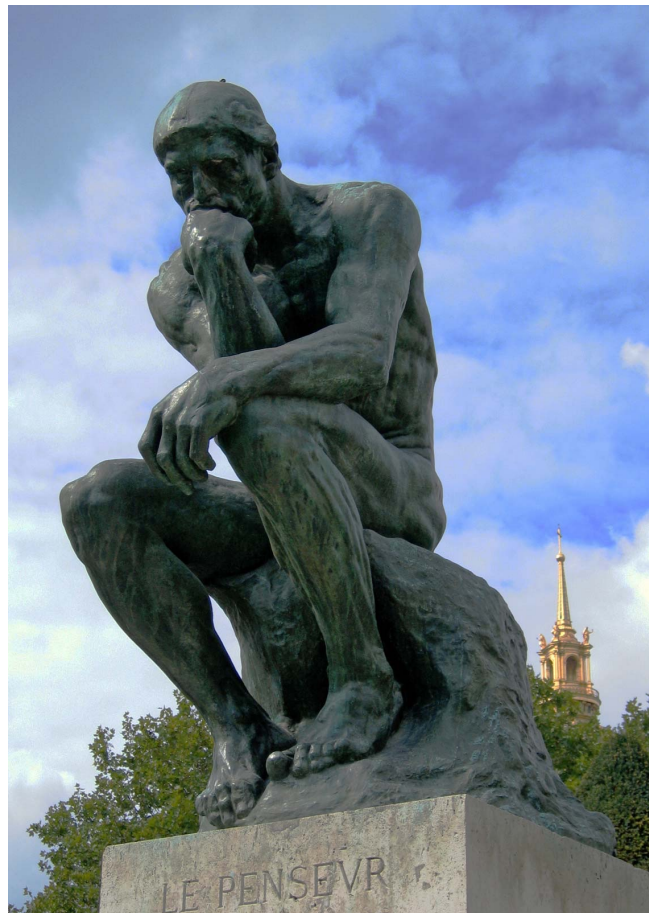




MASTERCLASS

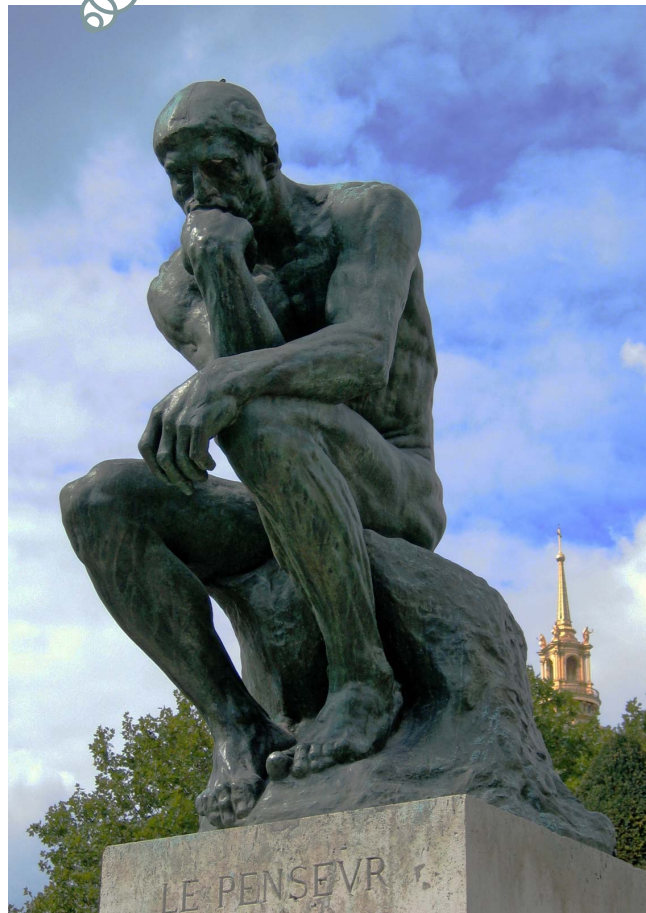
Was ist überhaupt Teilchenphysik und warum macht man das?

„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN



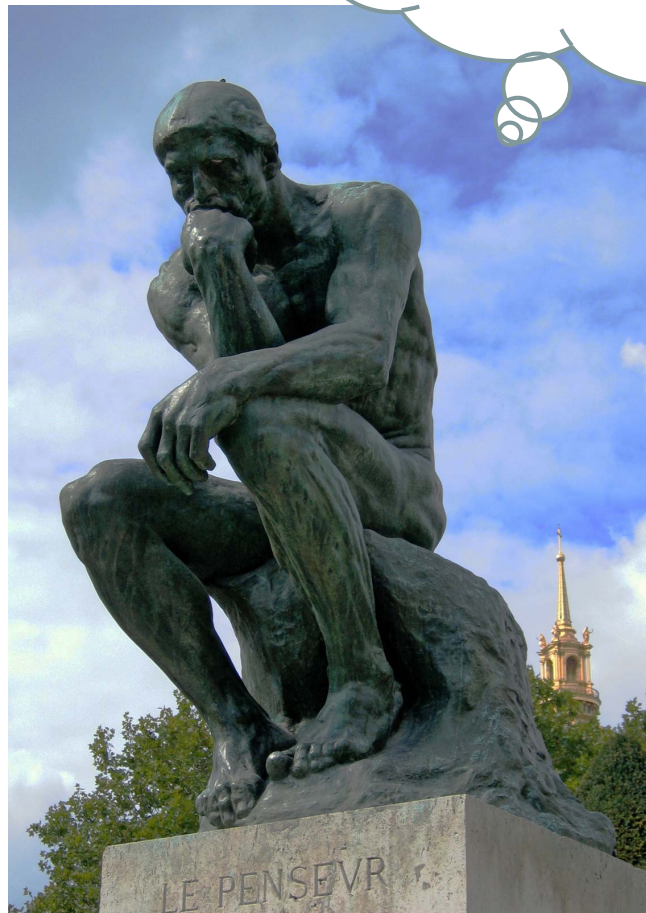
„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN

Ich habe
Hunger, wo gibt
es Essen?



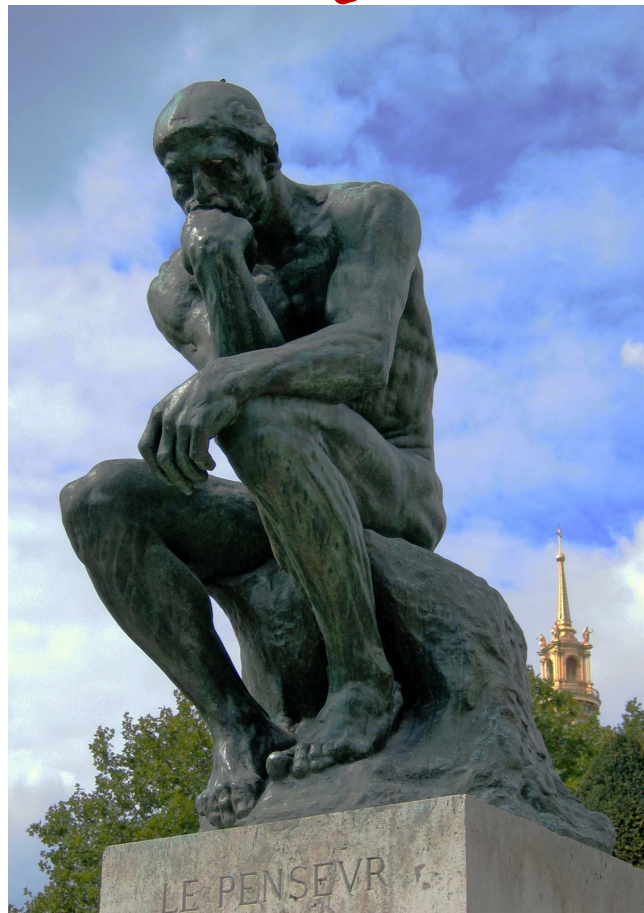
„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN

Ich bin satt und mir ist
langweilig – was in
mir denkt überhaupt?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

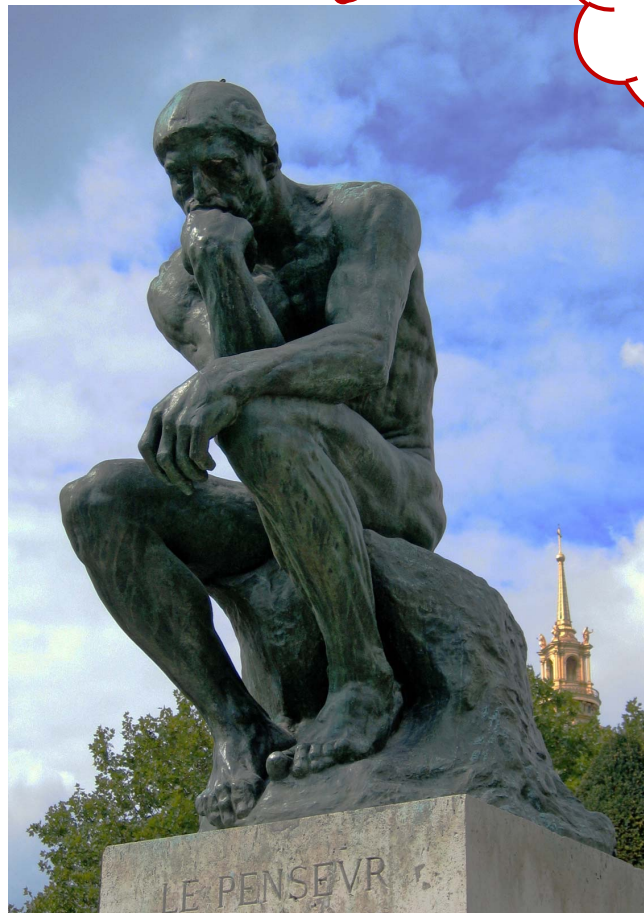
Woraus
bestehe ich
eigentlich?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

Woraus
bestehe ich
eigentlich?

Und woraus
besteht das
Universum?

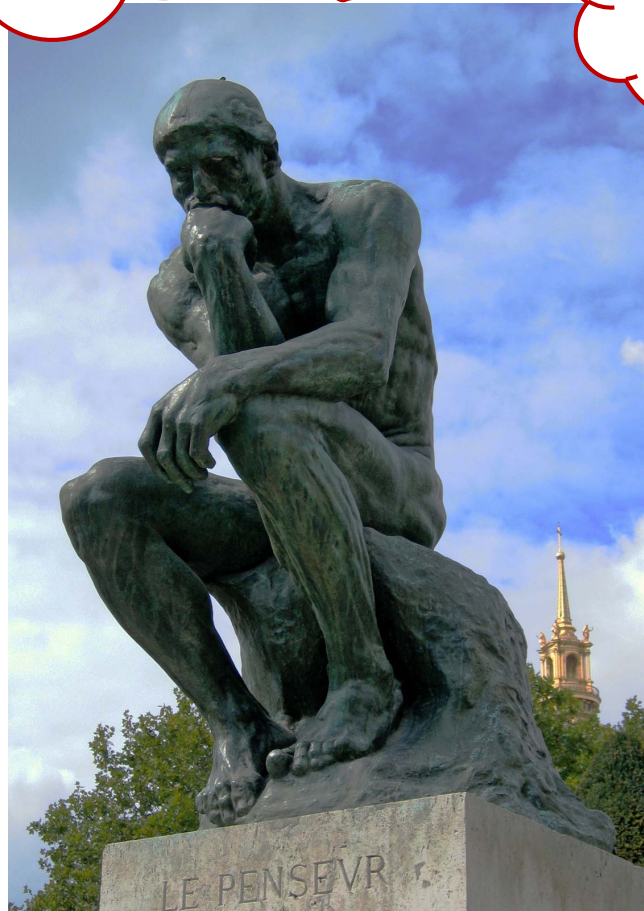


„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

Was ist
überhaupt das
Universum?

Woraus
bestehe ich
eigentlich?

Und woraus
besteht das
Universum?



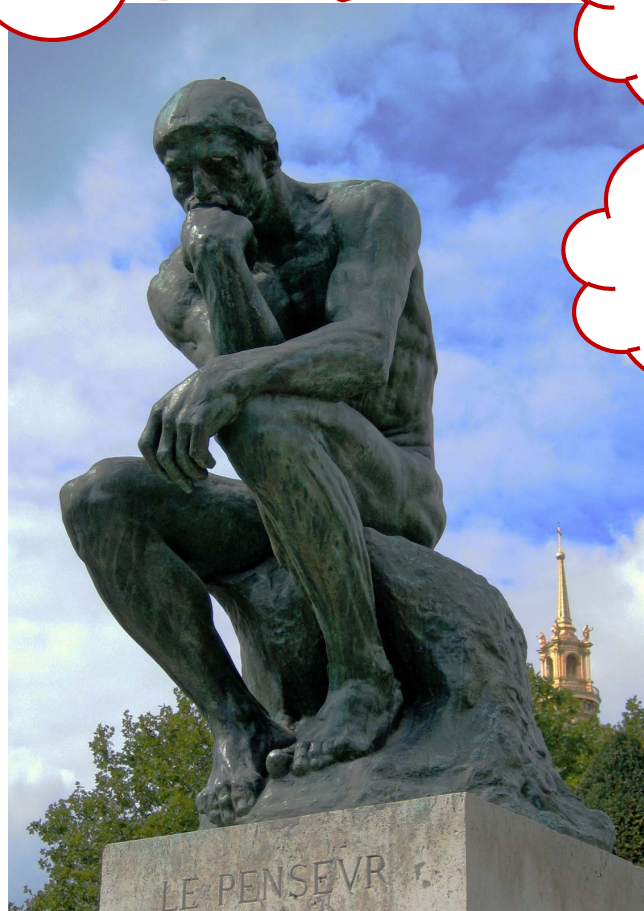
„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

Was ist
überhaupt das
Universum?

Woraus
bestehe ich
eigentlich?

Und woraus
besteht das
Universum?

Und wie ist
das alles
entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

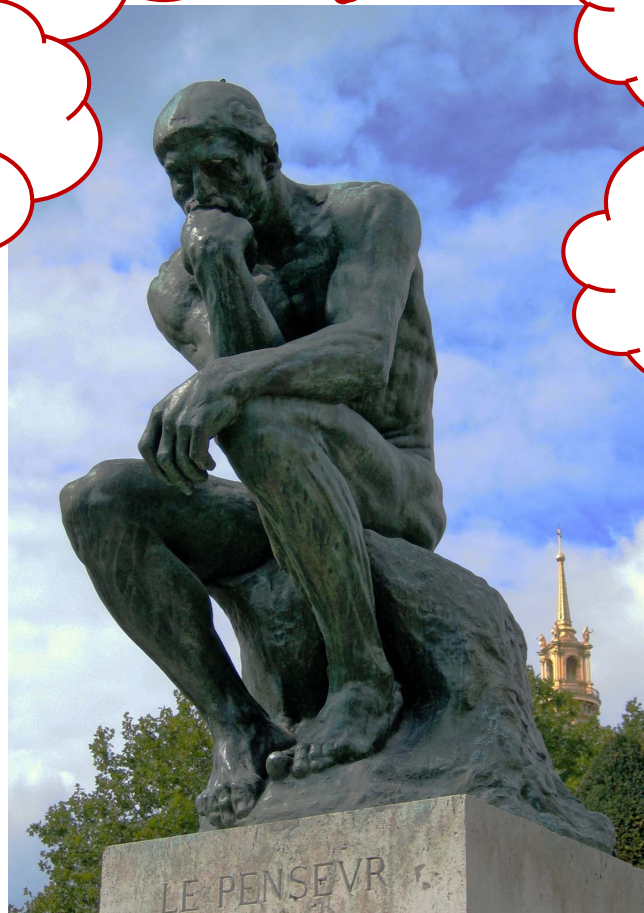
Was ist
überhaupt das
Universum?

Woraus
bestehe ich
eigentlich?

Und woraus
besteht das
Universum?

Warum und wie
funktioniert es?

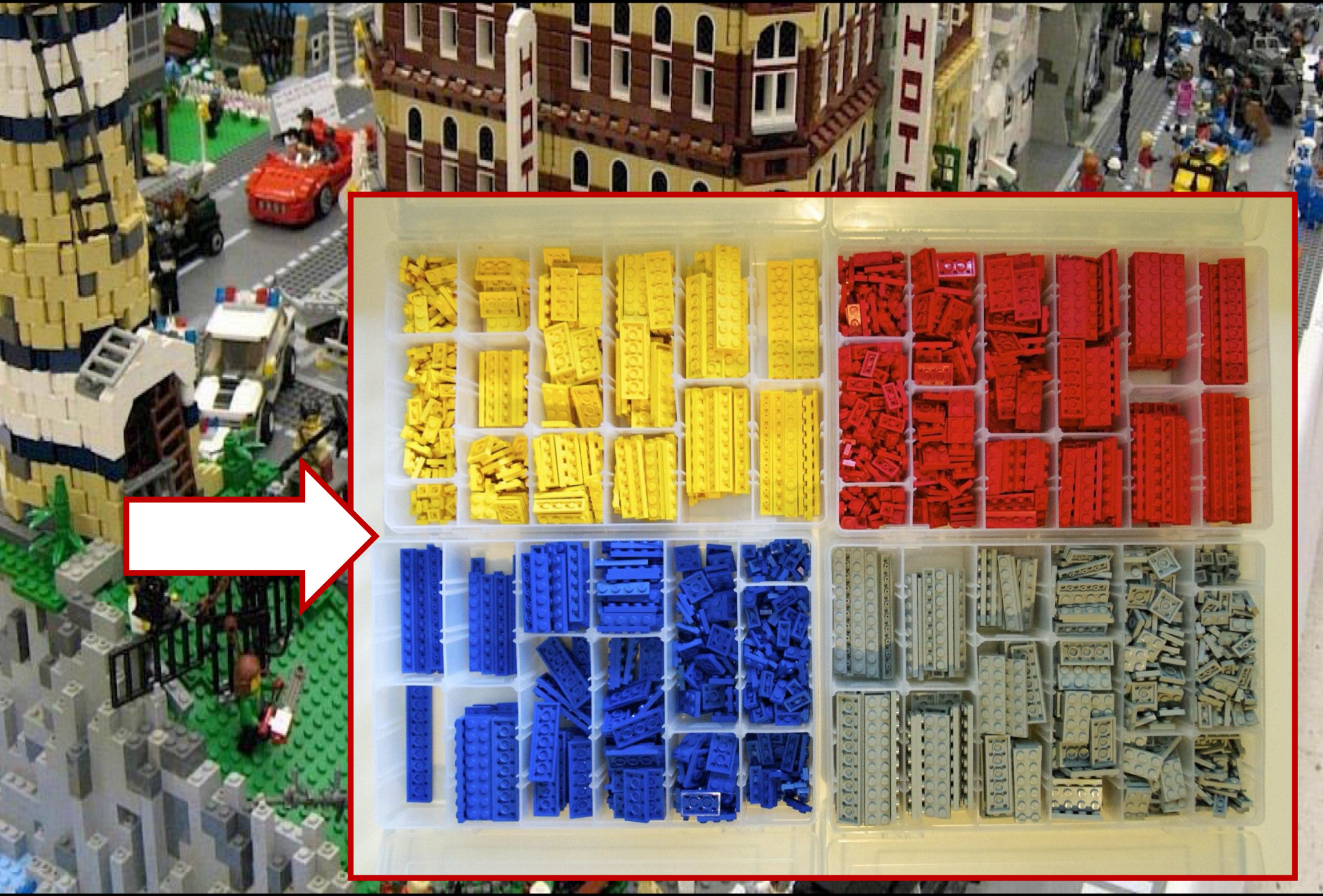
Und wie ist
das alles
entstanden?



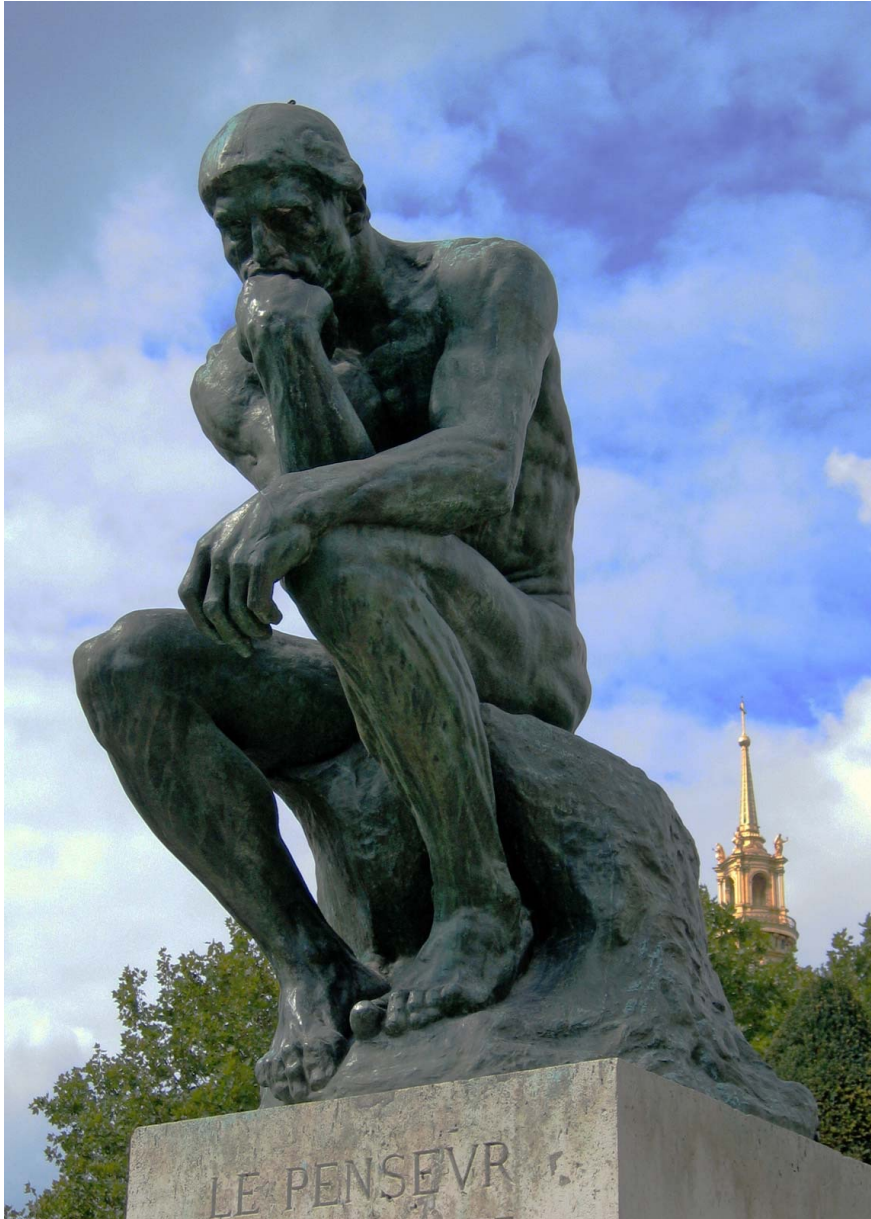
„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**



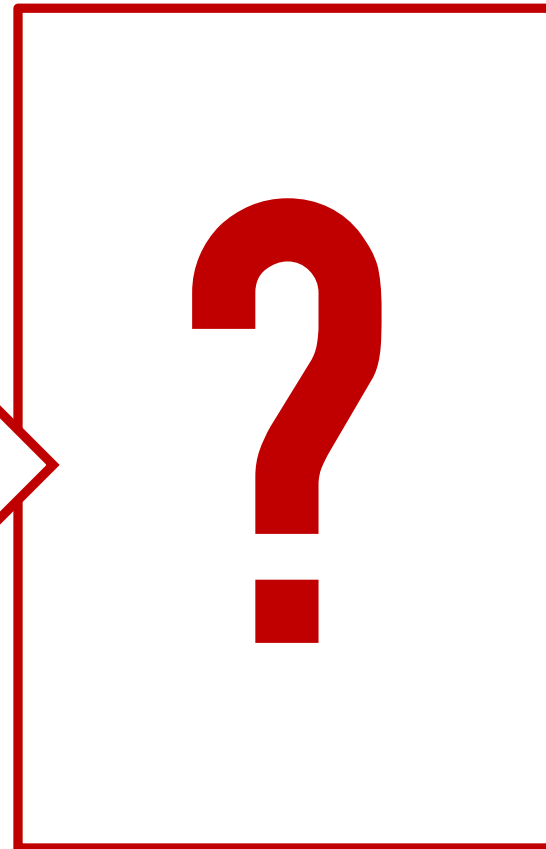
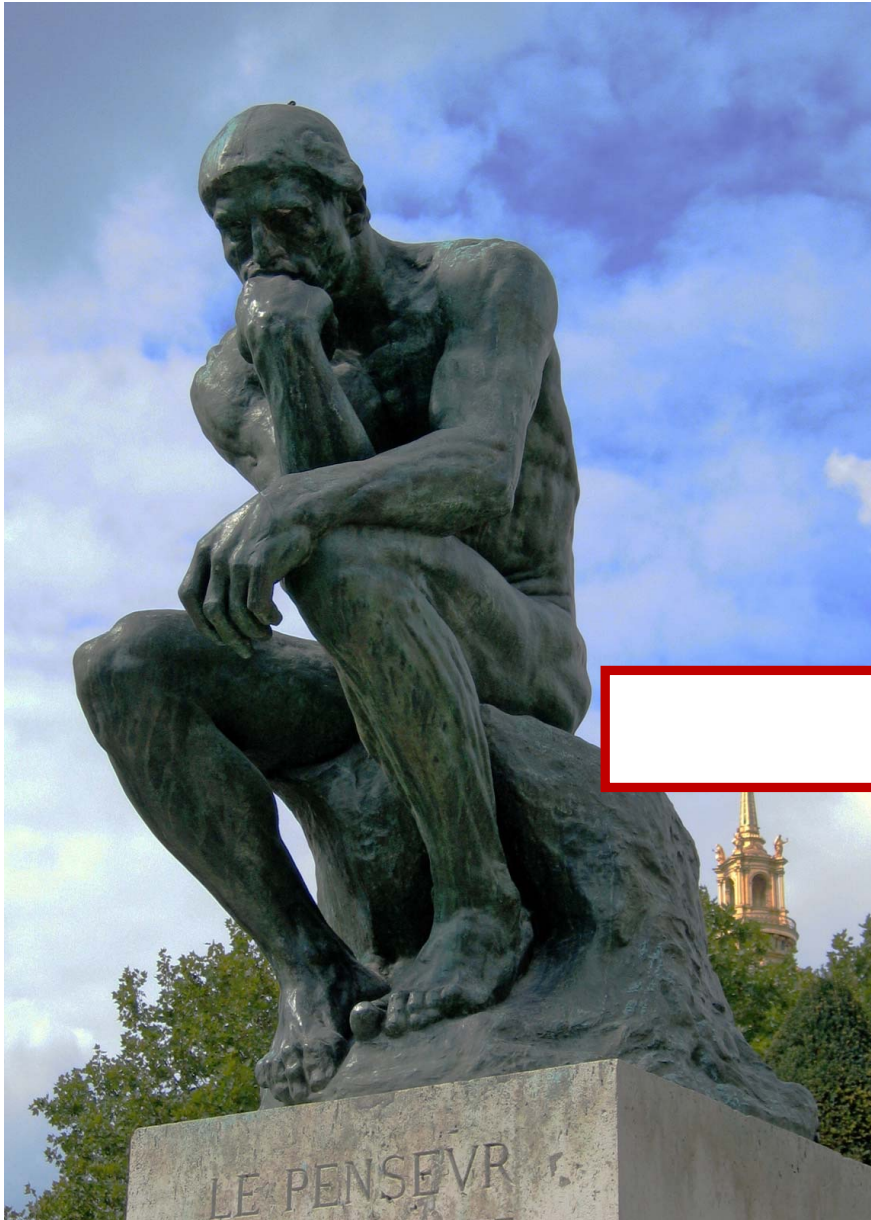




GRUNDBAUSTEINE



GRUNDBAUSTEINE



GRUNDBAUSTEINE

≈0,01 m
Kristall
Crystal



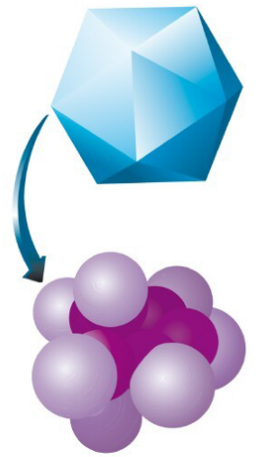
GRUNDBAUSTEINE

Forschung mit Photonen
Research with Photons

≈ 0,01 m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule



GRUNDBAUSTEINE

- **Chemie: Aufbau**
Kristalle/Moleküle (kleinste
Einheit = Atom)

Forschung mit Photonen
Research with Photons

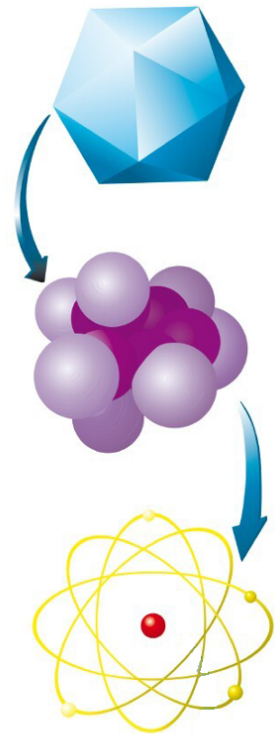
≈ 0,01 m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom



DAS MODELL DER CHEMIE

- Wir und alles um uns herum bestehen aus **Atomen**
- Diese lassen sich in einem **Periodensystem** anordnen
 - Zeilen und Spalten geben Eigenschaften der Elemente an
- Atome verbinden sich zu **Molekülen** und größeren Strukturen
 - Verbindungen werden durch Kräfte zusammengehalten

Periodensystem der Elemente

																		1																			18
1																		2																		18	
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	La-Lu	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																			
7	Fr	Ra	Ac-Lr	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg																										

Ordnungszahl — **6** **C** — Feste Elemente
 Elementsymbol — **O** **Hg** — Gasförmige Elemente
 Elementname — **Kohlenstoff** **Quecksilber** — Flüssige Elemente (20°C)
 Rel. Atommasse — **12.01** **Tc** — Radioaktive Elemente

© Peter Wich - Experimentchemie.de - Chemie erleben!

