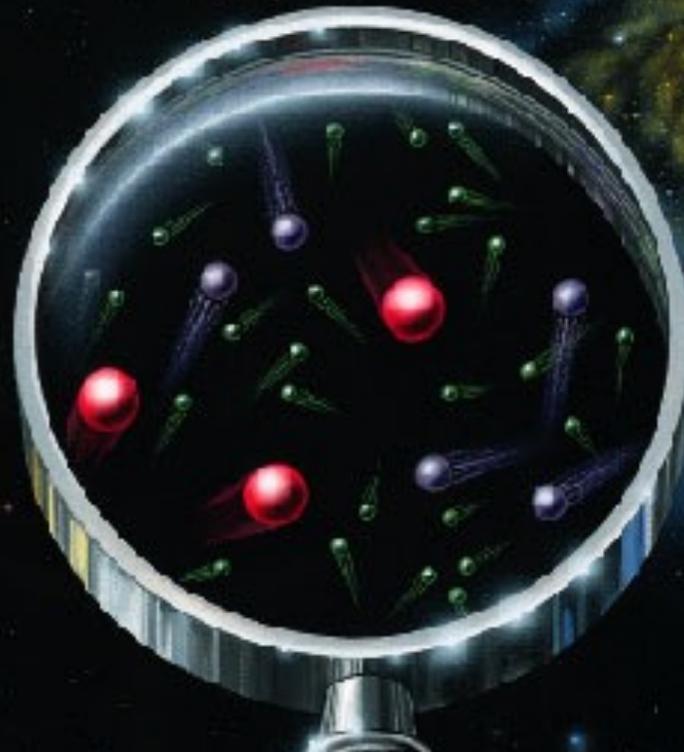
ATLAS



Higgs bei CMS



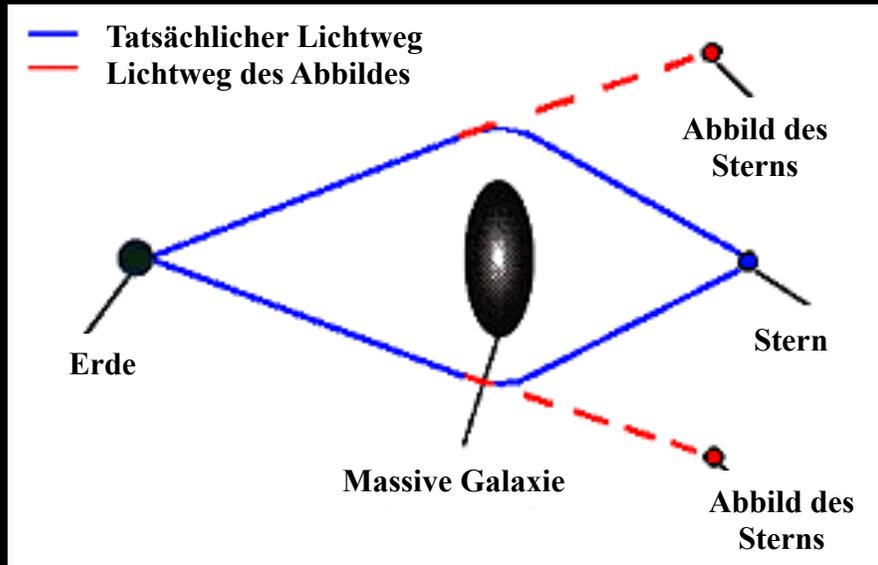
Quarks, Leptonen, Vermittlerteilchen, Higgs ... reichen für die Erklärung des Kosmos aber nicht aus ...!



