

Netzwerk Teilchenwelt Lehrerfortbildung zur Teilchenphysik

Dresden, 12.03.2016

Herzlich willkommen!



NETZWERK
TEILCHENWELT

Ziele der Fortbildung

- ▶ 1) Eigenes Wissen über Teilchenphysik erweitern
- ▶ 2) Konkrete Sequenz-/Stundenverlaufspläne erarbeiten und mit nach Hause nehmen





Grundlage der Fortbildung

- ▶ Unterrichtsmaterialien zur Teilchenphysik, erstellt vom Netzwerk Teilchenwelt in Kooperation mit der Joachim-Herz-Stiftung
 - Fachtexte, Aufgaben und Lösungen, Arbeitsblätter, Anknüpfungspunkte an den Lehrplan, Vorkenntnisse, Lernziele, methodische Hinweise, fachliche Hinweise
 - Vier Teile, heute: Konzentration auf Teil 1
 - Teil 1: Wechselwirkungen, Ladungen und Teilchen
 - Teil 2: Forschungsmethoden der Teilchenphysik
 - Teil 3: Kosmische Strahlung
 - Teil 4: Mikrokurse

Ablauf I

- ▶ 09:30 – 10:00 Fachvortrag I
- ▶ 10:00 – 10:15 Diskussion / Fragen
- ▶ 10:15 – 10:30 *Kaffeepause*

- ▶ 10:30 – 11:00 Fachvortrag II
- ▶ 11:00 – 11:15 Diskussion / Fragen
- ▶ 11:15 – 11:30 Gruppeneinteilung bekanntgeben
- ▶ 11:30 – 12:30 *Mittagspause*

Vortrag
1



Vortrag
2



Bild 1: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/30/Kaffee_mit_Honiglebkuchen.jpg

Bild 2: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3b/Die!!!_Weihnachtsfeier_2013_256_F%C3%BCr_die_rund_300_eingeladenen_Kinder_gab_es_als_Hauptgericht_Erbsen_und_M%C3%B6hren_mit_paniierter_Putenbrust_und_Kartoffelbrei_oder_Pommes_frites_zum_sp%C3%A4ten_Mittagessen.jpg

Ablauf II

- ▶ 11:30 – 12:30 *Mittagspause*
- ▶ 12:30 – 13:00 Aufträge für Gruppenarbeit
- ▶ 13:00 – 15:00 Gruppenarbeit (Teil I + Teil 2)
- ▶ 15:00 – 16:00 Präsentation der Ergebnisse (Basar)
- ▶ 16:00 – 16:30 Abschlussvortrag



Gruppen-
arbeit

Präsentation

Abschluss-
Vortrag



09:30 – 10:00 Uhr

Wechselwirkungen

Ladungen

Fachvortrag 1

Was ist Physik?



- ▶ Physik versucht die
Wirklichkeit / Welt
zu beschreiben

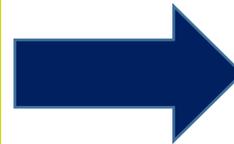
- ▶ Am Besten:
Möglichst einfach



Reduktion

- ▶ Alle Vorgänge / Phänomene lassen sich auf 4 Wechselwirkungen zurückführen

Hangabtriebskraft,
Wasserkraft,
Gasdruck,
Radiowellen,
Luftreibung,
Radioaktiver Zerfall,
...
...



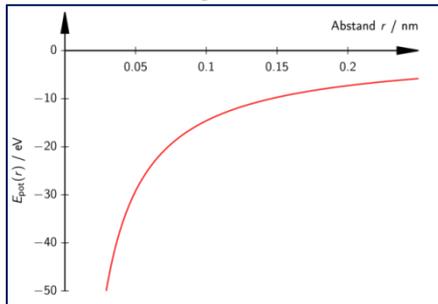
**4 Fundamentale
Wechselwirkungen**

**(Ober)-Begriff
Wechselwirkung**

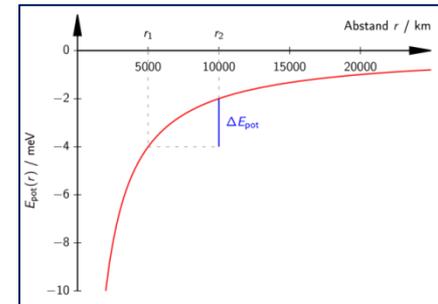
= Kraft + Umwandlung + Erzeugung +
Vernichtung

Ausgangspunkt: Beschreibung der Vorgänge mit 2 bekannten Wechselwirkungen

► Elektromagnetische WW

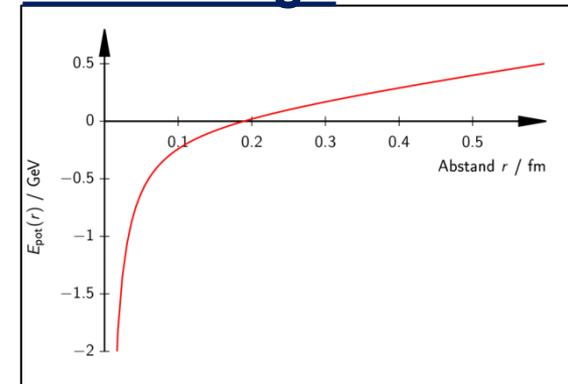


► Gravitation



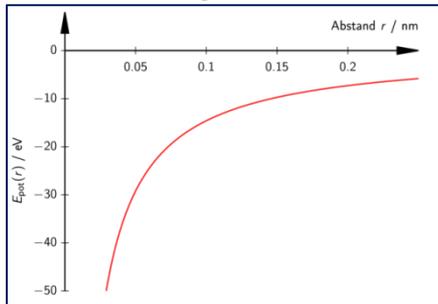
► Warum „halten“ die 8 Protonen im Sauerstoffkern zusammen, obwohl sie sich elektro-magnetisch abstoßen?

► Einführung: starke WW

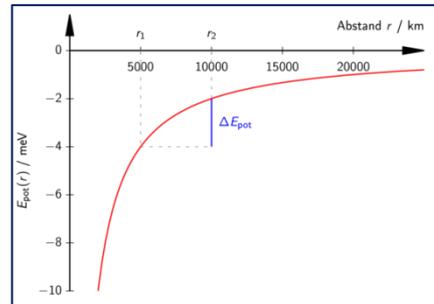


Die vierte fundamentale Wechselwirkung

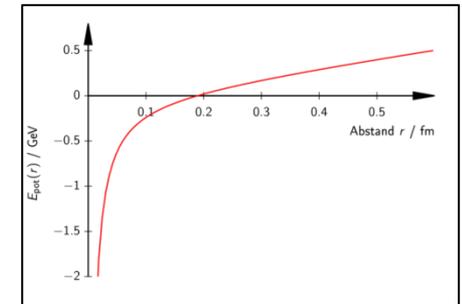
▶ Elektromagnetische WW



▶ Gravitation

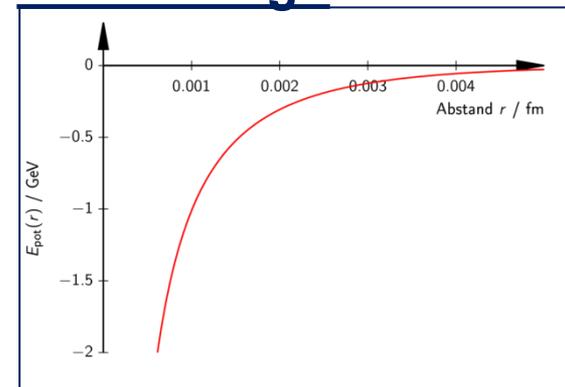


▶ starke WW



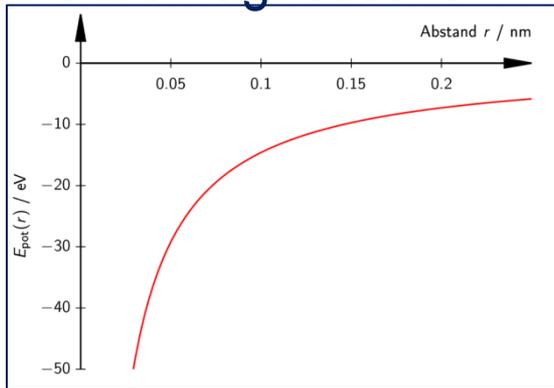
▶ Warum scheint die Sonne seit nunmehr über vier Milliarden Jahren?