57	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
	Lanthan	Cer	Praseodym	Neodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Holmium	Erbium	Thulium	Ytterbium	Lutetium
	138.91	140.12	140.91	144.24	(147)	150.36	151.97	157.25	158.93	162.50	164.93	167.26	168.93	173.04	174.97
89	Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
	Actinium	Thorium	Protactinium	Uran	Neptunium	Plutonium	Americium	Curium	Berkelium	Californium	Einsteinium	Fermium	Mendelevium	Nobelium	Livermorium
	227.03	232.04	231.04	238.03	(237)	(244)	(243)	(247)	(247)	(251)	(252)	(257)	(258)	(259)	(262)

GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- ▶ **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- ▶ **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)

Forschung mit Photonen
Research with Photons

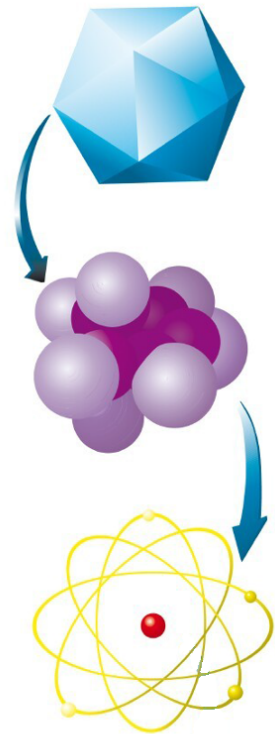
≈ 0,01 m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

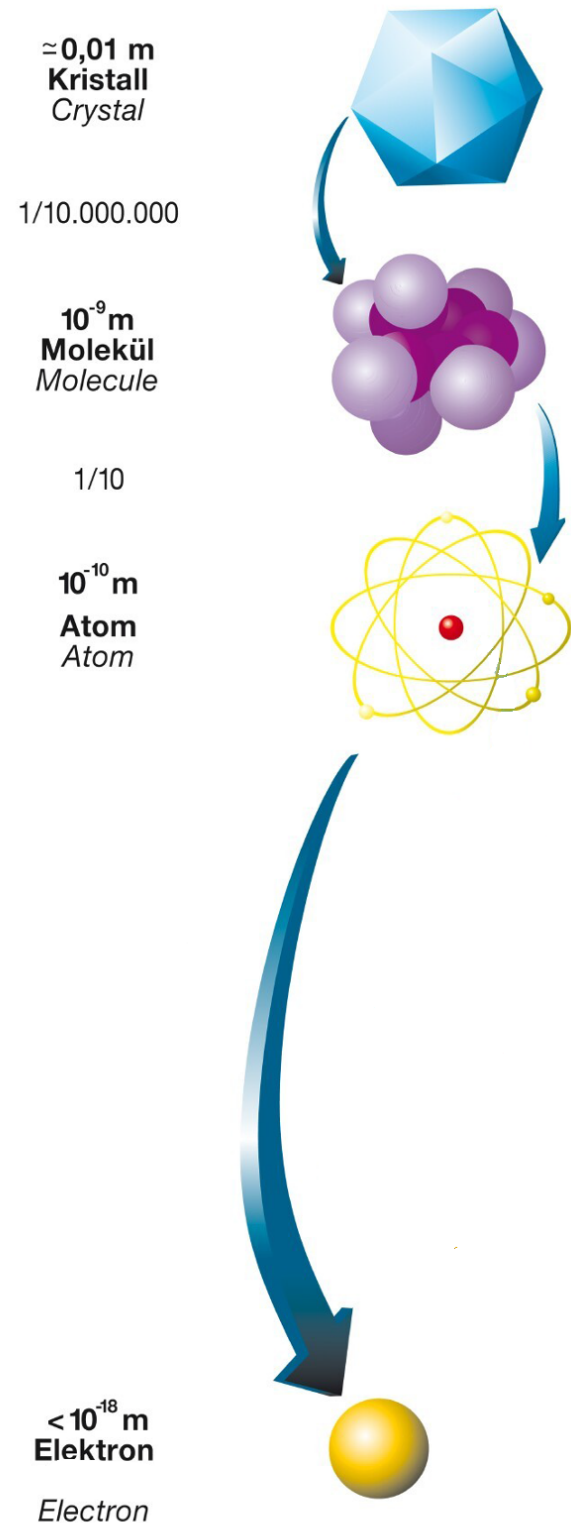


GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)

Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics



GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- ▶ **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- ▶ **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)



Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

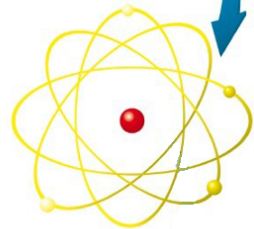
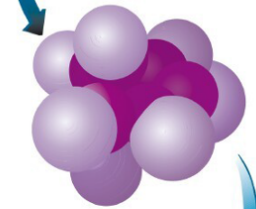
1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

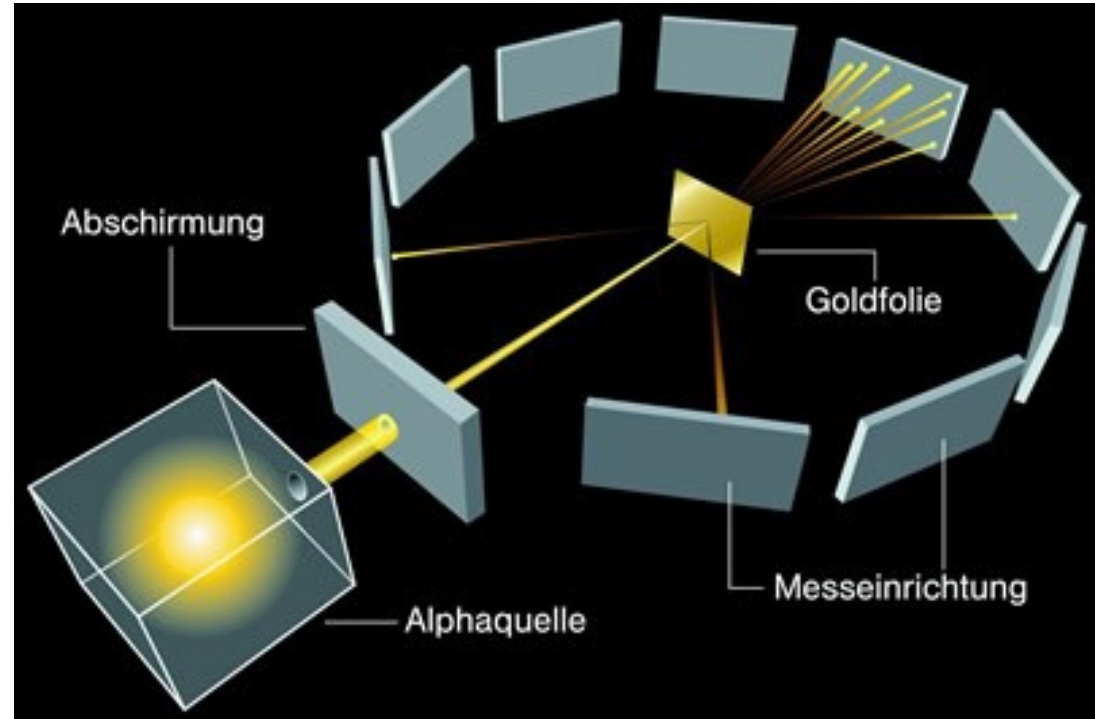
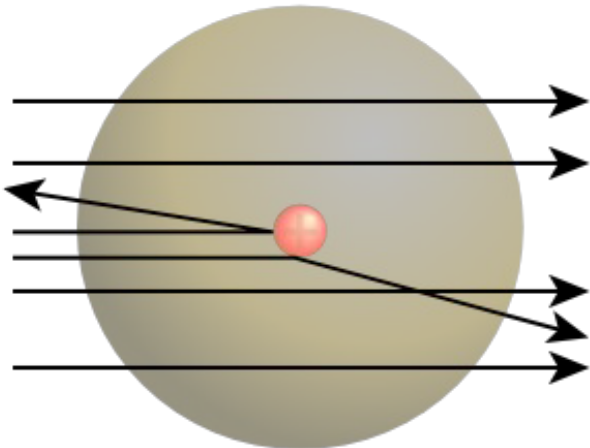
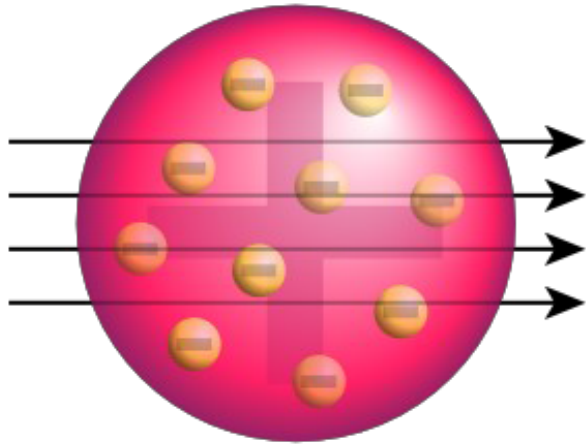
10^{-10} m
Atom
Atom

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



WIE UNTERSUCHT MAN SEHR KLEINE TEILCHEN?

- Durch Streuexperimente!
- Rutherford 1910: Beschuss von Goldfolie mit α -Teilchen



- **Atome sind nicht elementar** sondern haben eine innere Struktur
- Sie bestehen aus eine winzigen, schweren, positiv geladenen Kern und einer fast leeren Hülle mit Elektronen

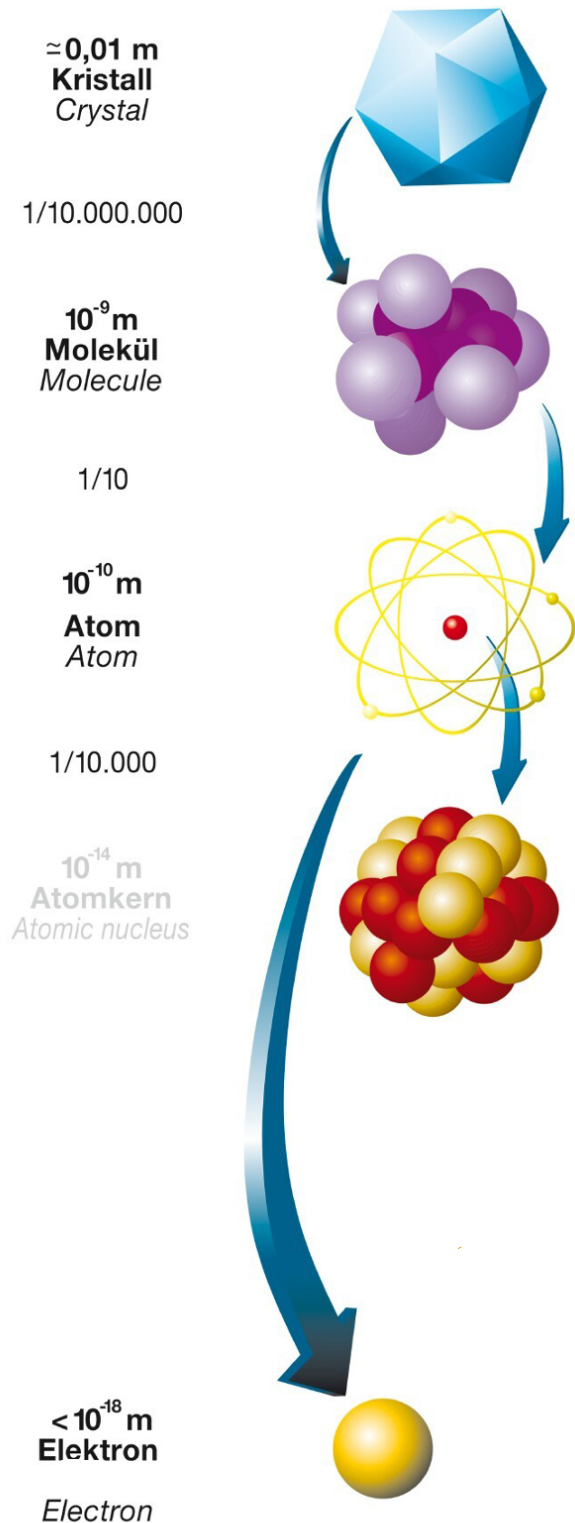
GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- ▶ **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- ▶ **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)



Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

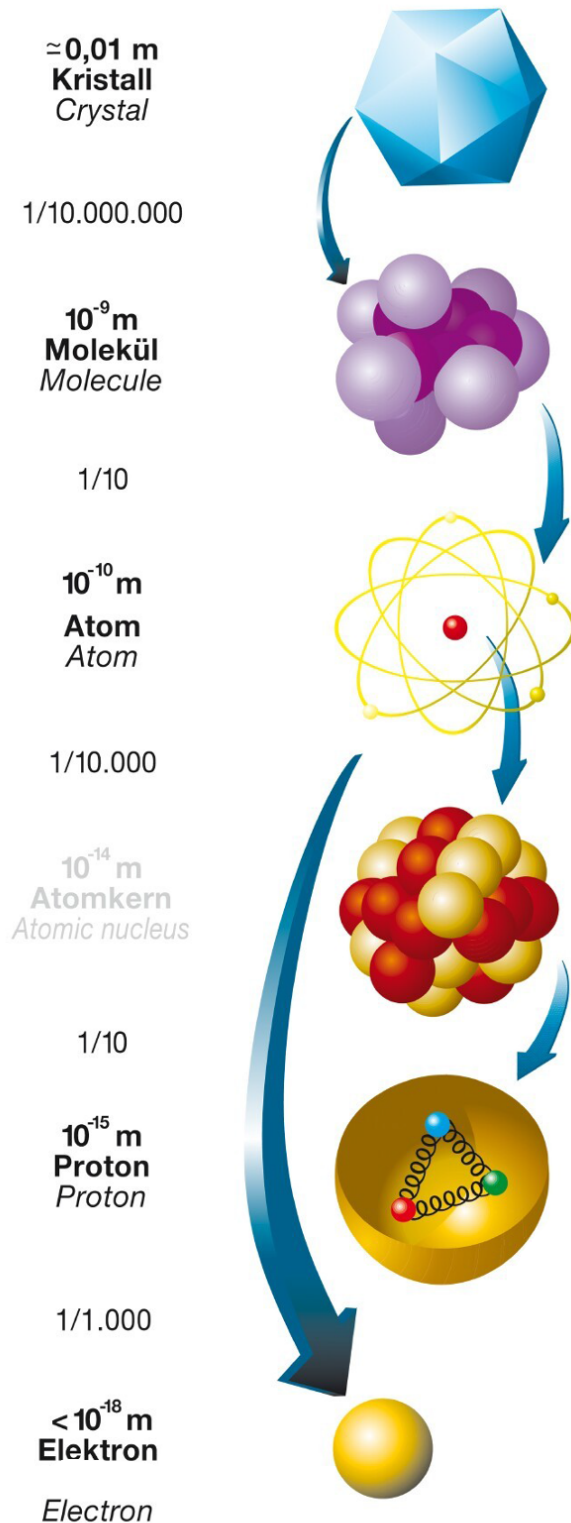


GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- ▶ **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- ▶ **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)
- ▶ **Kernphysik:** Aufbau der Atomkerne (Proton, Neutron, Elektron)

Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics



GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- ▶ **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- ▶ **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)
- ▶ **Kernphysik:** Aufbau der Atomkerne (Proton, Neutron, Elektron)

Elektron

Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

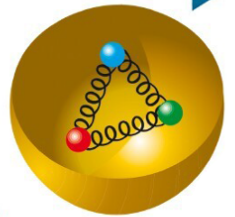
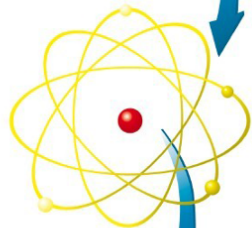
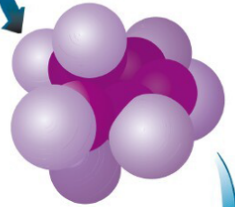
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



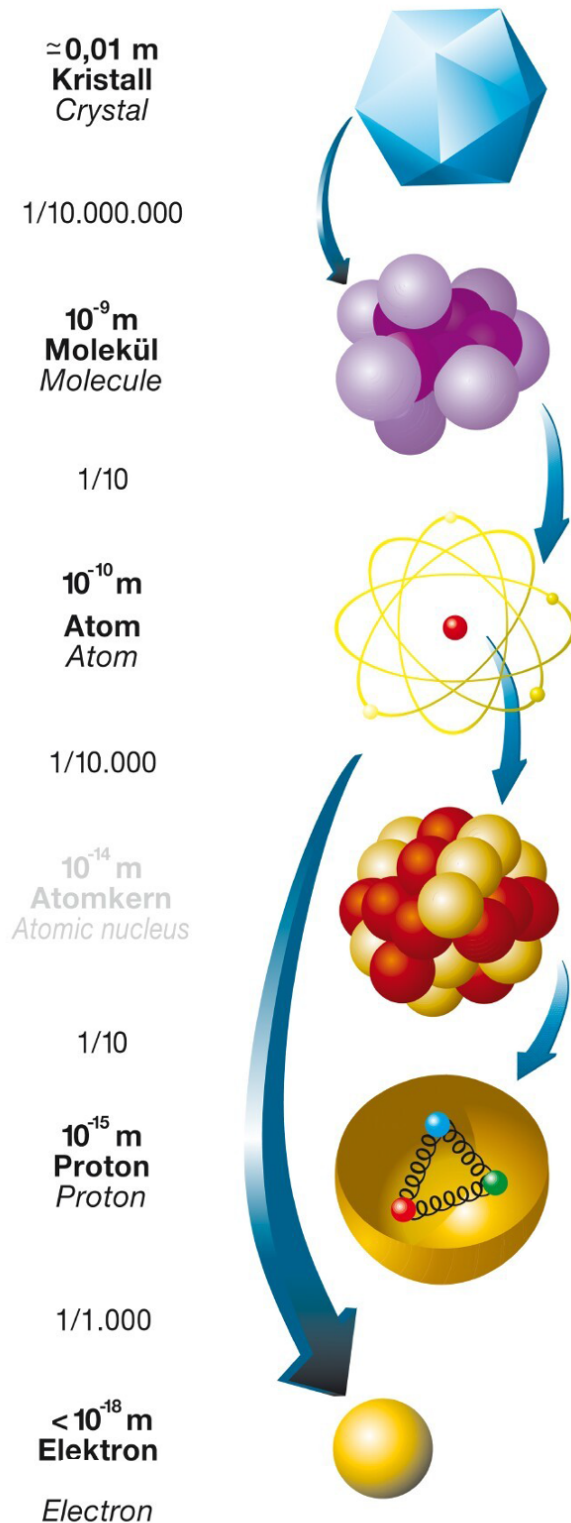
GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- Chemie: Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- Atomphysik: Aufbau der Atome
Nukleonen



Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics



GRUNDBAUSTEINE – ES WIRD NOCH KLEINER!

- **Chemie:** Aufbau Kristalle/Moleküle (kleinste Einheit = Atom)
- **Atomphysik:** Aufbau der Atome (Atomkern, Elektron)
- **Kernphysik:** Aufbau der Atomkerne (Proton, Neutron, Elektron)
- **Teilchenphysik:** Aufbau Proton, Neutron; Elementarteilchen, z.B. Elektron

Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

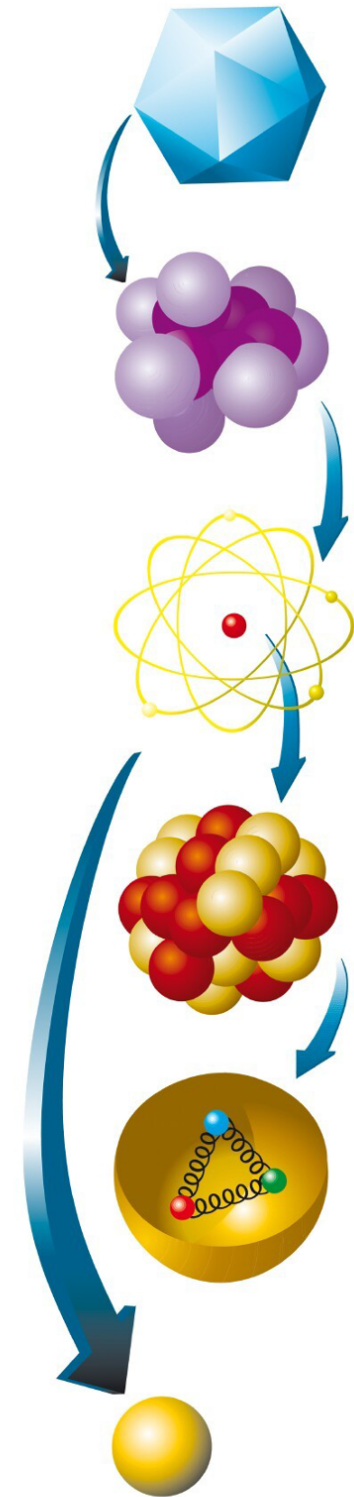
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



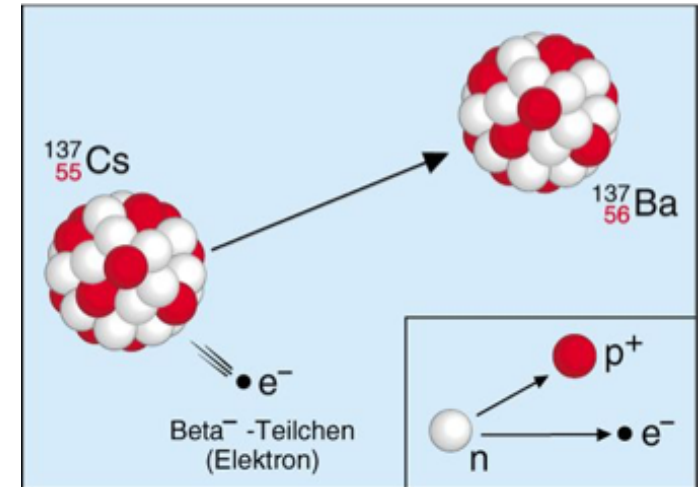
GIBT ES NOCH WEITERE ELEMENTARTEILCHEN?

- ▶ 1930 postulierte Pauli ein weiteres Teilchen um den β -Zerfall von Atomkernen zu erklären

Neutrino



- Ladung: 0
- kaum Interaktion



GIBT ES NOCH WEITERE ELEMENTARTEILCHEN?

