

Symmetrie: Bauplan der Natur

Faszinierende Welt der Teilchen und Kräfte

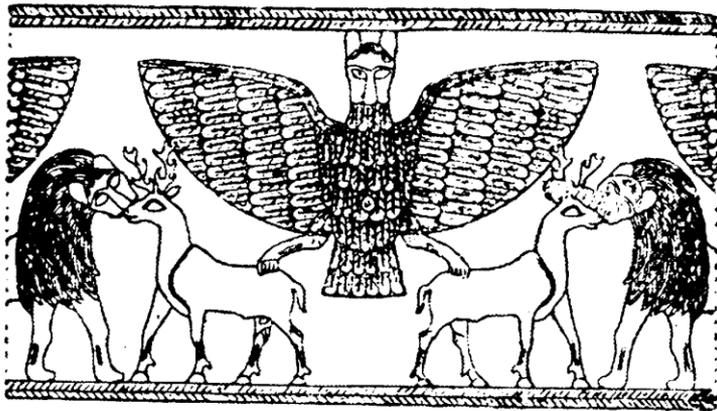
Palindrom: **NURDUGUDRUN**

NUR DU GUDRUN

- Symmetrisch unter Umkehr der Leserichtung
- Symmetrisch unter Umkehr des Zeitablaufs

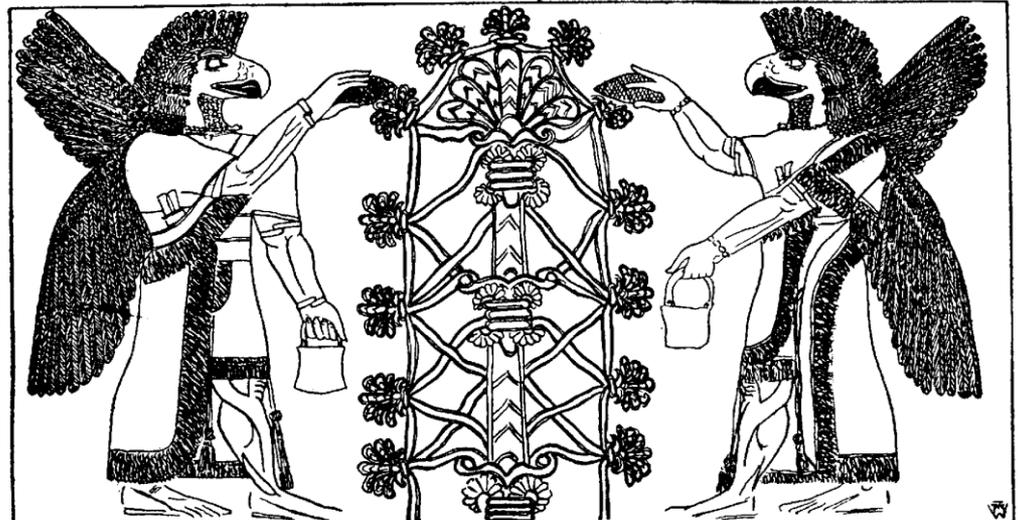
Thomas Lohse
Humboldt-Universität zu Berlin
DPG Tagung, Dortmund, 30.03.2006

Sumerische Kunst (2700 v. Chr.)



Erntende Adlerrmänner
Spiegel-Drehsymmetrie
mit Fehlern

Silbervase von König
Entemena
Spiegelsymmetrisch



Mathematisches Symmetriekonzept

(Hermann Weyl)

Werkzeugkiste: Transformationsgruppen

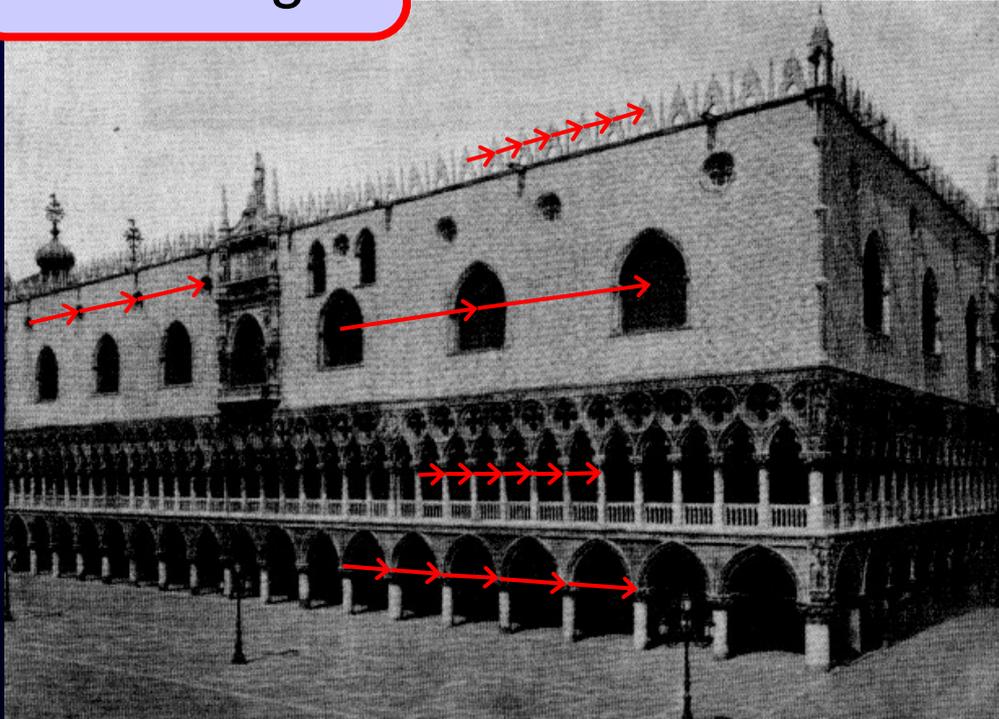


R.P. Feynman: Ein **Objekt** heißt *symmetrisch*, wenn man mit ihm **etwas anstellen** kann, **ohne** es am Ende, wenn man fertig ist mit der Prozedur, **geändert** zu

haben.