▶ **Einführung: schwache WW**

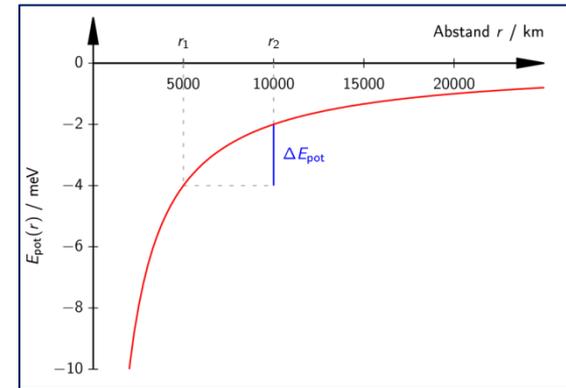


Vergleich der potenziellen Energien

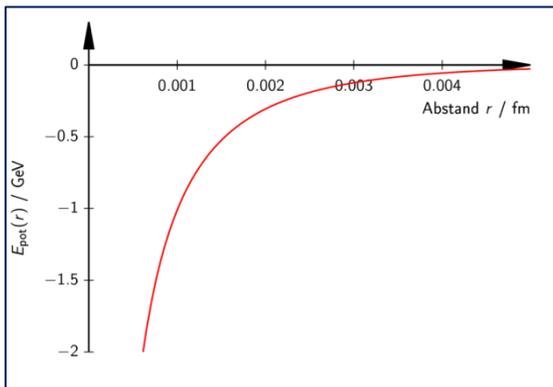
▶ Elektromagnetische WW



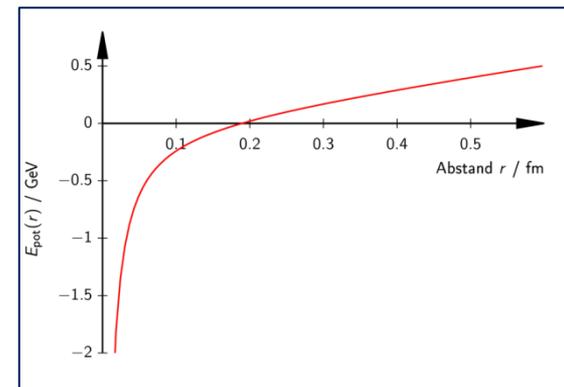
▶ Gravitation



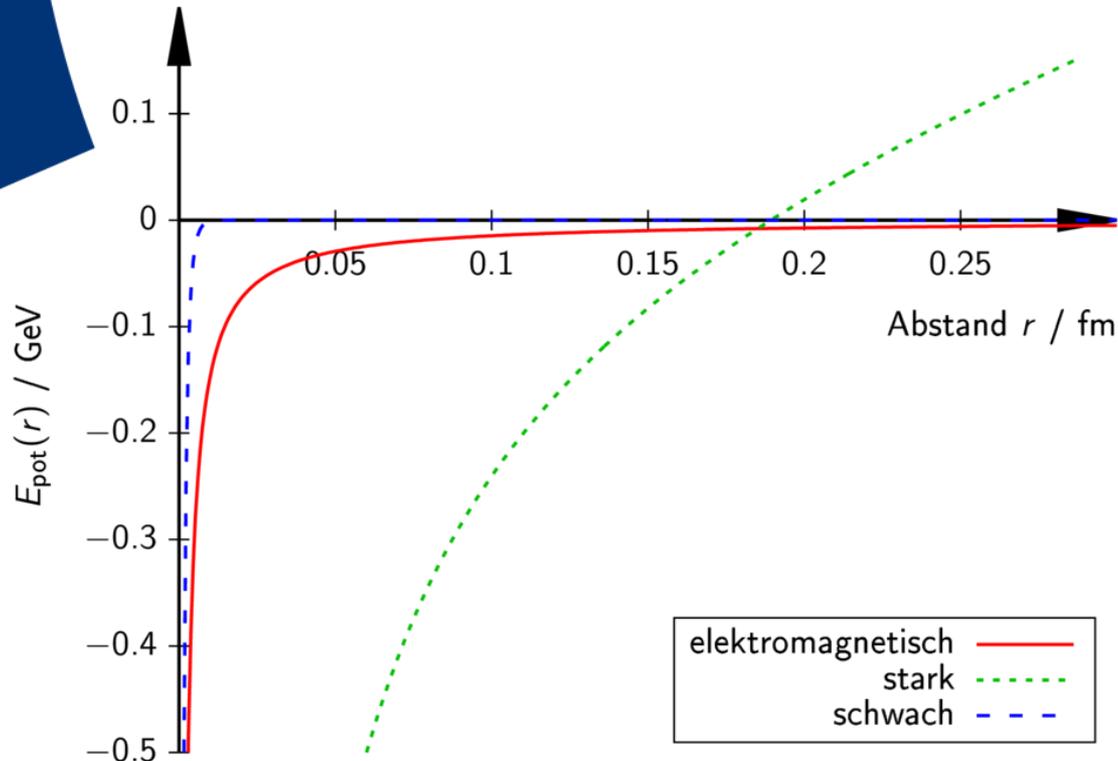
▶ schwache WW



▶ starke WW



Vergleich der potenziellen Energien



► Erkennbar: mit wenigen, ähnlichen Prinzipien die Vorgänge der Welt beschreiben

► Das Konzept der Ladung (elektrische Ladung) sollte erweitert werden

Ausgangspunkt: Konzept der Ladung



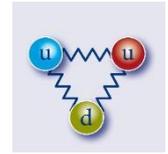
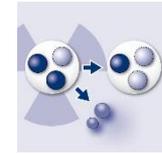
- ▶ Ladungszahl als charakteristische Teilcheneigenschaft
- ▶ Bekannt:
 - Elektrische Ladung

$$Q = q \cdot e$$

Elektrische Ladungszahl

Elementarladung

Erweiterung: Konzept der Ladung



- ▶ Einführung: Zu jeder Wechselwirkung existiert eine Ladung
- ▶ Ladungszahl als charakteristische Teilcheneigenschaft

▶ Bekannt:

- Elektrische Ladung

▶ Neu:

- Schwache Ladung
- Starke (Farb-)Ladung

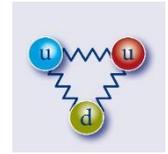
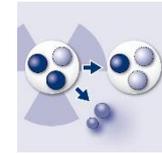
elektrische Ladungszahl q

schwache Ladungszahl I

starker Farbladungsvektor \vec{C}

- ▶ Produkt zweier Ladungen kann positiv und negativ sein

Erweiterung: Konzept der Ladung



► Coulombsches Gesetz

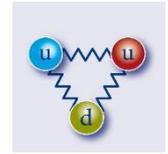
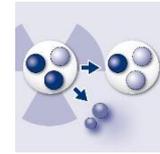
$$\text{► } F_C = \frac{e^2}{4 \pi \epsilon_0} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

► Mit $\alpha_{em} = \frac{1}{4 \pi} \cdot \frac{e^2}{\epsilon_0 \hbar c} \approx \frac{1}{137}$ Kopplungsparameter (früher: Feinstrukturkonstante)

► Einführung Kopplungsparameter α auch für andere Wechselwirkungen

► $\alpha_w, \alpha_s, \alpha_{grav}$

Erweiterung: Konzept der Ladung

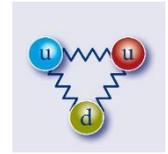
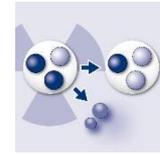


- ▶ Kopplungsparameter der Gravitation zwischen Teilchen1 und Teilchen2: $\alpha_{grav}^{12} = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{\hbar c}$

- ▶ Beispiel: α_{grav} zwischen Proton (p) und Elektron (e)

- $\alpha_{grav}^{pe} = G \cdot \frac{m_p \cdot m_e}{\hbar c} \approx \frac{1}{3 \cdot 10^{41}}$
- Erinnerung: $\alpha_{em}^{pe} \approx \frac{1}{137}$
- Vergleich: $\frac{\alpha_{em}^{pe}}{\alpha_{grav}^{pe}} \approx 2 \cdot 10^{39}$

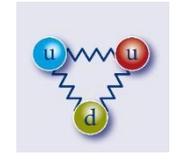
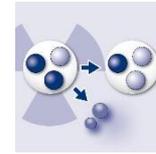
Ladung der Gravitation?



Warum kann die Masse m eines Teilchens nicht die Ladung der Gravitation sein?

- ▶ Masse ist keine Erhaltungsgröße
- ▶ Produkt zweier Massen $m_1 \cdot m_2$ kann nicht negativ sein

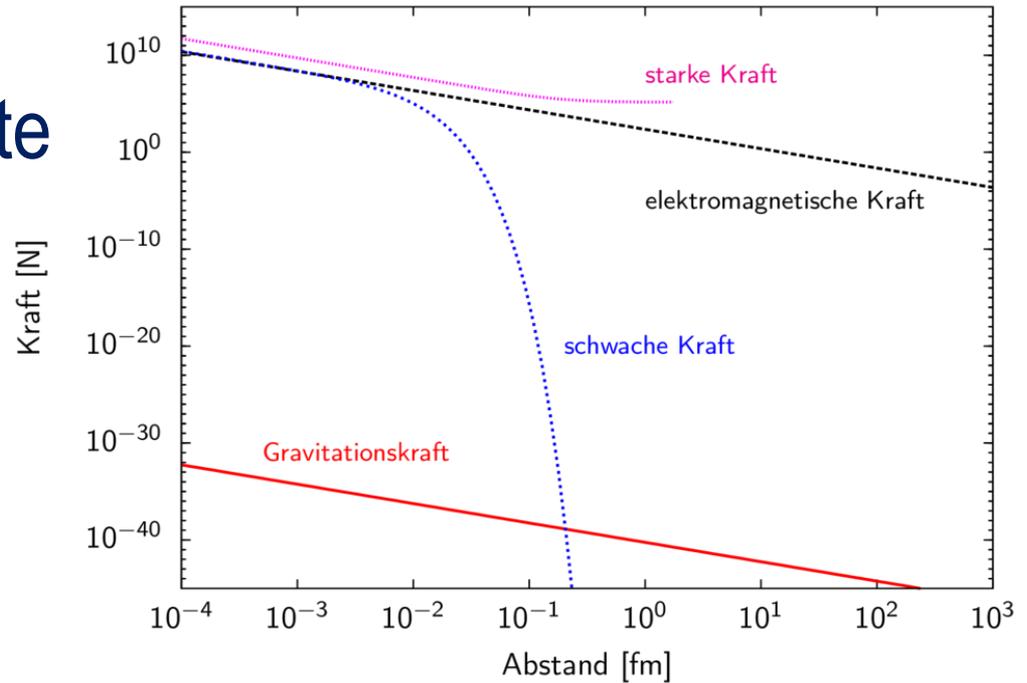
Konzept der Ladung



- ▶ Ladungen sind fundamentale Erhaltungsgrößen
 - Grundlage der Symmetrien des Standardmodells
- ▶ Ladungen sind charakteristische Teilcheneigenschaften
- ▶ Ladungen dienen als Ordnungsprinzip

Vergleich der Kräfte

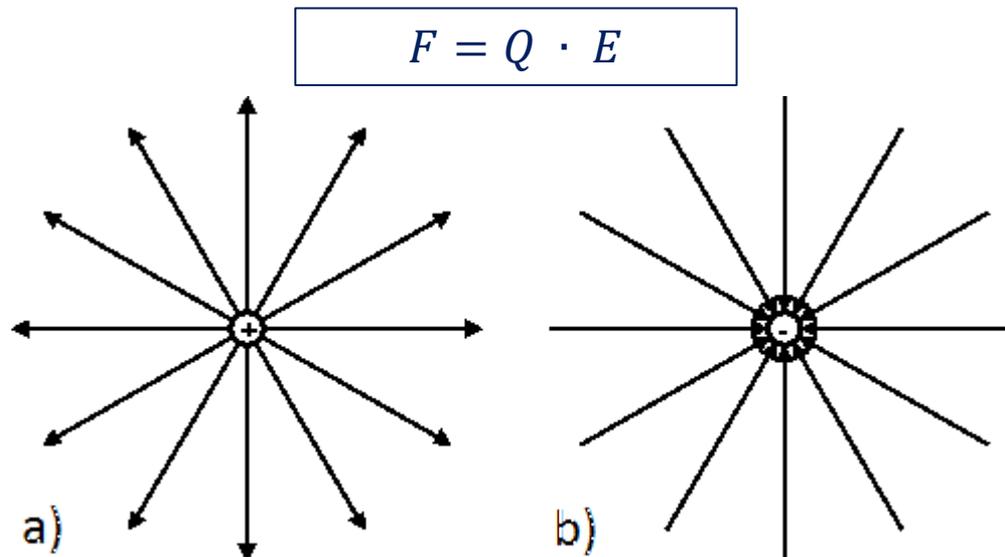
► Diskussion $\sim \frac{1}{r^2}$



Wechselwirkung	Kraftgesetz für $r \rightarrow 0$	Reichweite	Kopplungsparameter α
Gravitation	$F_G = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{grav} \cdot \frac{-1}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{grav} \approx \frac{1}{10^{38}}, \dots, \frac{1}{10^{45}}$
elektromagnetisch	$F_C = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{em} \approx \frac{1}{137}$
stark	$F_s = \hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{c}_1 \cdot \vec{c}_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-15}$ m	$\alpha_s \approx \frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{10}$
schwach	$F_w = \hbar \cdot c \cdot \alpha_w \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-18}$ m	$\alpha_w \approx \frac{1}{30}$

Geometrische Betrachtung

- ▶ Klassische Physik: Feldlinien, hier elektromagnetische WW
die **Dichte** der Feldlinien ist **proportional** zur **Stärke** der Kraft