- ▶ 1930 postulierte Pauli ein weiteres Teilchen um den β -Zerfall von Atomkernen zu erklären

Neutrino

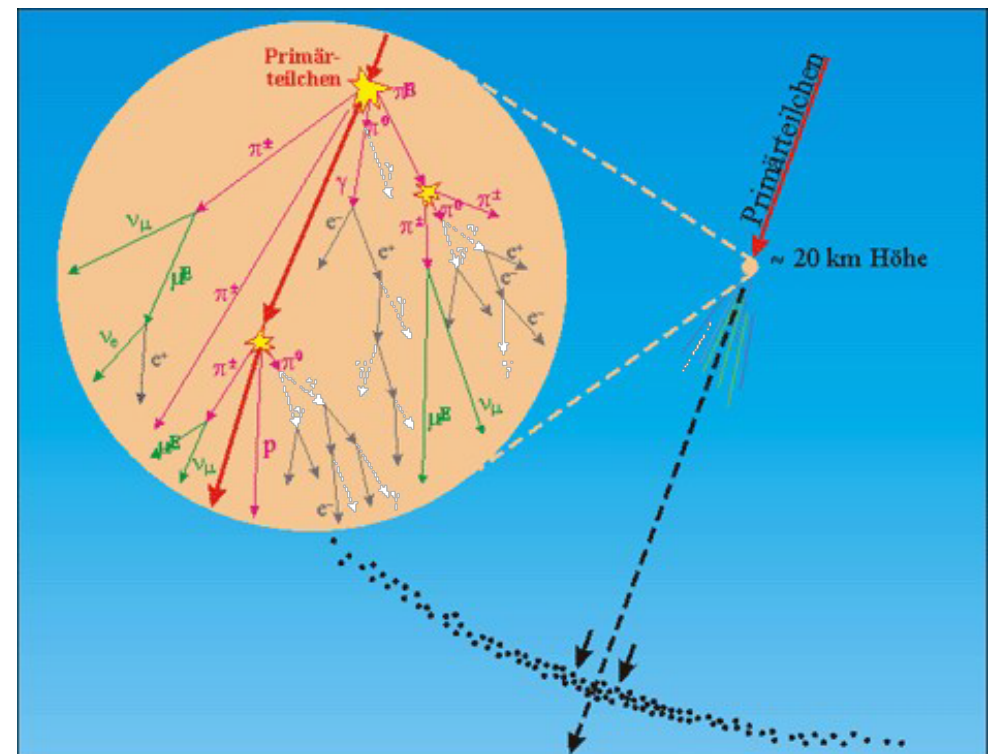
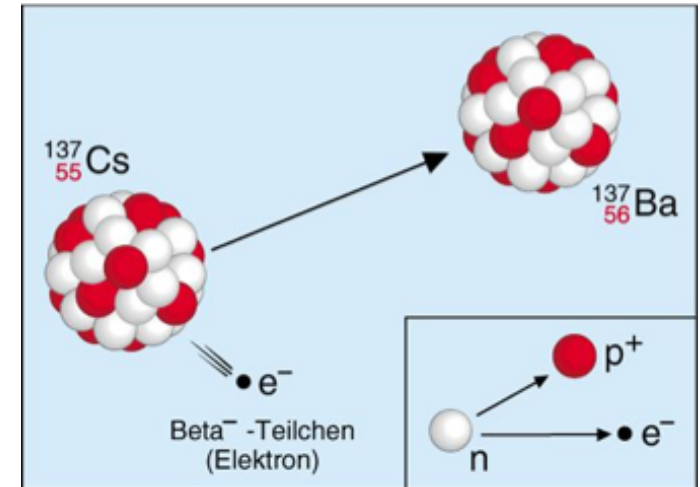


- ▶ 1936 Entdeckt Andersen ein neues Teilchen in der Höhenstrahlung:

Myon



- Ladung: -1
- Myonen zerfallen nach $0,0000022\text{s}$ ($=2,2\mu\text{s}$)



DAS STANDARD-MODELL DER TEILCHENPHYSIK

Oder

„Was die Welt im Innersten zusammenhält“

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

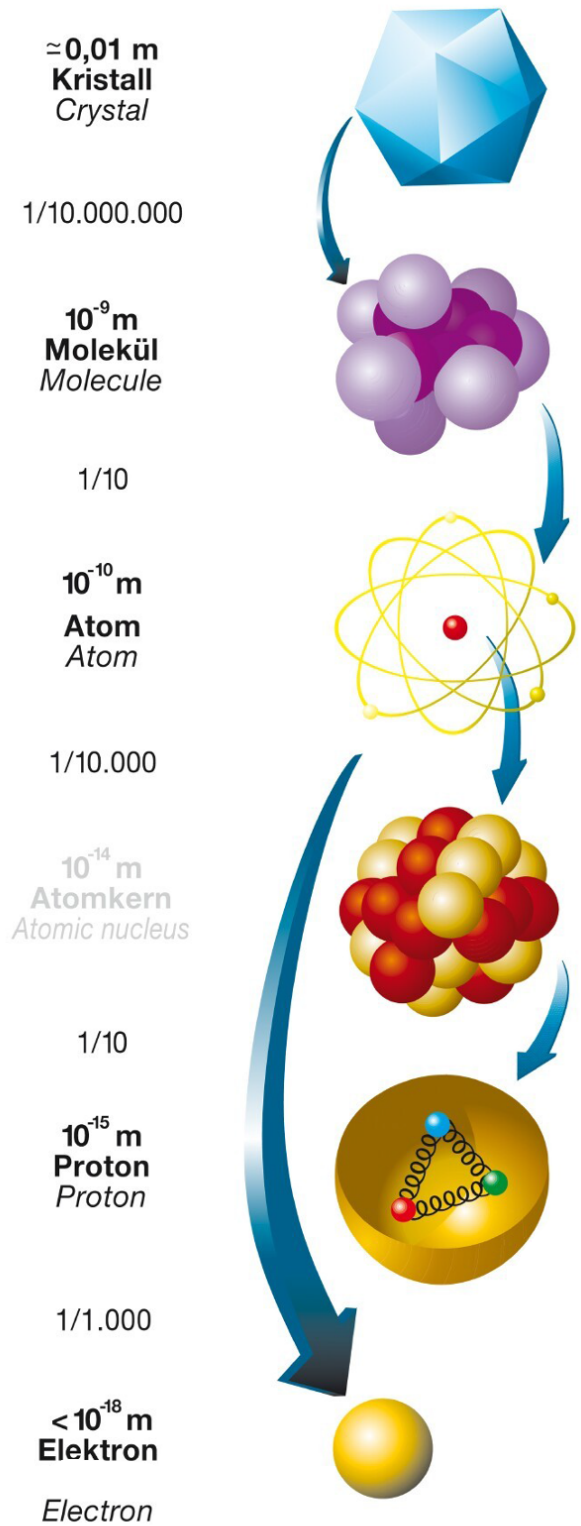
Unser „Periodensystem“

Nukleonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

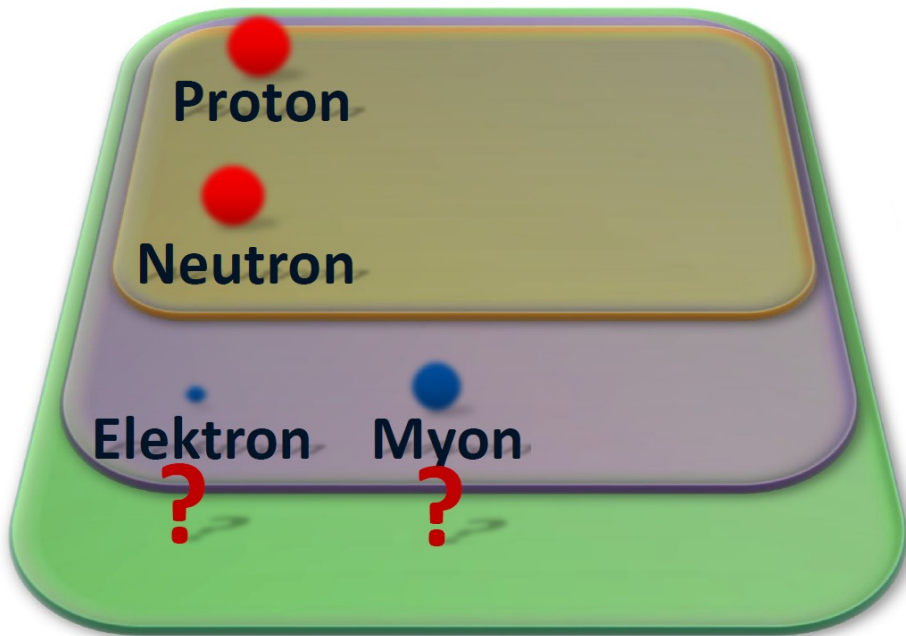
Teilchenphysik
Particle Physics



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

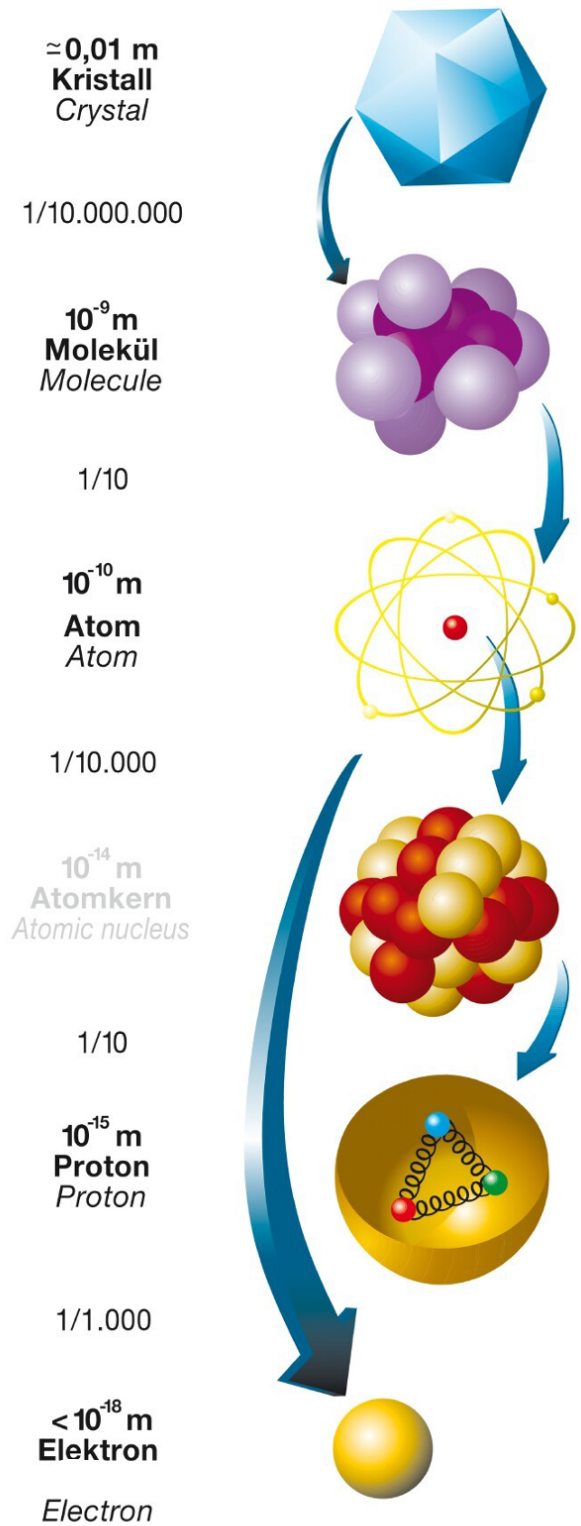
Unser „Periodensystem“

Nukleonen
Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics



Blau: Elektronen/Positronen

Cyan: Photonen

Rot: Neutronen

Orange: Protonen

Grau: Mesonen

Grün: Myonen

**1000 Teilchen pro m²
pro Sekunde!**



Blau: Elektronen/Positronen

Cyan: Photonen

Rot: Neutronen

Orange: Protonen

Grau: Mesonen

Grün: Myonen



Blau: Elektronen/Positronen

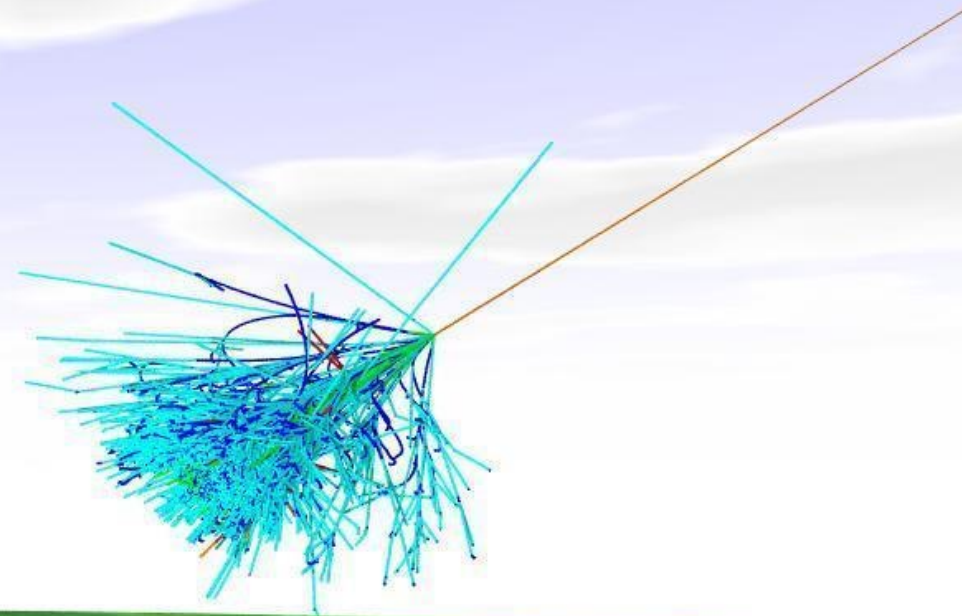
Cyan: Photonen

Rot: Neutronen

Orange: Protonen

Grau: Mesonen

Grün: Myonen



Blau: Elektronen/Positronen

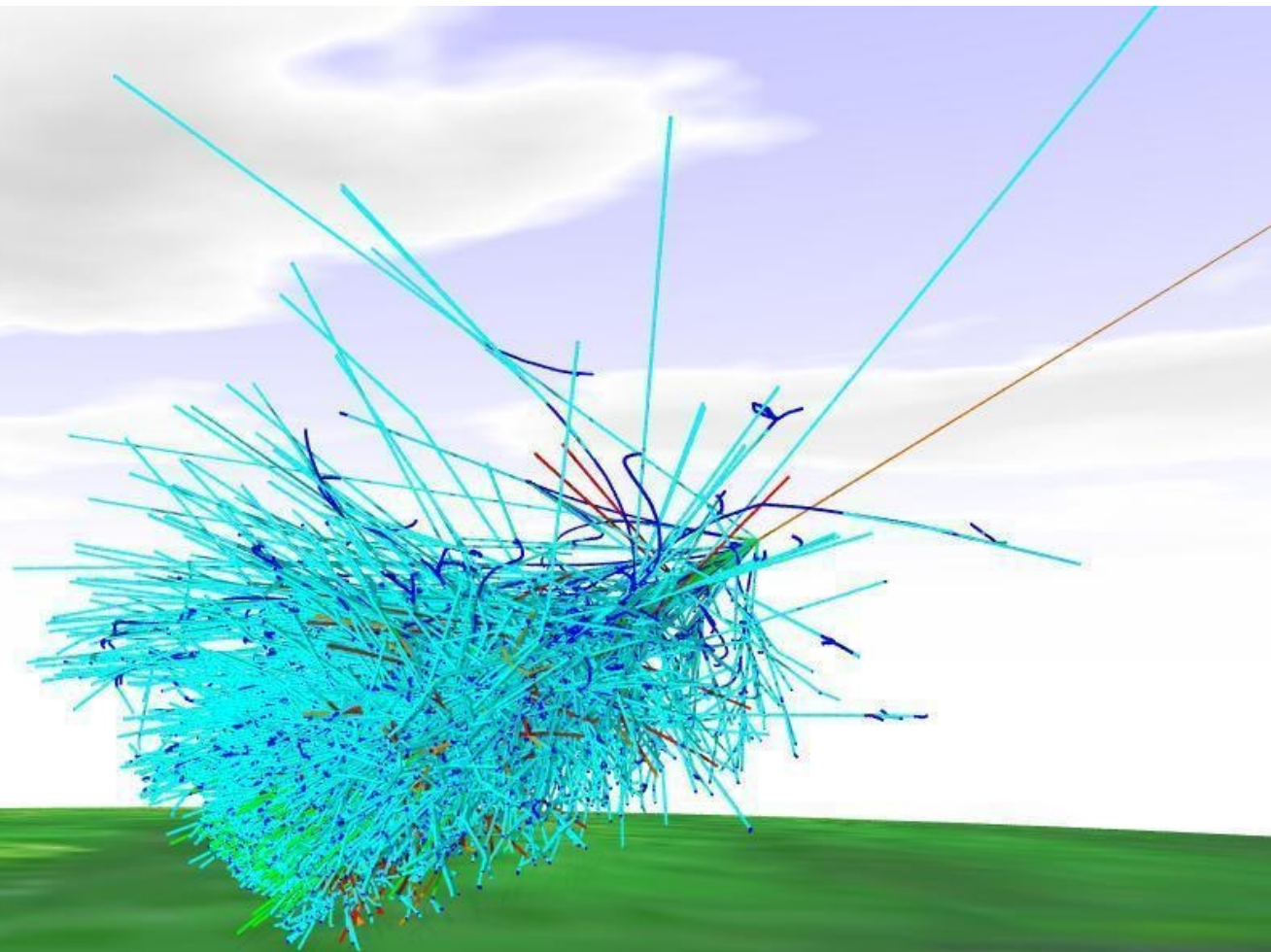
Cyan: Photonen

Rot: Neutronen

Orange: Protonen

Grau: Mesonen

Grün: Myonen



Blau: Elektronen/Positronen

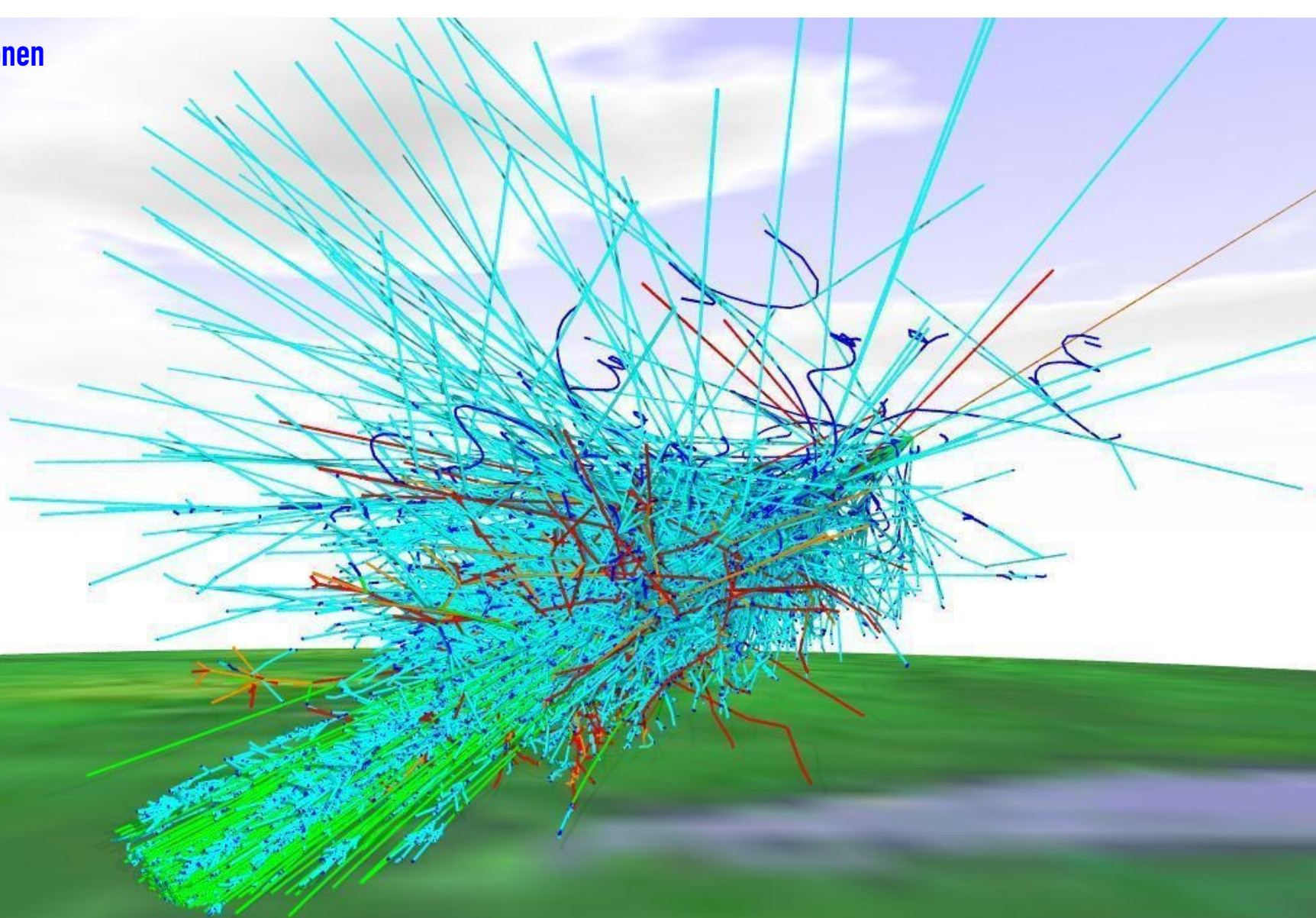
Cyan: Photonen

Rot: Neutronen

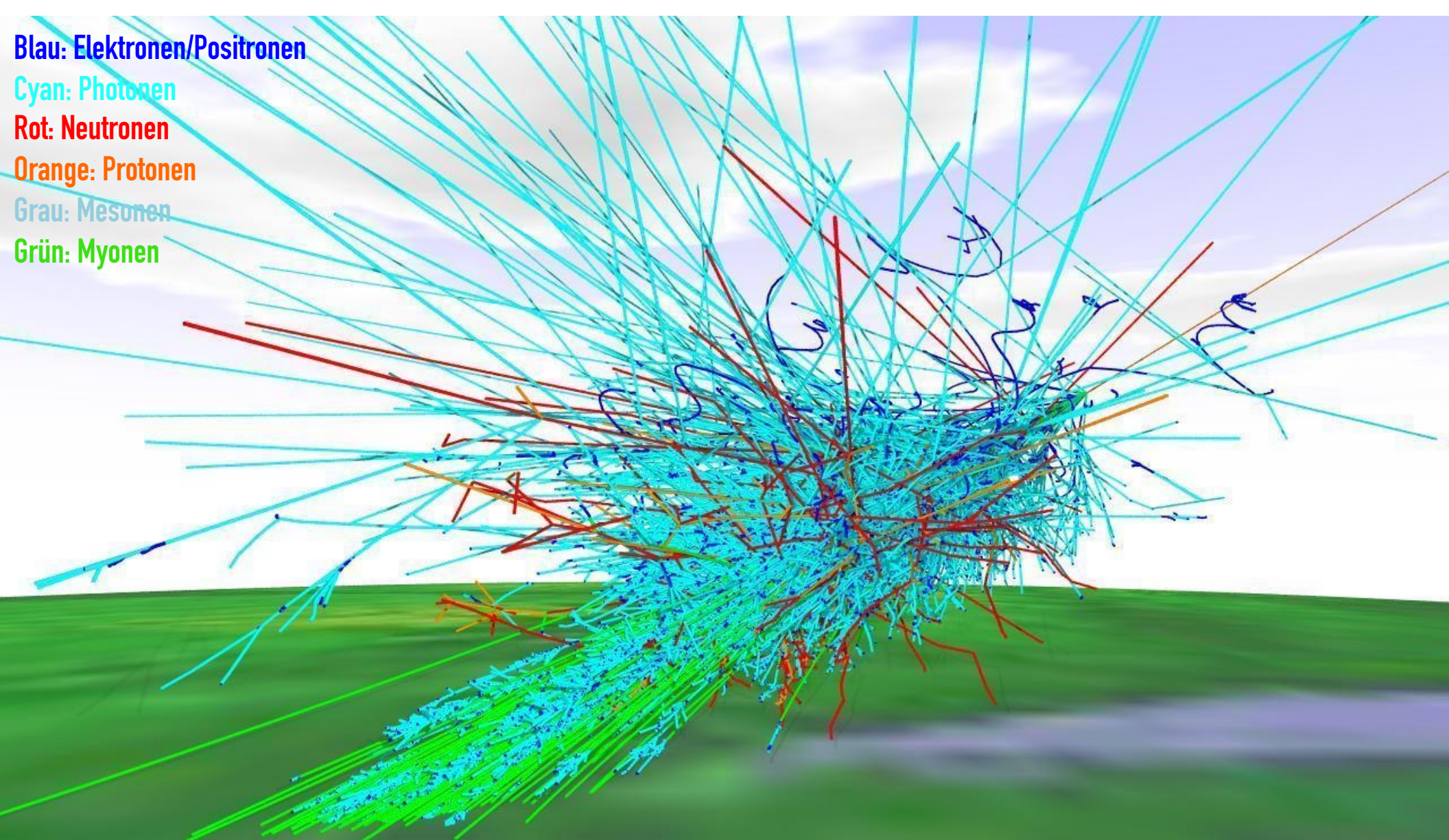
Orange: Protonen

Grau: Mesonen

Grün: Myonen



Blau: Elektronen/Positronen
Cyan: Photonen
Rot: Neutronen
Orange: Protonen
Grau: Mesonen
Grün: Myonen

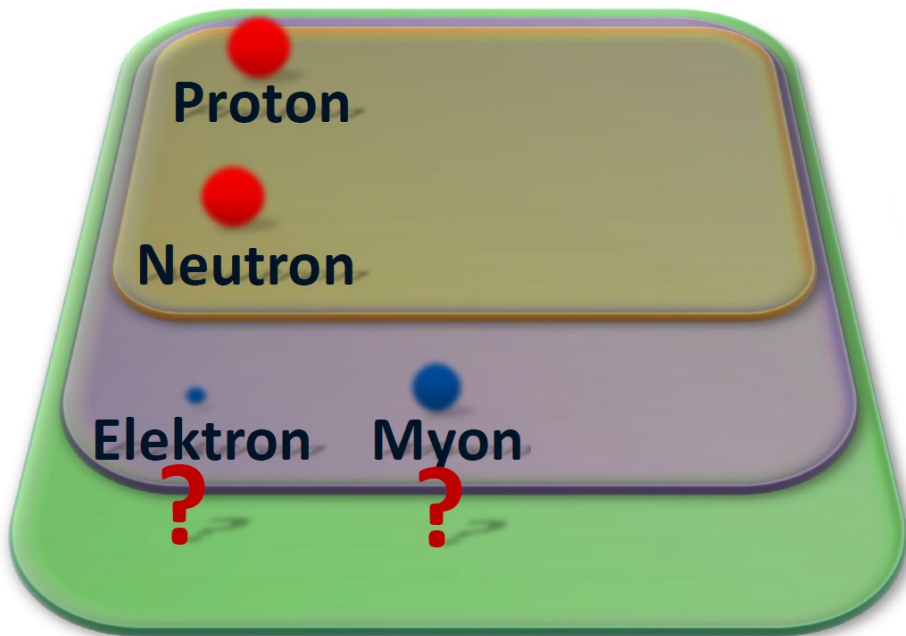


200 Myonen pro m^2
pro Sekunde!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Nukleonen
Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

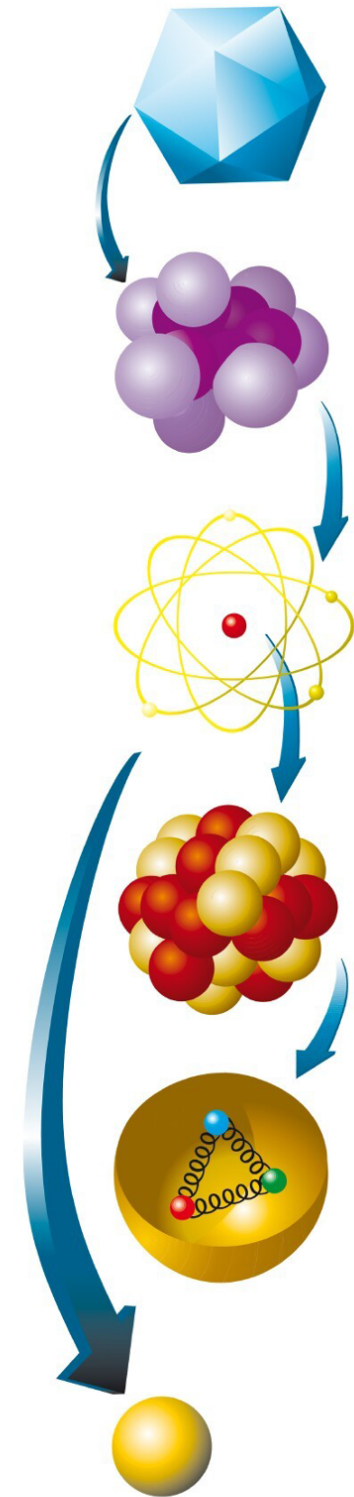
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

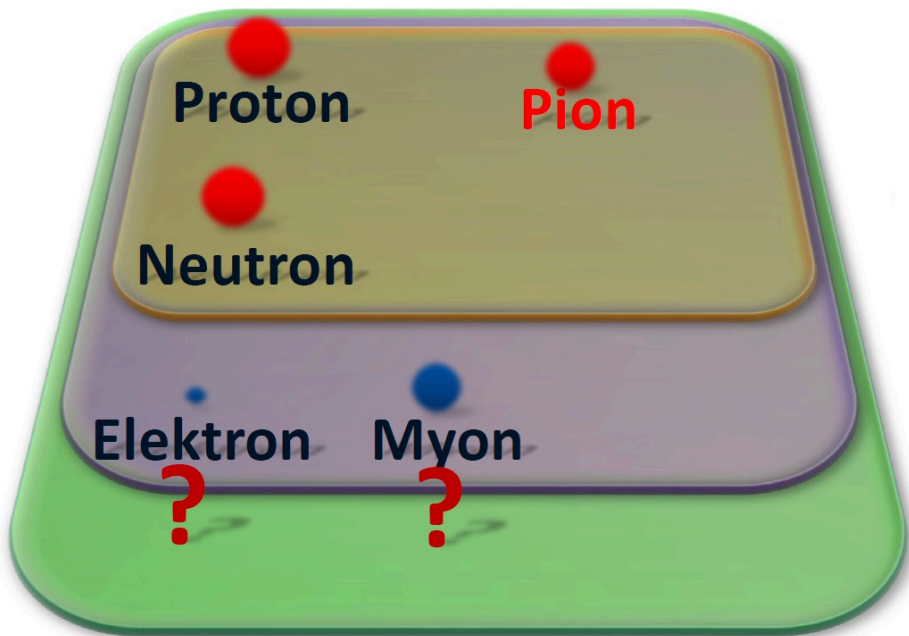
$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Baryonen, Mesonen
Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

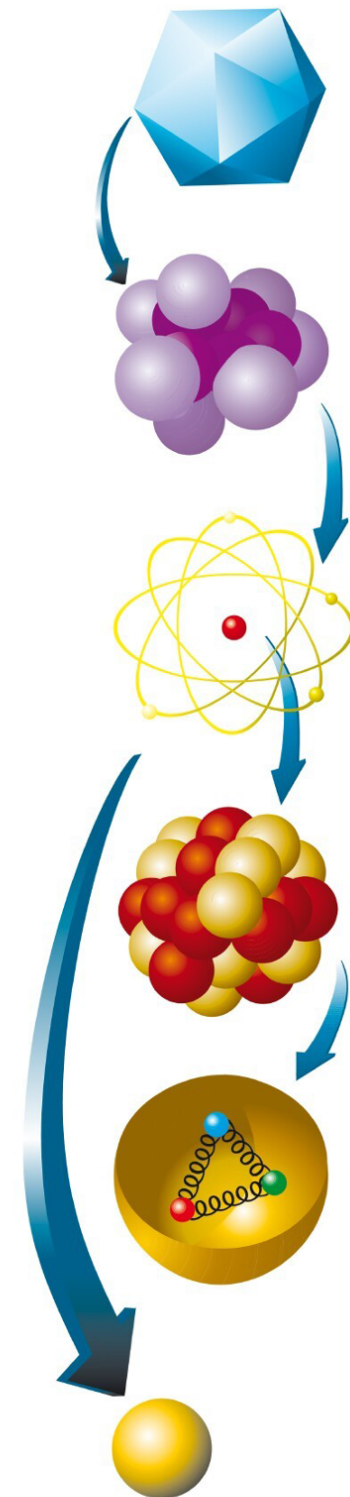
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