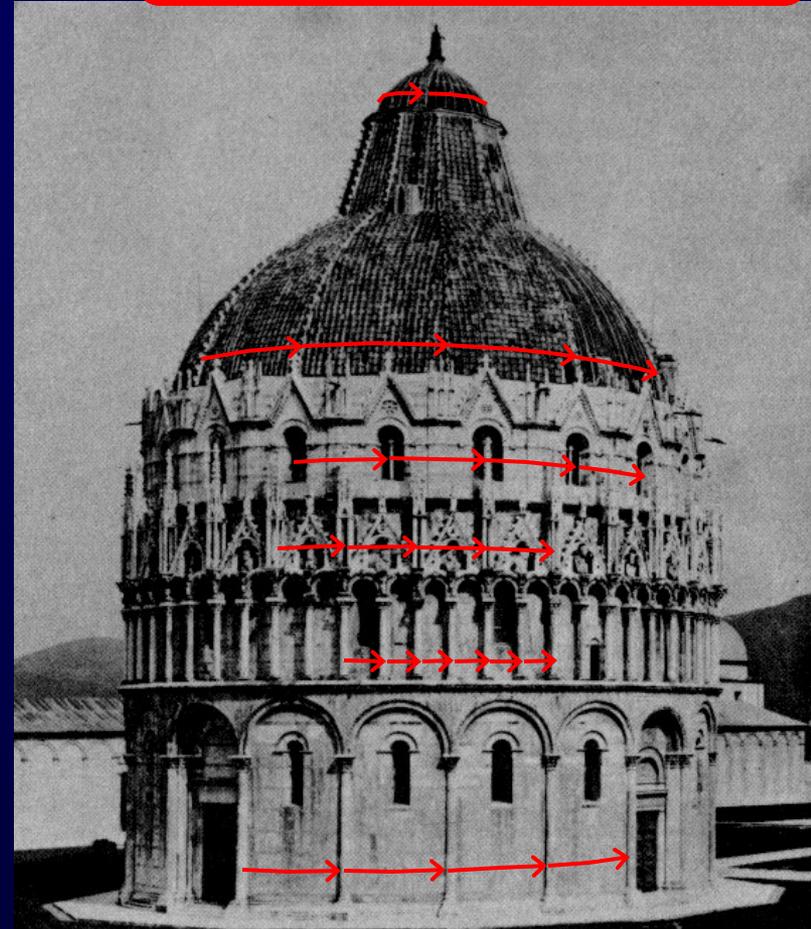
Architektur

Dogenpalast
Venedig



Geschachtelte
Translationssymmetrie

Baptisterium in Pisa

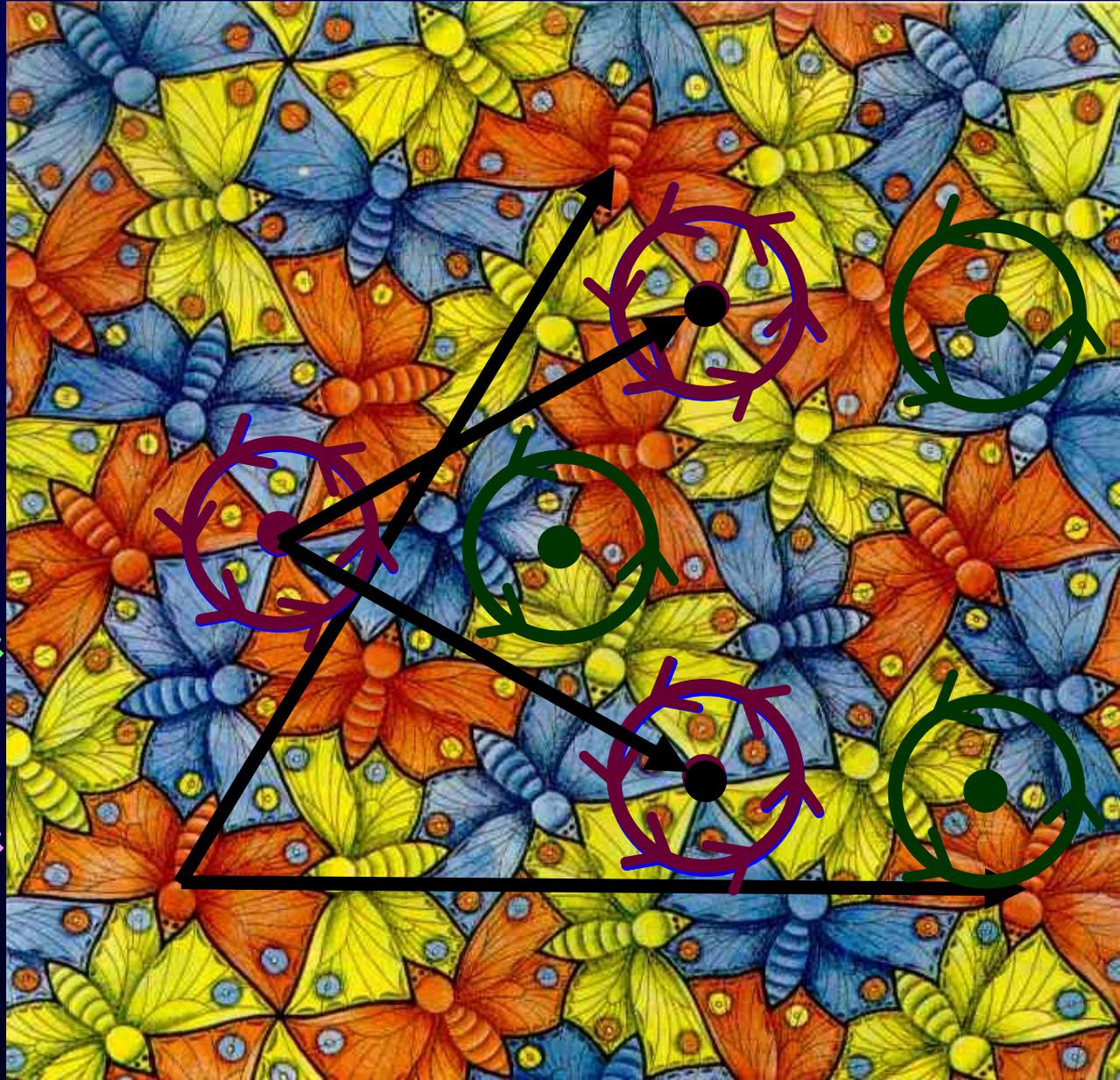


Geschachtelte
Drehsymmetrie in 6 Ebenen

Kunst: M.C. Escher

Symmetrien:

- Translation
- Translation & Farbdrehung
- Drehung (3-zählig)
- Drehung (3-zählig) & Farbdrehung
- Drehung (6-zählig) & Farbdrehung



Natur: Schneeflocken

6-zählige
Drehsymmetrie &
Selbstähnlichkeit
(fraktale Symmetrie)



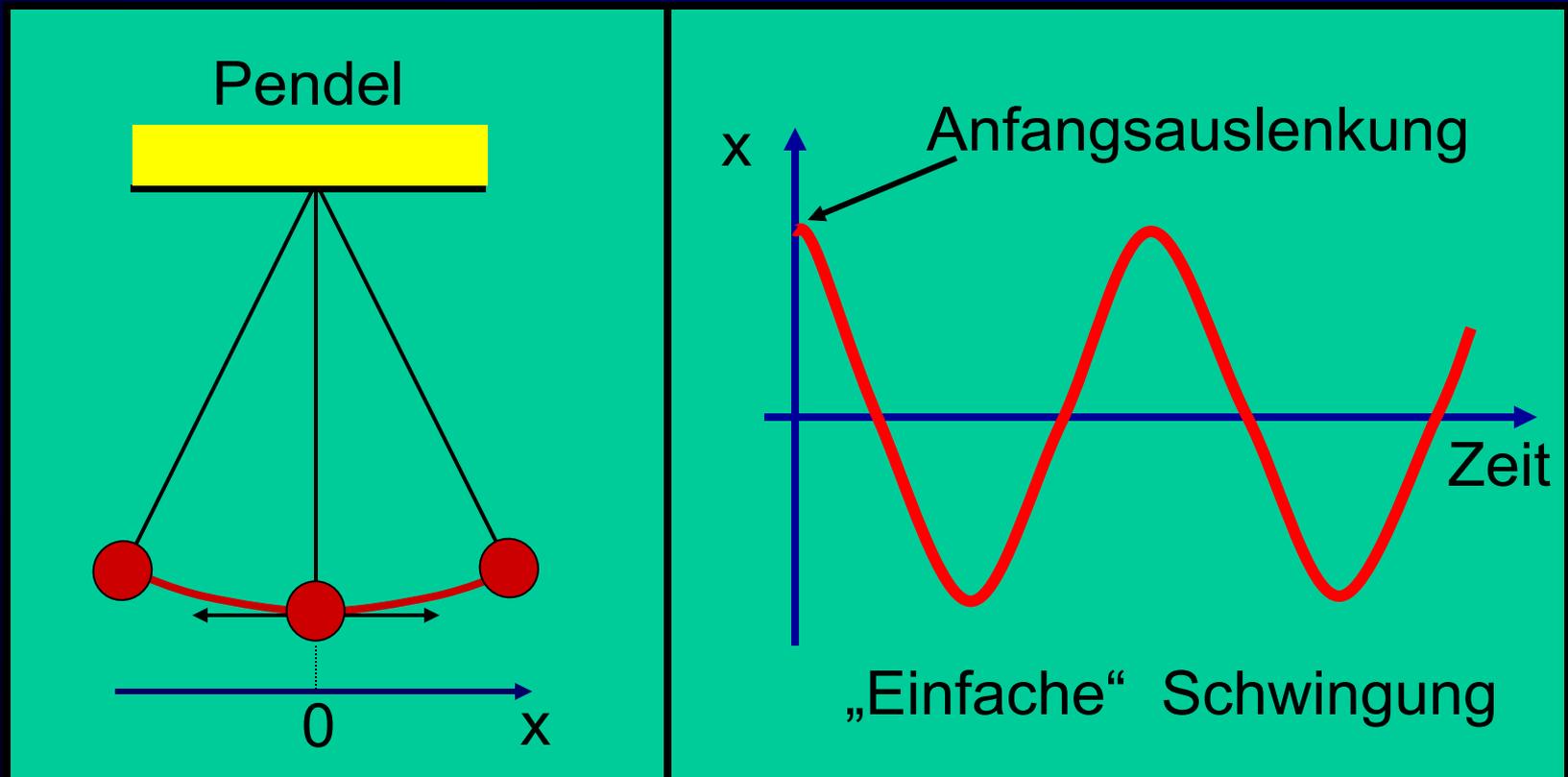
Symmetrie in der Physik



- Vereinfachung von Problemlösungen
Beispiel: Schwingungen des Doppelpendels
- Erkennen von Systemeigenschaften
Beispiel: Erhaltungsgrößen und Invarianzen
- **Klassifizierung**
Beispiel: Kristalle, Elementarteilchen, Theorien
- Vereinheitlichung der Naturkräfte
Beispiel: Elektro-Magnetismus, Grand Unification

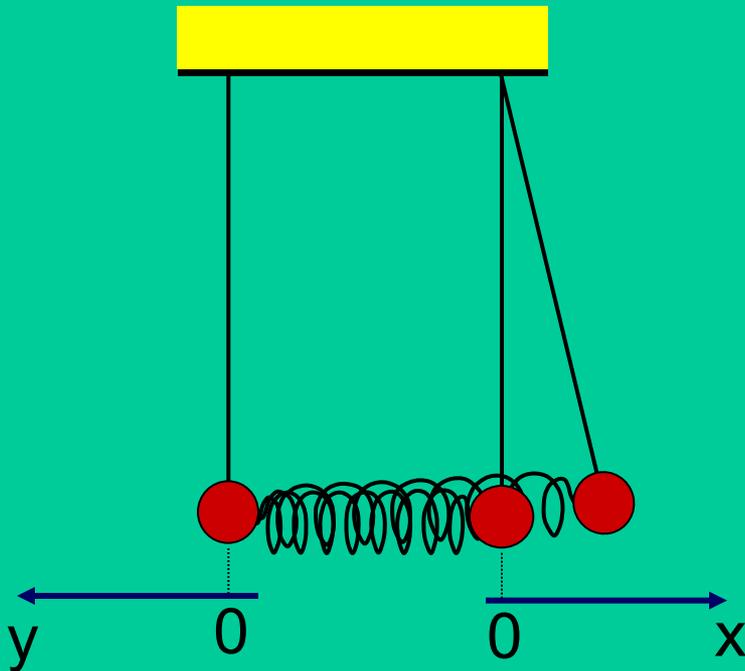
Symmetrie = fundamentales Naturgesetz !!??