Dunkle Materie

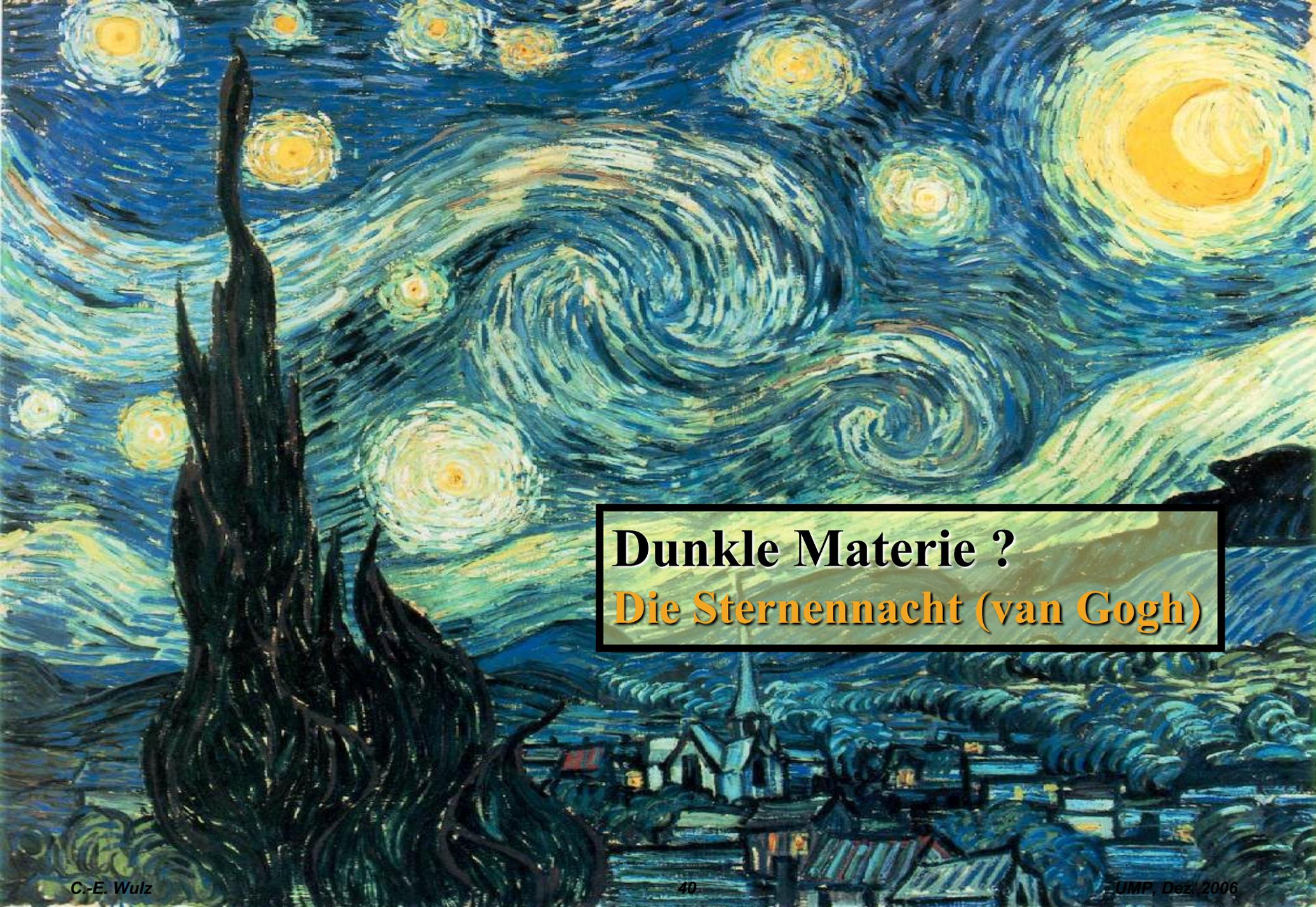
- Ein Vergleich der **Rotationsgeschwindigkeiten** von Sternen nahe dem Zentrum von Spiralgalaxien und weiter außen liegenden Sternen ergibt, daß die Geschwindigkeiten weiter außen nicht so abfallen, wie dies aus den Gesetzen der Mechanik folgen müßte.
- Auch müßten aufgrund der hohen **Temperatur** viele Sterne auseinanderfallen, wenn nicht zusätzlich zur sichtbaren Masse noch Masse aus dunkler Materie vorhanden wäre.
- Weitere Evidenz für Dunkle Materie kommt von **Gravitationslinseneffekten**.