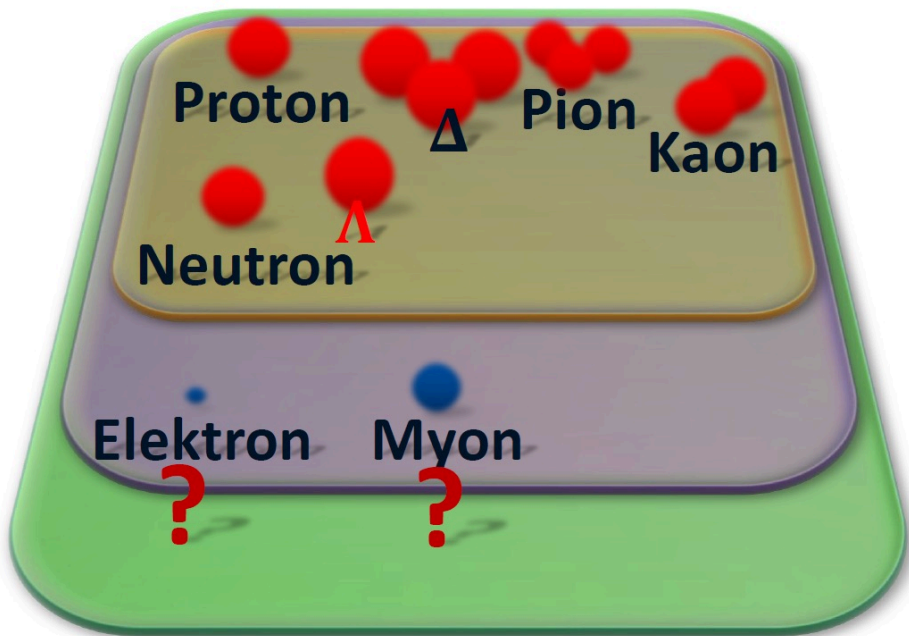
$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Baryonen, Mesonen
Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

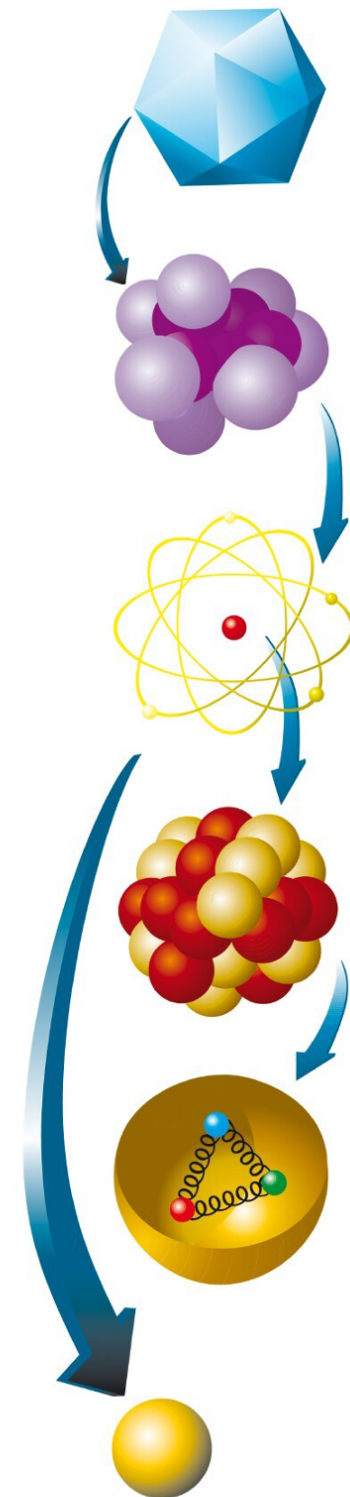
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

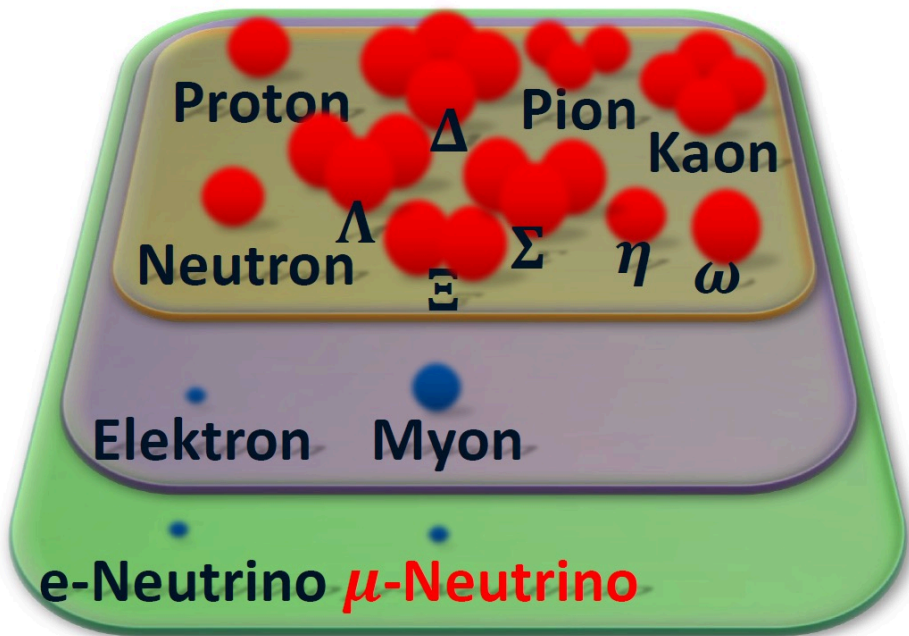
$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Baryonen, Mesonen
Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

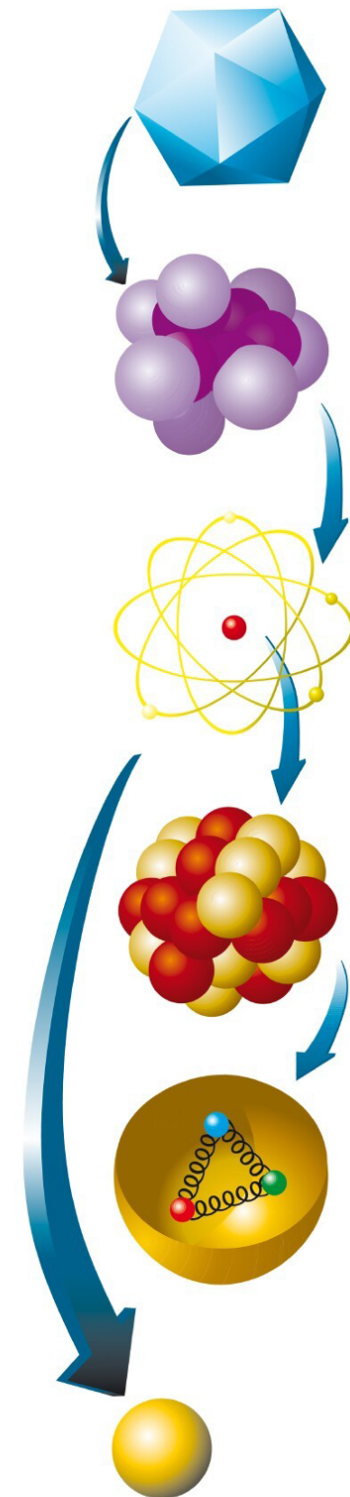
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

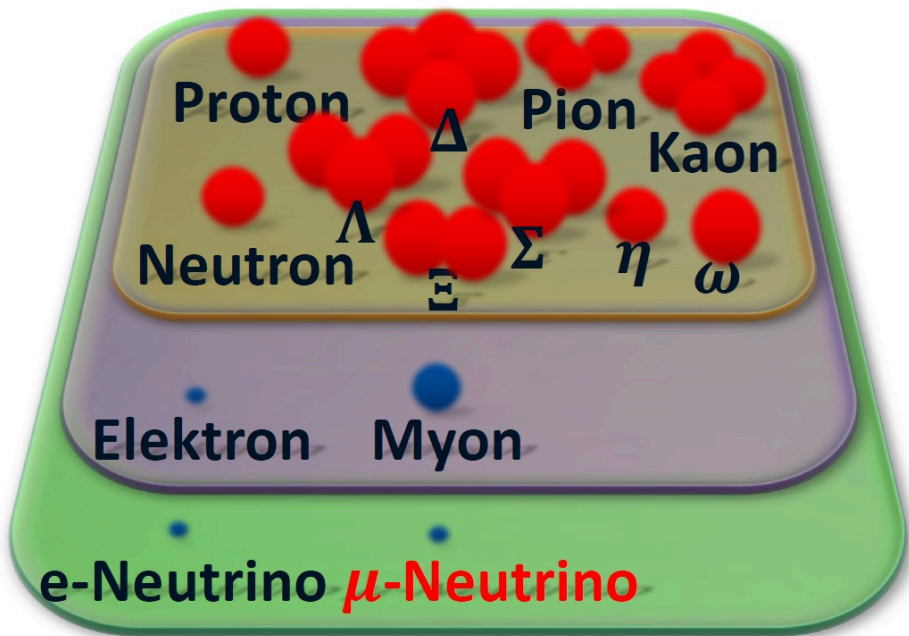
$< 10^{-18}$ m
Elektron
Electron



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Baryonen, Mesonen Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

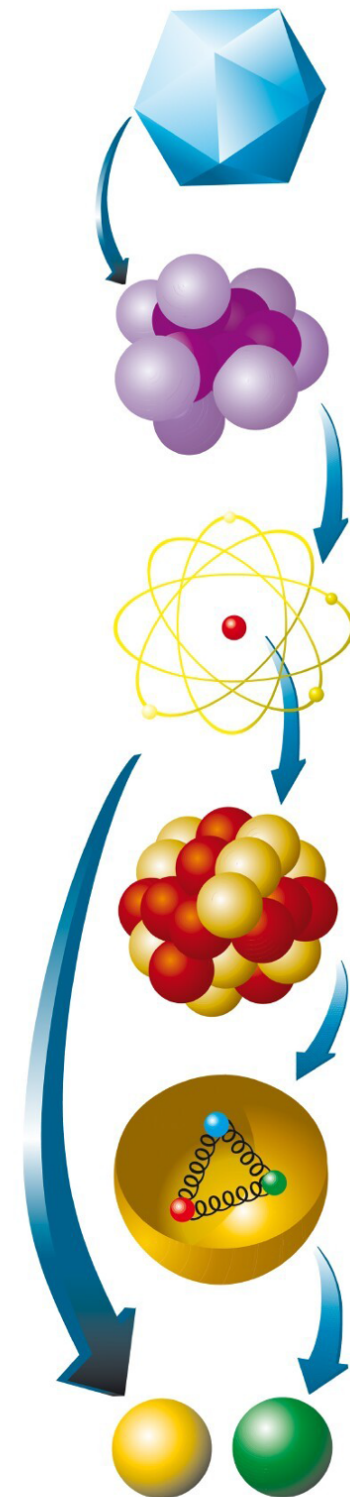
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

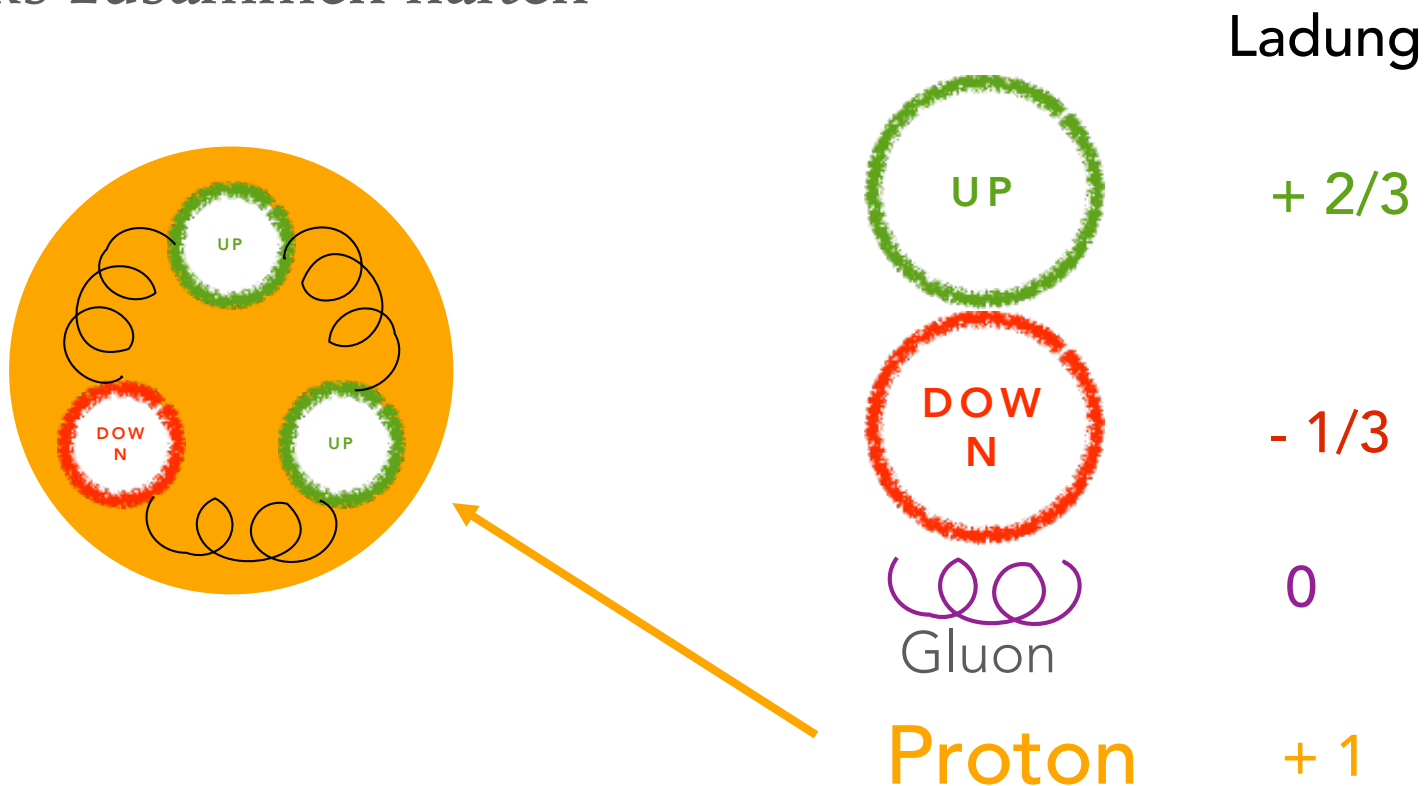
1/1.000

$< 10^{-18}$ m
Elektron,
Quark
Electron,
Quark



DAS PROTON

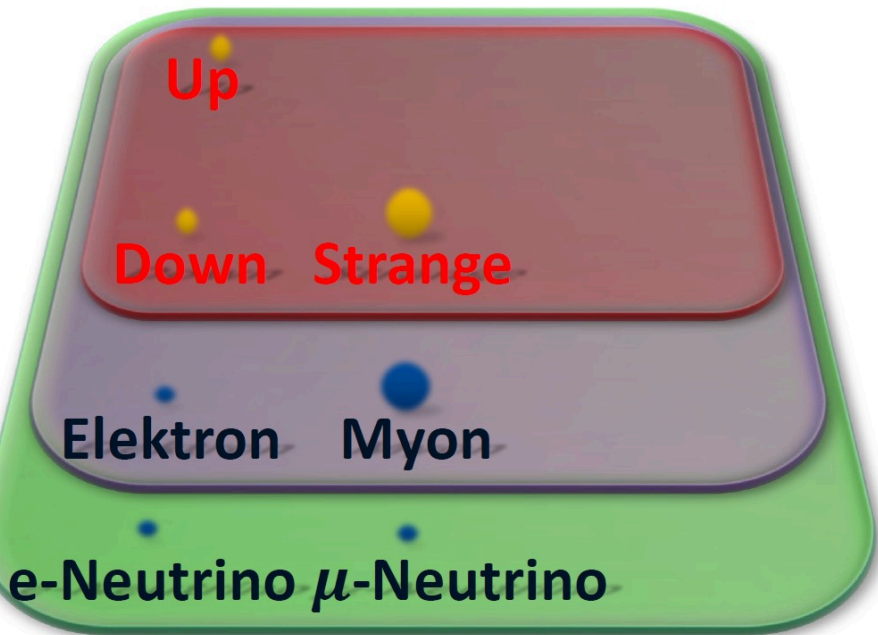
- ▶ Das Proton besteht aus 3 (Valenz-)quarks, die die Eigenschaften des Protons ausmachen, z. B. die Ladung
- ▶ Außerdem besteht das Proton noch aus Gluonen, die die Quarks zusammen halten



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

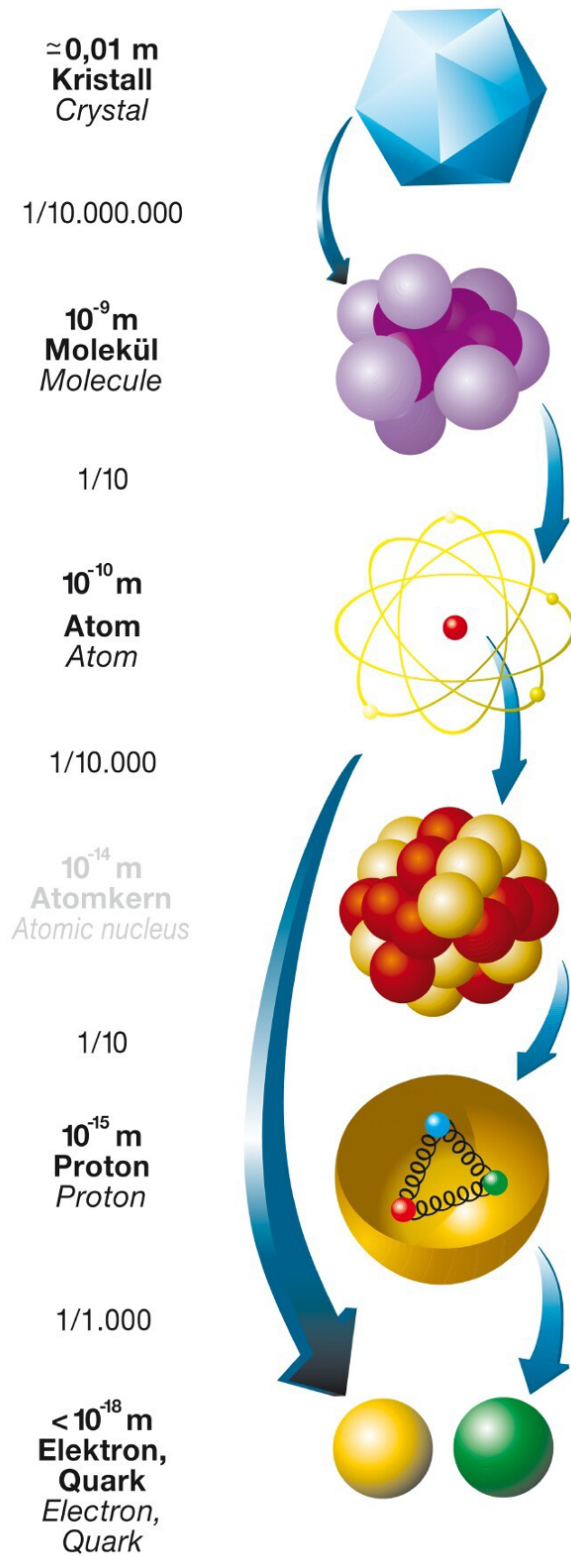
Unser „Periodensystem“

Quarks
Leptonen



Forschung mit Photonen
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Quarks Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

Teilchenphysik
Particle Physics

$\approx 0,01$ m
Kristall
Crystal

1/10.000.000

10^{-9} m
Molekül
Molecule

1/10

10^{-10} m
Atom
Atom

1/10.000

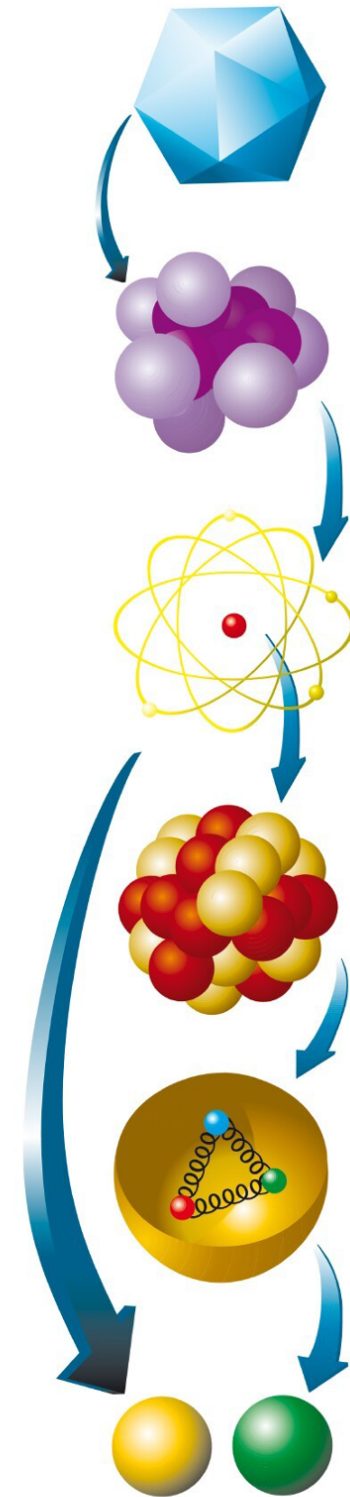
10^{-14} m
Atomkern
Atomic nucleus

1/10

10^{-15} m
Proton
Proton

1/1.000

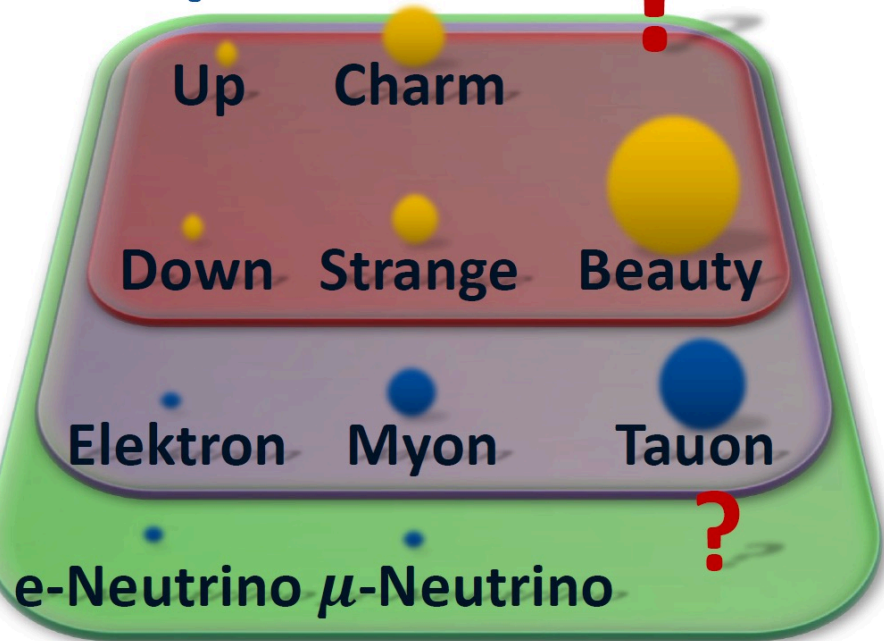
$< 10^{-18}$ m
Elektron,
Quark
Electron,
Quark