Problemlösung: Doppelpendel



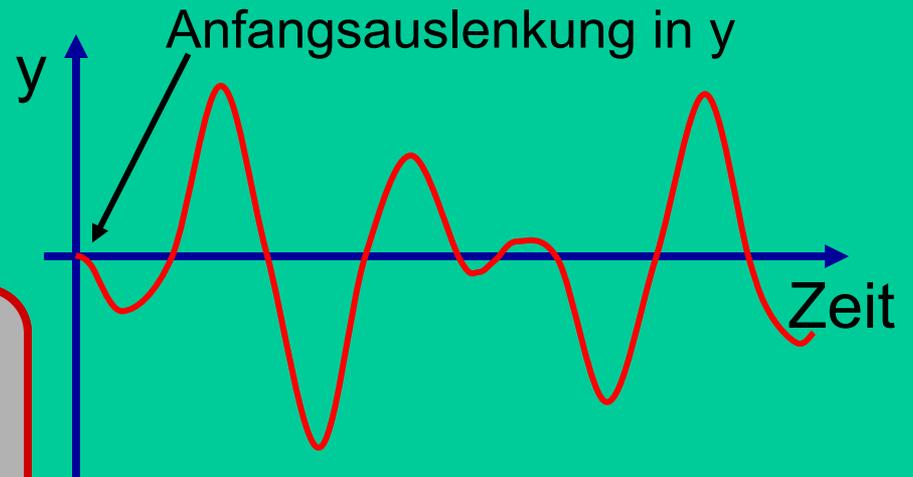
Problemlösung: Doppelpendel

Doppelpendel



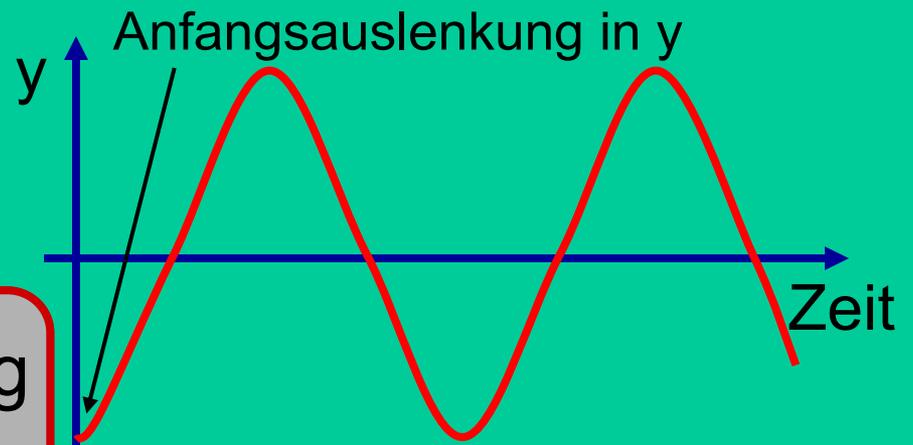
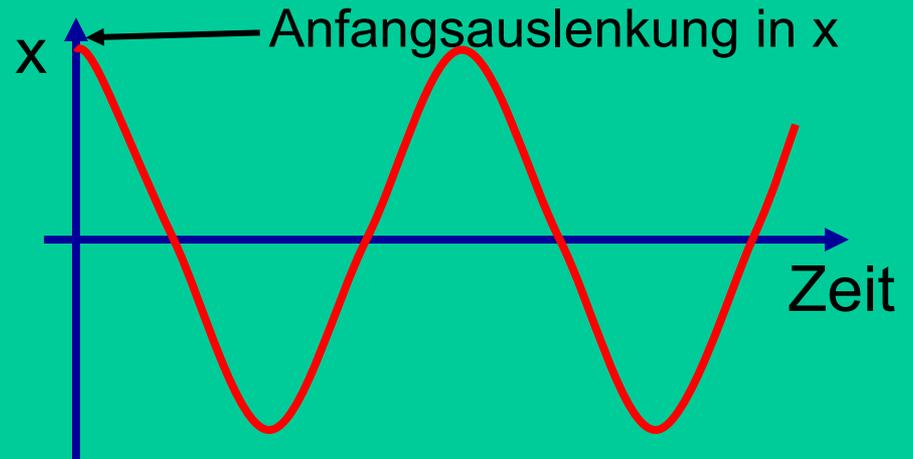
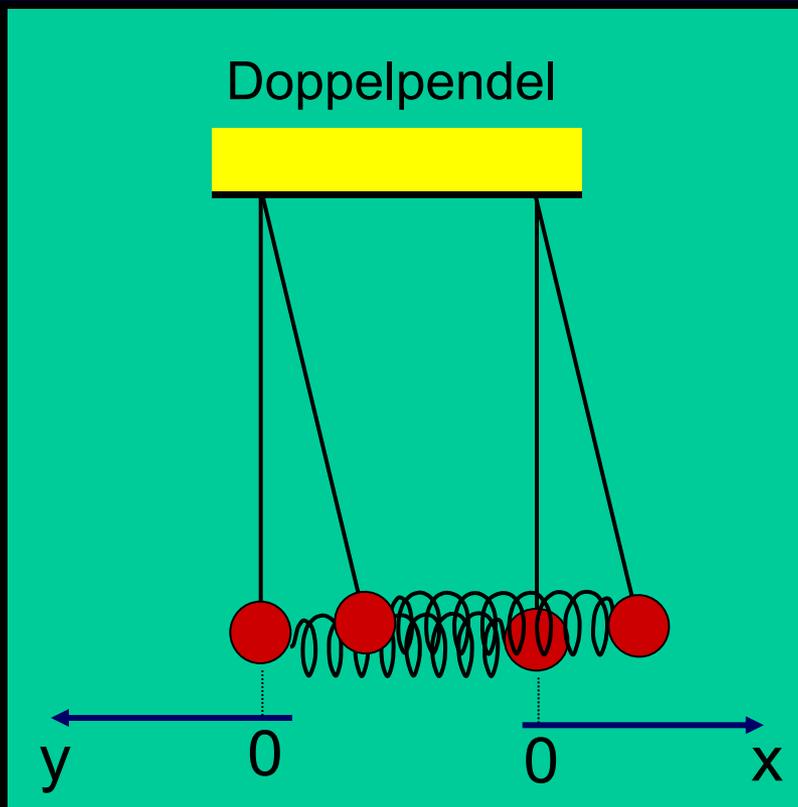
Symmetrie des Problems:

$$x \longleftrightarrow y$$



Komplizierte Schwingung

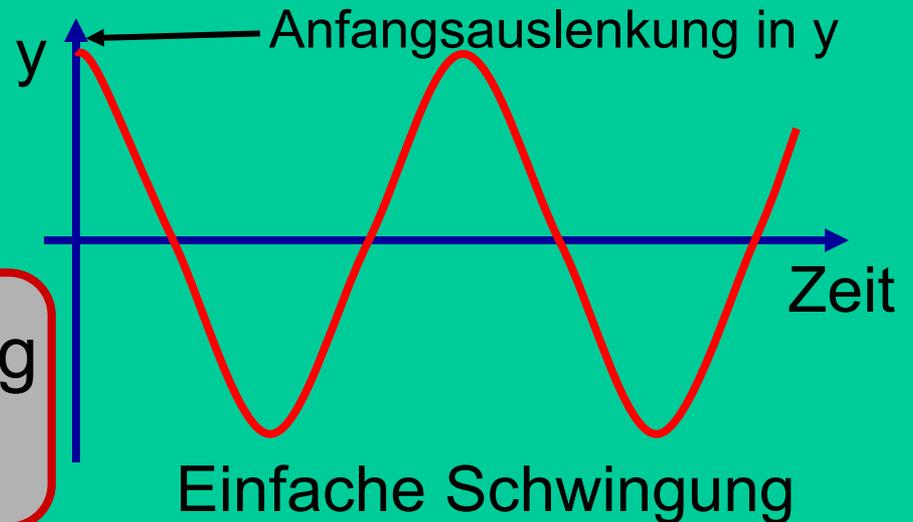
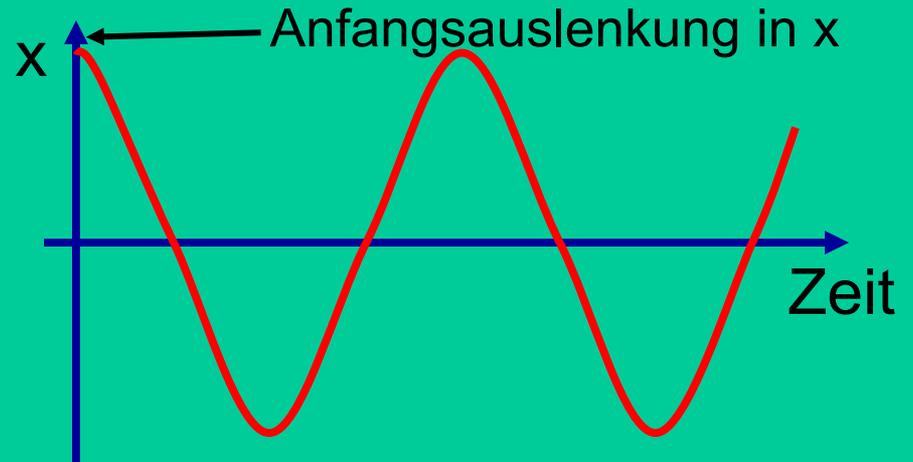
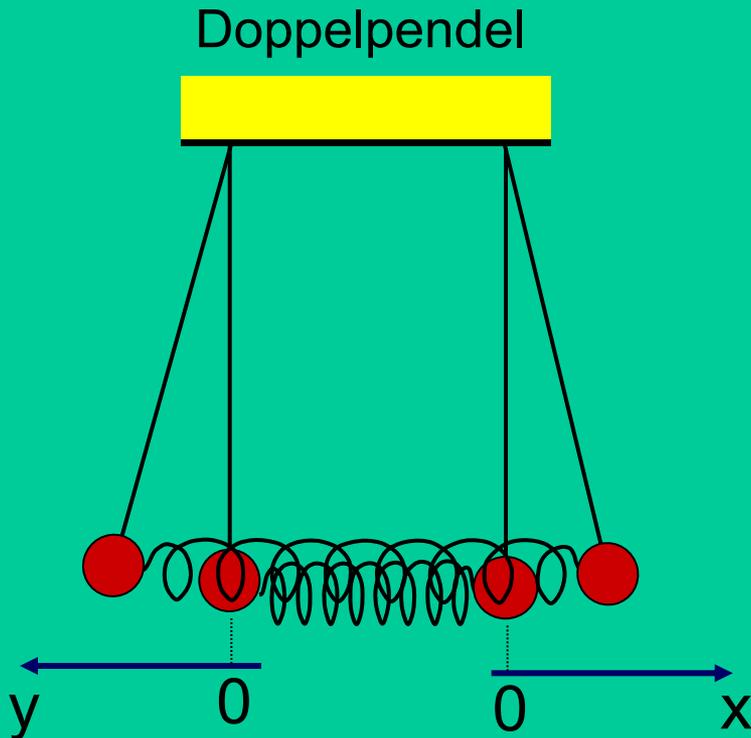
Problemlösung: Doppelpendel