Gravitationslinsen



Hubble Space Telescope



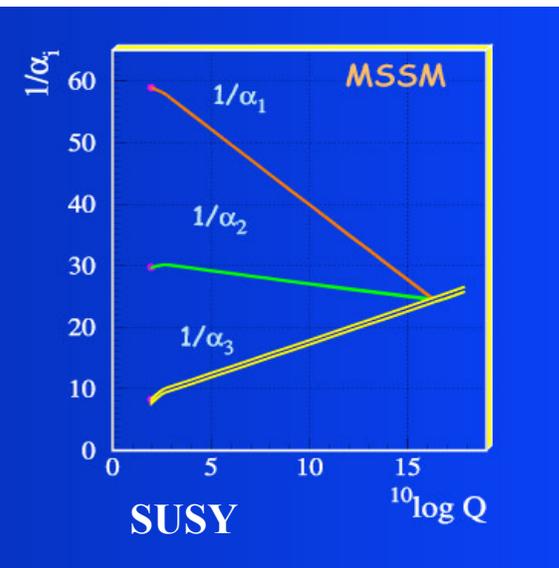
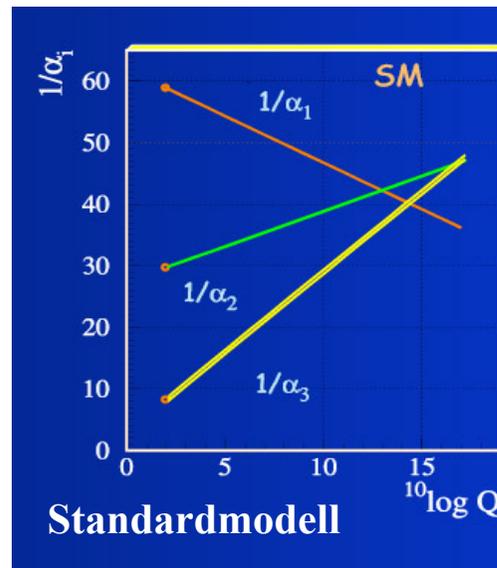
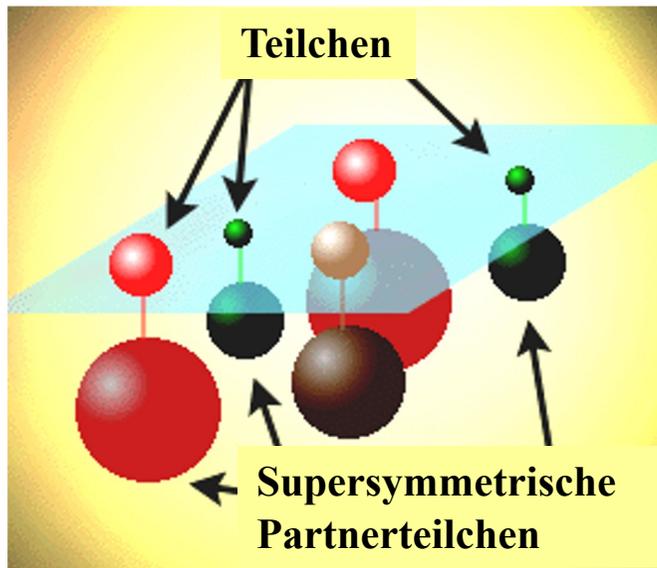


Dunkle Materie ?
Die Sternennacht (van Gogh)



Supersymmetrie

Zu jedem Standardmodell-Teilchen gibt es einen supersymmetrischen Partner.



SUSY hat zwei bestechende Eigenschaften:

- Es gibt einen natürlichen Kandidaten für dunkle Materie, das leichteste Neutralino (χ_1^0).
- Die Wechselwirkungen können bei hohen Energien vereint werden, d.h. die Stärken (α) werden gleich.

Suche nach dunkler Materie

Man braucht Astrophysik und Teilchenphysik!

Direkte Suche:

Streuung von χ (WIMP) an Kernen (Natriumiodid, Germanium, ...):

Experimente Edelweiss, CDMS, DAMA, AMANDA, ...

Neutrinos (ν) sind nach heutigem Wissen nicht Bestandteil der dunklen Materie, obwohl sie Masse haben, wie vor kurzem entdeckt.

Kandidaten für einen Teil der dunklen Materie können auch astronomische Objekte sein:

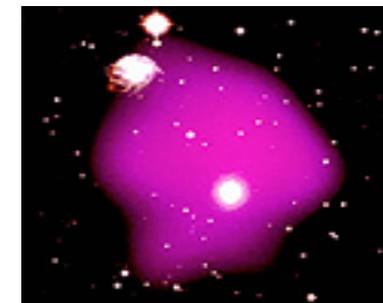
Braune (MACHOs*) und weiße Zwerge**

* Massive Compact Halo Objects

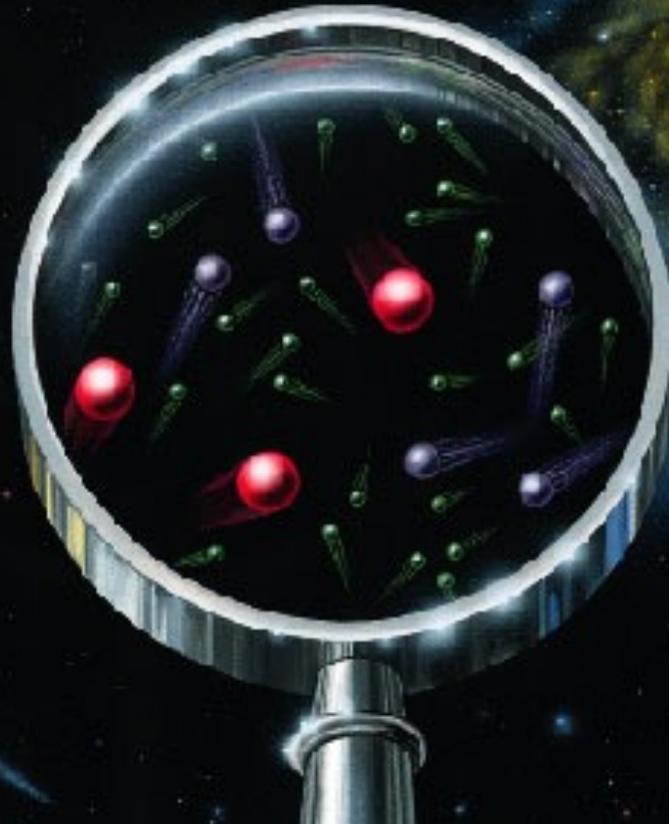
** sehr dichter Stern, nuklearer Brennstoff verbraucht

Neutronensterne und schwarze Löcher

Gaswolken

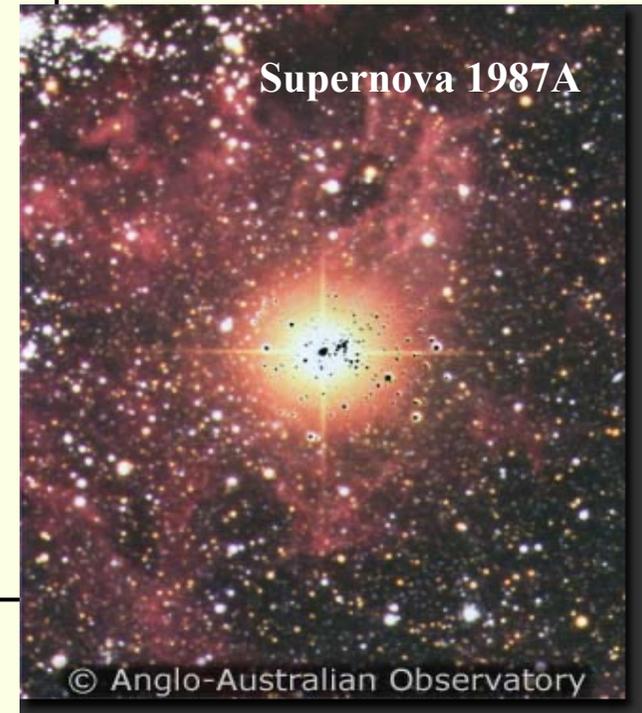
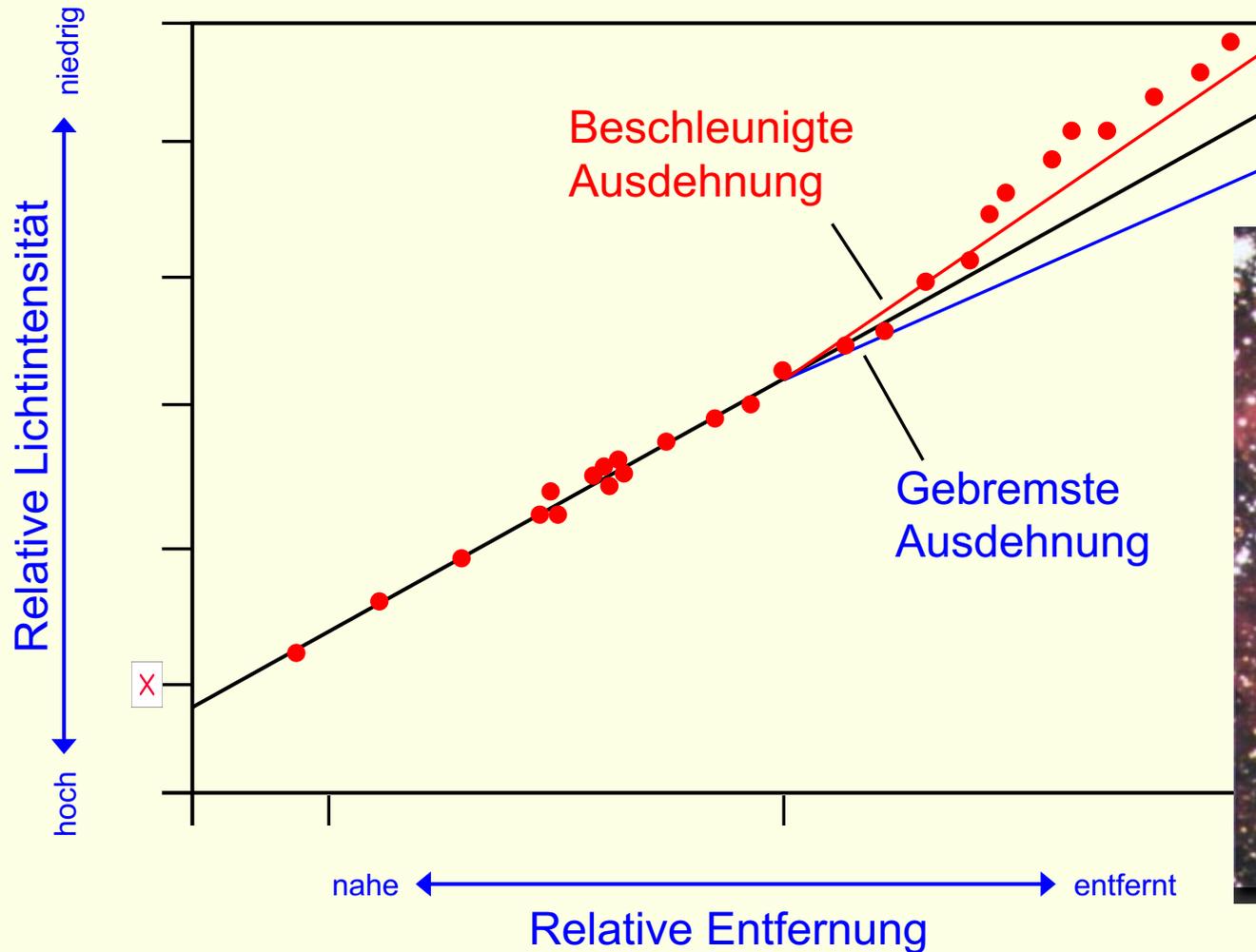