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

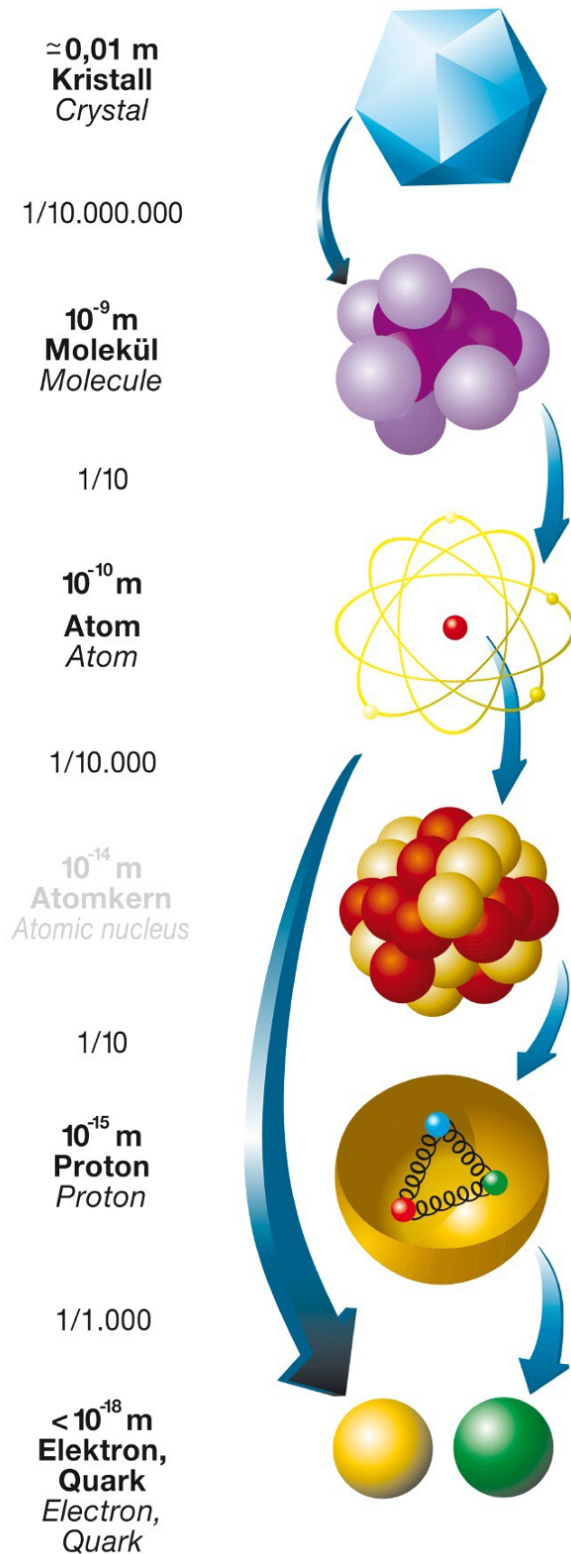
Unser „Periodensystem“

Quarks Leptonen



Forschung mit Photonen
Research with Photons

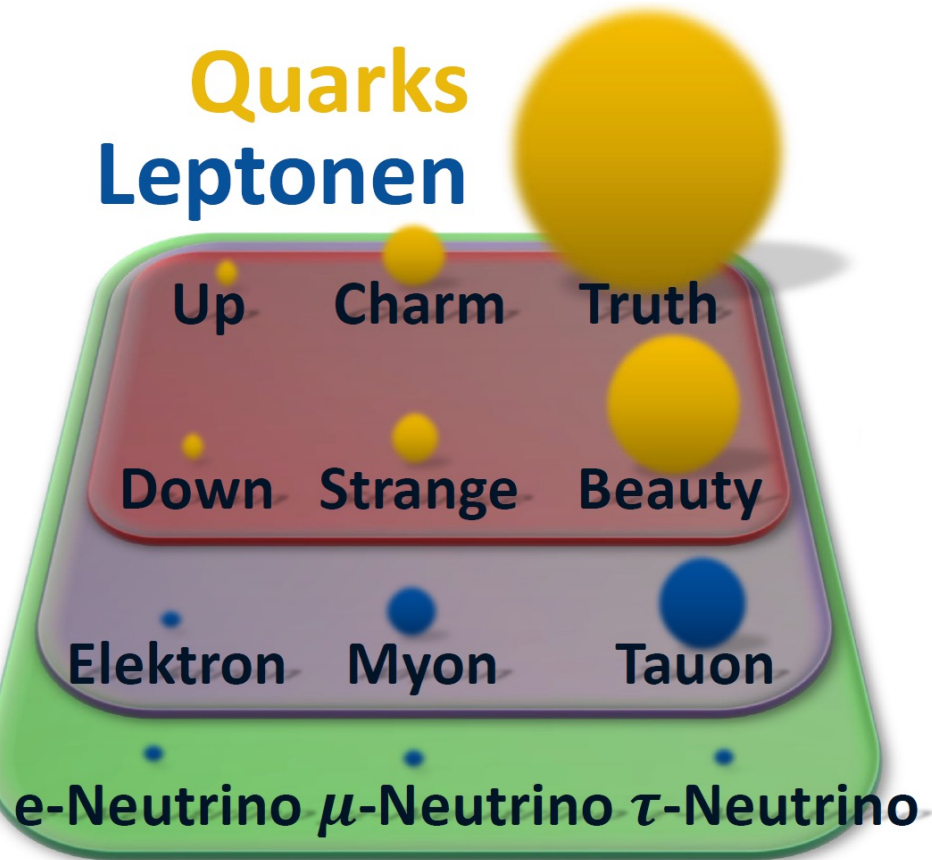
Teilchenphysik
Particle Physics



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

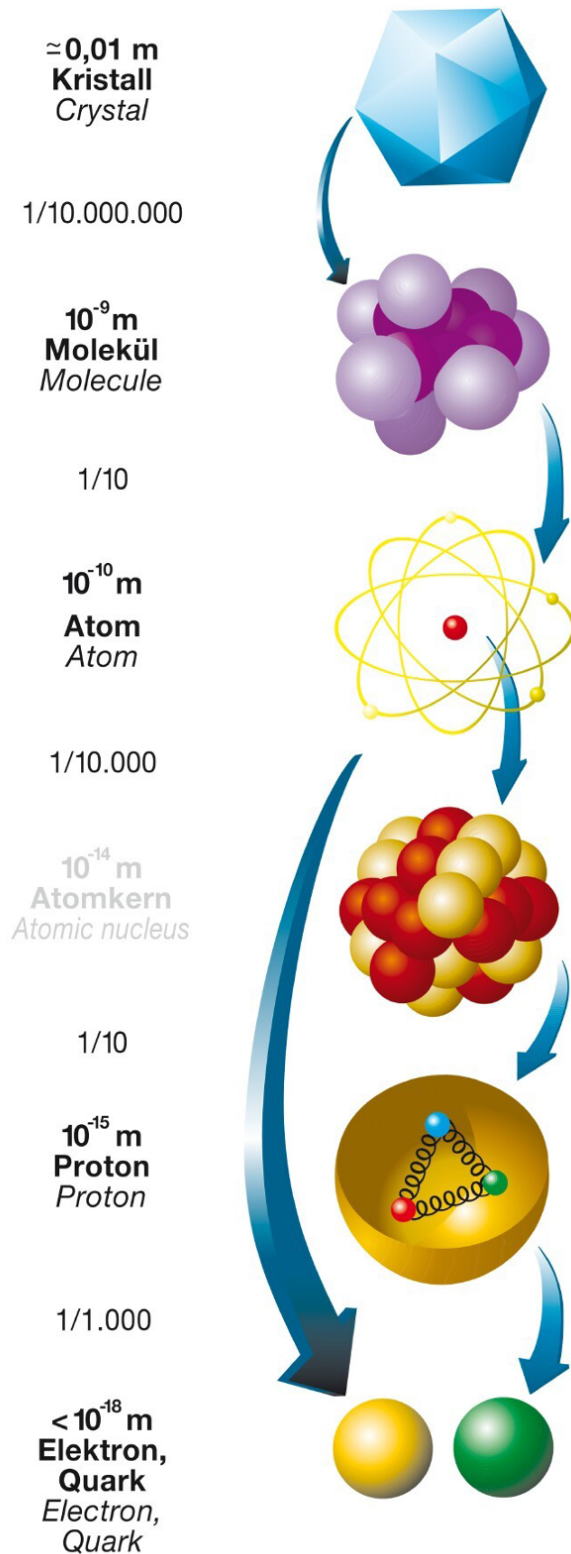
Unser „Periodensystem“

Quarks Leptonen



Forschung mit Photons
Research with Photons

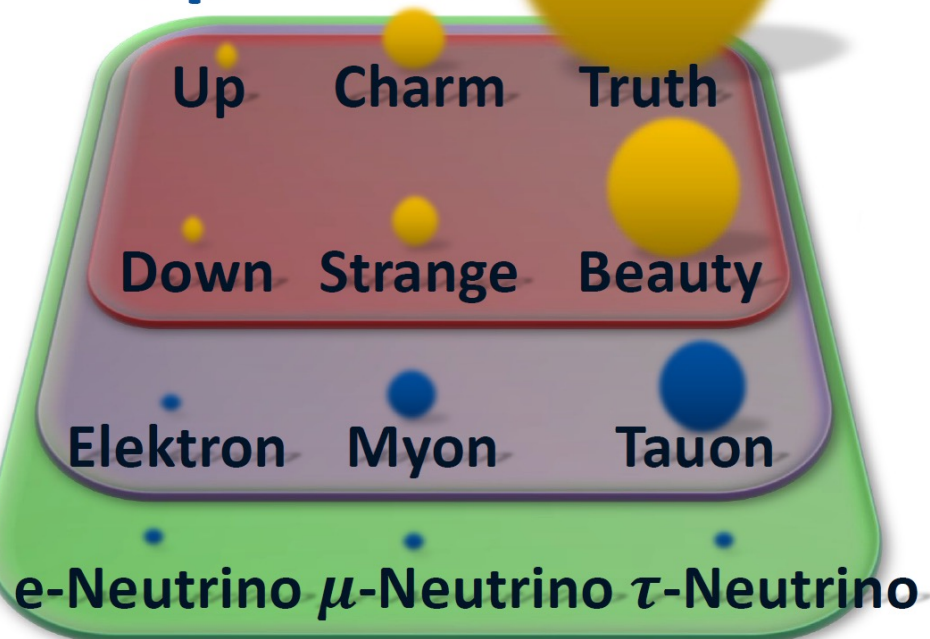
Teilchenphysik
Particle Physics



DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Quarks Leptonen



- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere stabile Materie besteht nur aus der ersten Spalte
- Die zweite und dritte Spalte sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Quasi alles stabile
im Universum

Quarks
Leptonen

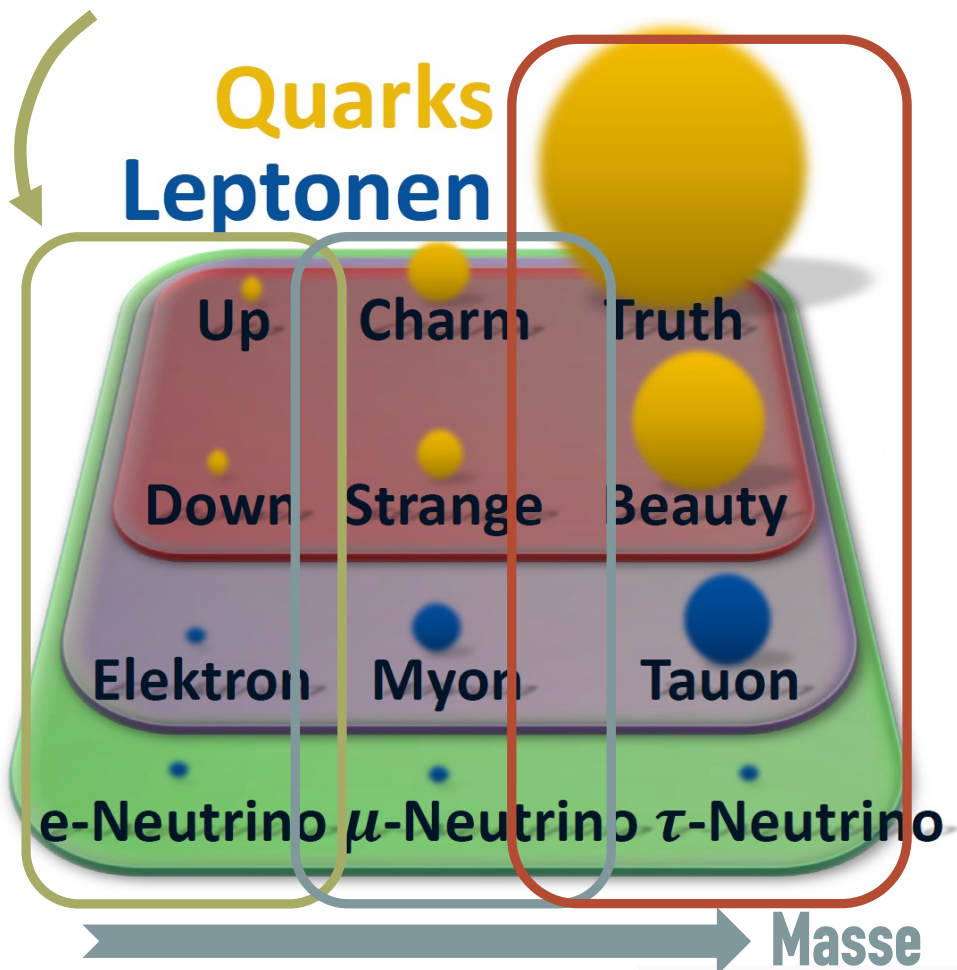


- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die zweite und dritte Spalte sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Quasi alles stabile
im Universum

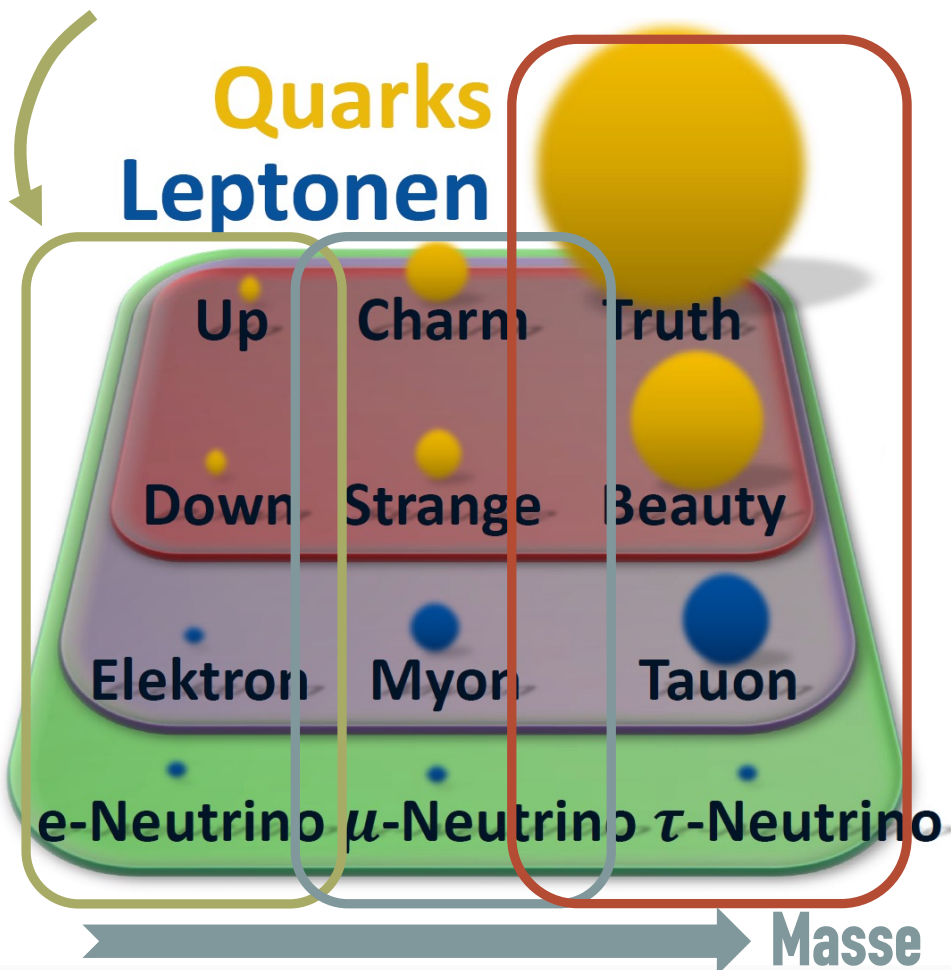


- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

Quasi alles stabile
im Universum



- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

**elektrische
Ladung:**

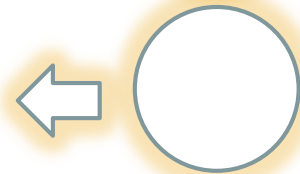
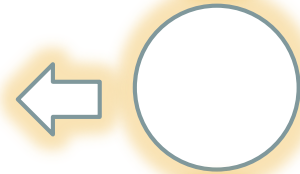
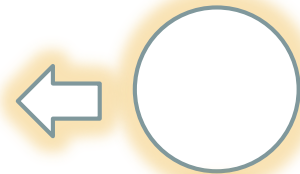
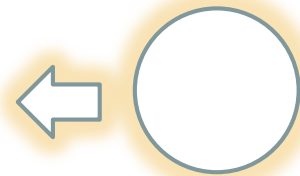
Quarks
Leptonen

Up Charm Truth

Down Strange Beauty

Elektron Myon Tauon

e-Neutrino μ -Neutrino τ -Neutrino



- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!
- Teilchen in jeder **Zeile** haben die gleiche Ladung!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

**elektrische
Ladung:**

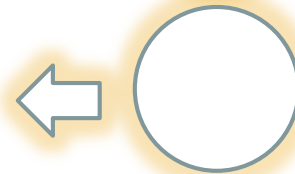
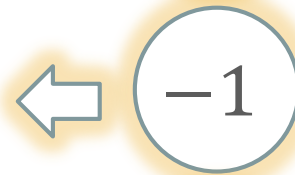
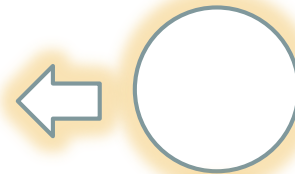
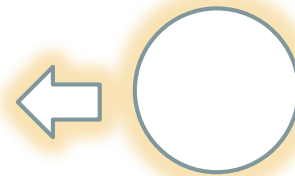
Quarks
Leptonen

Up Charm Truth

Down Strange Beauty

Elektron Myon Tauon

e-Neutrino μ -Neutrino τ -Neutrino



- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!
- Teilchen in jeder **Zeile** haben die gleiche Ladung!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

**elektrische
Ladung:**

Quarks
Leptonen

Up Charm Truth

Down Strange Beauty

Elektron Myon Tauon

e-Neutrino μ -Neutrino τ -Neutrino

← $\left(+\frac{2}{3} \right)$

← (\quad)

← (-1)

← (\quad)

- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!
- Teilchen in jeder **Zeile** haben die gleiche Ladung!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

**elektrische
Ladung:**

Quarks
Leptonen

Up Charm Truth

Down Strange Beauty

Elektron Myon Tauon

e-Neutrino μ -Neutrino τ -Neutrino

← $+\frac{2}{3}$

← $-\frac{1}{3}$

← -1

← 0

- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!
- Teilchen in jeder **Zeile** haben die gleiche Ladung!

DAS STANDARDMODELL DER TEILCHENPHYSIK

Unser „Periodensystem“

**elektrische
Ladung:**

Quarks
Leptonen

Up Charm Truth

Down Strange Beauty

Elektron Myon Tauon

e-Neutrino μ -Neutrino τ -Neutrino

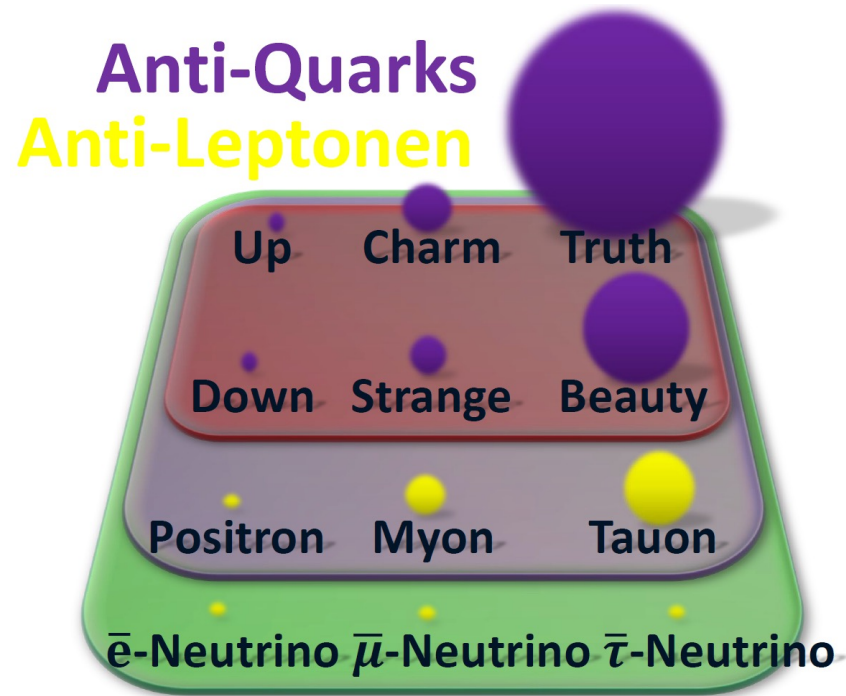
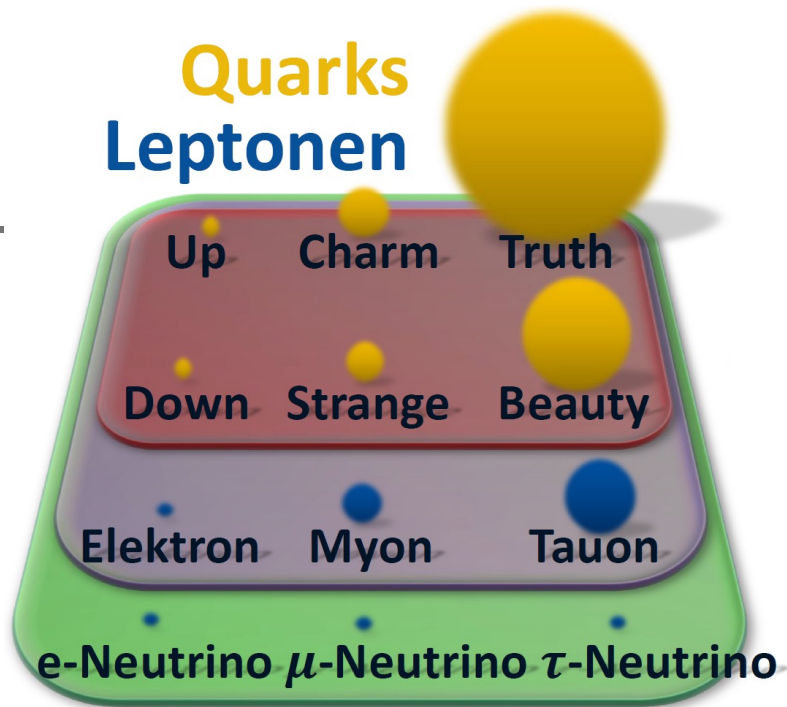
← $+\frac{2}{3}$

← $-\frac{1}{3}$

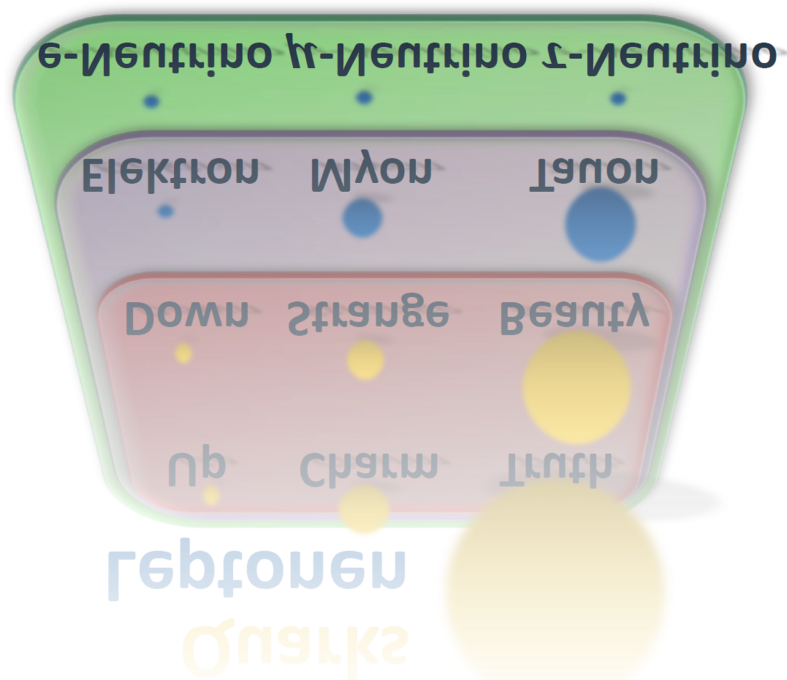
← -1

← 0

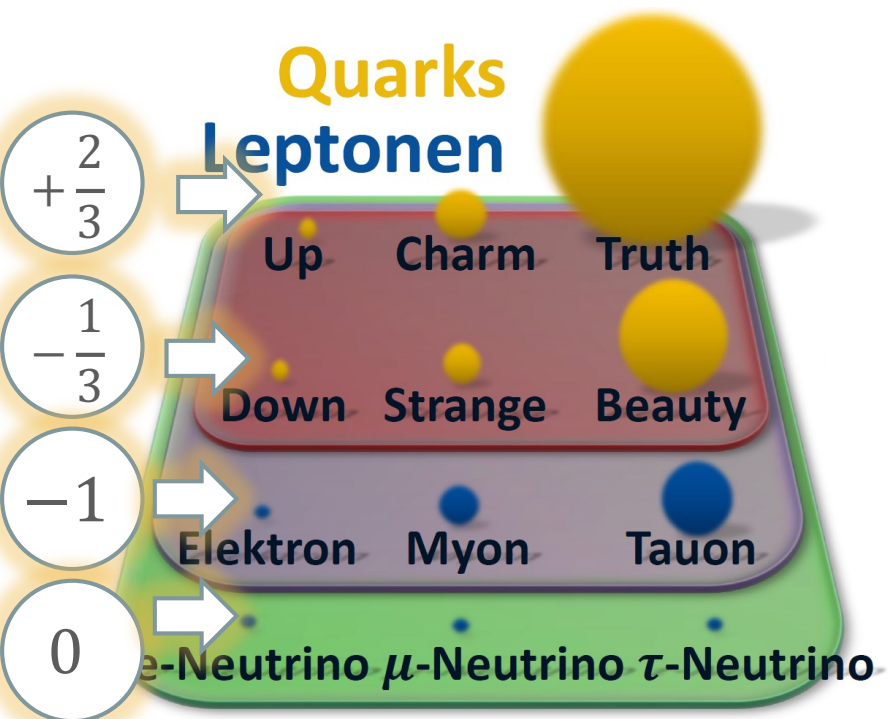
- Nach und nach wurden noch mehr kleinste Teilchen entdeckt
- Unsere **stabile Materie** besteht nur aus der **ersten Spalte**
- Die **zweite** und **dritte Spalte** sind schwerere Kopien der Teilchen in der ersten Spalte!
- Teilchen in jeder **Zeile** haben die gleiche Ladung!



TERIE
—

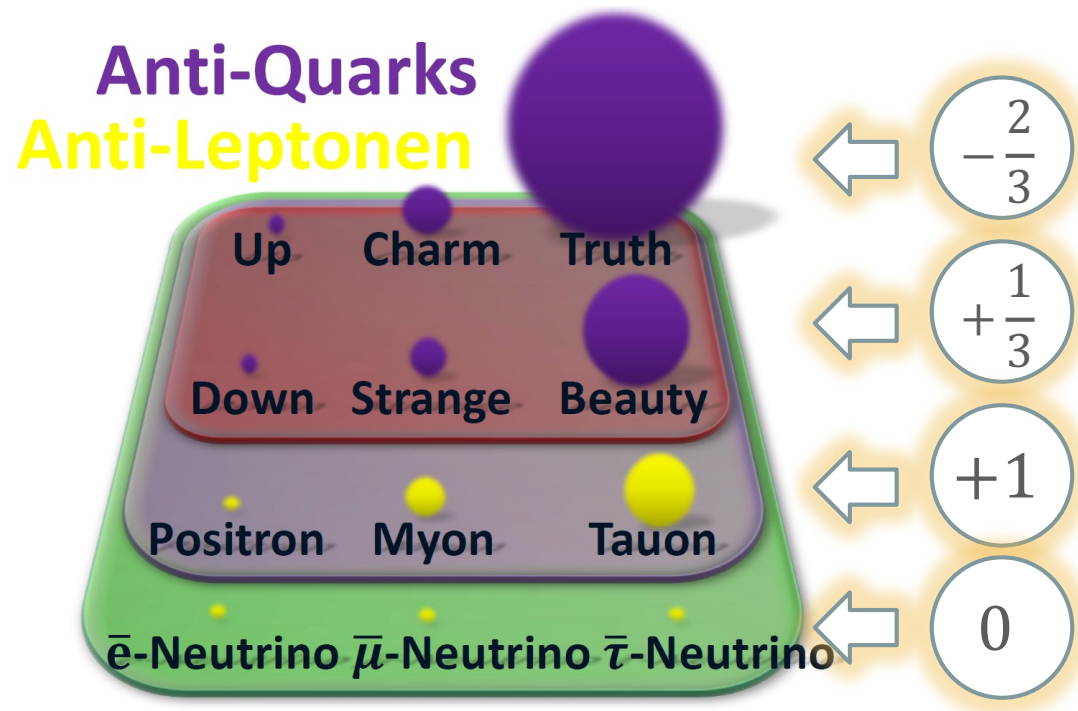


- Jedes Materieteilchen hat ein „Spiegelbild“:
- Antimaterie mit genau gleichen Eigenschaften aber entgegengesetzter **Ladung**



MATERIE

UND



ANTIMATERIE

- Jedes Materieteilchen hat ein „Spiegelbild“:
- Antimaterie mit genau gleichen Eigenschaften aber entgegengesetzter **Ladung**

„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

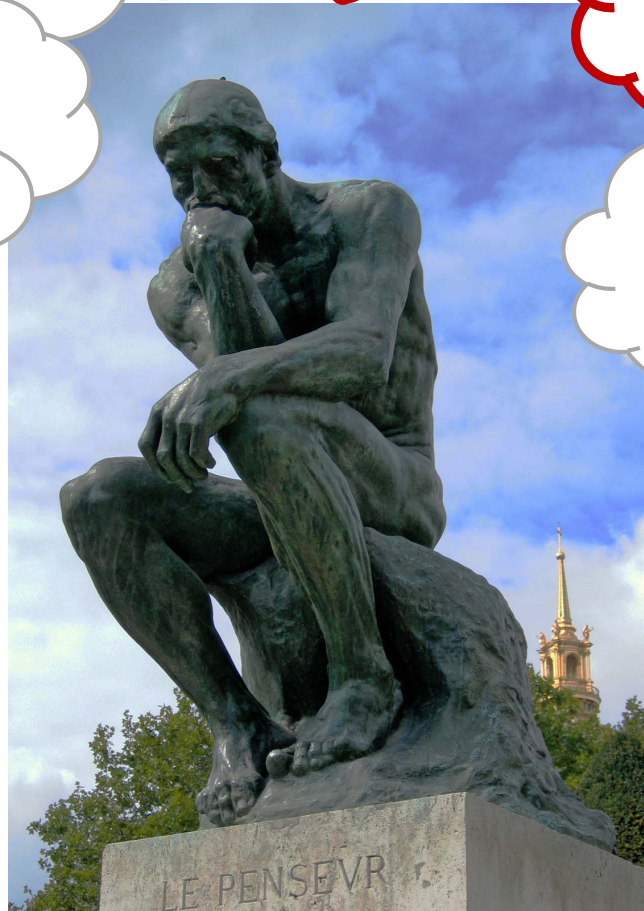
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

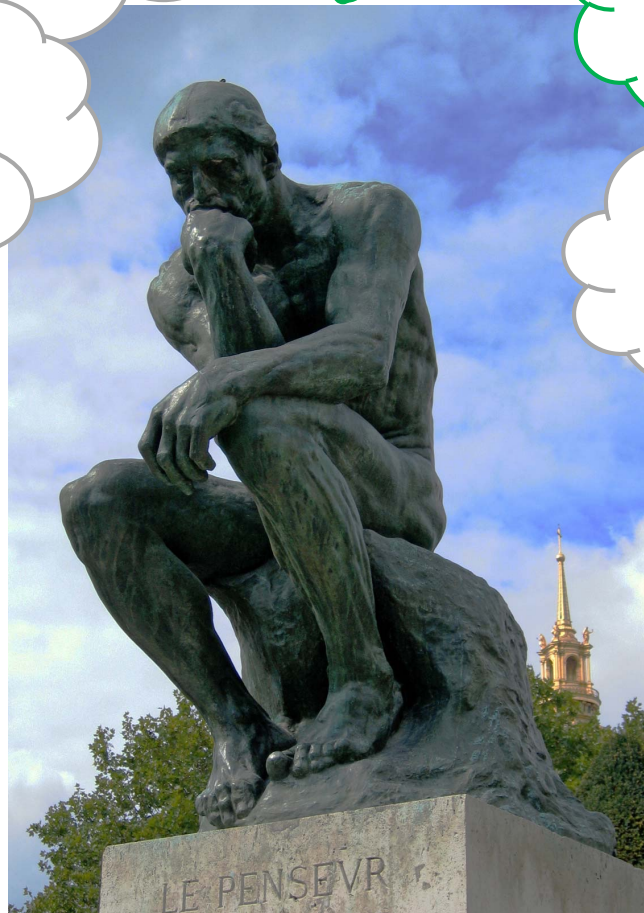
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