Einfache Schwingung

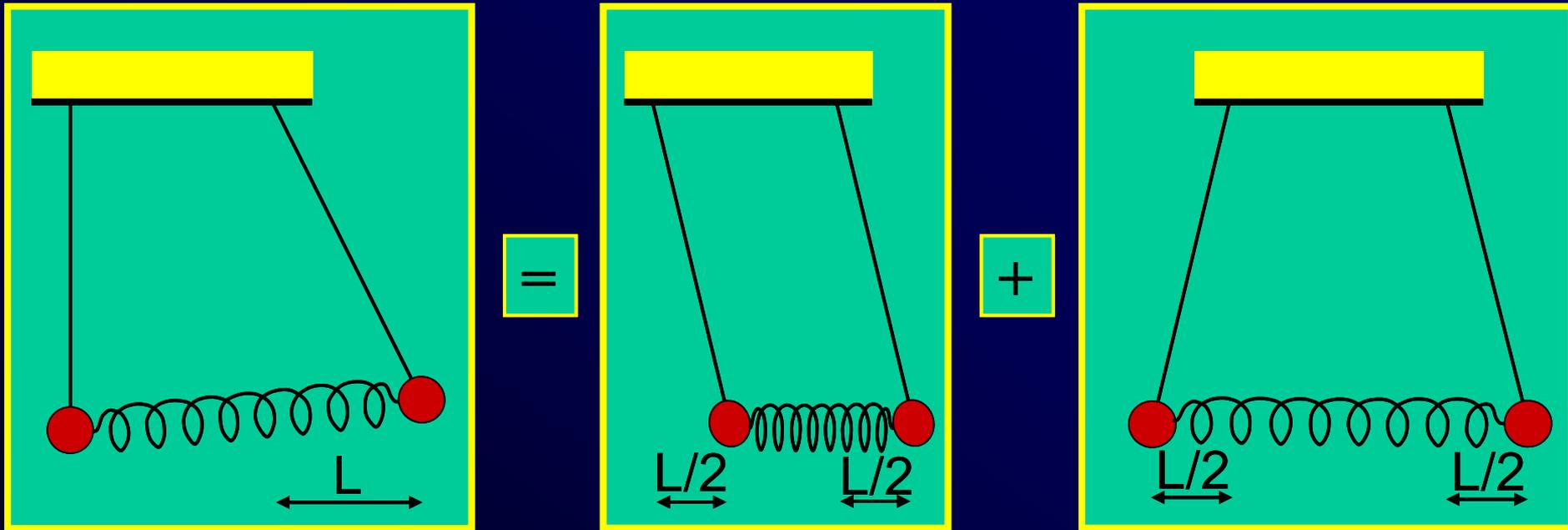
Symmetrische Auslenkung
gleichsinnig: $x = -$

Problemlösung: Doppelpendel



Symmetrische Auslenkung
gegenseitig: $x = -y$

Doppelpendel-Symmetrie-Trick:



Komplizierte
unsymmetrische
Schwingung

=

Summe aus einfachen
symmetrischen
Schwingungen

Das Noether-Theorem



Emmi Noether
(1882-1935)

Symmetrie \Rightarrow Erhaltungsgröße

Physikalische Gesetze unabhängig von...

Nullpunkt der Zeitachse \Rightarrow Erhaltung der Energie

Nullpunkt der Raumachsen \Rightarrow Erhaltung des Impulses

Richtung der Raumachsen \Rightarrow Erhaltung des Dralls

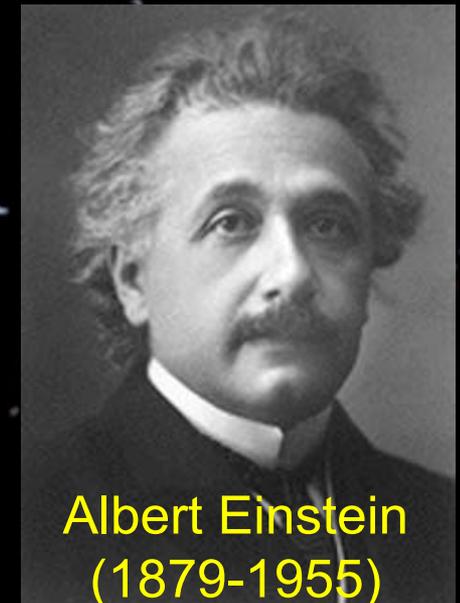
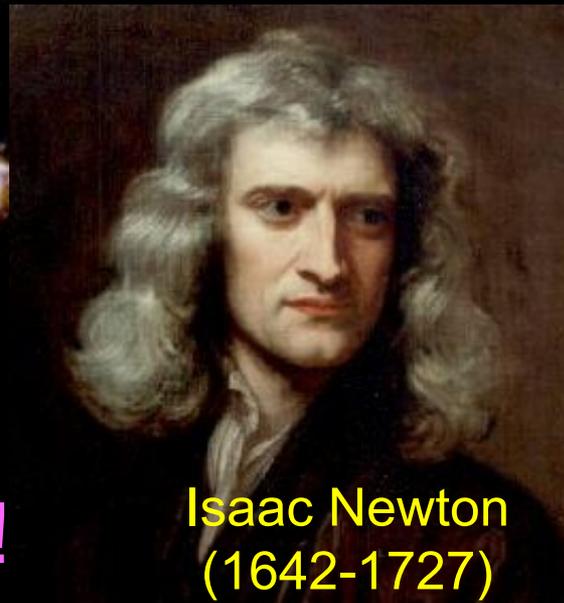
Geheimnisvolle Welt der Elementarteilchen

- Fundamentale Kraftformen
- Spiegelsymmetrien
- Eichsymmetrie als Naturgesetz
- Große Vereinigung der Kräfte

Gravitationskraft

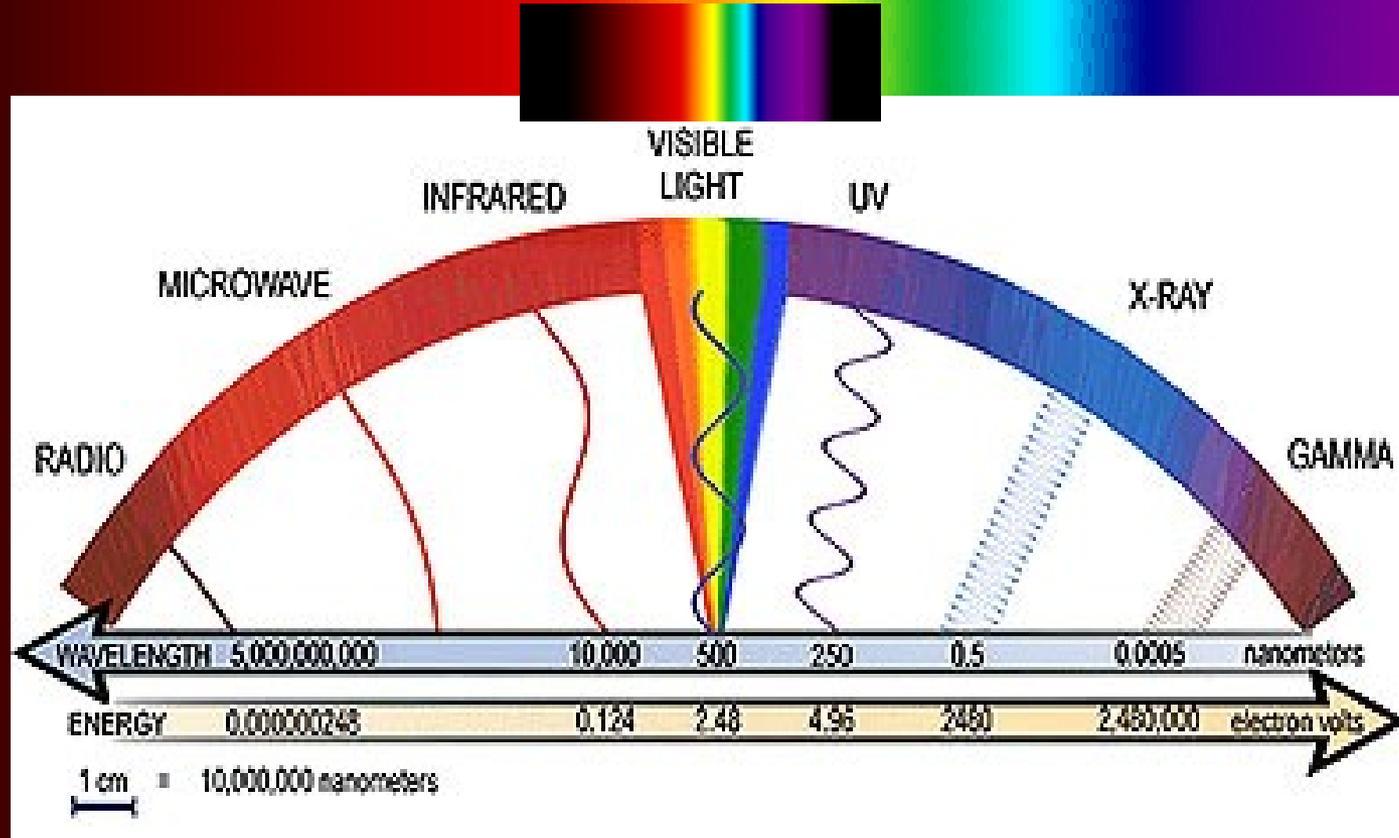
- Bewegung der Planeten, Sterne, Galaxien
- Unendliche Reichweite
- Theorie: Newton, Einstein (Relativitätstheorie)

• Quantentheorie:
Steht noch aus!!!