**Quarks, Leptonen, Vermittlerteilchen, Higgs, dunkle
Materie ... haben wir jetzt alles ?**



NEIN!

1998-Revolution

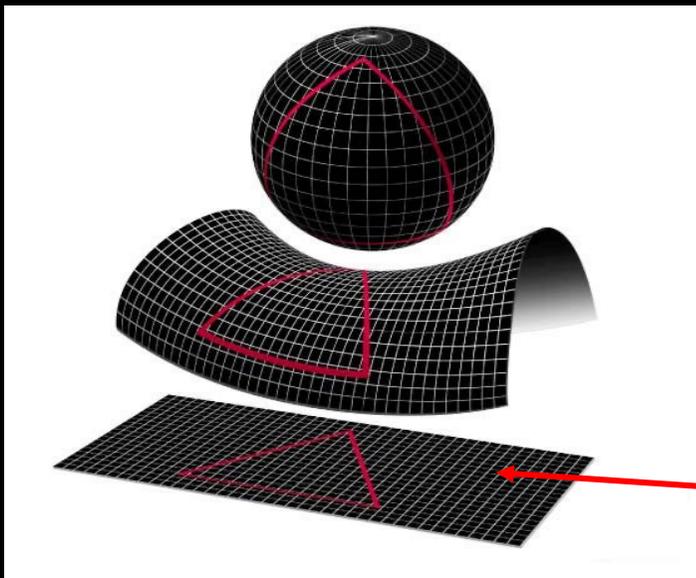


Beobachtungen von Supernovae ergaben, daß eine mysteriöse Kraft - dunkle Energie - das Universum immer schneller auseinander treibt!

Dunkle Energie

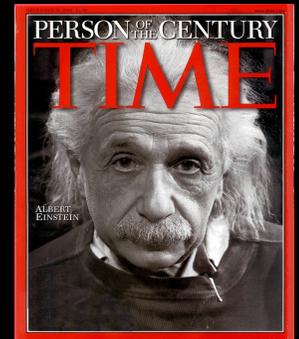
Aus den Supernovae-Messungen und neuerdings aus Satellitenexperimenten (WMAP - NASA Wilkinson Microwave Anisotropy Probe, Planck - ESA, ab 2007) und terrestrischen Experimenten (SDSS, Sloan Digital Sky Survey) geht hervor:

Bekannte Materie: ~ 4%
Dunkle Materie: ~ 23%
Dunkle Energie: ~ 73%



Das **Universum** ist **flach**!