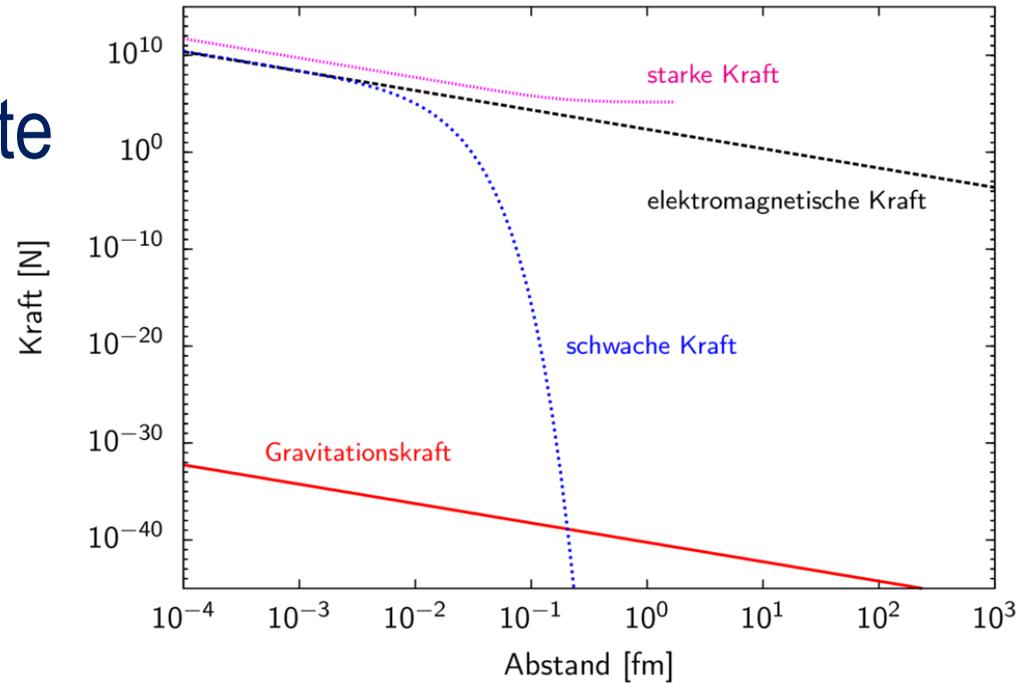
$$A = 4\pi r^2$$

↓

$$F \sim \frac{1}{4\pi r^2}$$

Vergleich der Kräfte

► Diskussion
Reichweiten



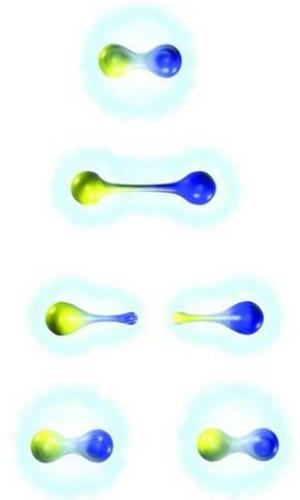
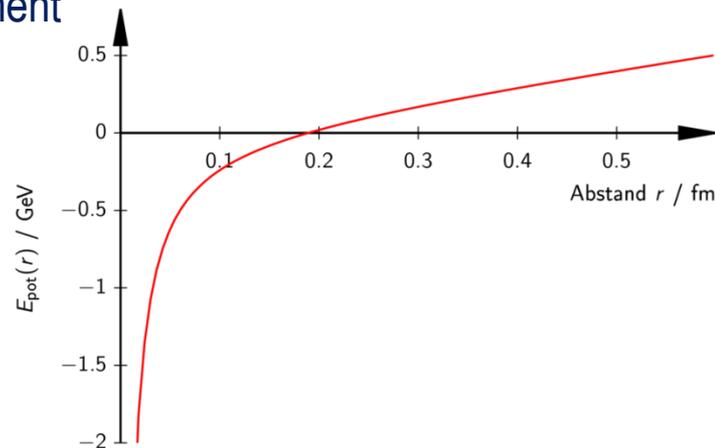
Wechselwirkung	Kraftgesetz für $r \rightarrow 0$	Reichweite	Kopplungsparameter α
Gravitation	$F_G = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{grav} \cdot \frac{-1}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{grav} \approx \frac{1}{10^{38}}, \dots, \frac{1}{10^{45}}$
elektromagnetisch	$F_C = \hbar \cdot c \cdot \alpha_{em} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$	unendlich	$\alpha_{em} \approx \frac{1}{137}$
stark	$F_S = \hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{c}_1 \cdot \vec{c}_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-15} \text{ m}$	$\alpha_s \approx \frac{1}{2}, \dots, \frac{1}{10}$
schwach	$F_W = \hbar \cdot c \cdot \alpha_w \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r^2}$	$2 \cdot 10^{-18} \text{ m}$	$\alpha_w \approx \frac{1}{30}$

Endliche Reichweiten

► Starke Wechselwirkung: Confinement („Eingesperrtheit“)

►
$$E_{Pot}(r) = -\hbar \cdot c \cdot \alpha_s \cdot \frac{\vec{C}_1 \cdot \vec{C}_2}{r} + \mathbf{k} \cdot \mathbf{r}$$

- Linearer Term, ab $r \approx 1$ fm
- Im Feld gespeicherte Energie steigt streng monoton
- Genügend Energie um neue Teilchen(-paare) zu erzeugen!
- Begriff: Confinement

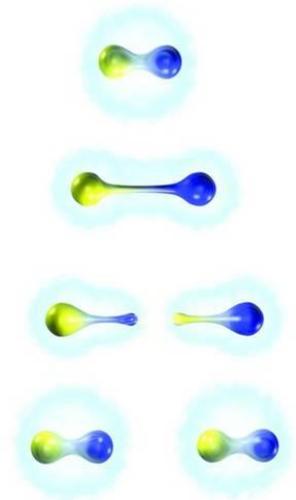


Endliche Reichweiten

► Confinement

► Beispielrechnung: Separation eines Quark-Anti-Quark-Paares

- $W = k \cdot \Delta r = 930 \frac{\text{MeV}}{\text{fm}} \cdot \mathbf{0,7 \text{ fm}} = 650 \text{ MeV}$
- Folgerung: Bereits bei einer zusätzlichen Separation von $\Delta r = \mathbf{0,7 \text{ fm}}$ über den typischen Bindungsabstand von $r \approx 0,3 - 1,3 \text{ fm}$ hinaus können neue Quark-Anti-Quark-Paare entstehen.



Endliche Reichweiten

► Schwache Wechselwirkung

- Massereiche Botenteilchen: ergeben endliche Reichweite

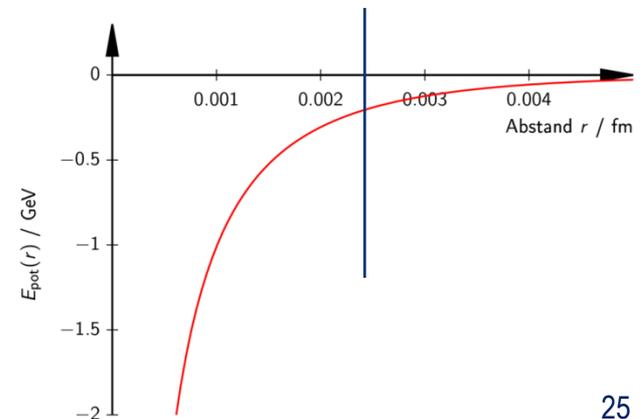
- Heisenberg'sche Unschärferelation
- Exakte Argumentation schwierig
- Mathematische Herleitung möglich (Feynman-Propagatoren), liegt außerhalb der hier behandelten Themen

- Klassisches Analogon: Abschirmung von Feldlinien

- Abschirmung von (unendlichen) Feldlinien durch entgegengesetzte Feldlinien
- Brout-Englert-Higgs Feld (BEH-Feld) schirmt schwache Ladungen ab

►
$$E_{Pot}(r) = -\hbar \cdot c \cdot \alpha_w \cdot \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \cdot e^{\frac{-r}{\lambda_w}}$$

► Mit $\lambda_w = \frac{\hbar}{m_w c} \approx 0,0024 \text{ fm}$



Zusammenfassung: Wechselwirkungen

- ▶ Alle bekannten Vorgänge im Universum lassen sich auf 4 fundamentale Wechselwirkungen zurückführen
 - (elektromagnetische, schwache, starke, Gravitation)
- ▶ 3 dieser WWn werden im Standardmodell der Teilchenphysik beschrieben **und besitzen sehr ähnliche Grundprinzipien**
- ▶ Nur 2 WWn besitzen eine unendliche Reichweite, während die beiden anderen auf subnukleare Abstände beschränkt sind

→ Wechselwirkungen werden durch Ladungen hervorgerufen

Elektrische Ladung

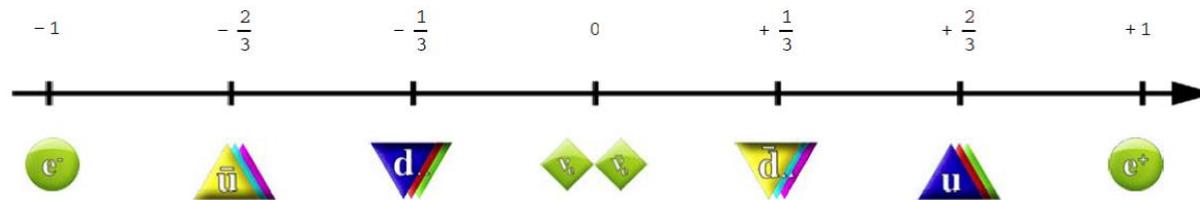


- ▶ spezifischer Wert der elektrischen Ladung durch J.J. Thomson bestimmt
- ▶ Millikan bekräftigte in seinem Öltröpfchenversuch die These der Quantisierung der elektrischen Ladung
- ▶ elektrische Elementarladung $e = 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{C}$
 - in TP: Angabe von elektrischer Ladung q in Einheiten von e

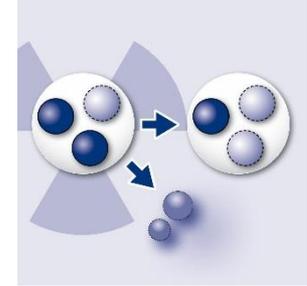
Elektrische Ladung



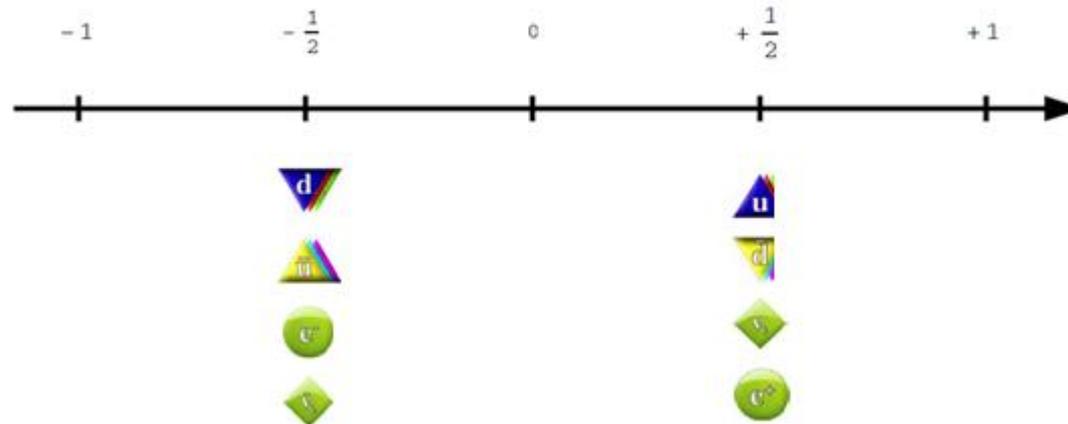
- Übersicht über die elektrischen Ladungszahlen q einiger Anti-/Materieteilchen



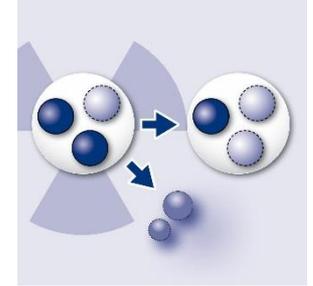
Schwache Ladung



- ▶ Materieteilchen besitzen entweder eine schwache Ladungszahl von $I = +\frac{1}{2}$ oder $I = -\frac{1}{2}$
 - alle Materieteilchen nehmen an der schwachen WW teil