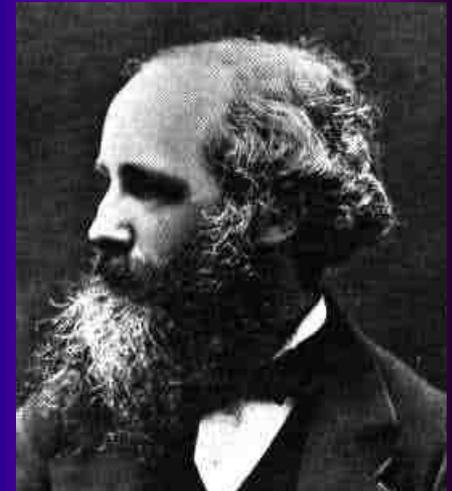
Elektromagnetische Kraft

- Licht, Mikrowellen, Radiowellen, Röntgenstrahlen, ...



Elektromagnetische Kraft

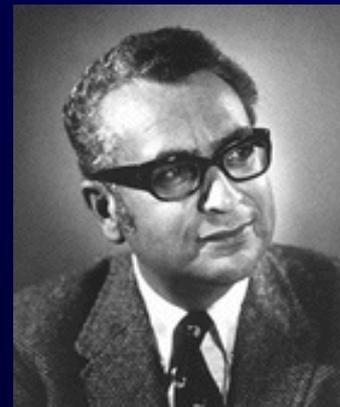
- Licht, Mikrowellen, Radiowellen, Röntgenstrahlen, ...
- Atombau, Chemie
- Materialeigenschaften (Härte, Leitfähigkeit, ...)
- Unendliche Reichweite
- Theorie von Maxwell
(Quantentheorie: Feynman u.a.)



J.C. Maxwell
(1831-1879)

Starke Kraft

- Bindung der Atomkerne, Kernenergie
- Innerer Aufbau des Protons (Quarks)
- Subatomare Reichweite ($<$ Protonradius)
- Theorie: Quantenchromodynamik
(Gell-Mann, Fritzsche, ...)



M. Gell-Mann



H. Fritzsche ...

Schwache Kraft

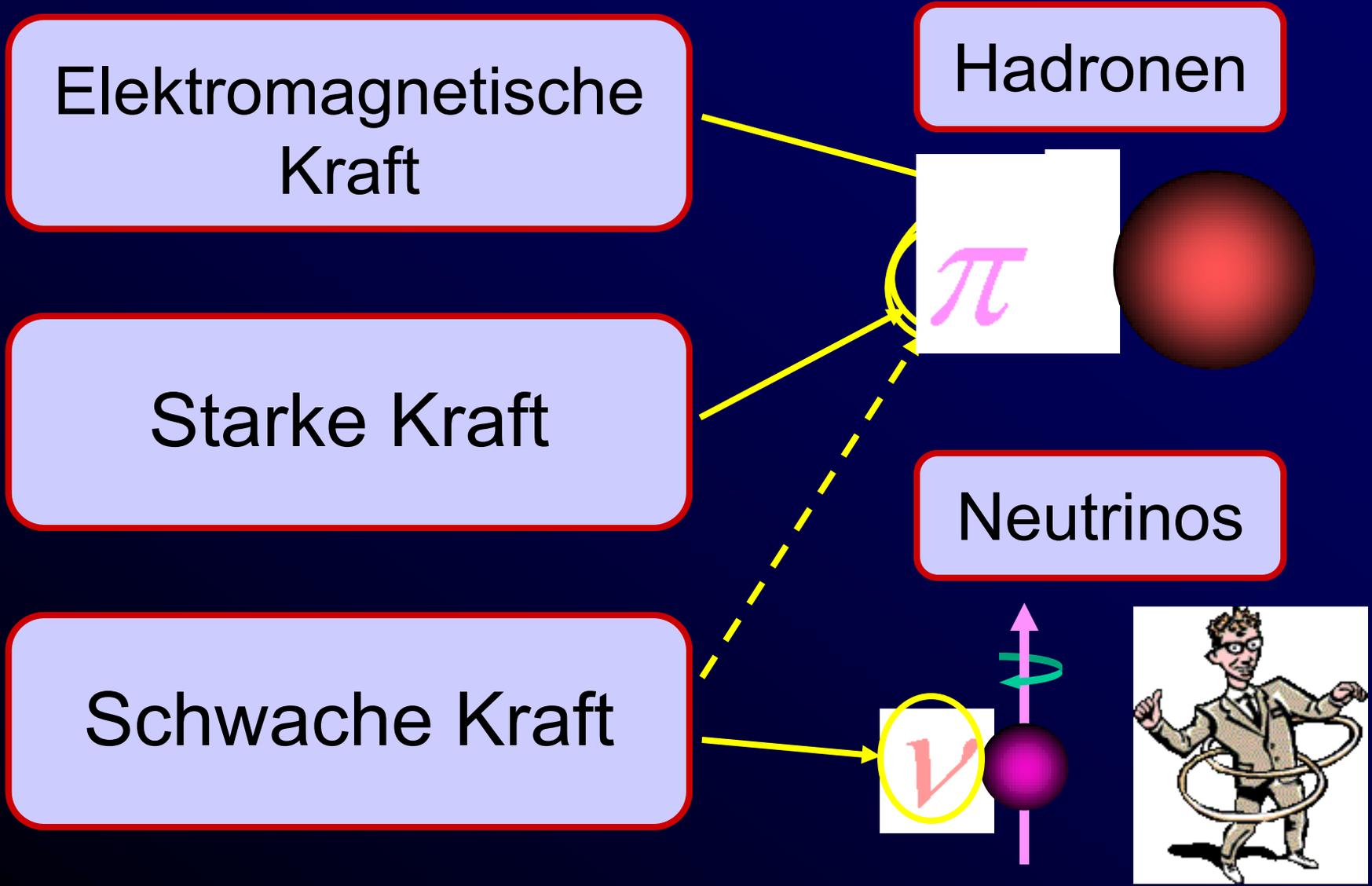


E. Fermi
(1901-1954)

- Radioaktivität (Beta-Zerfall)
- Sonnenbrennen
- Subnukleare Reichweite (Kernradius/1000)
- Theorie:
 - Grundlagen: Enrico Fermi
 - Elektroschwache Kraft: Glashow, Weinberg, Salam