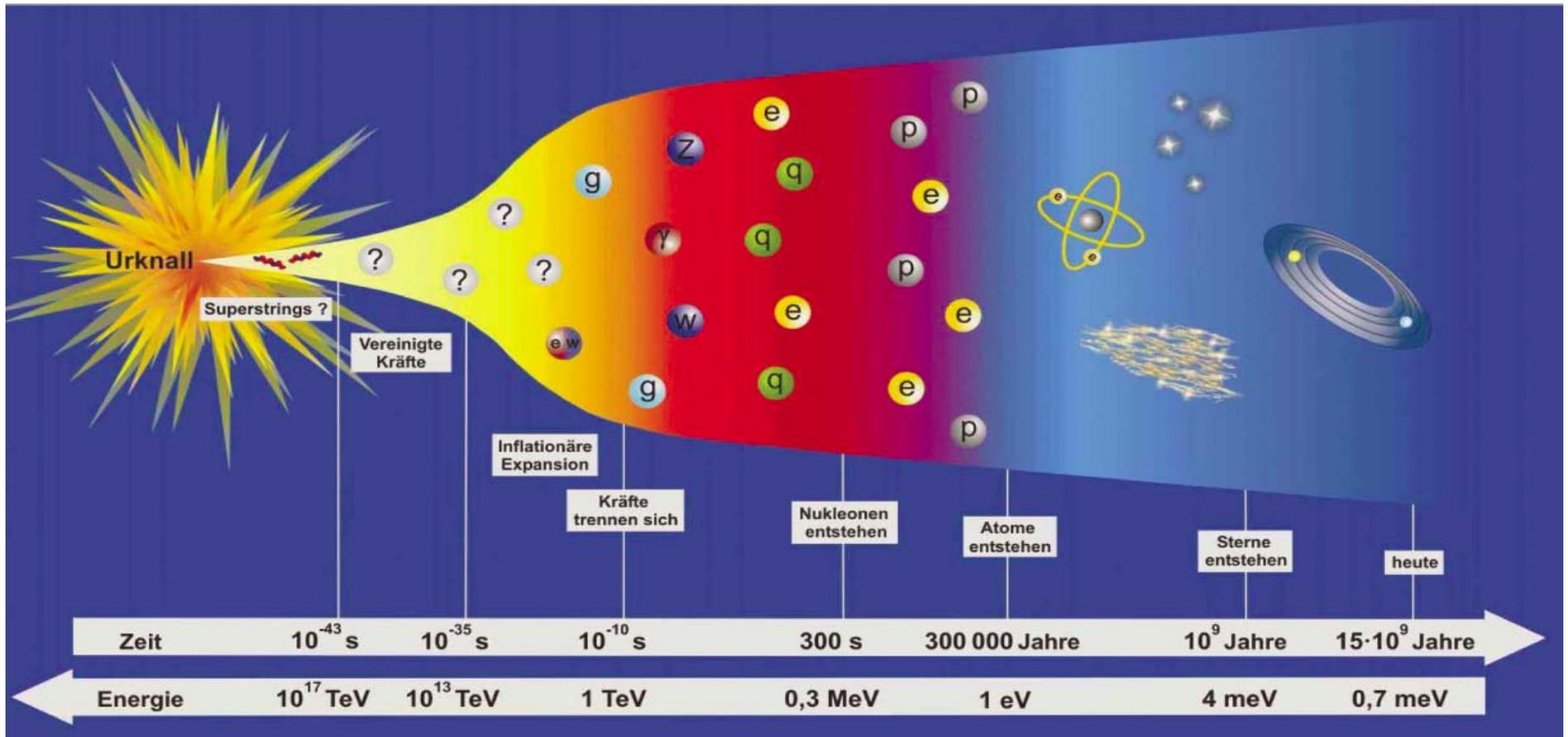
d.h. Licht, das nicht durch Gravitation abgelenkt wird, breitet sich geradlinig aus. Einstein vermutete, daß es sich auf gekrümmten Bahnen bewegen müßte.



$$\Omega_M + \Omega_\Lambda = 1 - \Omega_k$$
$$\Omega_k = 0$$

Ω_M ... relative Dichte der bekannten und der dunklen Materie
 Ω_Λ ... relative Dichte der dunklen Energie

Blick zurück zum Urknall



Bester Teilchenbeschleuniger: Weltall!