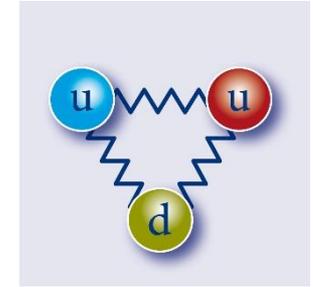
Schwache Ladung



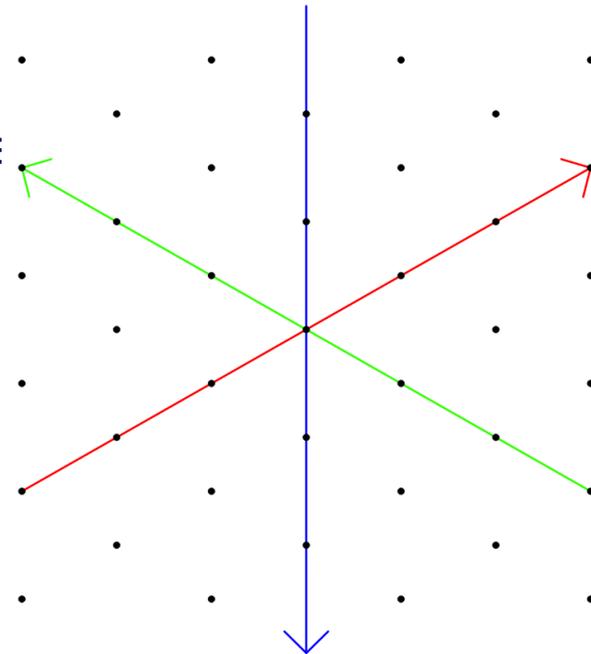
- ▶ Teilchen bilden Dupletts, die sich sowohl in I als auch in q um den Betrag eins unterscheiden
- ▶ Beispiel: Elektron-Neutrino und Elektron

$$\begin{pmatrix} \nu_e \\ e^- \end{pmatrix} \begin{matrix} I = +\frac{1}{2} & q = 0 \\ I = -\frac{1}{2} & q = -1 \end{matrix}$$

Starke Ladung

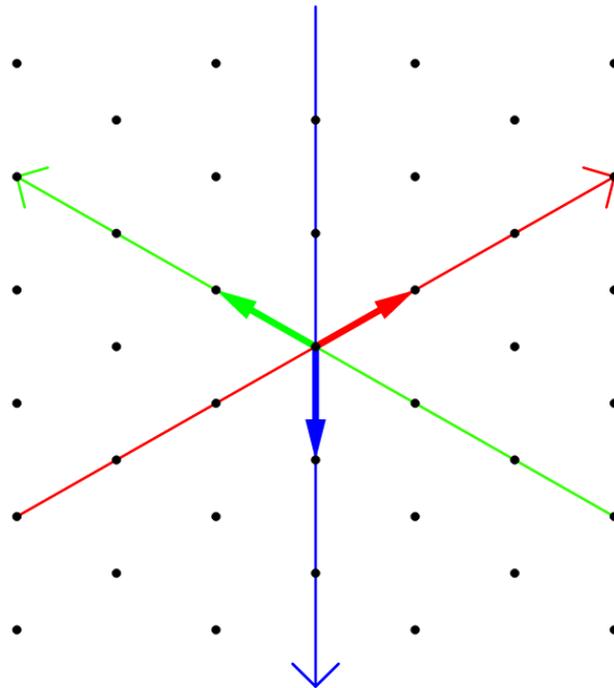
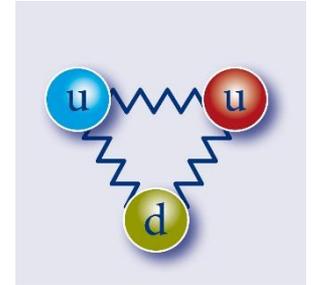


- ▶ Quarks und Anti-Quarks besitzen eine starke Ladung (auch: „Farbladung“)
 - Protonen und Neutronen bspw. beste aus Quarks
- ▶ Ladung mit Vektorcharakter: Farbgitter



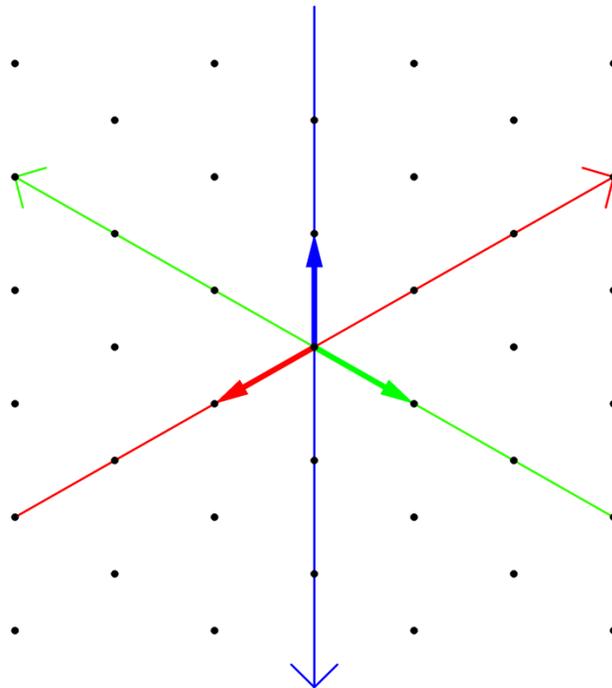
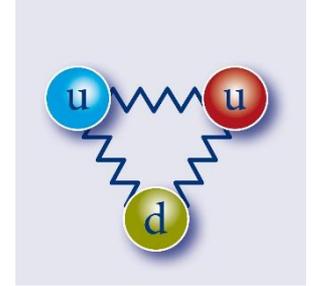
Starke Ladung

► Farbladungen von Quarks



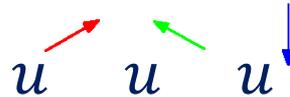
Starke Ladung

► Farbladungen von Anti-Quarks

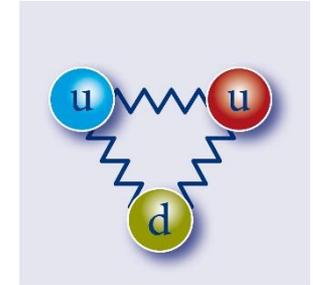


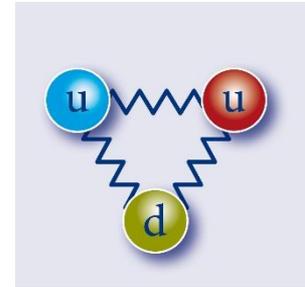
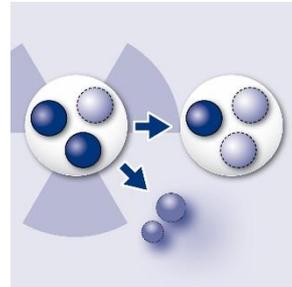
Starke Ladung

- ▶ Quarks bilden Farbtripletts
- ▶ Beispiel: Up-Quarks



- ▶ Die drei Farben bzw. eine Farbe und ihre Anti-Farbe addieren sich zu farbneutral
- ▶ Alle zusammengesetzten Teilchen müssen farbneutral sein





- ▶ Alle drei Ladungen sind additiv

Beispiel: Ladungszahlen eines Protons $p(u, u, d)$

- Elektrische Ladungszahl:

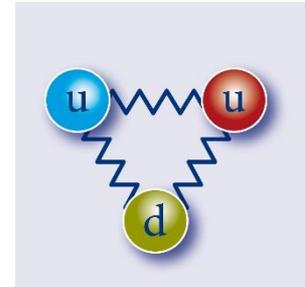
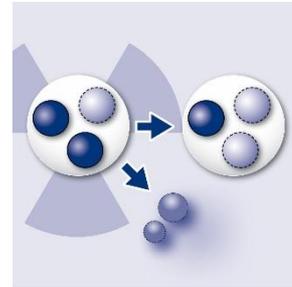
$$q_p = q_u + q_u + q_d = +\frac{2}{3} + \frac{2}{3} - \frac{1}{3} = +1$$

- Schwache Ladungszahl:

$$I_p = I_u + I_u + I_d = +\frac{1}{2} + \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = +\frac{1}{2}$$

- Starker Farbladungsvektor:

$$\vec{C}_p = \vec{C}_u + \vec{C}_u + \vec{C}_d = \vec{0} + \vec{0} + \vec{0} = \vec{0}$$



- ▶ Alle drei Ladungen sind erhalten

Beispiel: β -Umwandlung $n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}_e$

- Elektrische Ladungszahl:

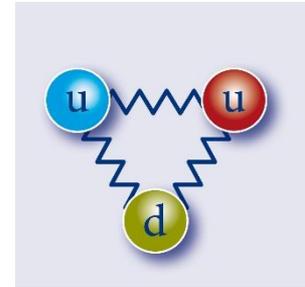
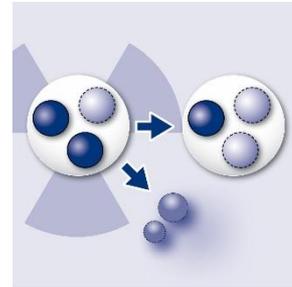
$$0 \rightarrow +1 - 1 + 0 = 0$$

- Schwache Ladungszahl:

$$-\frac{1}{2} \rightarrow +\frac{1}{2} - \frac{1}{2} - \frac{1}{2} = -\frac{1}{2}$$

- Starker Farbladungsvektor:

$$\vec{0} \rightarrow \vec{0} + \vec{0} + \vec{0} = \vec{0}$$



▶ Alle drei Ladungen sind erhalten

- mit Energie- und Impulserhaltung ist eine Vorhersage möglich, ob bestimmte Prozesse erlaubt oder unmöglich sind

Zusammenfassung: Ladungen

- ▶ Drei verschiedene Ladungen
 - Elektrisch
 - Schwach
 - Stark
- ▶ Ladungen sind
 - additiv
 - erhalten
 - Vorhersage zu erlaubten Prozessen
 - gequantelt

Diskussion / Fragen – zum Fachvortrag 1

► Wir freuen uns auf Ihre Mitarbeit



Kaffee Pause

Nächster Vortrag: 10:30 Uhr!



10:30 – 11:00 Uhr

Darstellen von Wechselwirkungen

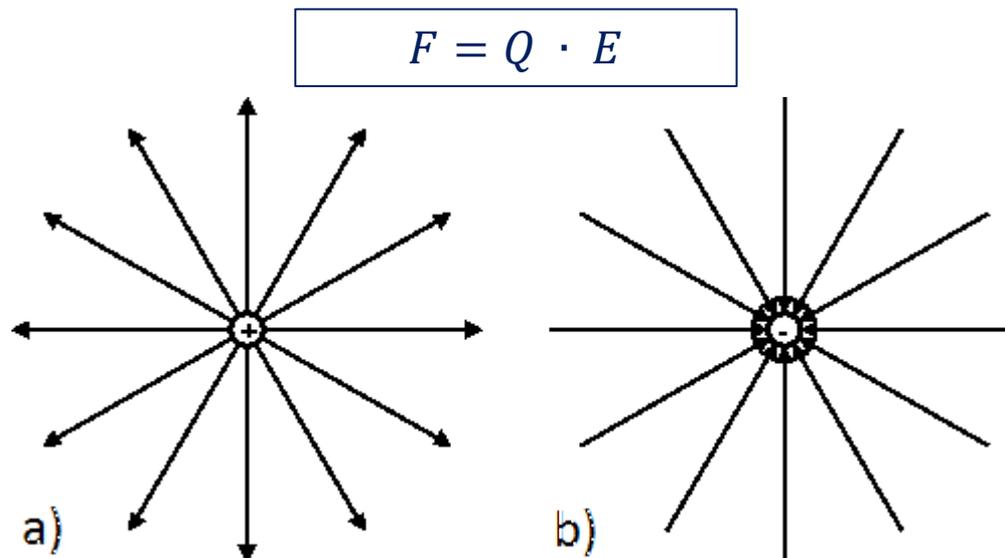
„Teilchenzoo“ | Multipletts | Ordnungsschema