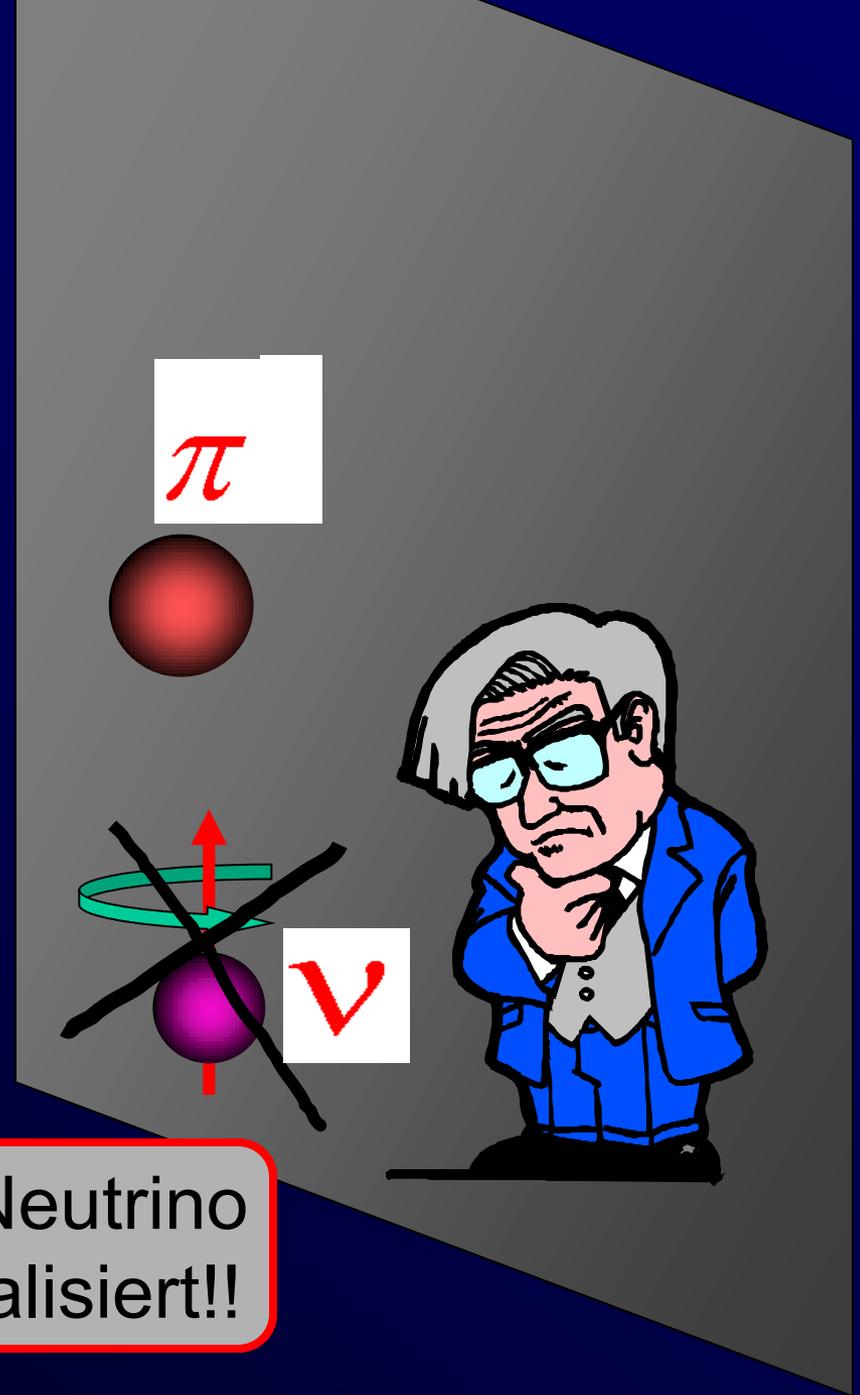
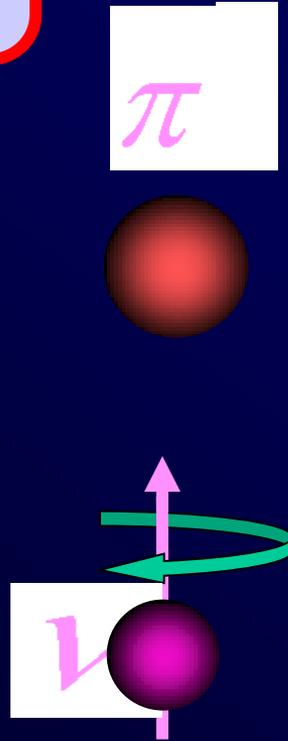


Kräfte und Elementarteilchen



Raumspiegelung

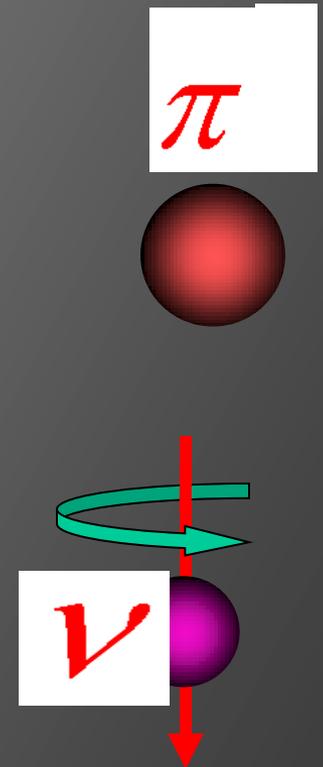
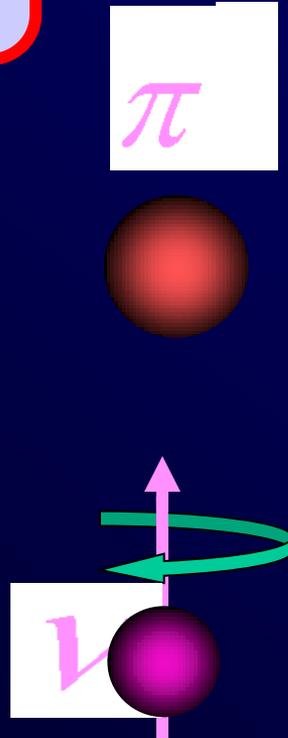
P - Parität



P-gespiegeltes Neutrino
in Natur **nicht** realisiert!!

Zeitspiegelung

T - Parität

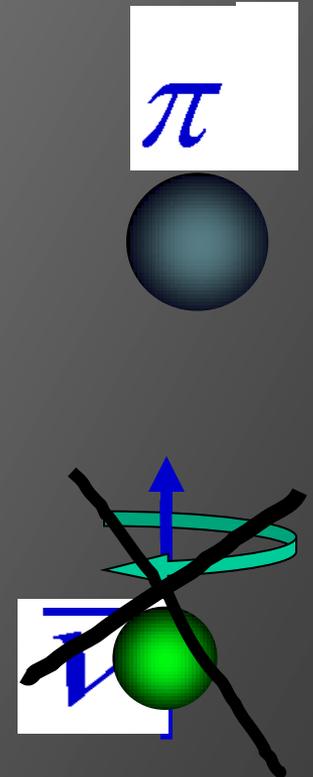
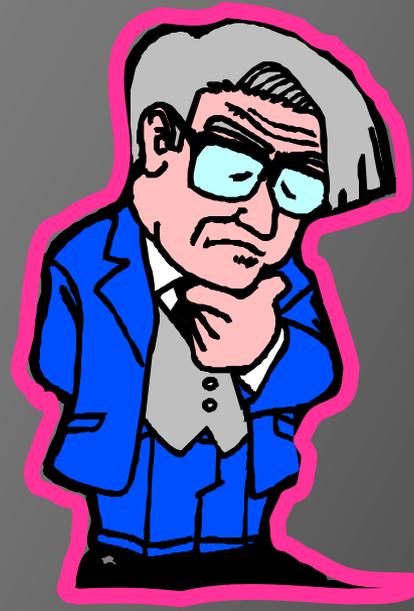
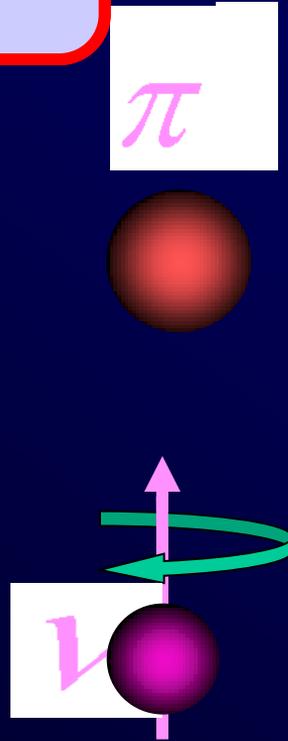


Aber:

T-gespiegelte schwache Prozesse
sind **nicht ganz** gleichhäufig!!

Materiespiegelung

C - Parität



C-gespiegeltes Neutrino
in Natur **nicht** realisiert!!

Symmetriebrechung der schwachen Kraft

Symmetrie Kraft	P	C	T	CP	CPT
Gravitation	✓	✓	✓	✓	✓
Elektromagnetisch	✓	✓	✓	✓	✓
Stark	✓	✓	✓	✓	✓
Schwach	✗	✗	✗	✗	✓

Schwache Kraft: Mysteriöse Symmetrieverletzungen
=> Universum besteht aus Materie; keine Antimaterie



CP-Verletzung im Experiment



BABAR (SLAC, Kalifornien)



Stanford Linear
Accelerator Center



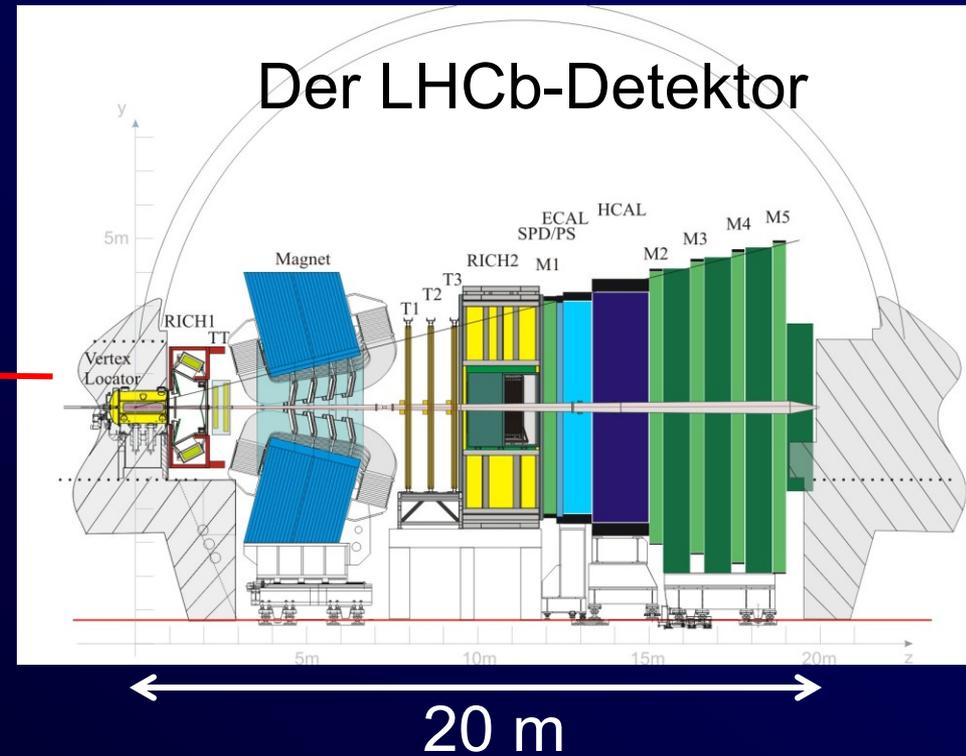
Unter Beteiligung der Uni Dortmund

CP-Verletzung im Experiment

Large Hadron Collider (LHC, ab 2007)