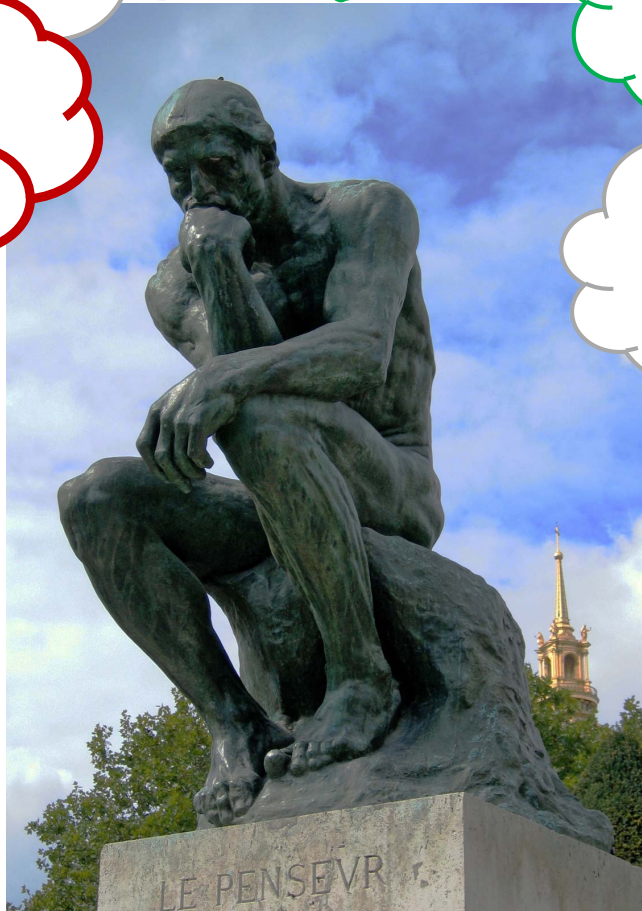
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE

DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE

▶ Starke Kraft



▶ Elektromagnetische Kraft



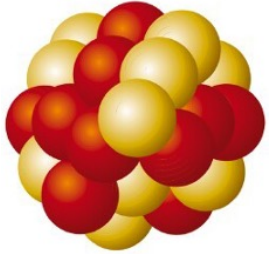
▶ Schwache Kraft



▶ Gravitation



DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE



▶ Starke Kraft: Hält den Atomkern zusammen (bindet Quarks aneinander)



▶ Elektromagnetische Kraft



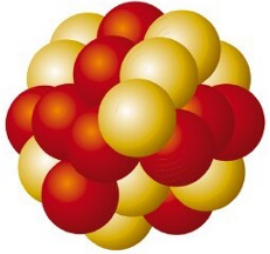
▶ Schwache Kraft



▶ Gravitation



DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE



- ▶ Starke Kraft: Hält den Atomkern zusammen (bindet Quarks aneinander)



- ▶ Elektromagnetische Kraft: hält Atome und Moleküle zusammen (wirkt zwischen elektrisch geladenen Teilchen)



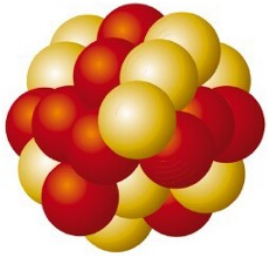
- ▶ Schwache Kraft



- ▶ Gravitation



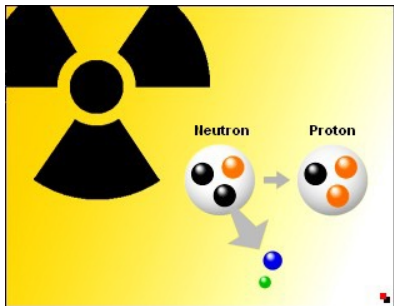
DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE



- ▶ Starke Kraft: Hält den Atomkern zusammen (bindet Quarks aneinander)



- ▶ Elektromagnetische Kraft: hält Atome und Moleküle zusammen (wirkt zwischen elektrisch geladenen Teilchen)



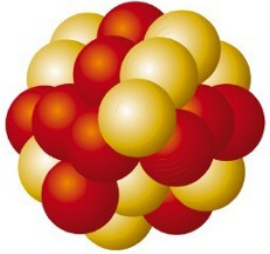
- ▶ Schwache Kraft: verantwortlich für radioaktive Zerfälle von Atomkernen (wandelt Quarks oder Leptonen ineinander um)



- ▶ Gravitation



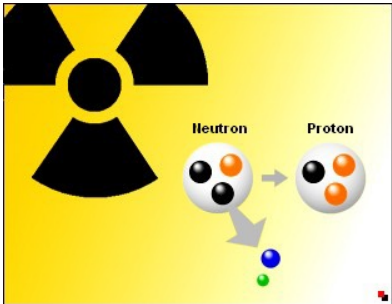
DAS STANDARDMODELL - KRÄFTE



- ▶ Starke Kraft: Hält den Atomkern zusammen (bindet Quarks aneinander)



- ▶ Elektromagnetische Kraft: hält Atome und Moleküle zusammen (wirkt zwischen elektrisch geladenen Teilchen)



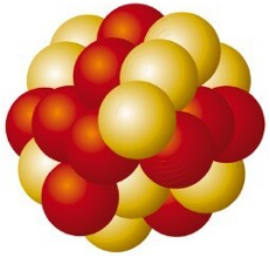
- ▶ Schwache Kraft: verantwortlich für radioaktive Zerfälle von Atomkernen (wandelt Quarks oder Leptonen ineinander um)



- ▶ Gravitation: Hält Planeten und Galaxien zusammen



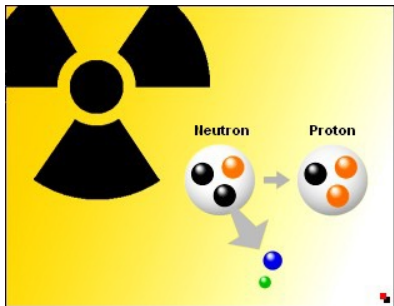
DAS STANDARDMODELL – KRÄFTE



- ▶ Starke Kraft: Hält den Atomkern zusammen (bindet Quarks aneinander); Austauschteilchen: **Gluonen**



- ▶ Elektromagnetische Kraft: hält Atome und Moleküle zusammen (wirkt zwischen elektrisch geladenen Teilchen); Austauschteilchen: **Photonen**



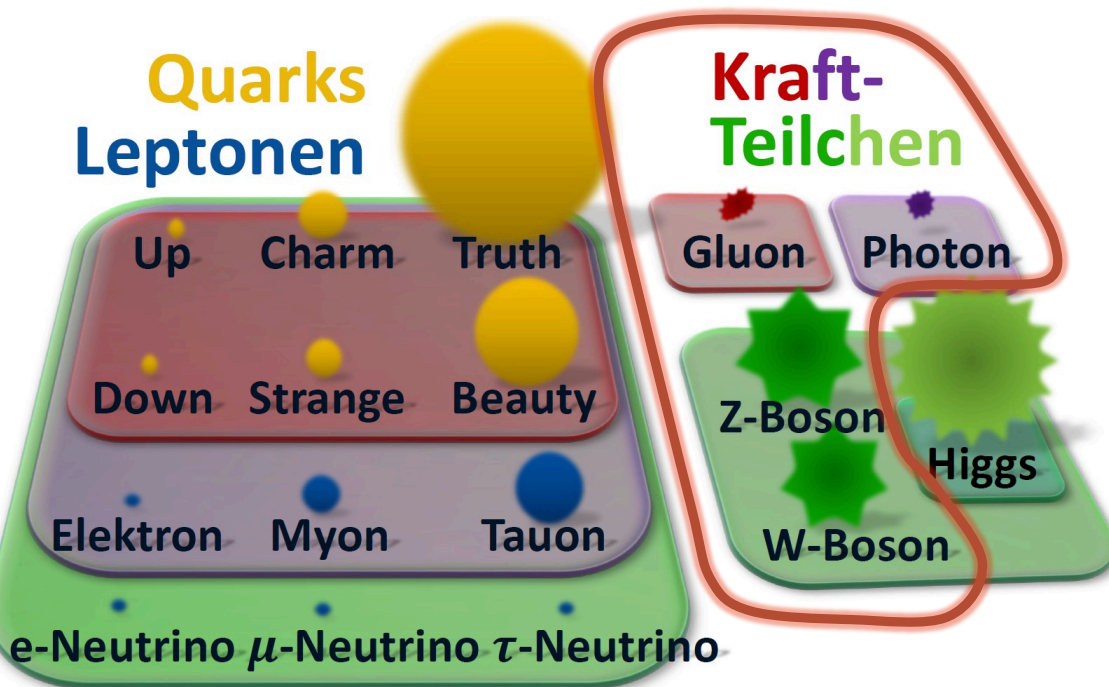
- ▶ Schwache Kraft: verantwortlich für radioaktive Zerfälle von Atomkernen (wandelt Quarks oder Leptonen ineinander um); Austauschteilchen: **W- und Z-Bosonen**



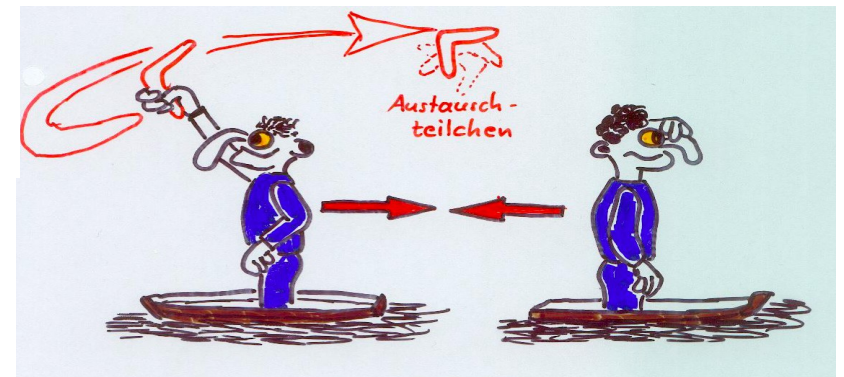
- ▶ Gravitation: Hält Planeten und Galaxien zusammen



DAS STANDARDMODELL – KRÄFTE ZWISCHEN DEN TEILCHEN



► **Kräfte** zwischen den Teilchen werden durch spezielle Vermittler-Teilchen übertragen



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

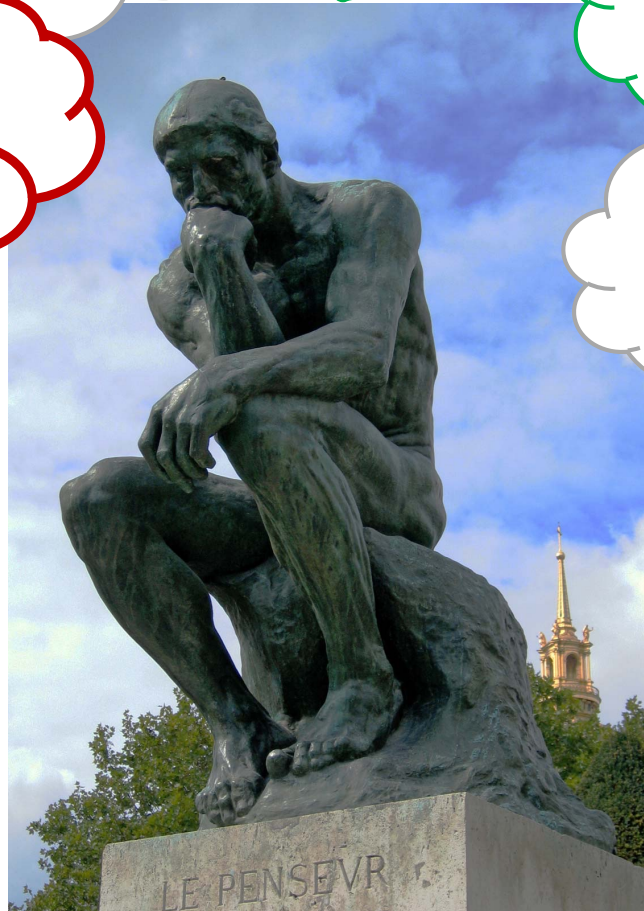
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

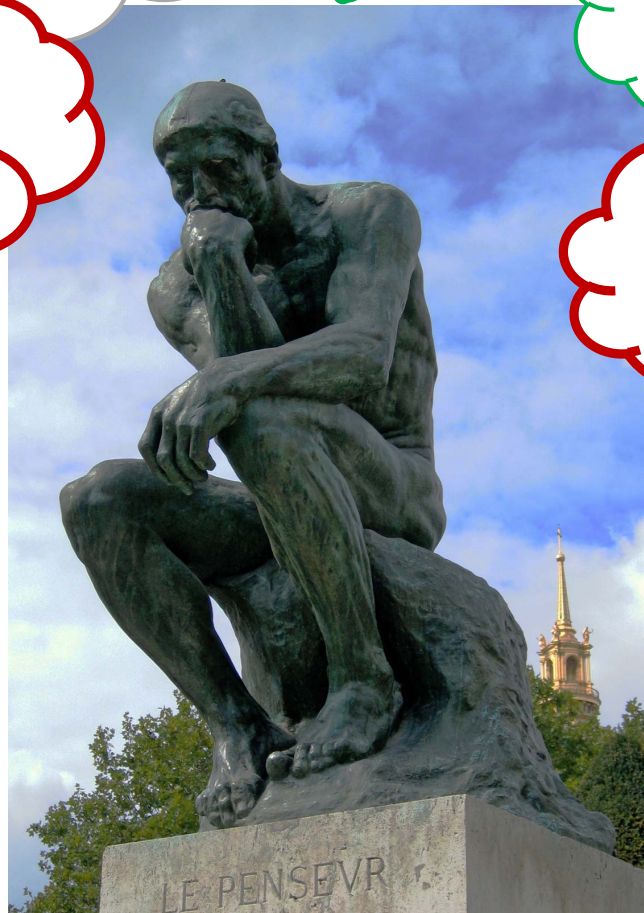
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

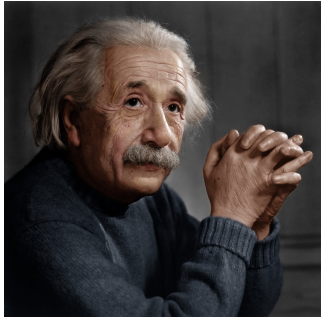
Und wie ist das alles entstanden?



WAS KANN MAN MIT ENERGIE EIGENTLICH SO MACHEN?



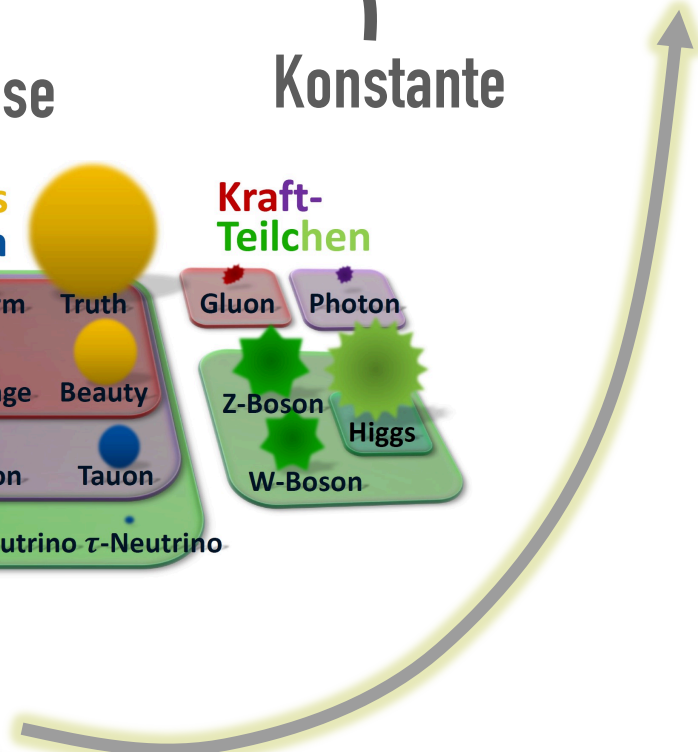
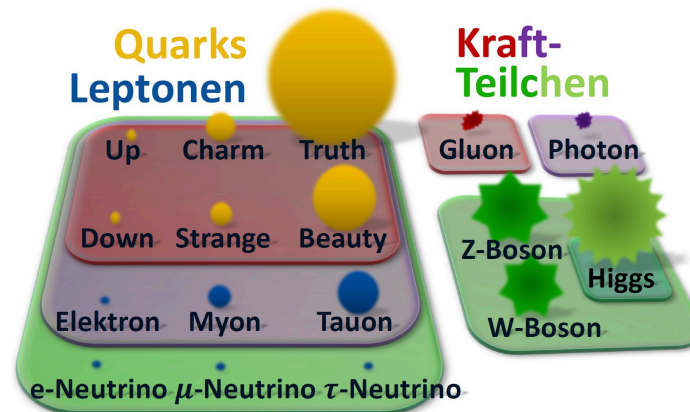
WAS KANN MAN MIT ENERGIE EIGENTLICH SO MACHEN?



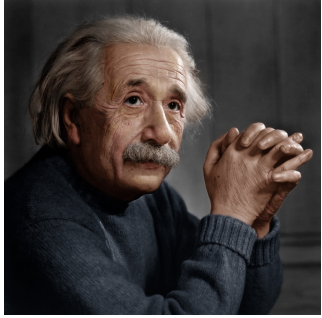
$$E = mc^2$$

Energie Masse Konstante

Alles!



SCHRITT FÜR SCHRITT: WIE KRIEGT MAN ÜBERHAUPT ENERGIE?

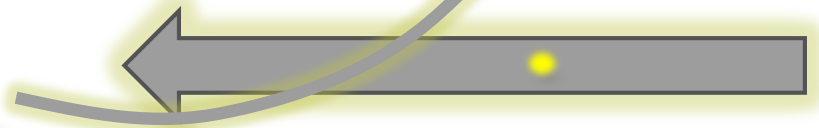
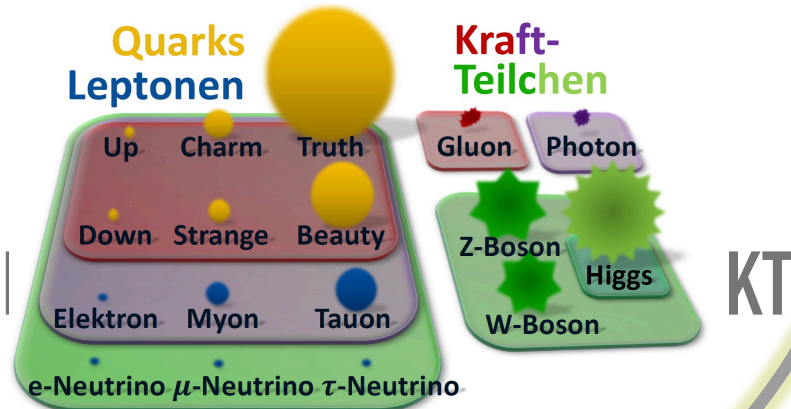


$$E = mc^2$$

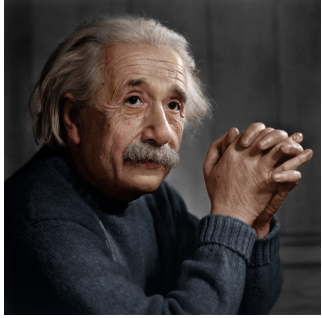
Energie Masse Konstante

Alles!

TEILCHENBESCHLEUNIGER: VIEL



SCHRITT FÜR SCHRITT: WIE KRIEGT MAN ÜBERHAUPT ENERGIE?



$$E = mc^2$$

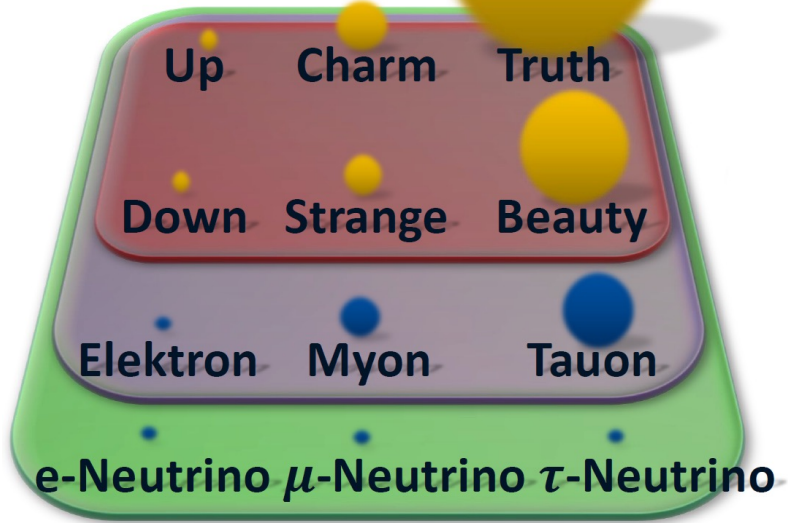
Energie Masse Konstante

The equation $E = mc^2$ is displayed in a large, bold, italicized font. Below the equation, three labels are positioned: 'Energie' under the 'E', 'Masse' under the 'm', and 'Konstante' under the 'c^2'. Curved arrows point from each label to its corresponding part of the equation.

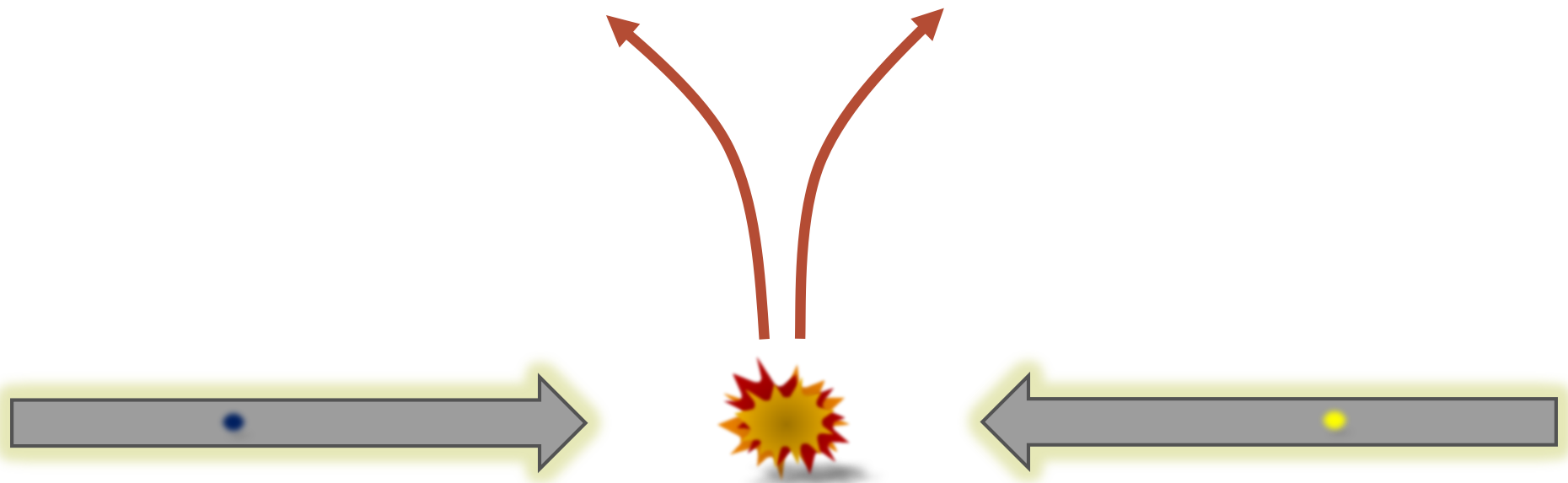
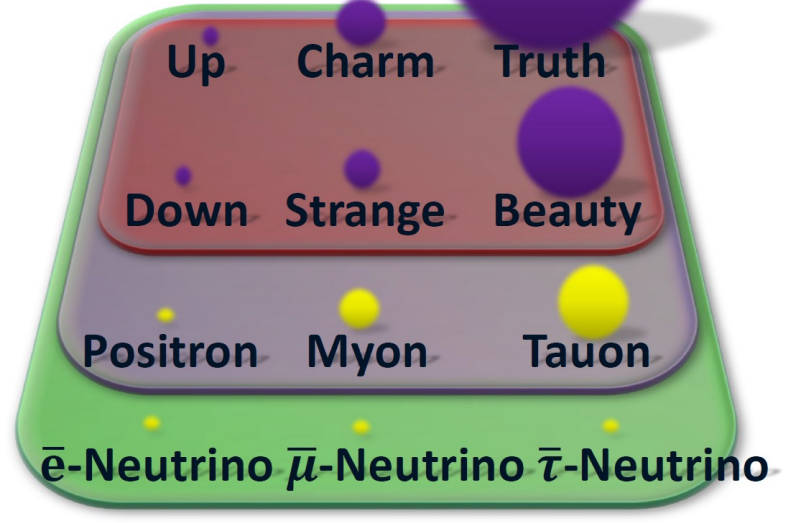
TEILCHENBESCHLEUNIGER: VIEL ENERGIE AUF EINEM PUNKT