Fachvortrag 2

Darstellen von Wechselwirkungen

► Klassische Physik: Feldlinien

für Wechselwirkungen mit unendlicher Reichweite
hier: elektromagnetische Wechselwirkung



$$A = 4\pi r^2$$

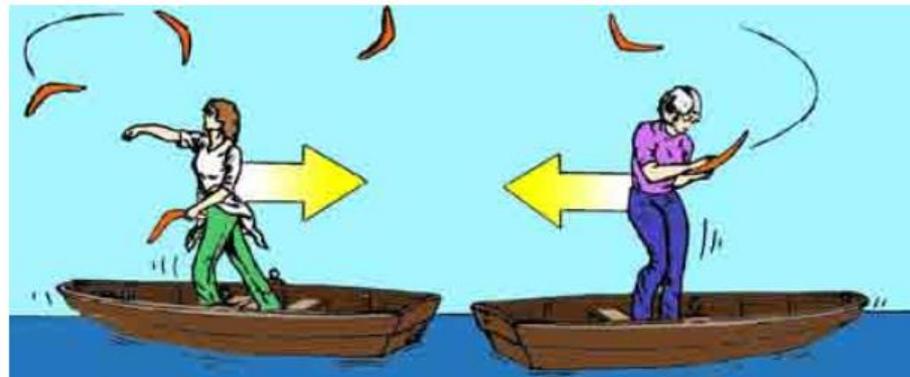
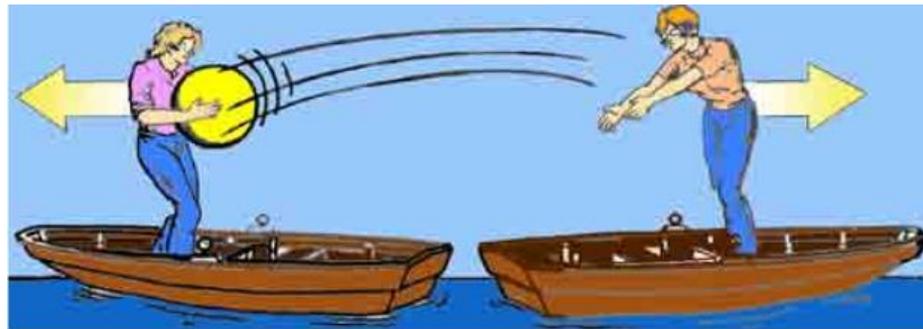
↓

$$F \sim \frac{1}{4\pi r^2}$$

Darstellen von Wechselwirkungen

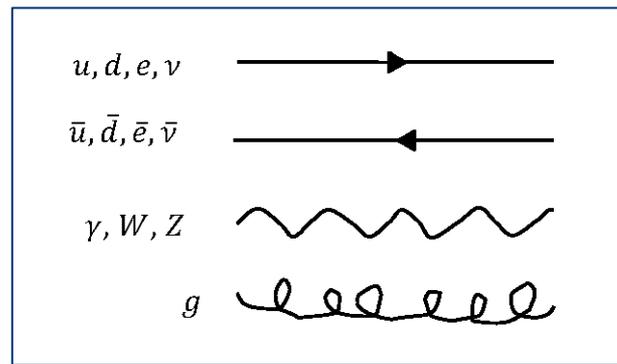
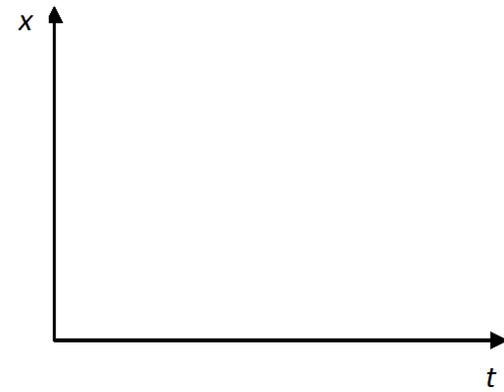
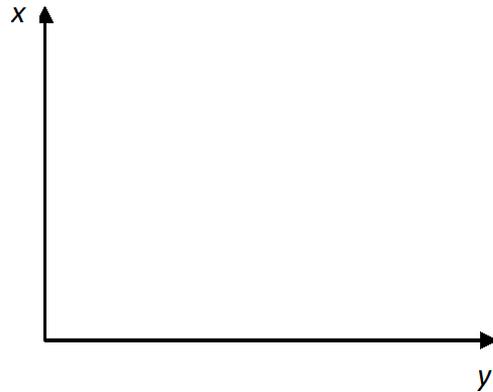
► Analogie: Austausch eines Botenteilchens

Anstelle der Feldlinien kann die elektromagnetische Wechselwirkung auch durch den Austausch eines Botenteilchens (hier: Photon) beschrieben werden



Feynman-Diagramme

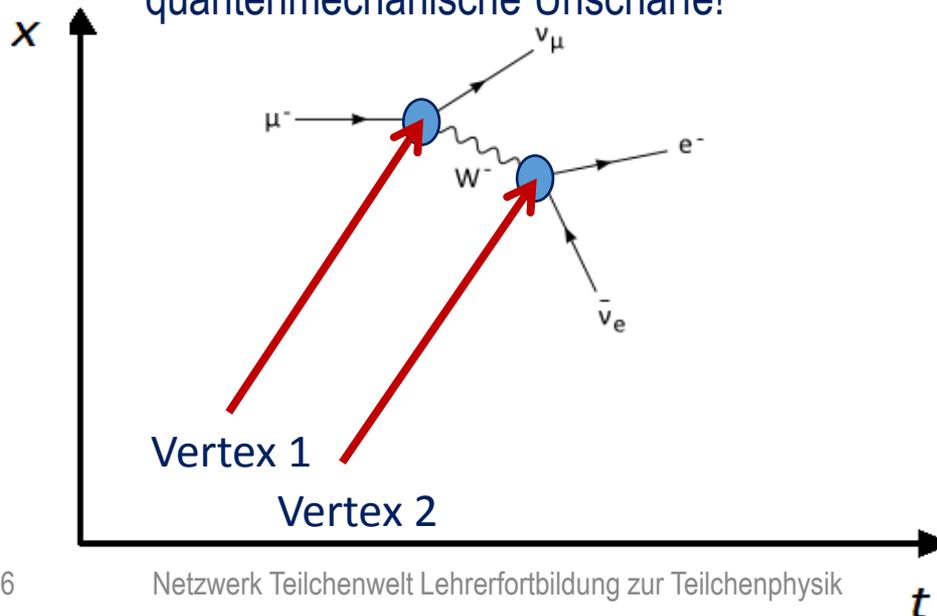
► Aufbau



Feynman-Diagramme

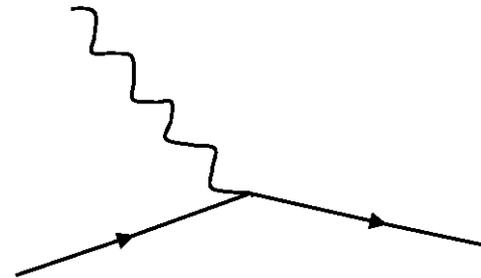
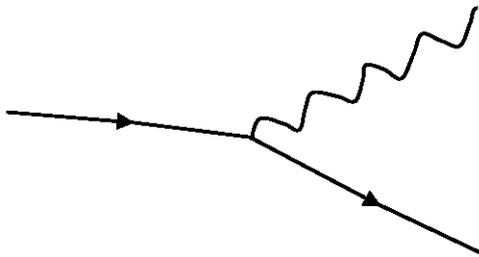
► Begriffsklärung:

- Vertex / Vertices (plural)
- Wechselwirkung wird dadurch dargestellt, dass sich die Teilchen „treffen“ (an einem „bestimmtem Ort“, zur einer „bestimmten Zeit“)
- **Achtung!** nur in Bezug auf Darstellung im Orts-Zeit-Diagramm. In Realität: quantenmechanische Unschärfe!



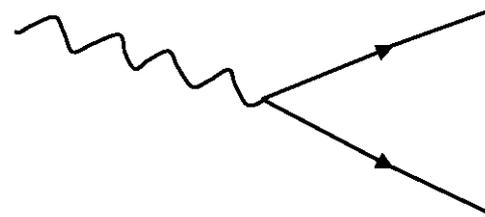
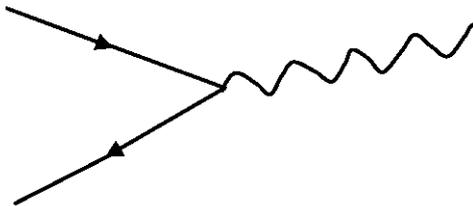
Grundbausteine 1/2

▶ Abstrahlung und Einfang eines Austauschteilchens



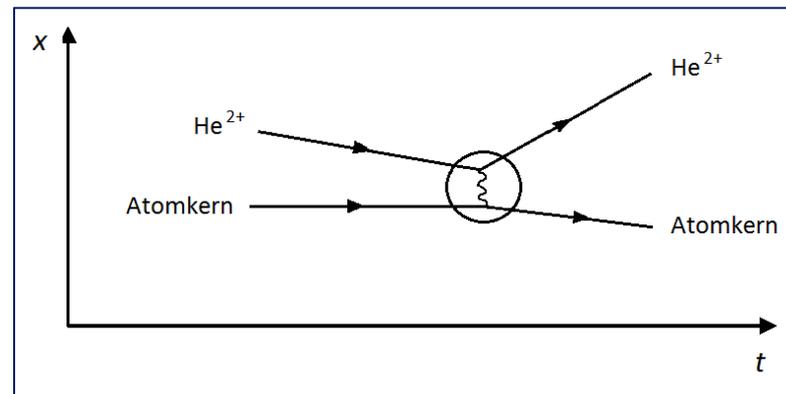
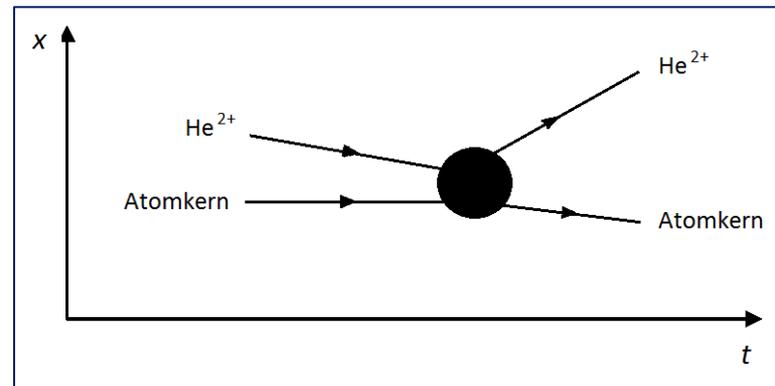
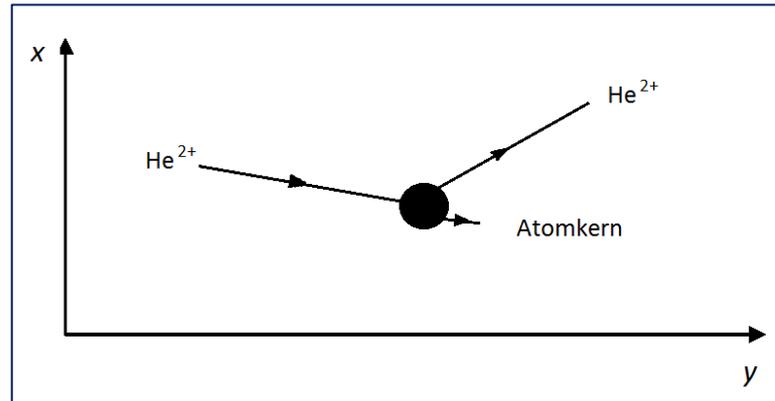
Grundbausteine 2/2