CERN (Genf)



Unter Beteiligung der Uni Dortmund

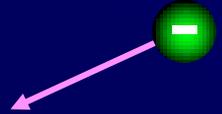
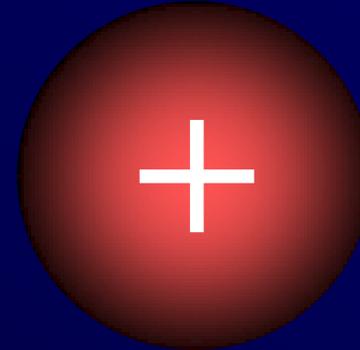
Vereinigung der Kräfte

Elektro-Magnetische Kraft (1)

Elektrische Ladung



Elektrisches Kraftfeld



Elektr. Ladungsbewegung



Elektrischer Strom



Vereinigung der Kräfte

Elektro-Magnetische Kraft (2)

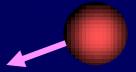
Magnetische Körper



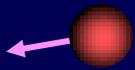
Magnetisches Kraftfeld



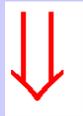
Eisen



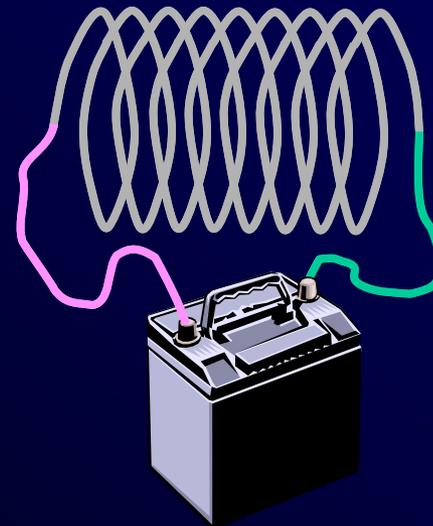
Eisen



Elektrischer Strom



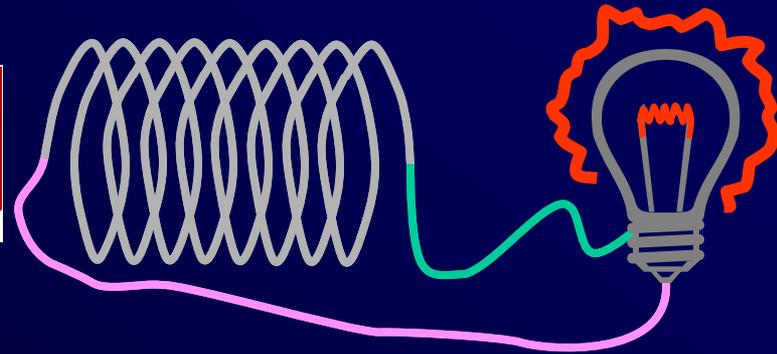
Magnetisches Feld



Vereinigung der Kräfte

Elektro-Magnetische Kraft (3)

Variierendes Magnetfeld \implies Kraftfeld



Variierende elektrische Felder



Variierende Magnetfelder

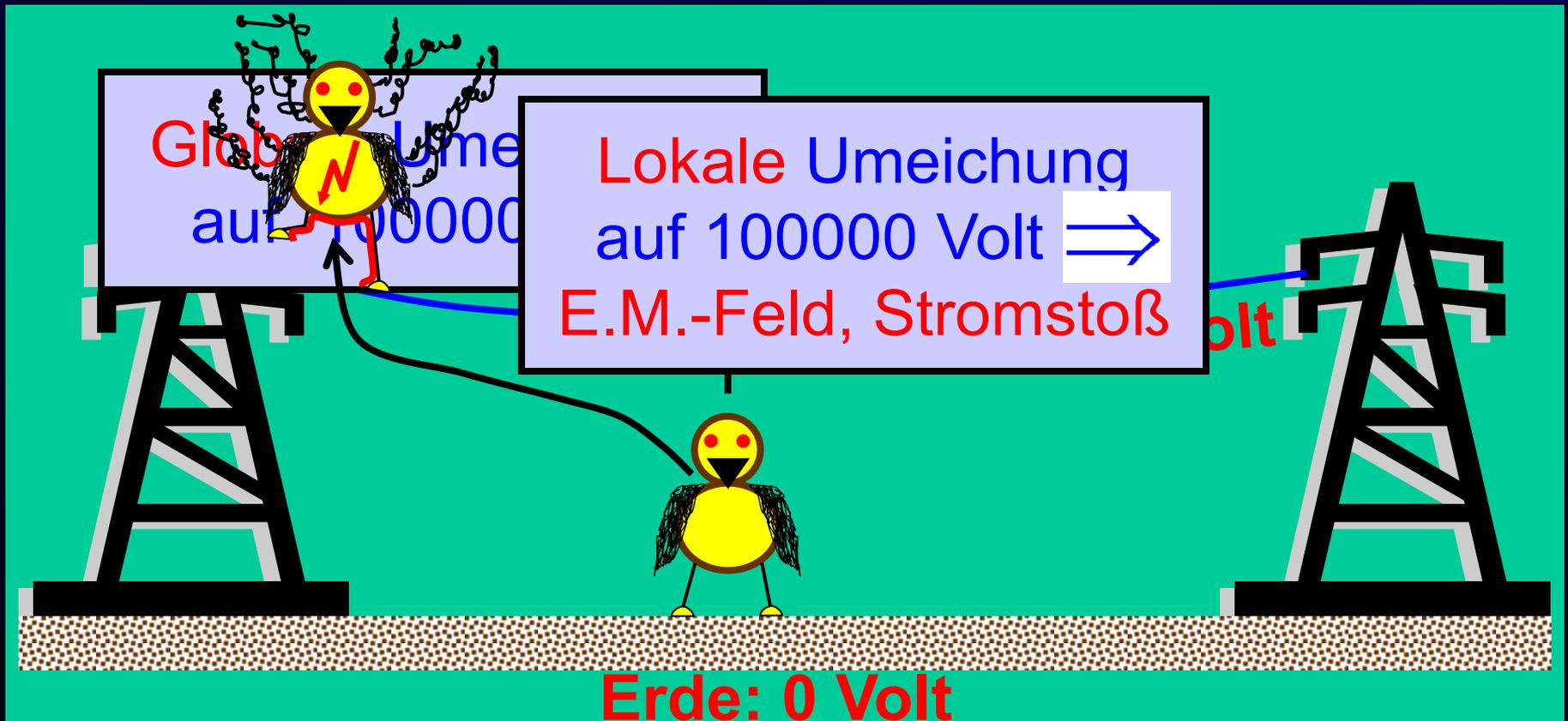
Elektromagnetische Wellen



Vereinigung der Kräfte

Elektro-Magnetische Eichsymmetrie

Eichsymmetrie: Elektrisches Erdpotential ist willkürlich



Tiefe Erkenntnis

Die Natur besitzt eine lokale Eichsymmetrie

Die gesamte Theorie der elektromagnetischen Kraft folgt zwingend aus dieser lokalen Eichsymmetrie

! Die lokale Eichsymmetrie ist ein fundamentales Naturgesetz !

Vereinigung der Kräfte

Die elektro-schwache Kraft

Elektromagn. Kraft
Eichsymmetrie:

$$U(1)_Q$$

Schwache Kraft
Eichsymmetrie:

??????

Elektroschwache Kraft
Eichsymmetrie:

$$U(1)_Y \times U(2)_L$$

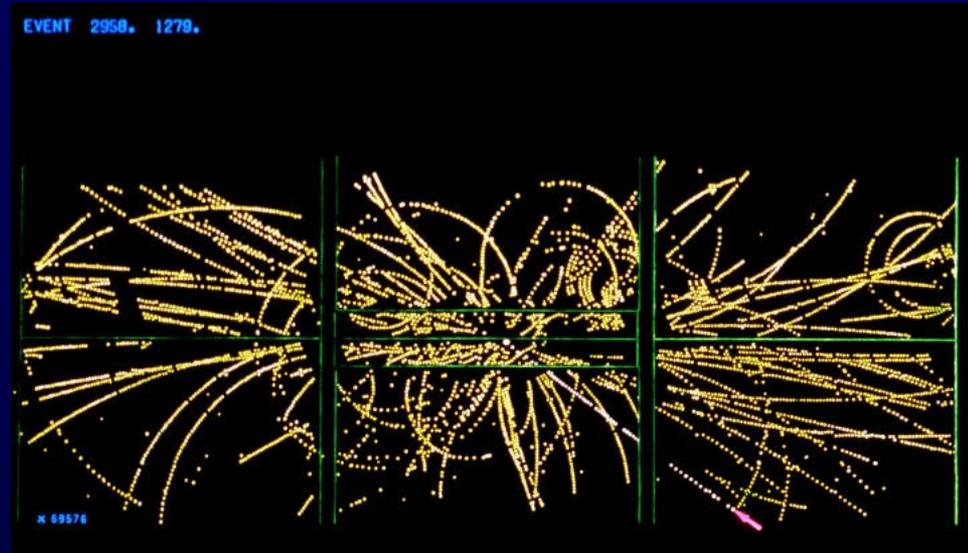
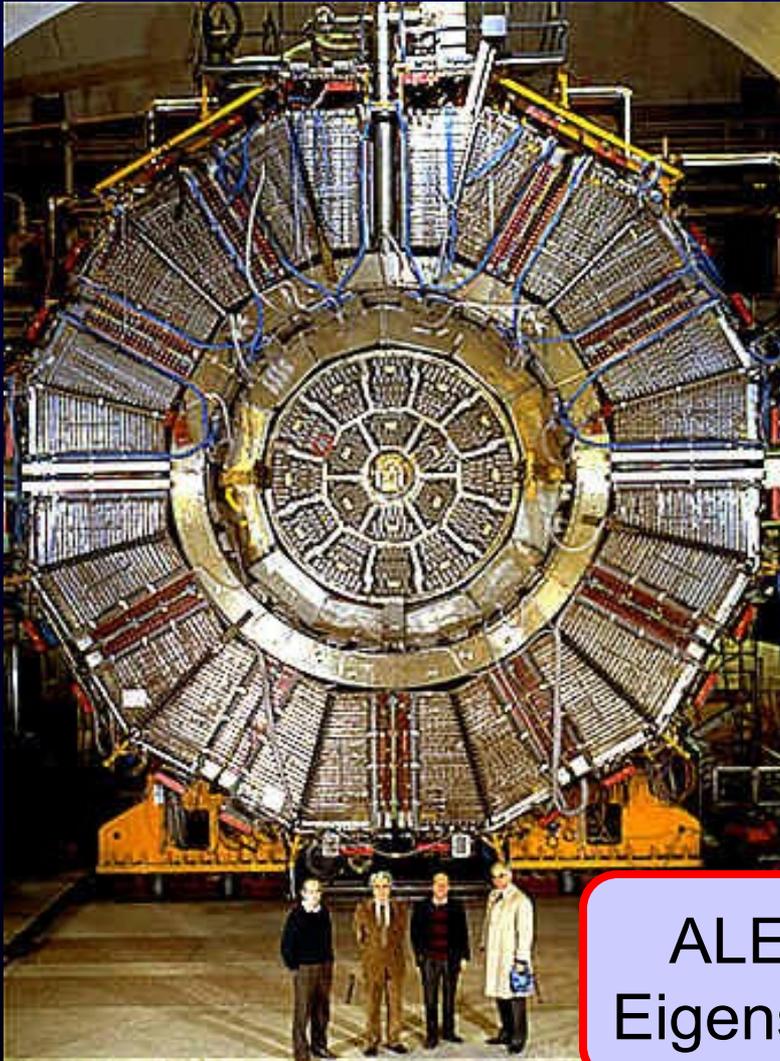
Tiefe Erkenntnis

Die elektromagnetische und die schwache Kraft sind nur zwei Aspekte einer fundamentaleren Naturkraft, der elektroschwachen Kraft

Die gesamte Theorie der elektroschwachen Kraft folgt zwingend aus einer lokalen Eichsymmetrie

Die verallgemeinerte lokale Eichsymmetrie ist ein noch fundamentaleres Naturgesetz

Elektroschwache Kraftteilchen (Nachweis in Teilchendetektoren)

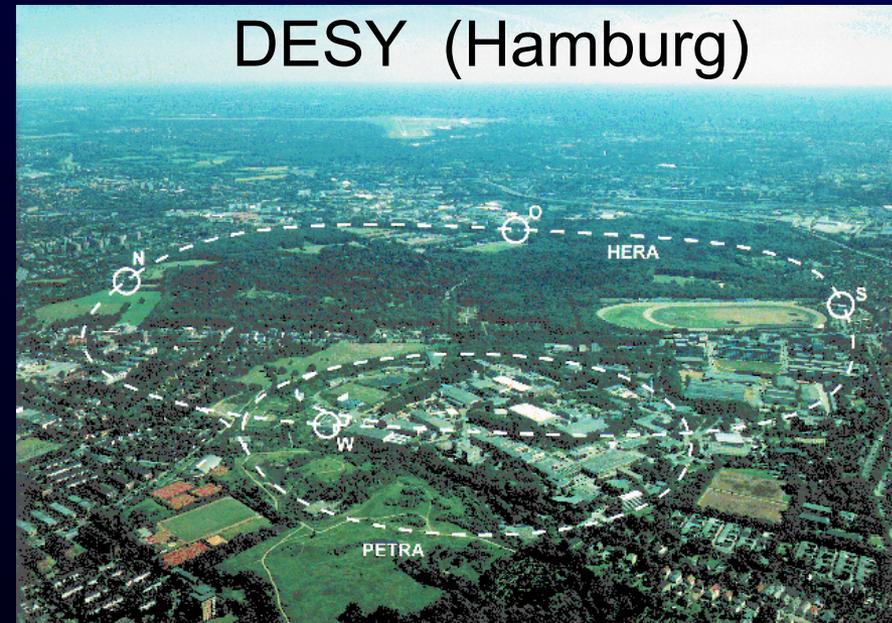


Entdeckung des Kraftteilchens **W**

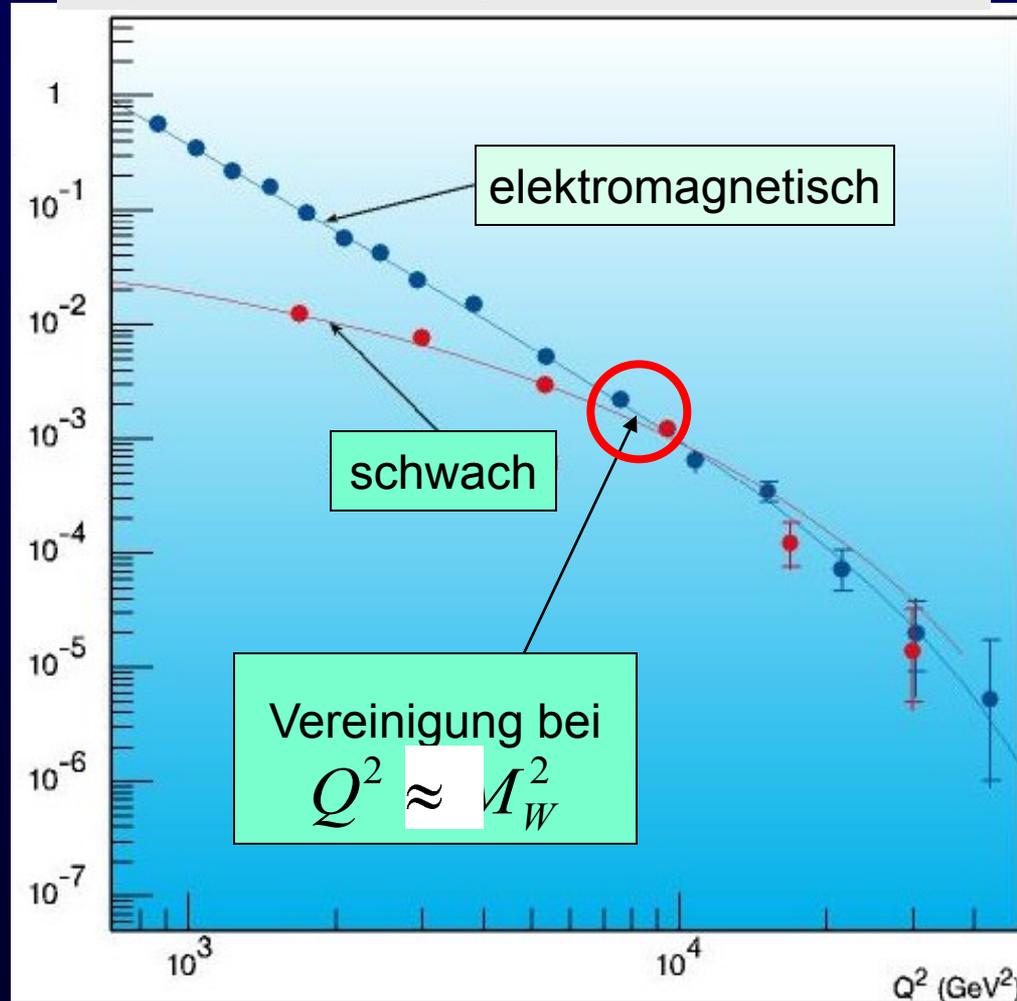
ALEPH: Präzisionsmessung der
Eigenschaften der Kraftteilchen **Z, W**

Elektroschwache-Symmetrie im Experiment

DESY (Hamburg)



e-p-Wirkungsquerschnitt als Funktion der quadrierten Energie des Kraftteilchens



Die große Vereinigung der Kräfte

Die elektro-schwach-starke Kraft

Elektroschwache Kraft

Eichsymmetrie:

$$U(1)_Y \times U(2)_L$$

Starke Kraft

Eichsymmetrie:

$$SU(3)_C$$

Elektroschwachstarke Kraft

Eichsymmetrie:

$$\cancel{SU(5)} \quad SO?(10) \dots$$

Die Vereinigung aller Kräfte

Die Weltformel

Elektroschwachstarke Kraft
Eichsymmetrie:
 $SO(10) ??$

Gravitationskraft
Eichsymmetrie:
Poincaré-Gruppe

Eich-Theorie aller Kräfte
Supersymmetrie ??
Superstringtheorie ??

Fazit: Wie symmetrisch ist die Natur?

- Das Erscheinungsbild der Natur ist nur teilweise symmetrisch
- Asymmetrien sind oft Hinweise auf tiefere Strukturen, nicht einfach auf Durcheinander
- Das Fundament der Naturgesetze ist vermutlich eine perfekte, großartige

Symmetrie