Terrestrische Beschleuniger:

können Bedingungen bis 10^{-10} s nach dem Urknall erzeugen

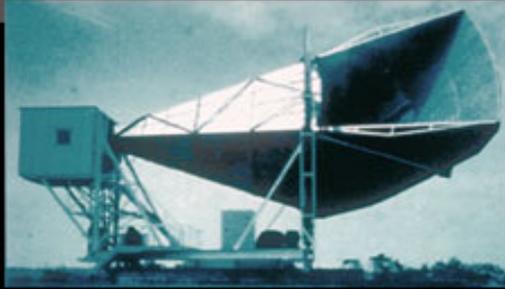
Entstehung des Weltalls



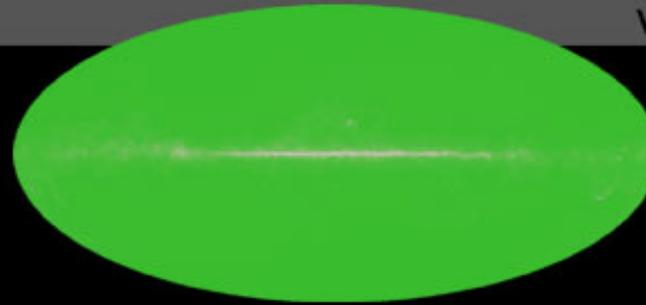
- Anfang:** **Big Bang!**
- 10^{-35} s - 10^{-43} s :** Kräfte sind alle vereint, Temperatur über 10^{32} K.
- 10^{-43} s:** Gravitation trennt sich von den anderen drei Kräften
- 10^{-35} s:** Die starke Kraft trennt sich von den anderen Kräften - Quarks und Antiquarks dominieren das Universum (mehr Quarks als Antiquarks - Asymmetrie!
Das Universum dehnt sich extrem schnell aus (inflationäre Expansion). Temperatur 10^{27} K.
- 10^{-10} s:** Alle vier Kräfte sind getrennt. Temperatur 10^{15} K.
- 10^{-4} s:** Protonen und Neutronen bilden sich. Temperatur 10^{13} K.
- 0.01 s:** Elektronen und Positronen bilden sich.
- 3 min.:** Atomkerne entstehen. Temperatur 10^9 K.
- 300000 Jahre:** Atome entstehen.
Das Universum wird transparent und füllt sich mit Licht (heute: Rotverschiebung - Mikrowellenbereich -> Kosmische Hintergrundstrahlung: heute sichtbar!).
Temperatur 3000 K.
- 1 Milliarde J.:** Galaxien entstehen
- 14 Mill J. (heute):** Temperatur 3K.