▶ Paarvernichtung und Paarerzeugung



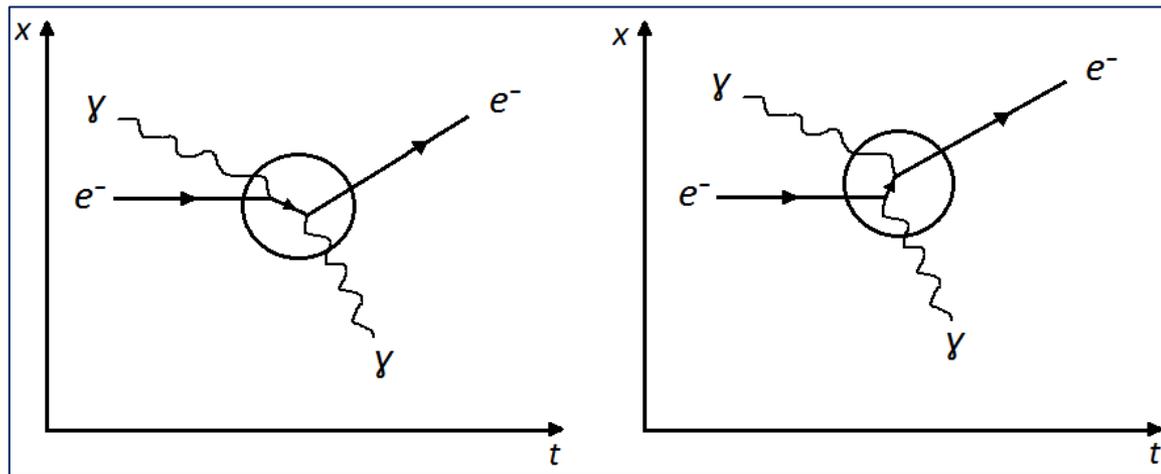
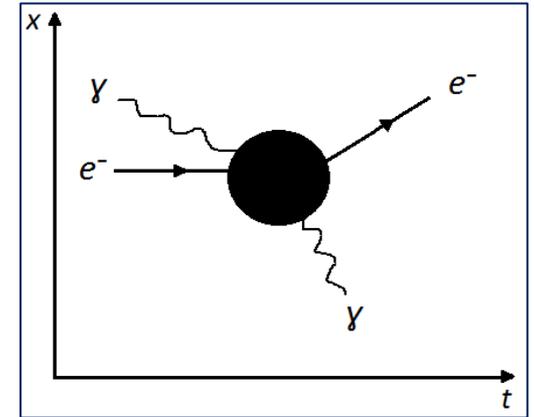
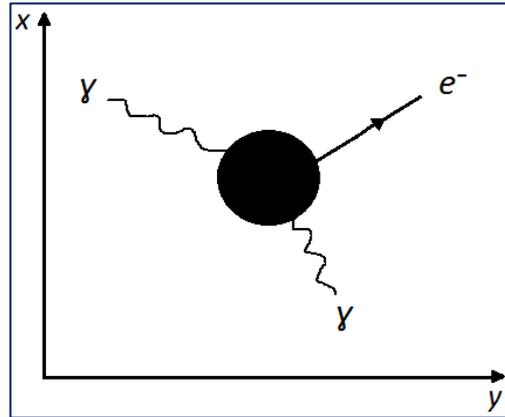
Prozesse

► Rutherford-Streuung



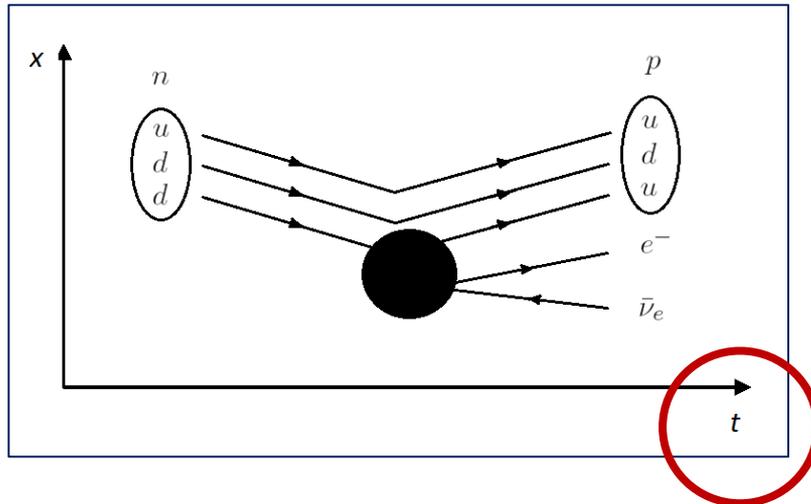
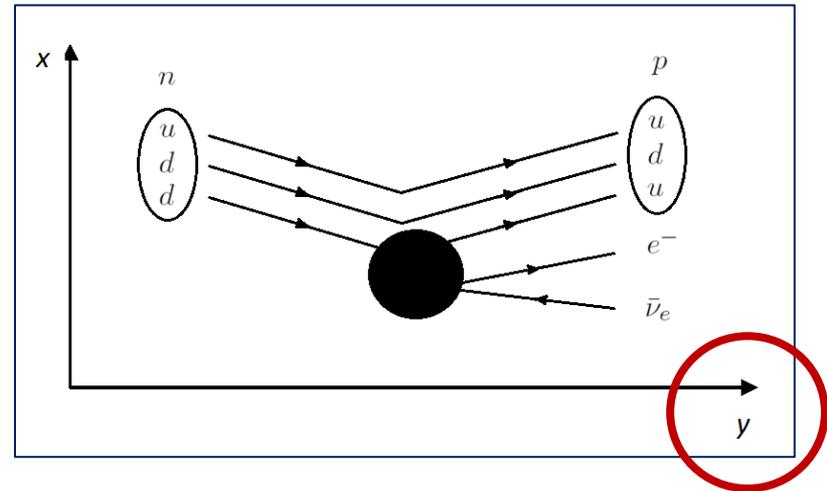
Prozesse

► Compton-Streuung



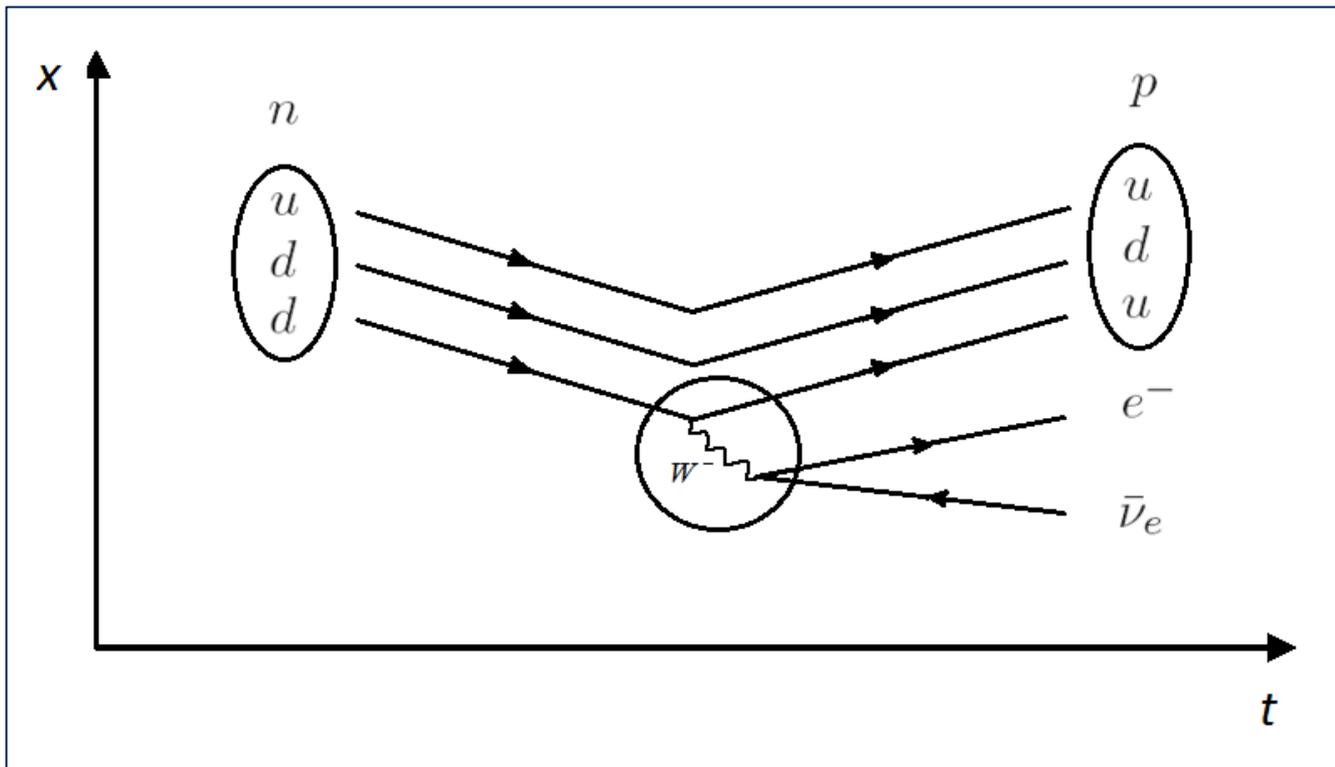
Prozesse

► β^- -Umwandlung



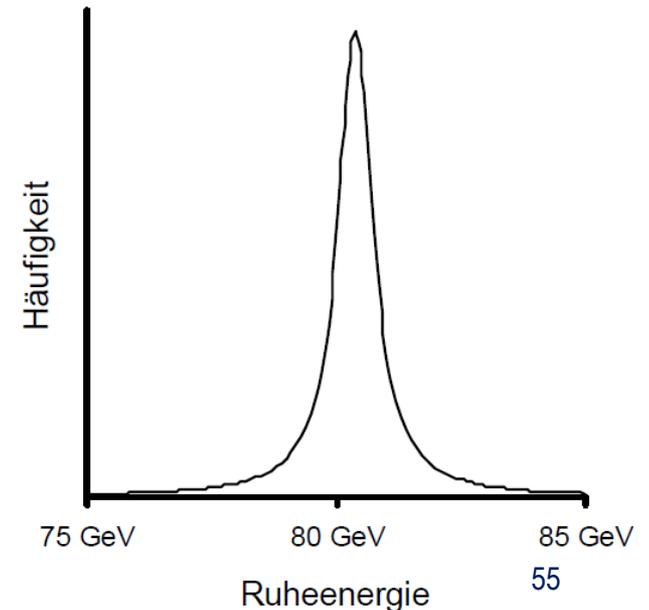
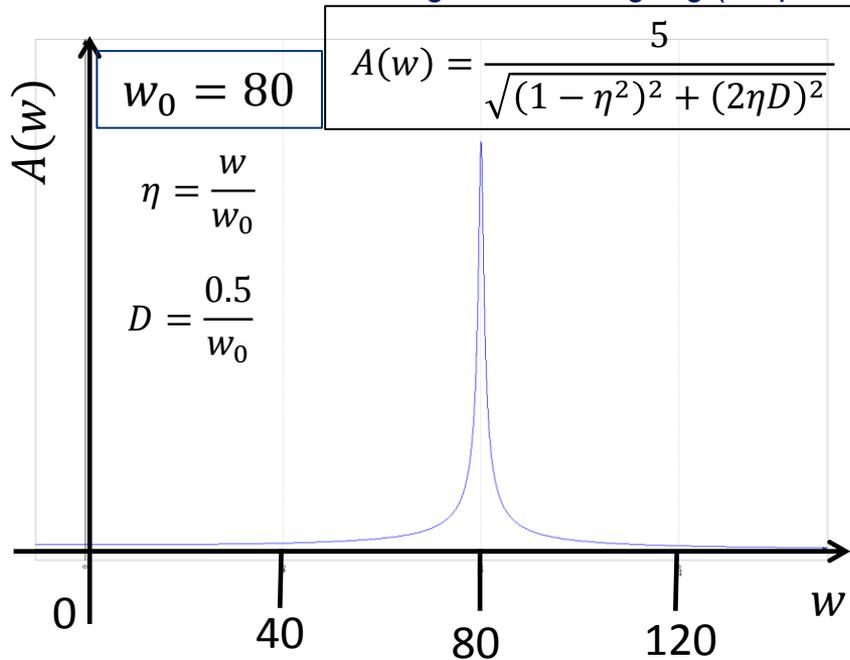
Prozesse