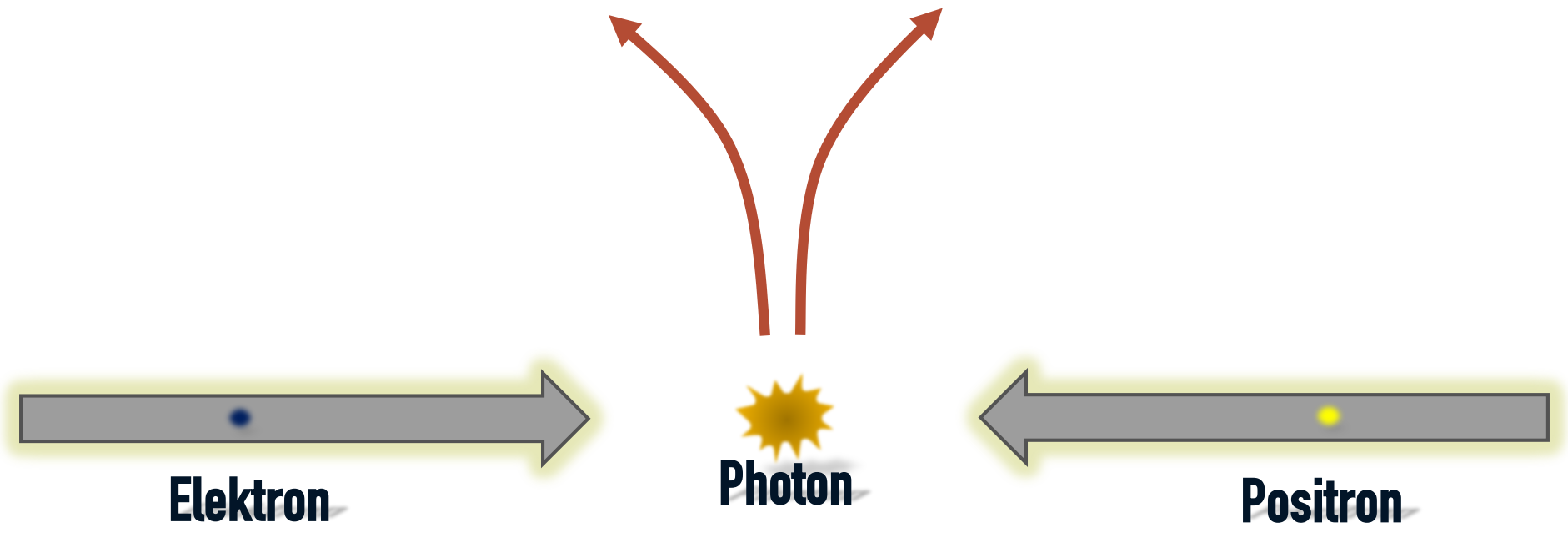
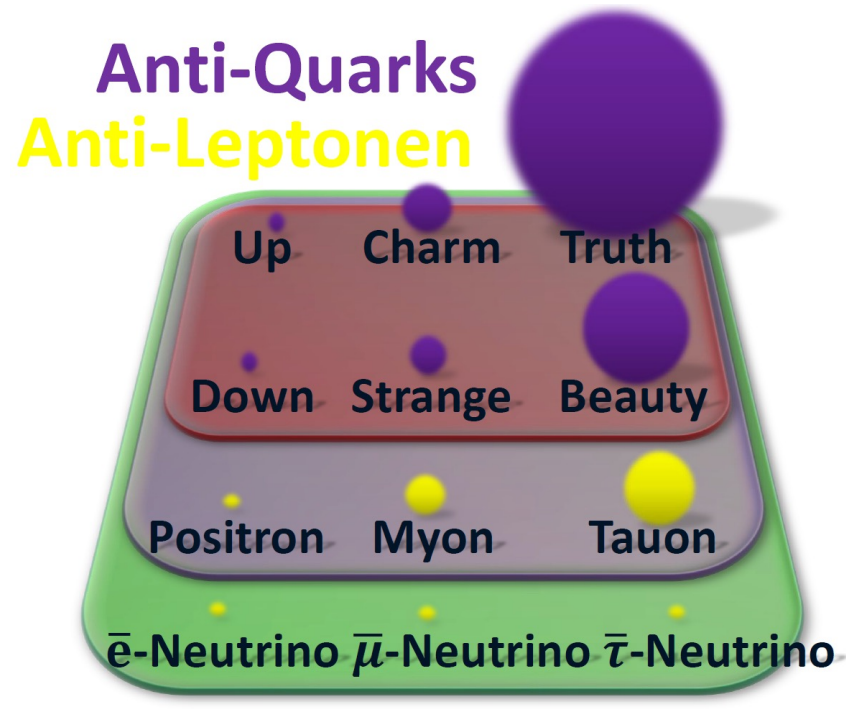
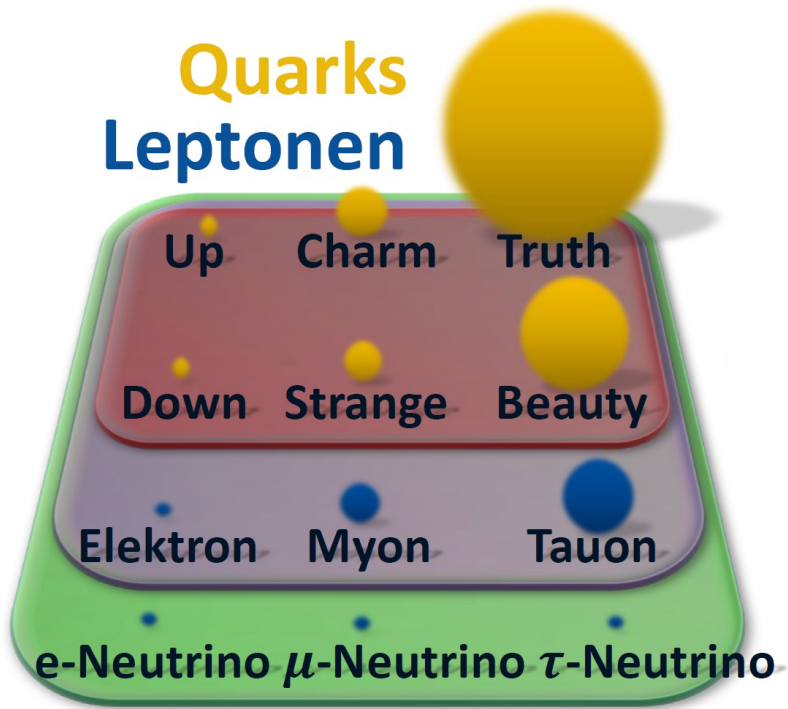


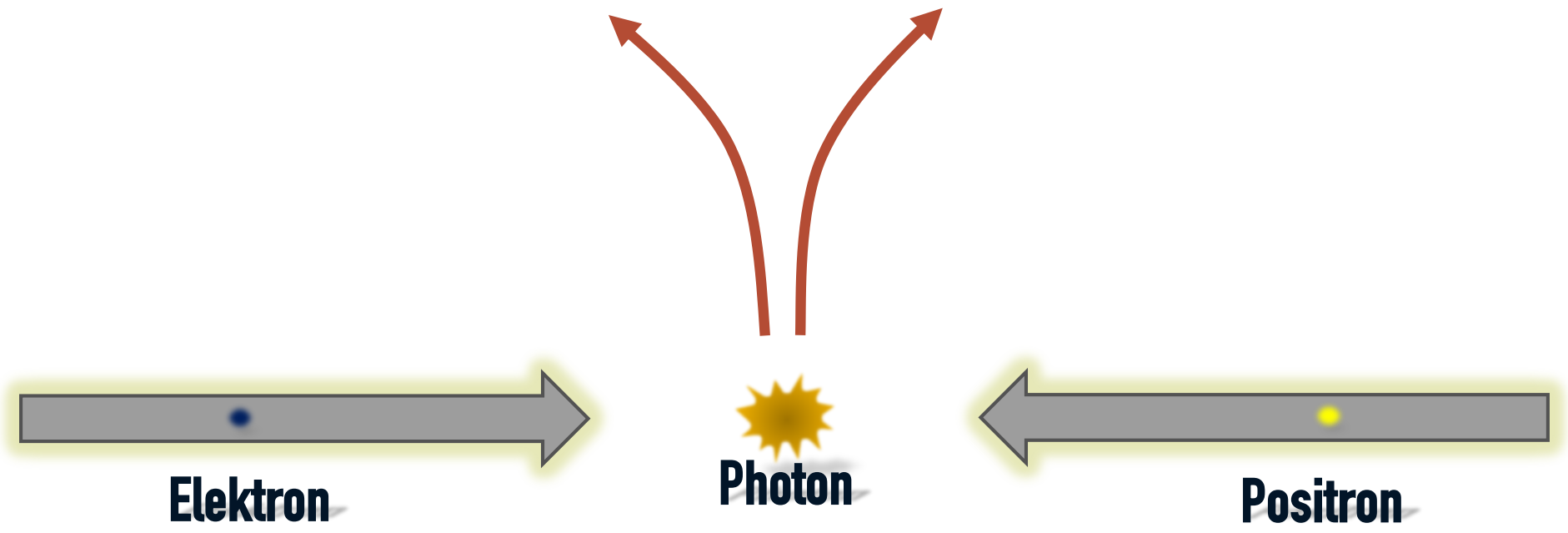
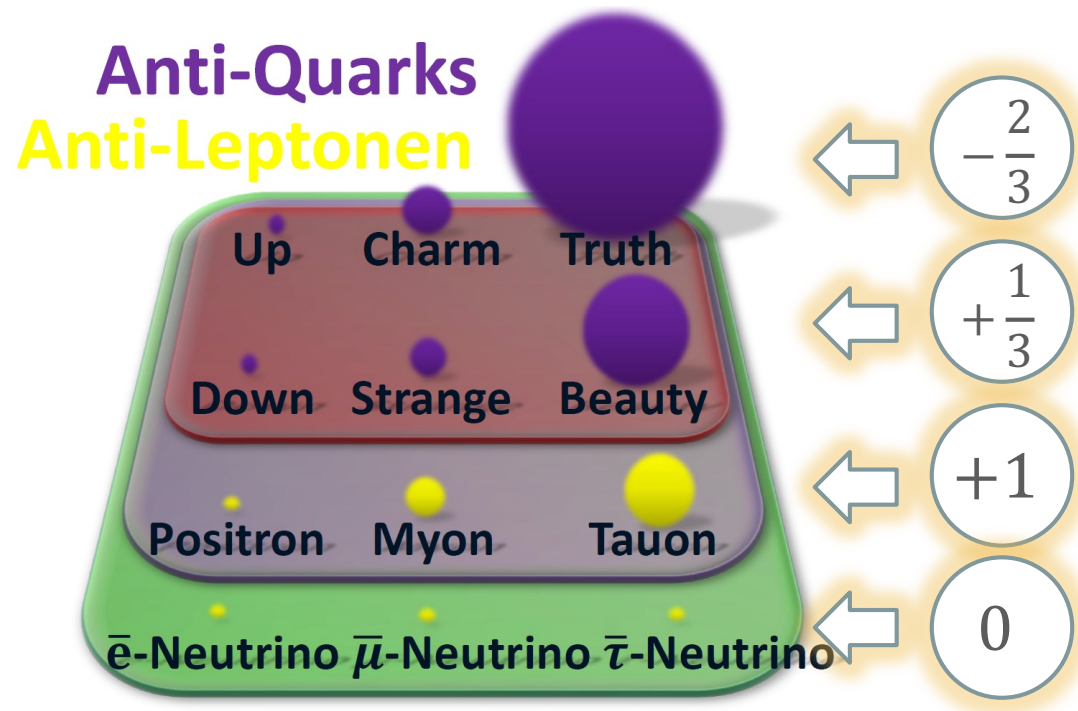
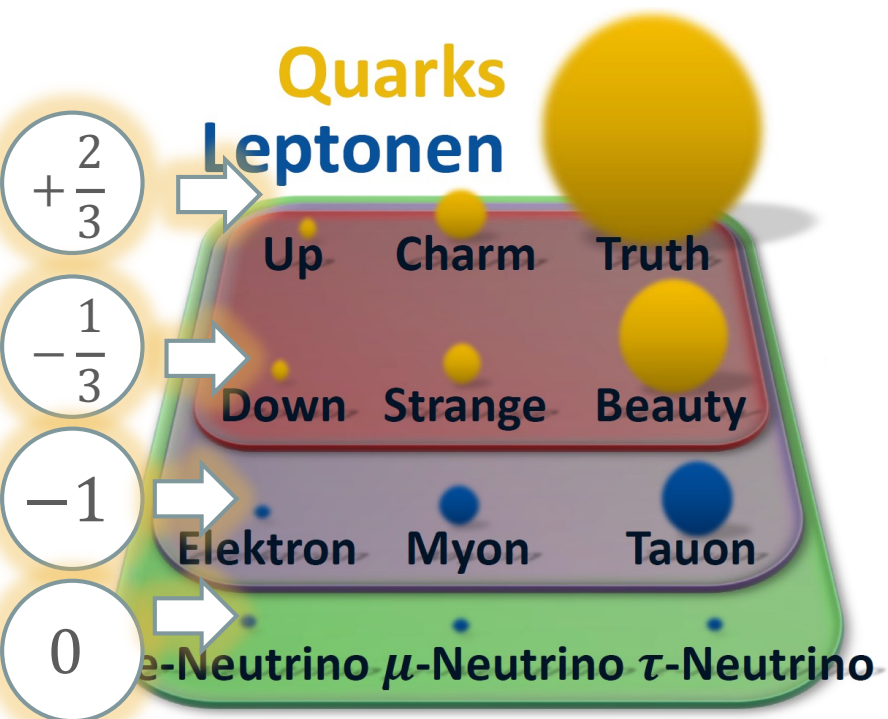
Quarks Leptonen

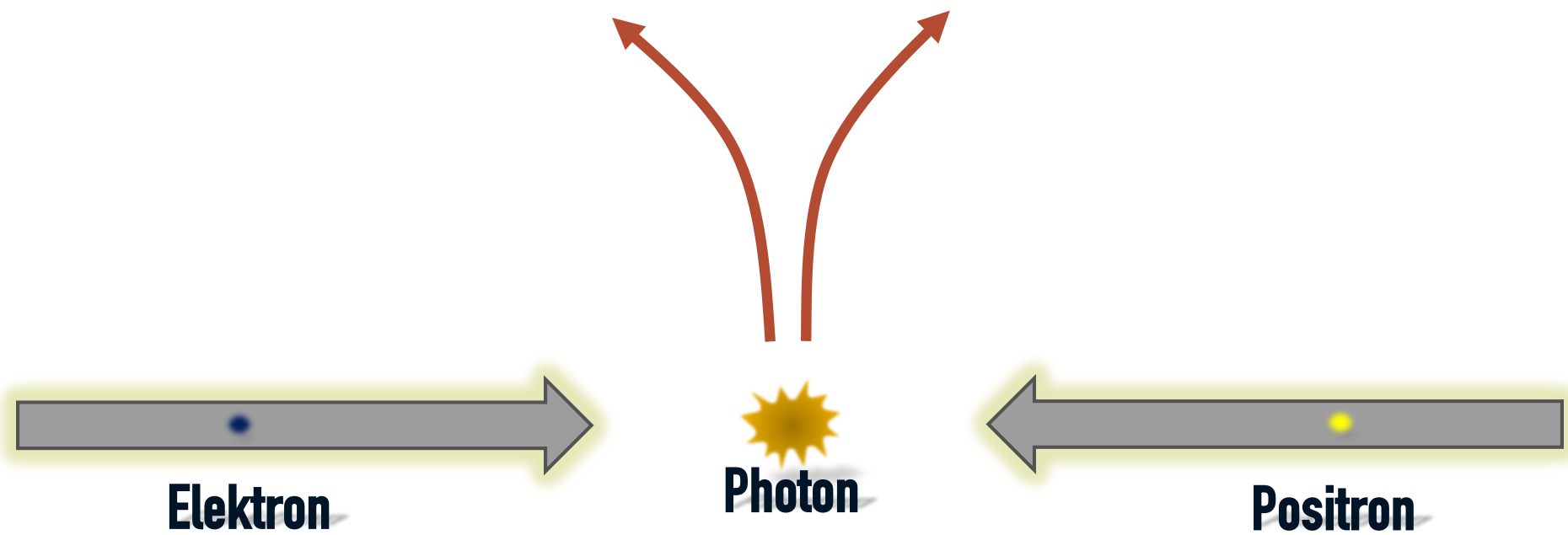
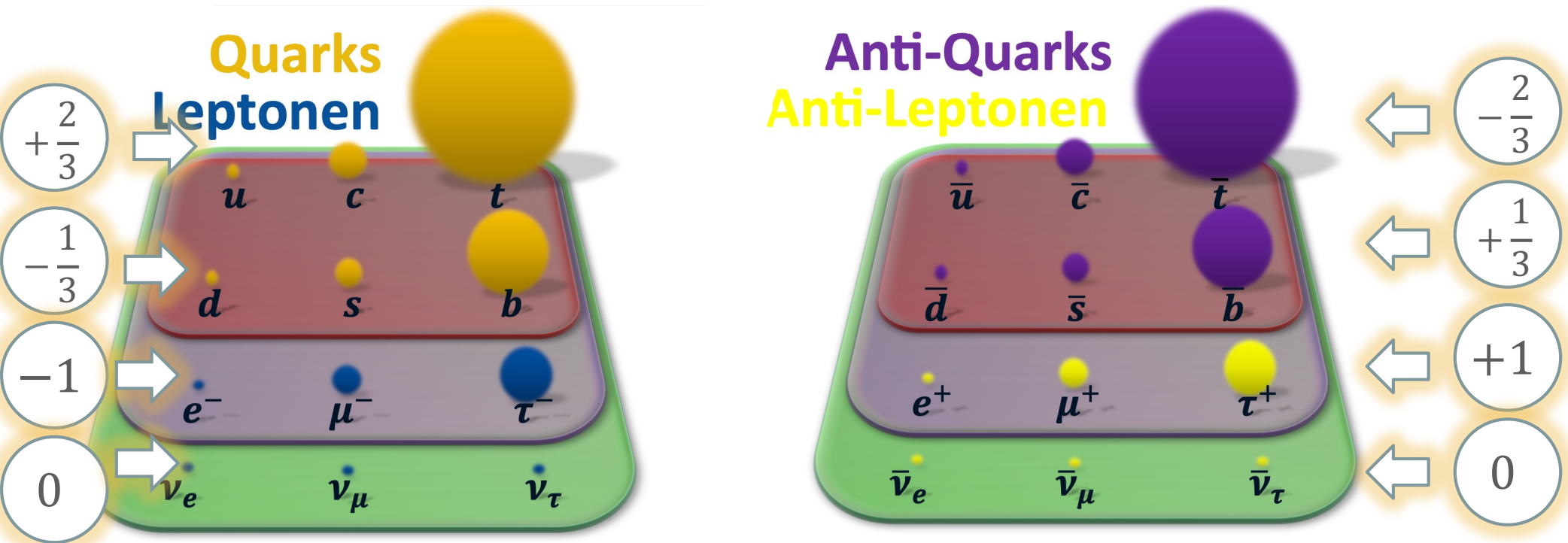


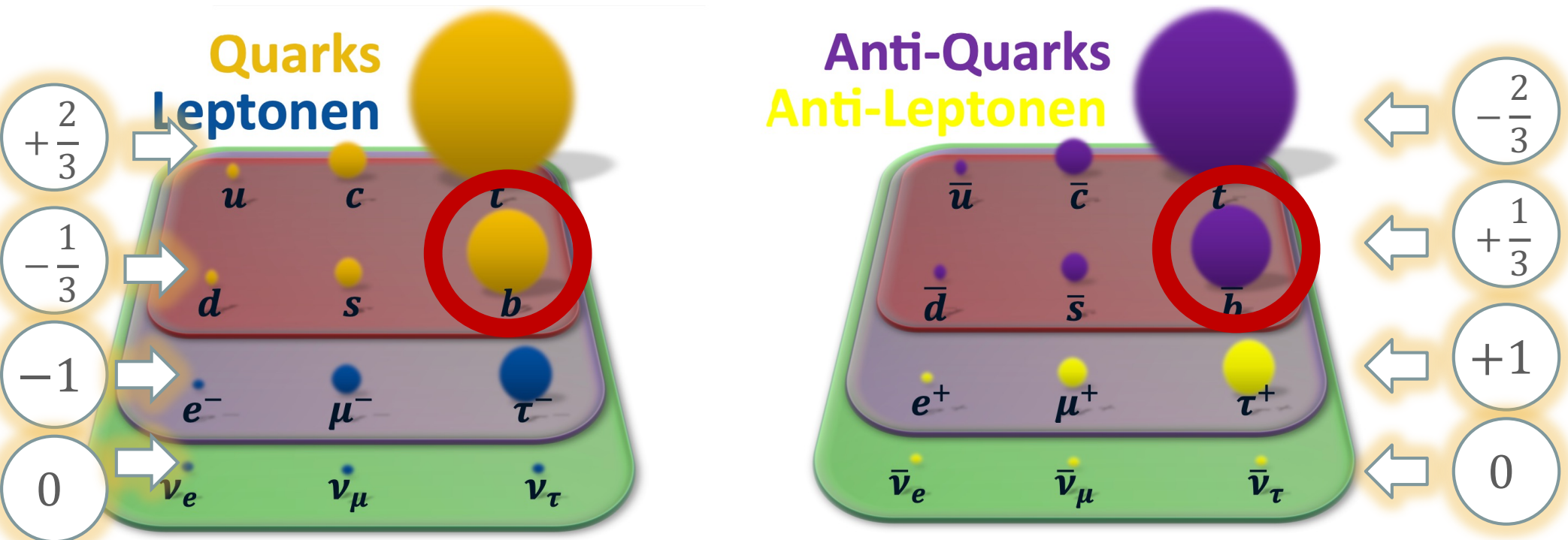
Anti-Quarks Anti-Leptonen





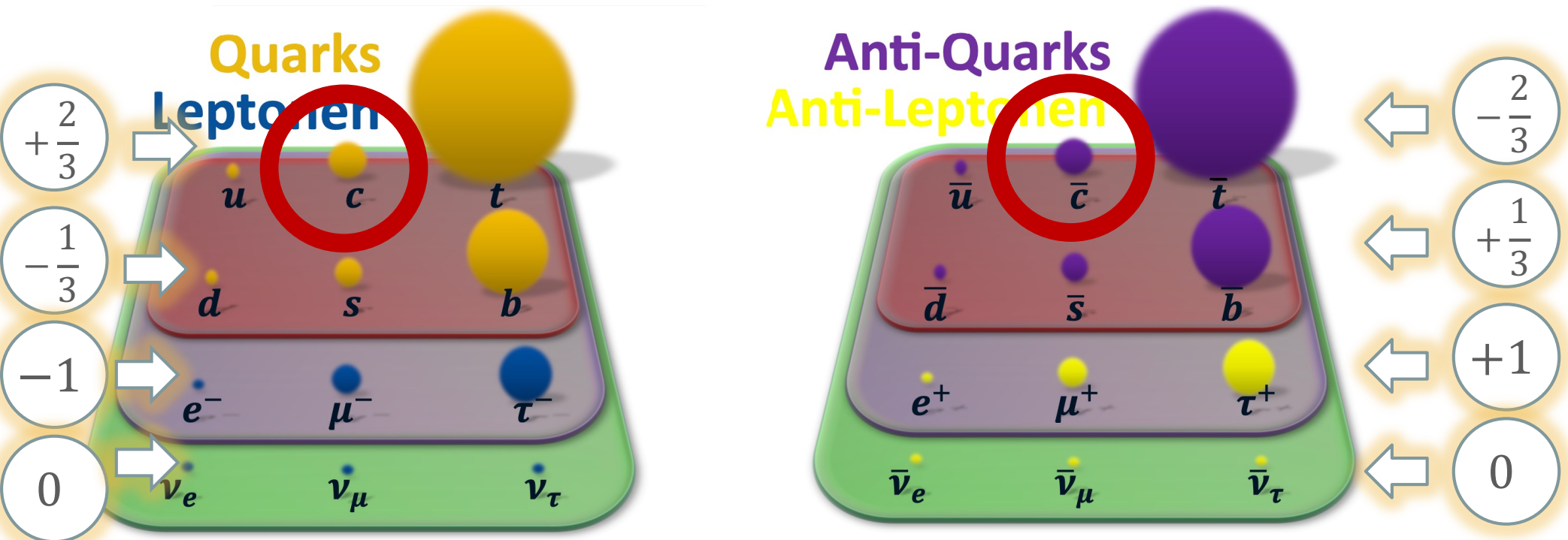






$$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b} b: \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot XY$$

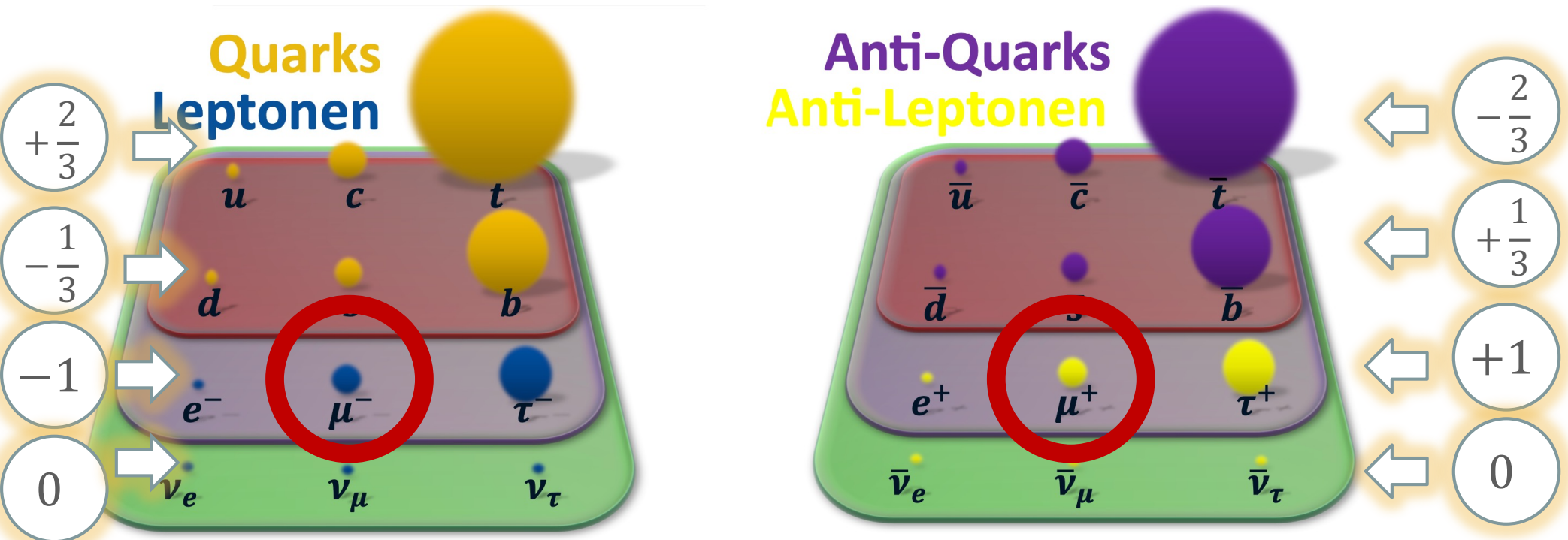




$$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b} b: \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot XY$$

$$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{c} c: \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot XY$$





$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \mu^+ \mu^- : (-1)^2 \cdot XY$

$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{b} b : \left(-\frac{1}{3}\right)^2 \cdot XY$

$e^+ e^- \rightarrow \gamma \rightarrow \bar{c} c : \left(\frac{2}{3}\right)^2 \cdot XY$



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

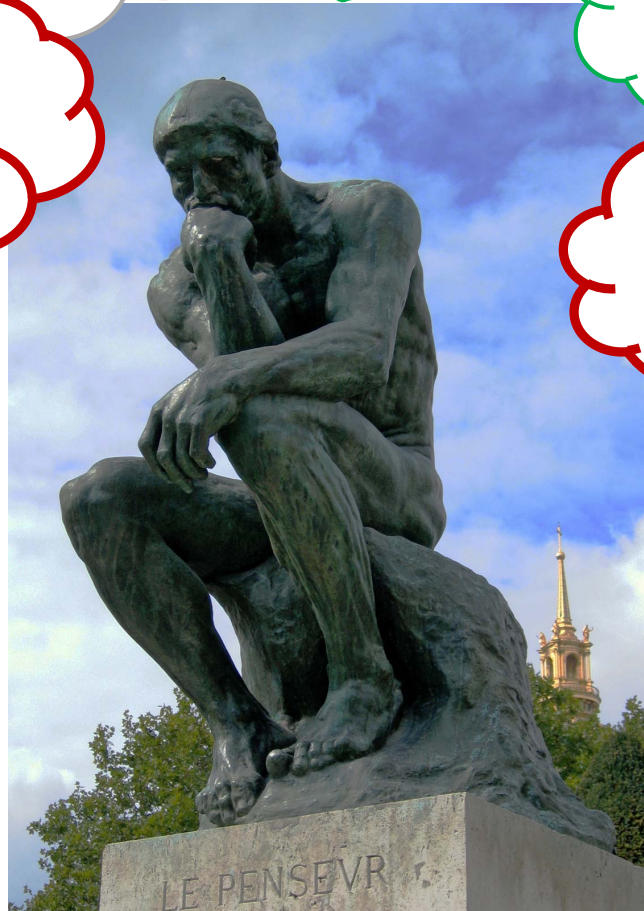
Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → **TEILCHENPHYSIK-FRAGEN**

Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?



„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

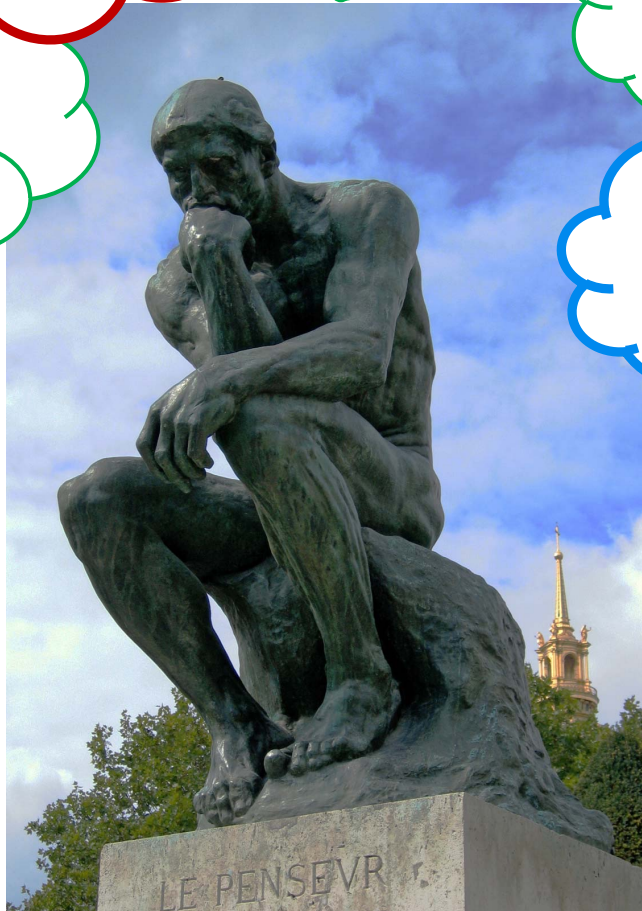
Was ist
überhaupt das
Universum?