Kosmische Hintergrundstrahlung

1965



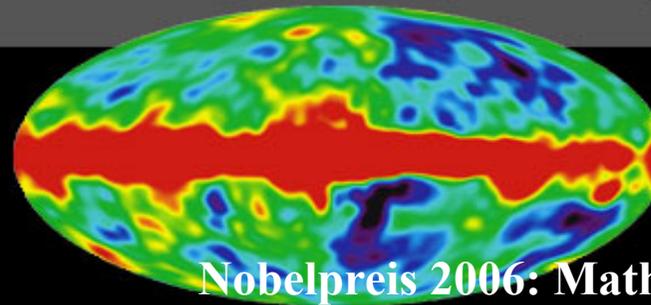
Penzias and
Wilson



1992

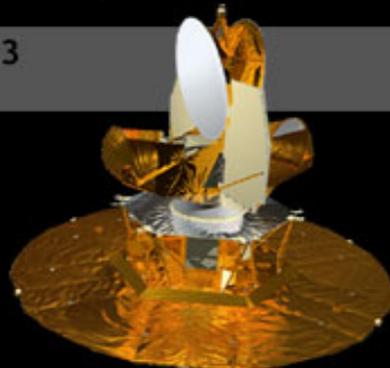


COBE

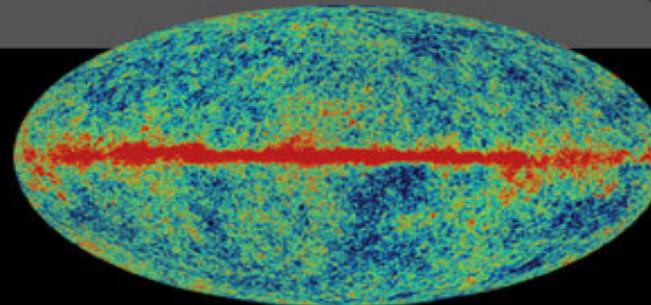


Nobelpreis 2006: Mather, Smoot

2003



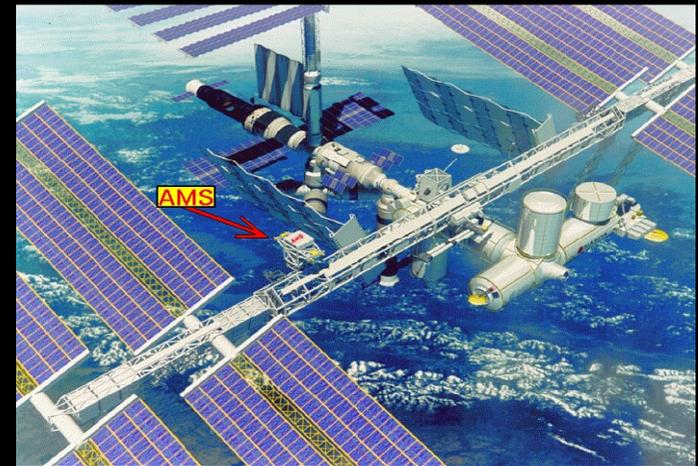
WMAP



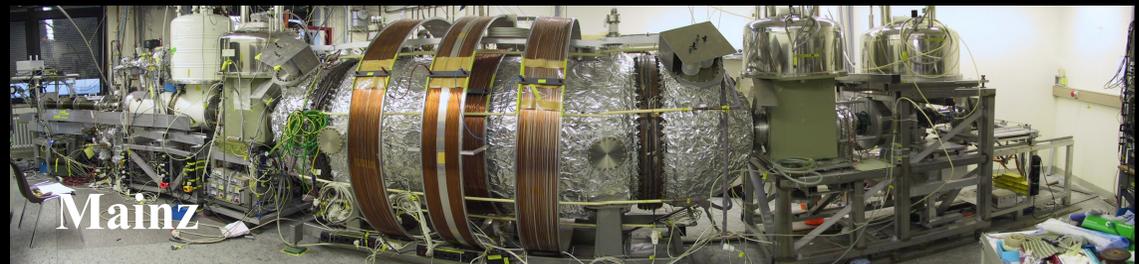
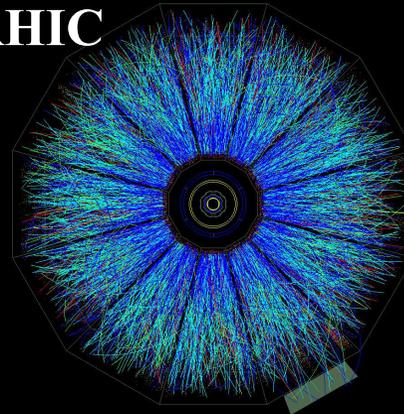
Offene fundamentale Fragen

- Woher kommen die **Massen** der bekannten Teilchen?
- (Wie) kann das **Standardmodell erweitert** werden?
- Gibt es mehr als **3 Generationen** von Quarks und Leptonen?
- Welche Rolle spielen massive **Neutrinos**?
- Wie kann man das **Confinement** verstehen?
- Was ist die **dunkle Materie** ?
- Was ist die **dunkle Energie** ?
- Können alle **Kräfte vereint** werden?
- Gibt es zu Raum und Zeit **zusätzliche Dimensionen**?
- Wie **entstand** das **Universum**?
- (Warum) ist das **Universum flach**?
- (Warum) ist die **Antimaterie** verschwunden?

Experimente der Astroteilchenphysik



RHIC



Zusammenfassung

In den letzten Jahrzehnten wurde das Verständnis der Physik entscheidend verbessert.

Jedoch neue, fundamentale Fragen stellten sich!

Teilchenphysik, Astrophysik und Kosmologie müssen gemeinsam zu ihrer Beantwortung beitragen.

WIR LEBEN IN INTERESSANTEN ZEITEN!

URL und Danksagung

URL:

<http://wwwhephy.oeaw.ac.at/u3w/w/wulz/www/Talks/TeilchenKosmos06.pdf>

Bildmaterial:

Connections Group

I. Shipsey (Purdue University)

CERN

Fermilab

DESY

KEK

SLAC

BNL

NASA

ESA

Universität Wien

u.a.