- ▶ β^- -Umwandlung + Diskussion „virtuelle Teilchen“



Virtuelle Teilchen

- ▶ Massendifferenz ($\Delta E = m_n c^2 - m_p c^2 = 1,3 \text{ MeV}/c^2$)
- ▶ Masse(W-Boson = $80.400 \text{ MeV}/c^2$)
- ▶ Grafik links: erzwungene Schwingung (Amplitude A in Abhängigkeit von Anregungsfrequenz w)



Zusammenfassung: Feynman-Diagramme

- ▶ Wechselwirkungen werden in der Teilchenphysik durch den Austausch von Botenteilchen beschrieben
- ▶ Wechselwirkungen werden mittels Feynman-Diagrammen dargestellt
- ▶ Eine Vorstufe der Feynman-Diagramme ist das x - y -Diagramm
- ▶ Ein Feynman-Diagramm ist ein x - t -Diagramm (Zeitachse nach rechts)
- ▶ Wechselwirkungen werden durch sich „treffende“ Teilchen symbolisiert (Vertex, Vertices)
 - (Achtung: „Treffen“ nur im Diagramm / in Realität: Unschärfe)

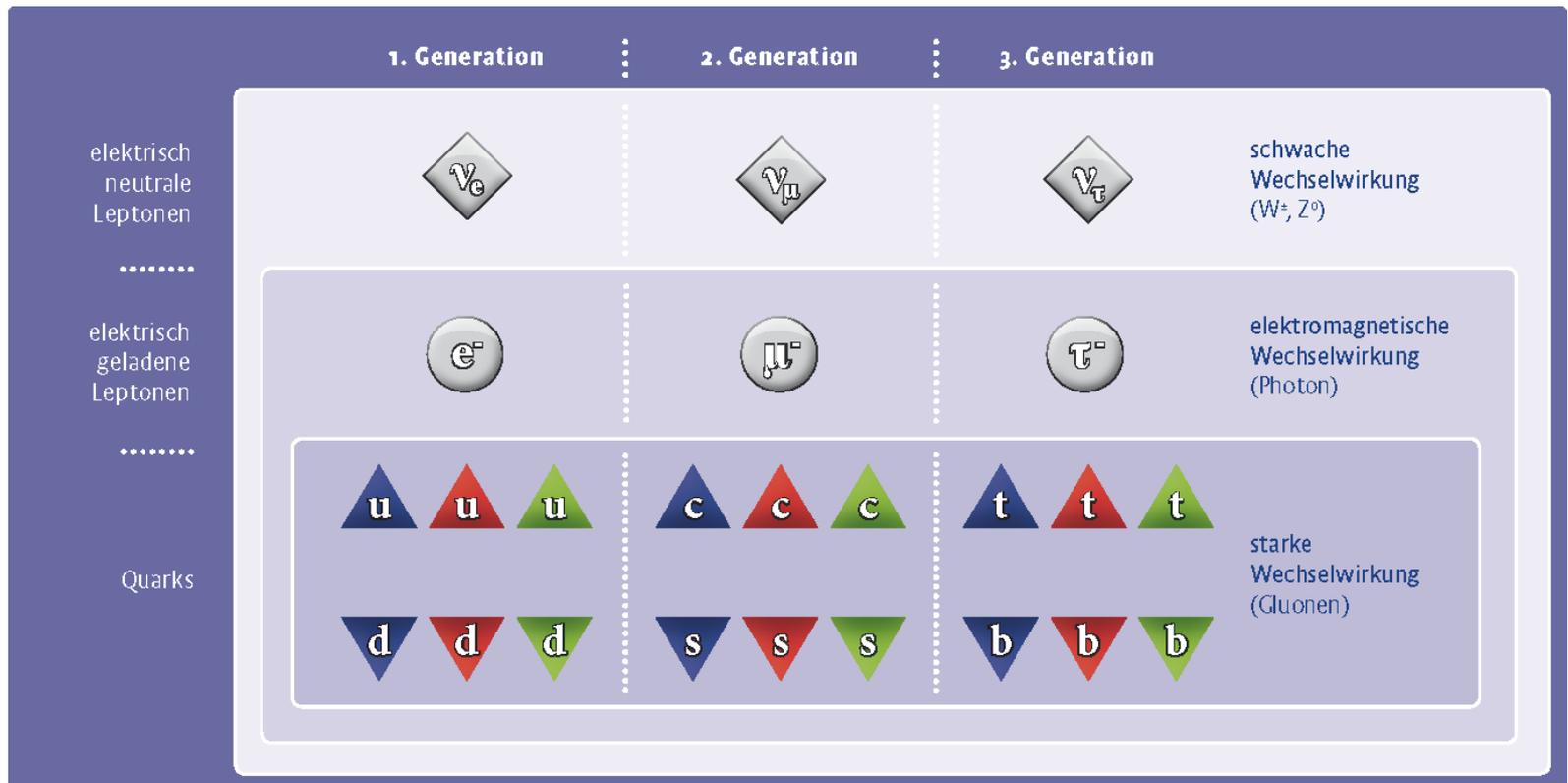
„Teilchenzoo“ oder Ordnung?

- ▶ Uns umgebende Materie besteht aus Up-und Down-Quarks, Elektronen und Elektron-Neutrinos
- ▶ 1936: Entdeckung des Myons
 - Gleiche Ladungszahlen wie das Elektron
 - 200 Mal schwerer als das Elektron
 - Schwere „Kopie“ des Elektrons
- ▶ 1975: Entdeckung des Tauons: schwere „Kopie“ des Myons

Teilchenzoo

- ▶ Entdeckung weiterer Teilchen
- ▶ ausschließlich „schwere Kopien“ der Up- und Down-Quarks sowie des Elektrons und des Elektron-Neutrinos
 - Von jedem der leichten Materieteilchen (u, d, e^-, ν_e) gibt es je zwei Kopien, die größere Massen besitzen.
- ▶ Wie lassen sich Teilchen ordnen?

Anordnung von Teilchen in Generationen



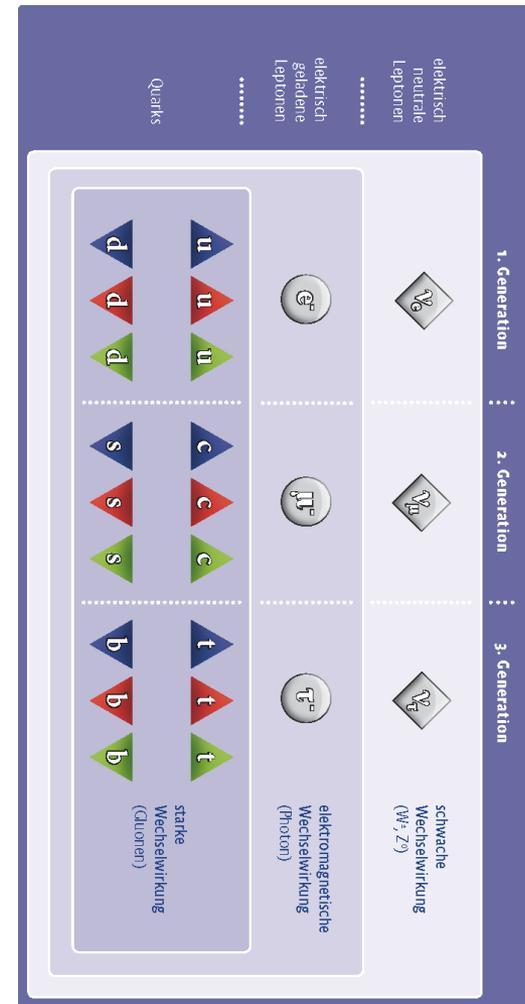


Ordnungsschema: Analogie zum Periodensystem

- ▶ Analogie zum Periodensystem der Elemente (PSE) in der Chemie
- ▶ Drehen der Abbildung um 90° im Uhrzeigersinn
 - Teilchen sind nach Ladungen geordnet analog den chemischen Elementen in die Hauptgruppen
 - Im PSE sind die chemischen Elemente innerhalb einer Hauptgruppe von oben nach unten nach ihrer Masse aufsteigen geordnet
 - Analog dazu sind auch die Elementarteilchen in den um 90° gedrehten Darstellungen bezüglich der drei Generationen aufsteigend von oben nach unten nach ihrer Masse geordnet

Ordnungsschema: Analogie zum Periodensystem

IA																	VIIIA	
1	H																	He
2	Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
3	Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
6	Cs	Ba	*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
7	Fr	Ra	**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Cn	Uut	Fl	Uup	Lv	Uus	Uuo
			* Lanthanoiden															
			57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	
			La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	
			** Actinoiden															
			89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
			Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr	

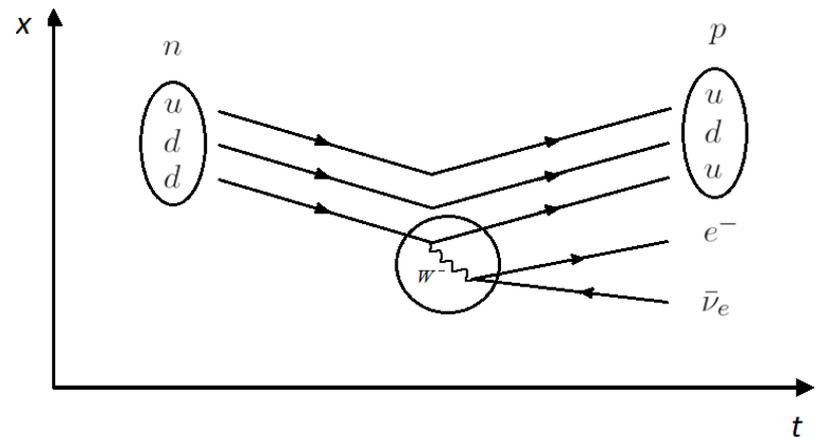


Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Schwache Wechselwirkung

- Nur bestimmte Paare von Teilchen beteiligt
- Unterscheiden sich in schwacher Ladungszahl I und in elektrischer Ladungszahl q immer genau um Betrag 1
- Dupletts der schwachen Wechselwirkung

► $\begin{pmatrix} u \\ d \end{pmatrix} \quad \begin{matrix} I = +1/2 & q = +2/3 \\ I = -1/2 & q = -1/3 \end{matrix}$



Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Schwache Wechselwirkung

- Drei Up-Quarks mit Farbladungsvektoren \rightarrow , \swarrow , oder \downarrow haben alle schwache Ladungszahl $I = +\frac{1}{2}$, Down-Quarks hingegen $I = -\frac{1}{2}$

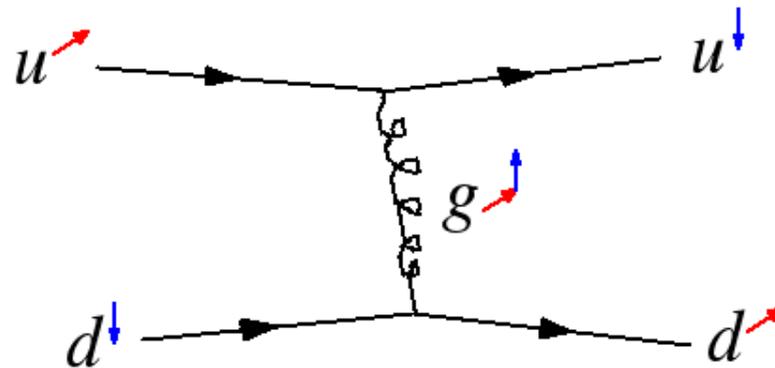
- $\begin{pmatrix} u \rightarrow \\ d \rightarrow \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} u \swarrow \\ d \swarrow \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} u \downarrow \\ d \downarrow \end{pmatrix}$

Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Starke Wechselwirkung

- Durch Gluonen nur Änderung der Farbladung eines Teilchens
- Drei verschiedene Farbladungsvektoren für Quarks:
Quarks bilden Triplets bezüglich der starken Wechselwirkung

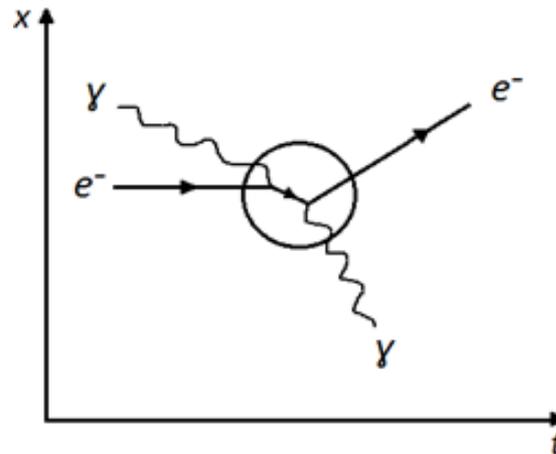
► $(u \rightarrow u \rightarrow u)$



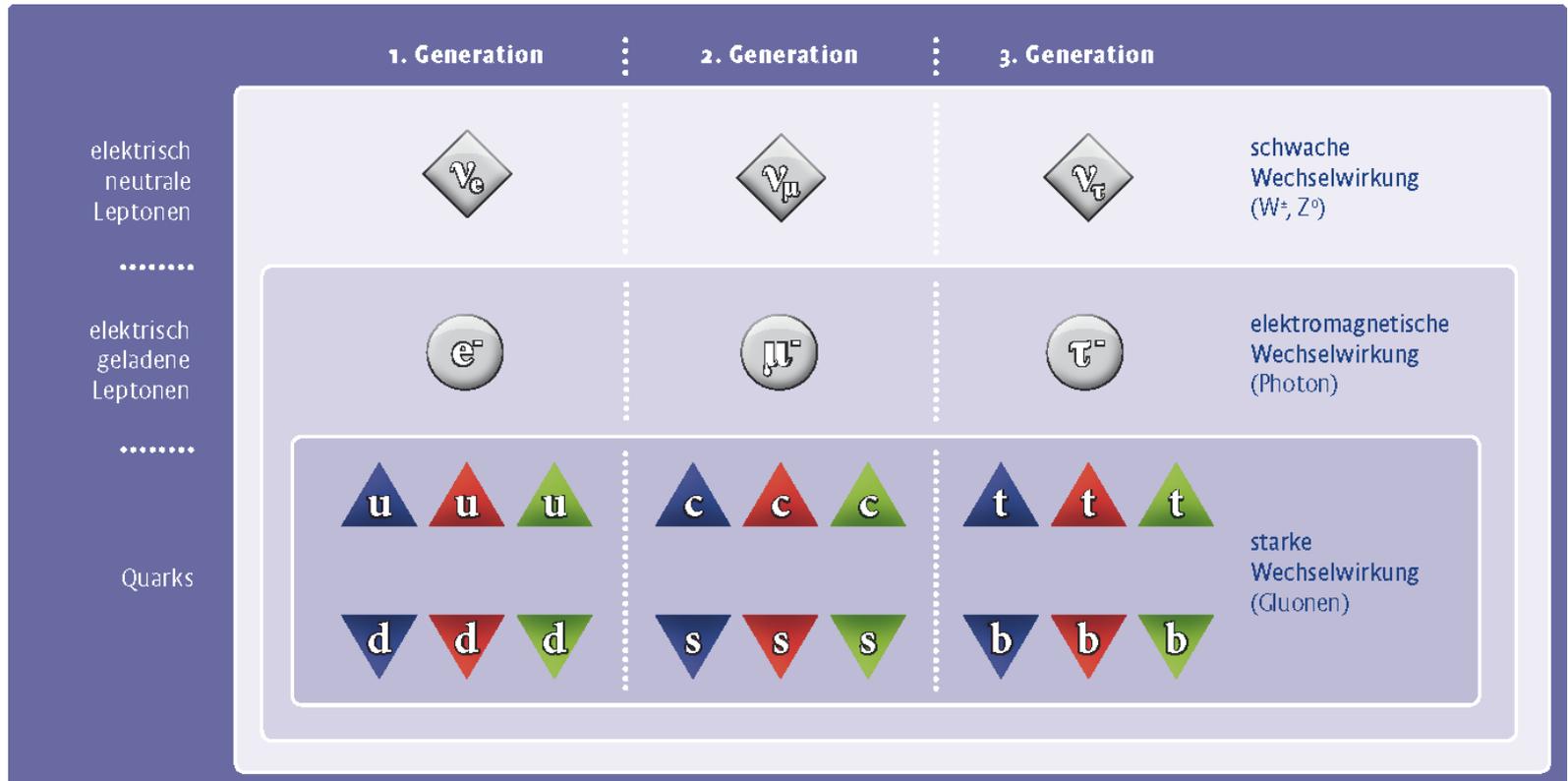
Teilchenumwandlungen als Schlüssel zur Ordnung

► Elektromagnetische Wechselwirkung

- Photonen tragen keine Ladungen: durch elektromagnetische Wechselwirkung können die Ladungen eines Teilchens nicht geändert werden
- Alle Teilchen sind Singulets bezüglich der elektromagnetischen Wechselwirkung



Multipletts – Ladungen als Ordnungsprinzip



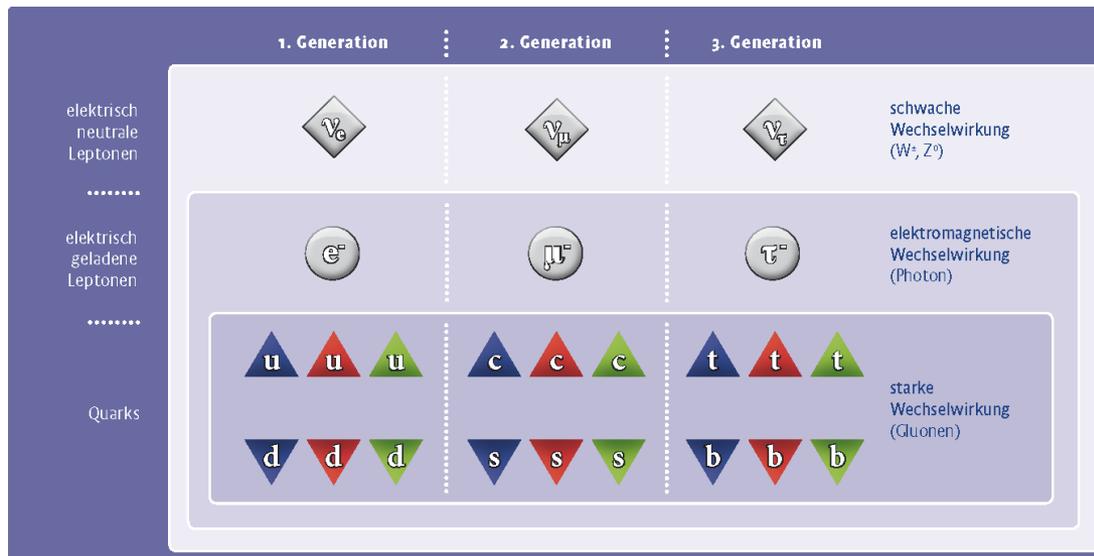


Multipletts – Ladungen als Ordnungsprinzip

- ▶ Zu jedem Teilchen gibt es ein zugehöriges Teilchen, dieses besitzt die gleiche Masse wie das Teilchen jedoch entgegengesetzte Ladungen
- ▶ Anti-Materieteilchen lassen sich ebenfalls in drei Generationen einordnen

Zusammenfassung: Multipletts

- ▶ Teilchen lassen anhand ihrer Ladungen ordnen:
 - In Dupletts der schwachen Wechselwirkung
 - In Tripletts der starken Wechselwirkung
 - In Singulettts der elektromagnetischen Wechselwirkung

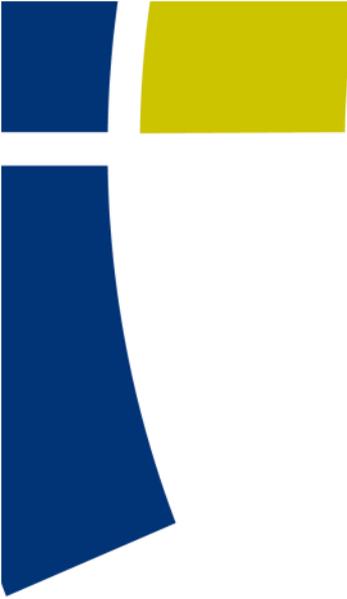


Diskussion / Fragen – zum Fachvortrag 2

► Wir freuen uns auf Ihre Mitarbeit



Mittagspause: 11:30 -12:30 Uhr!



13:00 – 15:00 Uhr

Teil 1: Sequenzplanung (in großer Gruppe)

Teil 2: Unterrichtsverlaufsplanung (in kleiner Gruppe)

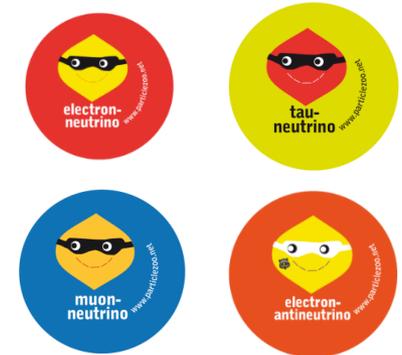
Gruppenarbeit

Gruppeneinteilung

Gruppe 1
(Quarks)



Gruppe 3
(Neutrinos)



Gruppe 2
(W- und Z-Bosonen)



Gruppe 4
(Higgs und Dark Matter)





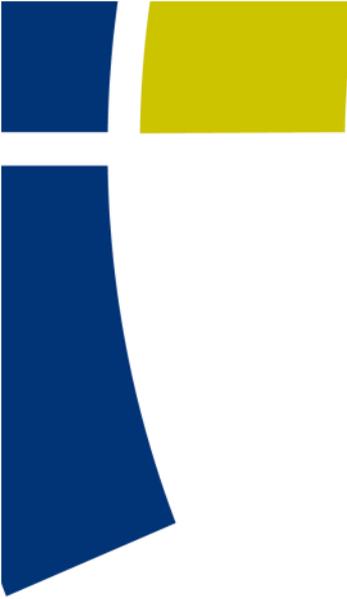
Gruppenaufträge

▶ Teil 1

- In großer Gruppe
- Sequenzplanung
- Max. 60 min

▶ Teil 2

- In kleiner Gruppe (große Gruppe halbieren)
- Konkreter Unterrichtsverlaufsplan einer Unterrichtsstunde
- Max. 45 min



15:00 – 16:00 Uhr

Präsentation der Ergebnisse

Basar



16:00 – 16:30 Uhr

Abschlussvortrag

Evaluation + Teilnahmebestätigung

Verabschiedung

Abschlussvortrag

Vielen Dank für Ihre Teilnahme!

ORIGINALSCHAUPLATZ



SCHIRMHERRSCHAFT



PROJEKTLEITUNG



GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

JOACHIM
HERZ
STIFTUNG



12.03.2016



NETZWERK
TEILCHENWELT