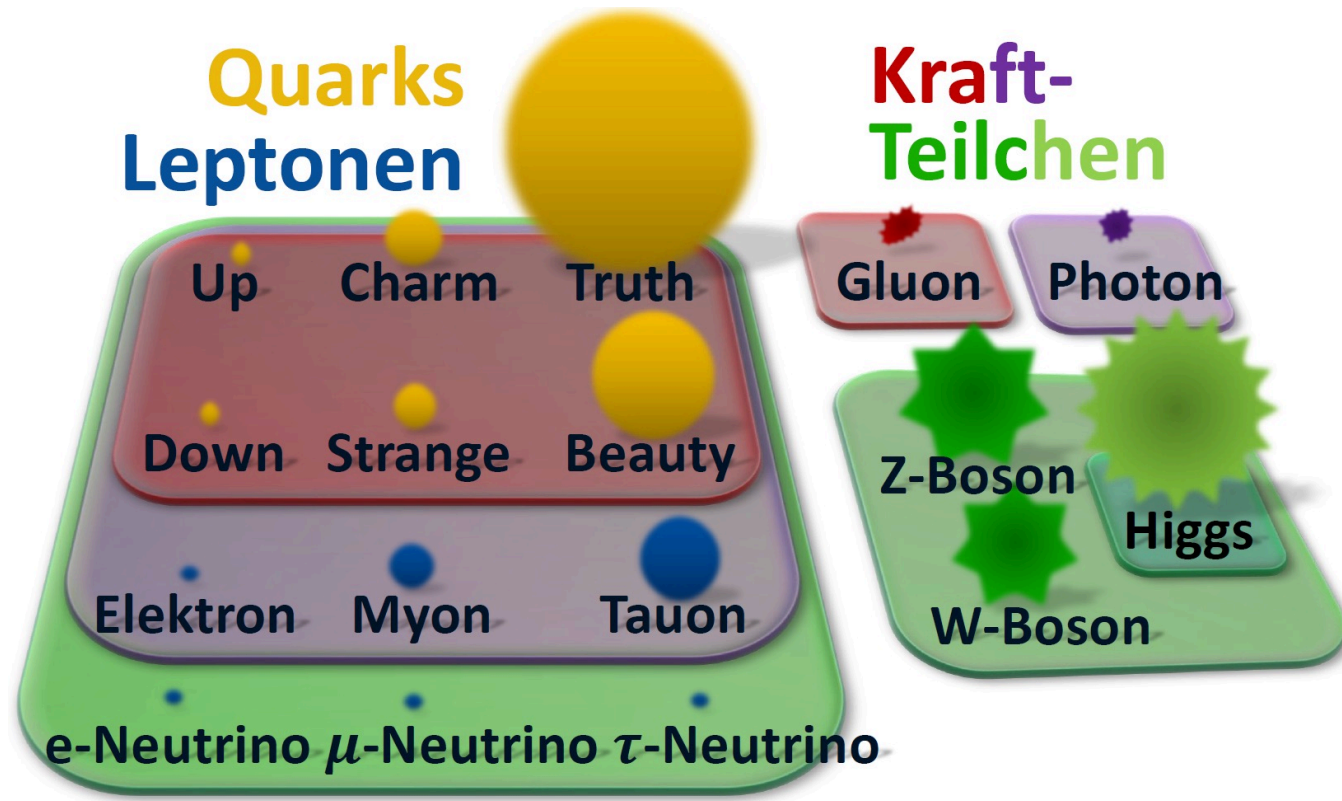
Woraus
bestehe ich
eigentlich?

Und woraus
besteht das
Universum?

Warum und wie
funktioniert es?

Und wie ist
das alles
entstanden?



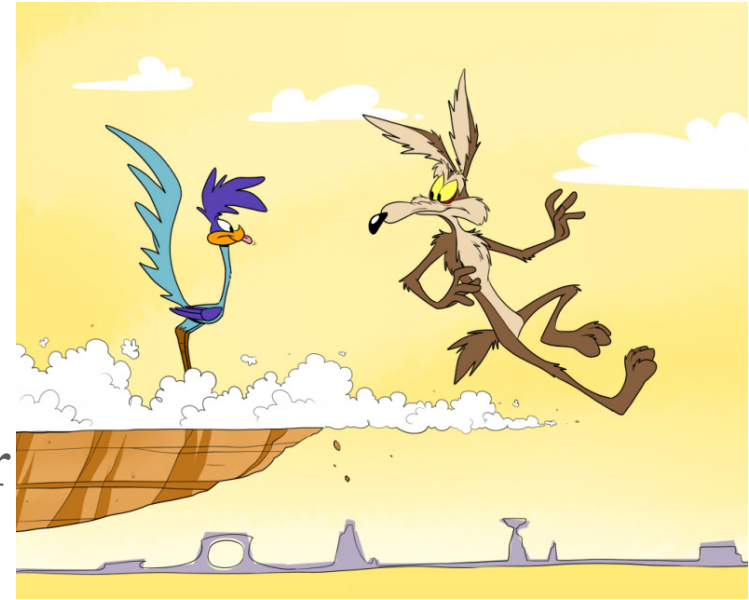


DAS STANDARDMODELL – ALLES KLAR?

- ▶ Alle vorhergesagten Teilchen des Modells wurden gefunden, es scheint komplett.
- ▶ Unser Modell beschreibt alle experimentellen Teilchenphysik-Ergebnisse extrem genau
- ▶ **Noch lange nicht alles klar!**

GRAVITATION

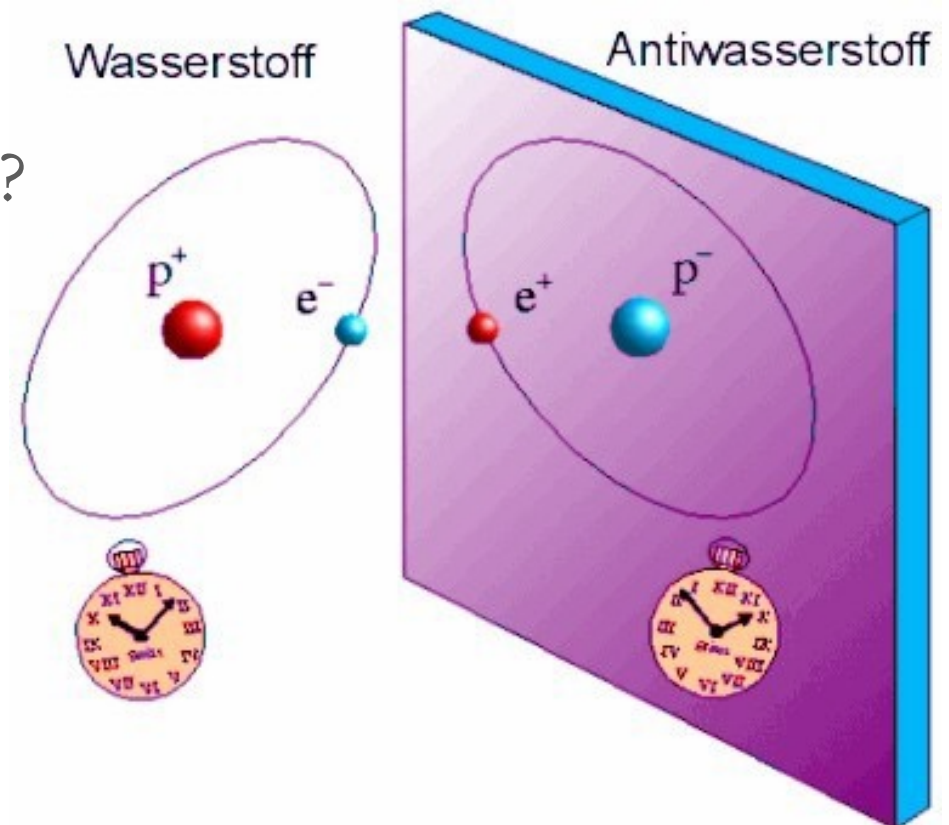
- ▶ Anziehung von massiven Objekten
Schwerkraft
- ▶ Die Gravitation ist viel schwächer
als die anderen fundamentalen WW
- ▶ Makroskopisch: Gravitation viel stärker
→ Gravitation wird nicht abgeschirmt!
- ▶ Schwerkraft wird beschrieben durch Einsteins „Allgemeine
Relativitätstheorie“ (1915)
- ▶ Bis heute keine konsistente Theorie der Quantengravitation



WARUM GIBT ES DAS UNIVERSUM ÜBERHAUPT?

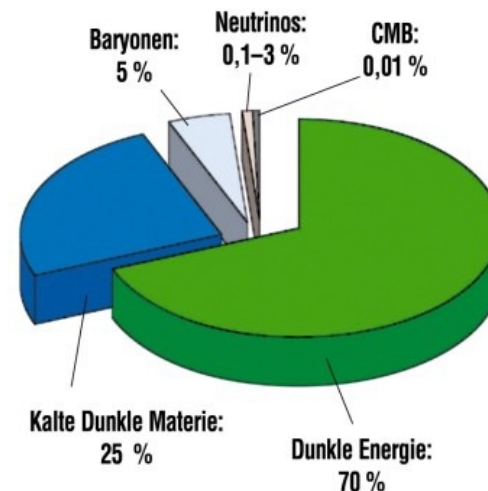
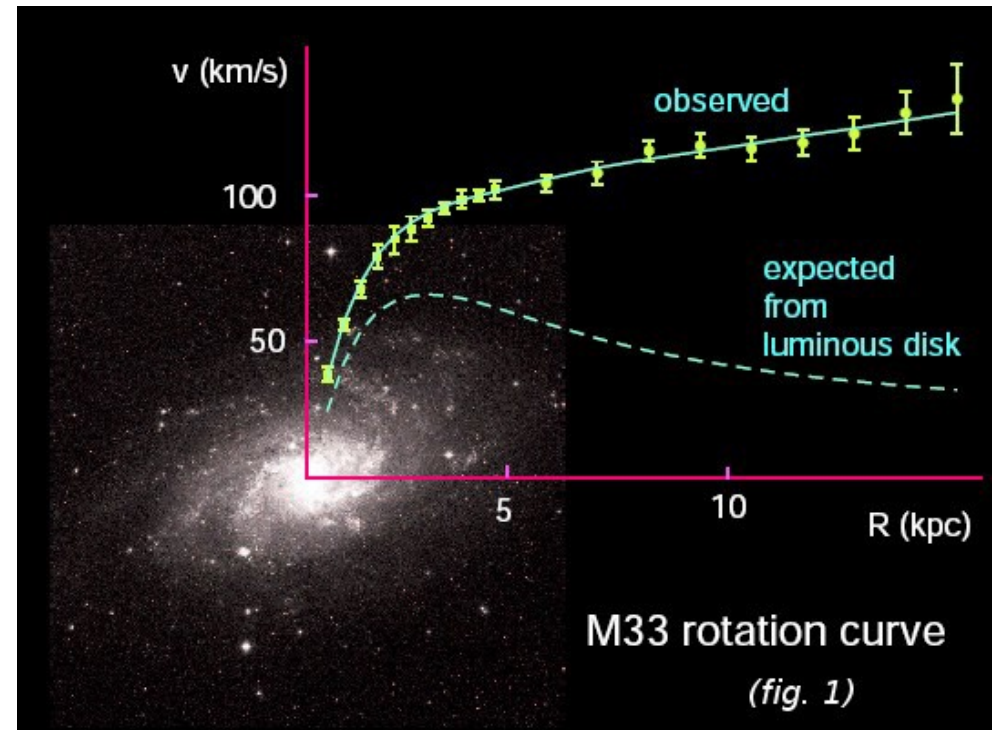
- Unser Universum besteht aus Materie
- Materie kann nur mit Antimaterie zusammen erzeugt werden
- Eigentlich wollte es genauso viel Antimaterie wie Materie geben (exakte Symmetrie)

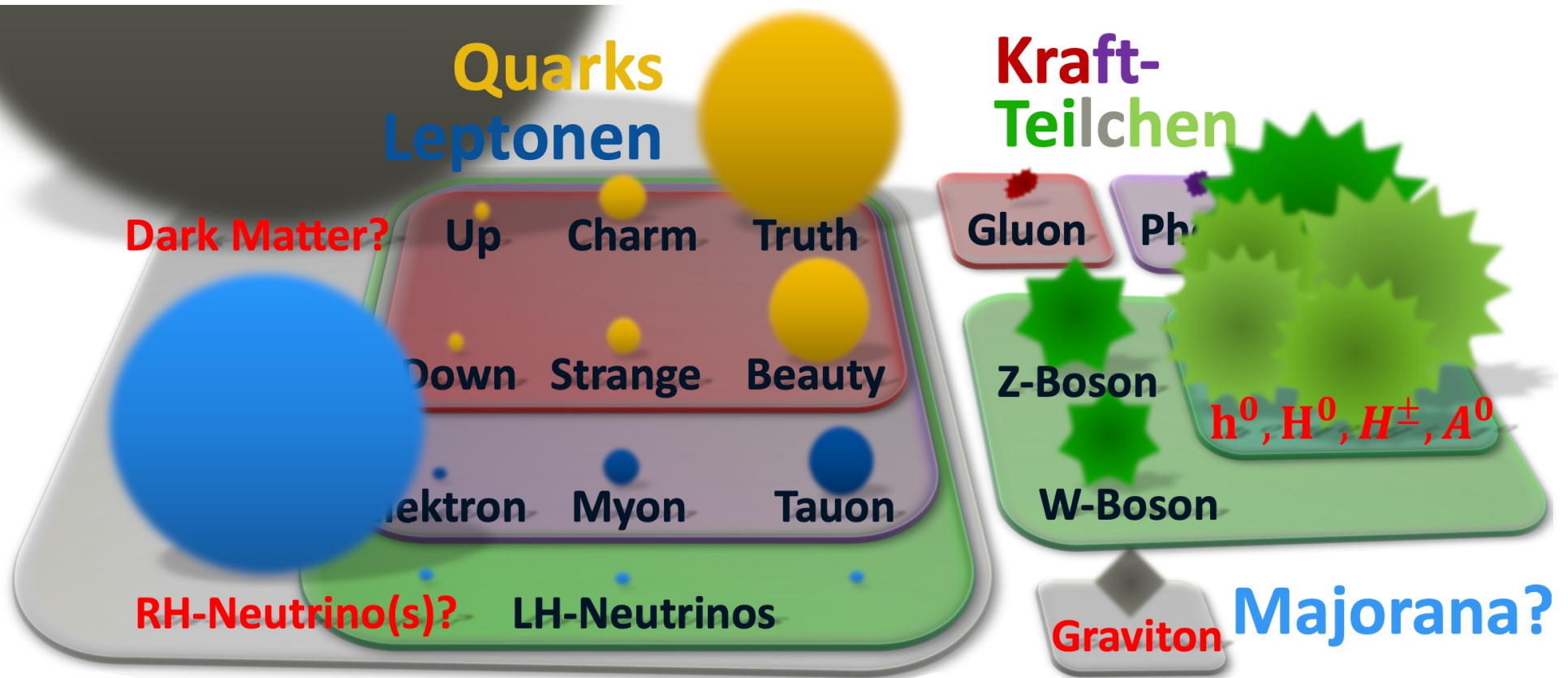
- Aber wo ist die Antimaterie hin?
- Ist die Symmetrie gebrochen?



WAS IST DUNKLE MATERIE/ENERGIE?

- Galaxien rotieren schneller als aus ihren Leuchtkurven berechnet!
- Es muss zusätzliche unsichtbare Masse geben (Dunkle Materie)!
- Beschleunigte Ausdehnung des Universums!
- Es gibt eine unbekannte Kraft, die alles auseinander treibt (Dunkle Energie)!



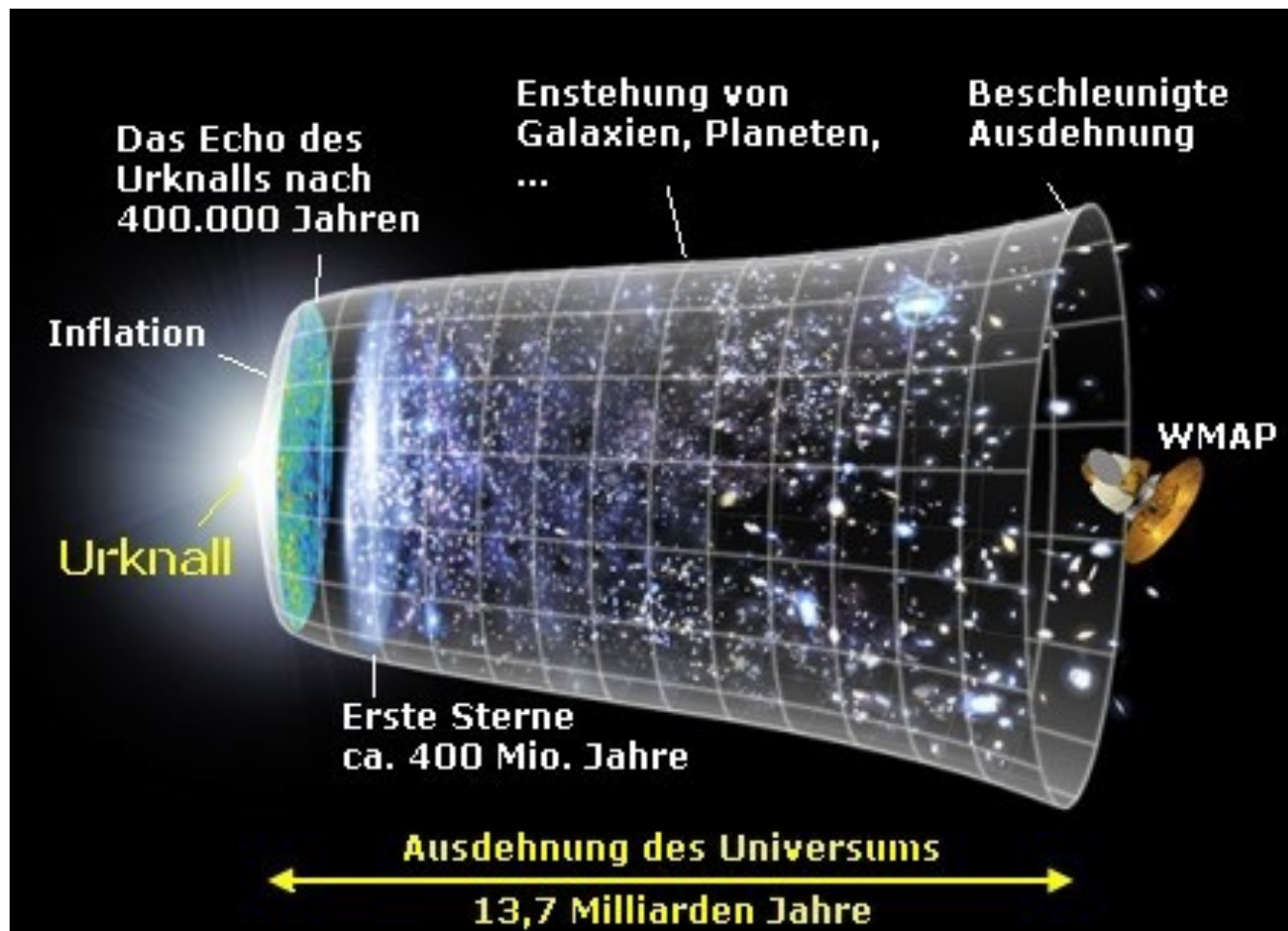


DAS STANDARDMODELL – NOCH LÄNGST NICHT ALLES KLAR!

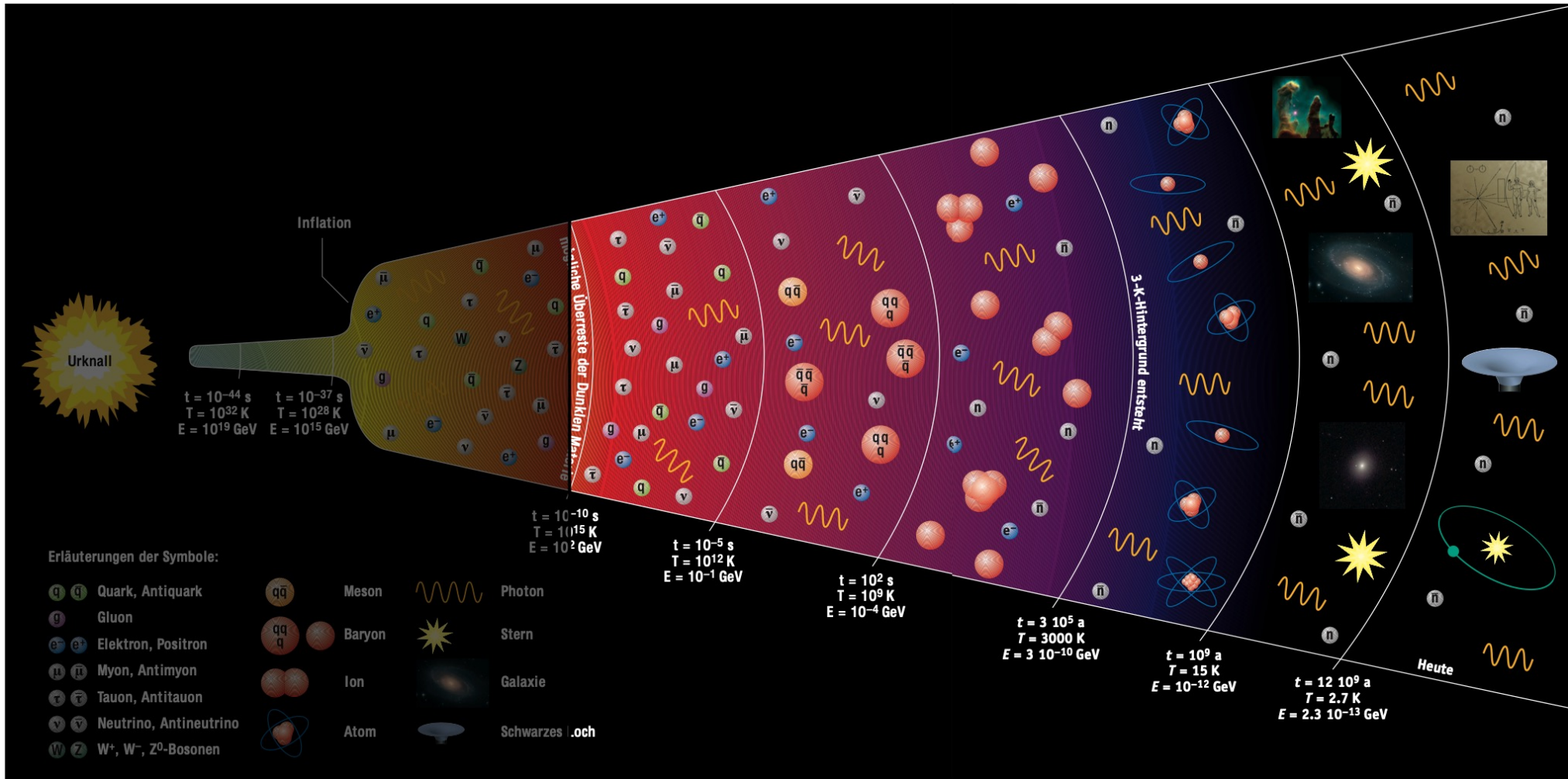
- Wie können wir die **Gravitation** mit unserem SM vereinen?
- Wieso ist die **Materie-Antimaterie Symmetrie** gebrochen?
- Aus welchen Teilchen besteht **dunkle Materie**?
- **Wie können wir solche Fragen beantworten?**

VERBINDUNG ZWISCHEN TEILCHENPHYSIK UND KOSMOLOGIE

- Beobachtung des Weltraums um herauszufinden wie das Universum entstanden ist



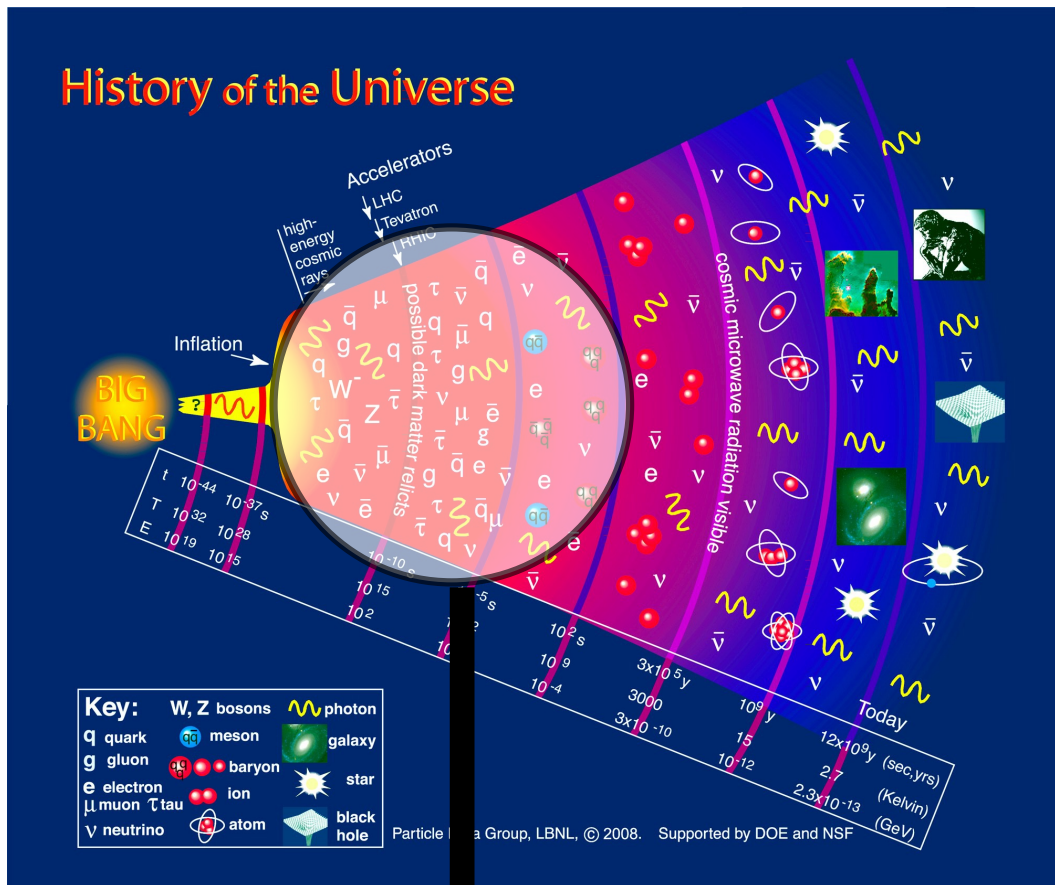
GESCHICHTE DES UNIVERSUMS



Theorie

Experiment

WAS HAT DAS MIT TEILCHENPHYSIK ZU TUN?



Teilchenphysik

- Mit starken Teilchenbeschleunigern erzeugen wir an einem winzigen Punkt für eine ganz kurze Zeit eine Umgebung, wie es sie im frühen Universum, kurz nach dem Urknall gab
- So wollen wir herausfinden „was die Welt im Innersten zusammenhält“

ZUSAMMENFASSUNG 1. TEIL

- ▶ Das “Standardmodell” beschreibt bisherige Experimente mit hervorragender Genauigkeit: 3 Familien von Quarks und Leptonen. Sie lassen sich aufgrund ihrer Eigenschaften in einem System anordnen.
- ▶ Kräfte zwischen Teilchen werden durch Austauschteilchen übertragen. Diese Austauschteilchen sind ebenfalls Elementarteilchen.
- ▶ Offene Fragen bleiben:
 - ▶ Was ist dunkle Materie?
 - ▶ Was ist dunkle Energie?
 - ▶ Warum ist nach dem Urknall nur Materie übrig geblieben?
 - ▶ Usw..

„ALLTÄGLICHE“ FRAGEN → TEILCHENPHYSIK-FRAGEN

Was ist überhaupt das Universum?

Woraus bestehe ich eigentlich?

Und woraus besteht das Universum?

Warum und wie funktioniert es?

Und wie ist das alles entstanden?

